



**Universidad Nacional Autónoma  
de México**



**Facultad de Ingeniería**

# **Diseño de Edificios Verdes e Inteligentes**

**Informe Profesional**

**Que para obtener el título de  
Ingeniera en Computación**

**Presenta:**

**Bertha Xóchitl Gálvez Ruiz.**

**Profr: MC María Jaquelina López Barrientos**

**México D.F. mayo del 2010**

# Índice

Antecedentes .....	1
Marco Teórico : (A) Modelo de edificio inteligente.....	4
Definición de "edificio inteligente" .....	4
1.- Flexibilidad del edificio .....	4
2.- Integración de servicios .....	5
Área de automatización del edificio .....	5
Área de automatización de la actividad .....	6
Área de telecomunicaciones.....	6
Área de planificación ambiental.....	6
Servicios compartidos.....	7
3.- Diseño .....	7
4.- Administración y mantenimiento .....	8
Marco Teórico: (B) Modelo de edificio verde .....	9
Cambio climático .....	9
Estrategia Nacional .....	10
Desarrollo Sustentable.....	11
Optimizar el terreno .....	12
Optimizar el uso de energía.....	12
Proteger y conservar el agua.....	12
Utilizar preferentemente productos ecológicos .....	12
Mejorar la calidad del aire en interiores.....	13
Optimizar prácticas de operación y mantenimiento. ....	13
Que es un edificio verde .....	13
Introducción.....	14
Presentación de casos reales .....	15

<b>CASO I: Centro Corporativo Santa Fe .....</b>	<b>16</b>
1.1 Introducción .....	16
1.2 Análisis de la demanda y el consumo de energía vigente .....	16
1.2.1 Estudio de factor de potencia .....	16
1.2.2 Sistema de alumbrado de alta eficiencia .....	17
1.2.3 Uso de sistemas de volumen de aire variable (VAV).....	23
1.2.4 Sistema de control inteligente para el control de demanda y rolado de carga.....	25
1.3 Políticas para el ahorro de energía .....	30
1.4 Acciones correctivas .....	30
1.5 Monitoreo y análisis de indicadores .....	31
1.6 Innovación y mejora .....	31
<b>CASO 2: Torre Cuadro.....</b>	<b>33</b>
2.1 Introducción .....	33
2.2 Sistemas automatizados.....	34
2.2.1 Características de los sistemas automatizados.....	36
2.2.2 Arquitectura del sistema .....	37
2.3 Componentes del sistema de automatización .....	39
2.3.1 Centro de control.....	39
2.3.2 El controlador de red .....	40
2.3.3 Comunicación.....	40
2.3.3 Protocolos de comunicación.....	43
2.3.4 Software .....	45
2.4 Puntos de monitoreo y control de los subsistemas .....	48
2.4.1 Controlador.....	48
2.4.2 Sistema de aire acondicionado.....	53
2.4.3 Sistema hidráulico .....	56
2.4.4 Sistema eléctrico .....	57
<b>CASO 3: Uso del Chilled Beam en un edificio verde.....</b>	<b>61</b>
3.1 Sistema Chilled Beam .....	61

3.1.1 Funcionamiento del sistema Chilled Beam.....	62
3.1.2 Principal aplicaciones para Chilled Beam.....	62
3.1.3 Chilled Beams versus las unidades de inducción convencionales .....	63
3.1.4 Análisis comparativo Chilled Beam versus VAV.....	64
3.1.5 Diseño de agua helada en sistemas Chilled Beam para ambientes de alta humedad.....	65
3.1.6 Ventajas Chilled Beam: .....	66
3.1.7 Desventajas Chilled Beam:.....	66
Conclusiones.....	67
Anexo 1: Resumen de proyectos .....	69
Glosario .....	71
Bibliografía .....	72

## Antecedentes

De 1985 a 1988 trabajé en el área de automatización de edificios y tomé diferentes cursos con empresas como *Johnson Controls*<sup>1</sup> y *Honeywell* en Estados Unidos, *Telemecanique* en Francia, *Instituto Cerda* y *Sainco* en España, lo cual me dio una amplia visión de lo que empezaba a desarrollarse en el mundo, en el concepto de los llamados edificios inteligentes. En 1988 empecé a desarrollar un modelo conceptual, para el diseño de un edificio inteligente, el cual fue el primero en publicarse en México (ver: *Marco teórico: Modelo de edificio inteligente*).

Por lo anterior, se me consideró pionera en el diseño de edificios inteligentes en México.

En 1989 fui contratada como directora de teleinformática del *World Trade Center* de la Ciudad de México, mi responsabilidad consistía en hacerme cargo, por un lado, de la red de teleproceso la cual se conectaba a través de un enlace dedicado de microondas con la SCT, desde el cual nos permitía participar en la red mundial del comercio, cuya sede se ubicaba en el *World Trade Center* en las Torres Gemelas de Nueva York, dicha red tenía afiliados a más de 1,000,000 de empresas alrededor del mundo que hacían intercambio comercial por esta vía; por otro lado, hacerme cargo del diseño del *World Trade Center* como el primer edificio inteligente en México. La experiencia obtenida fue impresionante, pude poner en práctica los conceptos teóricos que había adquirido durante los tres años anteriores.

Llevé a cabo el proyecto con el apoyo de una empresa española, ya que en México no existía ninguna firma de ingeniería que pudiera desarrollar el proyecto a detalle. El proyecto se realizó conforme a lo planeado. Sin embargo, no se puede decir que sea un edificio inteligente, ya que sólo se implementaron los sistemas de automatización, seguridad, cableado estructurado y telecomunicaciones, con lo cual sí se puede calificar como un edificio automatizado, mas no inteligente.

En ese mismo año junto con otros personajes del medio, iniciamos la tarea de crear el Instituto Mexicano del Edificio Inteligente, organismo dedicado a la investigación del concepto y a la premiación de edificios diseñados bajo este esquema.

En 1990 fui invitada por el Arq. Pedro Ramírez Vázquez a desarrollar el sistema de información y telecomunicaciones del Pabellón de México en España para la

---

<sup>1</sup> *Johnson Controls* es una empresa estadounidense con 119 años de existencia en el mercado. Su fundador, el Dr. Warren Johnson, fue el inventor del primer termostato.

Expo Mundial de Sevilla 1992. Aquí mi trabajo consistió en desarrollar el sistema de multimedia, lo cual me implicó someterme a una capacitación intensiva en esta materia, en ese entonces eran los primeros desarrollos y se tenía poco conocimiento y experiencia en nuestro país, fue un proyecto donde la apuesta museográfica fue con el uso de tecnología de punta en equipo de cómputo, software, proyectores, equipo de audio y video. Este pabellón tuvo la característica de ser uno de los más visitados, además de esta experiencia tecnológica tuve la oportunidad de interactuar con el concepto de edificio inteligente, el cual fue aplicado en el edificio principal de oficinas de la ciudad expo. Cabe mencionar que los pabellones de Canadá y Japón además de haber sido inteligentes tenían integrado el concepto de sustentabilidad desde su diseño.

A mi regreso a México en 1992, con toda la experiencia acumulada tomé la decisión de crear una empresa de ingeniería que se dedicara al diseño de edificios inteligentes, busqué apoyo financiero en el Gobierno a través de FONAES de la Secretaría de Desarrollo Social, ahí se me indicó que para ser sujeta de apoyo debería de conformar una empresa de carácter social con al menos 10 socios, lo que no entraba dentro de mis expectativas ya que el tipo de proyectos que tenía considerado era una firma de ingeniería; traté de buscar apoyo en una institución bancaria y tampoco tuve éxito, ya que era necesario que dejara en garantía algún bien inmueble, el cual tampoco tenía. Desafortunadamente en nuestro país no existe apoyo a jóvenes con ideas innovadoras como era mi caso en ese momento, finalmente logré conseguir a través de la venta de mi coche un capital que me permitió constituir legalmente la empresa High Tech Services, S.A. de C.V. (HTS) Al principio yo fungía como la directora, la proyectista, la dibujante, la mensajera y todo lo necesario pero finalmente el esfuerzo rindió frutos y fui contratada para proyectar la segunda etapa del World Trade Center, el centro financiero Santa Fe, Plaza Reforma y Plaza Arquímedes, en Polanco; entre muchos otros proyectos.

Como todo, el principio fue muy difícil pero en poco tiempo HTS se convirtió en la principal empresa de ingeniería para el diseño y proyecto de edificios inteligentes en nuestro país. Al paso del tiempo junto con mi equipo de trabajo me di cuenta que era necesario incursionar en el diseño de sistemas de aire acondicionado, ya que éstos consumían entre 50 y 60 por ciento de la electricidad en un edificio, con mucho orgullo puedo decir que al dominar el Control Digital Directo (DDC) introdujimos el concepto de Volumen Variable en México. Un Centro Financiero, proyecto a cargo de HTS fue el primer edificio en lograr un alto nivel de eficiencia energética, al grado que fue reconocido como edificio eficiente por el FIDE (Fideicomiso de Ahorro de Energía).

En 1994 recibí el premio a la Empresaria del año y en ese mismo año el Edificio del Centro Financiero recibió el premio de 1er lugar al edificio inteligente otorgado por el IMEI (Instituto Mexicano del Edificio Inteligente). Por tal motivo la empresa HTS se acreditó de manera muy rápida en el mercado inmobiliario de nuestro país.

A partir de 1998 en HTS desarrollamos el total de las ingenierías electromecánicas y especiales en un edificio, lo cual nos permitió diseñar de manera eficiente y sustentable cada uno de los proyectos en los que participamos.

A partir del 2006, HTS se dio a la tarea de participar de manera conjunta con el Gobierno del Distrito Federal en el desarrollo de una norma para la construcción de edificios verdes en la Ciudad de México y derivado de ello, actualmente nos encontramos participando en el desarrollo de varios proyectos con el sello verde por lo que esperamos que sean los primeros en recibir dicha certificación.

A la fecha HTS ha desarrollado más de 150 proyectos y cada día invierte en capital humano para mantenerse a la vanguardia en el campo de la ingeniería (Anexo 1), sin embargo para este informe presento tres casos que me parecen de especial relevancia.

## Marco Teórico : (A) Modelo de edificio inteligente

### Definición de "edificio inteligente"

Se puede decir que un edificio es "*inteligente*" cuando el concepto de flexibilidad es integrado desde su diseño, con la finalidad principal de lograr un costo mínimo de ocupación durante su ciclo de vida, y una mayor productividad estimulada por un ambiente de trabajo seguro y confortable, respetando y tomando en cuenta el entorno ecológico.

Existen cuatro aspectos fundamentales para integrar un "edificio inteligente", los cuales deberán tomarse en cuenta al diseñar un nuevo edificio. Estos aspectos son:

- Flexibilidad del edificio
- Integración de servicios
- Diseño del edificio
- Administración y mantenimiento del edificio "Facility Management"

### 1.- Flexibilidad del edificio

La flexibilidad es la principal característica de un edificio inteligente, ya que si un edificio es flexible tiene la capacidad de poder incorporar los elementos necesarios para poder ser catalogado como inteligente a lo largo de toda su vida útil. La flexibilidad en un edificio se caracteriza básicamente por dos atributos principales.

- Capacidad para incorporar nuevos o futuros servicios.
- Capacidad para modificar la distribución física tanto de departamentos como personas de una determinada organización, sin perder el nivel de servicios disponibles. En otras palabras, la posibilidad de permitir, de forma no excesivamente complicada, reubicaciones de personal o reestructuraciones internas de una entidad. Como clara consecuencia, el dotar de flexibilidad a un edificio supone un cuidadoso y, en cierta forma, sobredimensionado diseño inicial del mismo (piso, suelos, plafones, patios de servicios, etc.) ya que los errores en esta fase pueden afectar toda la vida útil del edificio, además de acarrear costos muy superiores en fases posteriores.

## 2.- Integración de servicios

El concepto de integración de servicios no es nuevo en la construcción de edificio. Desde hace algunos años ya se hablaba de este concepto sin ningún éxito, pero a raíz del desarrollo de la tecnología en los campos del control, cómputo y telecomunicaciones ha tomado una mayor importancia este concepto, hasta volverse fundamental en los llamados "Edificios Inteligentes". Todos los servicios que existen dentro de un edificio se pueden involucrar en cualquiera de las siguientes áreas:

### Área de automatización del edificio

Se puede dividir en:

- Sistema básico de control
- Sistema de seguridad
- Sistema de ahorro de energía

*Sistema básico de control:* Es aquel sistema que permite monitorear el estado de las distintas instalaciones y actúa de acuerdo a lo propuesto, evitando así fallas dentro del funcionamiento de éstas. Asimismo es el responsable de mantener los distintos grados de confort, y de llevar las estadísticas de mantenimiento para cada equipo, eliminando así las grandes cuadrillas de personal para tener en funcionamiento todas las instalaciones.

*Sistema de seguridad:* Dentro de la seguridad existen dos aspectos, la protección del patrimonio y la protección de las personas. Para ello se debe instalar un sistema integral de seguridad que abarque los propios requerimientos, ya que éstos podrán variar según el edificio en cuestión, y el país o zona donde éste se ubique.

*Sistema de ahorro de energía:* Con el sistema básico de control del edificio, realizar un ahorro de consumo de energía es prácticamente implícito, ya que los equipos son programados para que éstos operen en situaciones de máximo rendimiento, lo cual se ve reflejado en un ahorro de fuerza laboral, puesto que la productividad se ve mejorada al integrar todo el control bajo un mismo sistema.

Las posibilidades de un sistema de administración y ahorro de energía son múltiples. Cabe mencionar las siguientes:

- Zonificación de la climatización

- Intercambio de calor entre zonas, inclusive con el exterior
- Uso activo o pasivo de la energía solar
- Identificación del consumo
- Control automático y centralizado de la iluminación
- Control de horarios para el funcionamiento de equipo
- Control de ascensores
- Programa emergente en puntos críticos de demandas etc.

### ***Área de automatización de la actividad***

La correcta selección de la tecnología involucrada en la automatización de las actividades, da como resultado un incremento en la productividad laboral, permitiendo así un importante beneficio en la administración de las oficinas. Otro factor importante es la eficiencia para obtener información y reducir de esta forma el tiempo que transcurre desde el lugar donde se origina hasta el destino final de ésta, permitiendo tomar decisiones con oportunidad.

### ***Área de telecomunicaciones***

En México requiere un análisis especial esta área, ya que existe una falta de infraestructura que no permite que cualquier empresa pueda tener fácilmente avanzados servicios de telecomunicaciones, la infraestructura tecnológica a considerar en esta área debe ser:

- Un cableado estructurado.
- Equipo de voz y datos.
- Equipos de conexión con redes externas.
- Redes de banda ancha, etc.

### ***Área de planificación ambiental***

Esta área ha tomado mucha importancia últimamente, ya que incide directamente en el bienestar físico del trabajador, todo esto encaminado a estimular un ambiente que facilite su trabajo, para lo cual se puede considerar lo siguiente:

- Posibilidad de zonificar el aire e iluminación con el propósito de que la persona decida su iluminación y temperatura requerida

- Planificación y distribución de los espacios y archivos
- Ergonomía en el puesto de trabajo, mobiliarios, brillos, luz solar, aislamiento acústico, colores, etc., con el propósito de evitar el "síndrome del edificio enfermo"
- Creación de ambiente seguro, conocer los sistemas de seguridad, medios de evacuación, escaleras de emergencia, qué hacer en caso de temblor, etc.

### ***Servicios compartidos***

Un nuevo enfoque es el compartir ciertos servicios que son comunes a todos los usuarios, de tal manera que se ahorre espacio y se evita equipo ocioso

Algunos de los servicios que podrían ser compartidos serían los siguientes:

- Centro de mensajes
- Correo electrónico
- Salas de videoconferencia
- Uso de CPU central
- Acceso a tele puertos
- Servicios de CAD
- Pool de módems, fax, telex, etc.
- Impresión de calidad

## 3.- Diseño

En el diseño existen dos grandes ámbitos:

- Exterior: Diseño arquitectónico
- Interior: Relacionada con arquitectura, ergonomía y planificación del espacio

La firma holandesa Twynstra Gudde<sup>2</sup>, describe la relación entre los edificios de oficina y los criterios de diseño durante las últimas décadas:

- En los años 60's, *eficiencia* operacional y organizativa.
- En los años 70's, *costos*, reducción de costos de operación.
- En los años 80's, *calidad*.

---

<sup>2</sup> <http://www.twynstragudde.com/>

- En la década actual todo parece indicar que será la *creatividad y trabajo en equipo*, por lo que los edificios deberán facilitar la interacción entre las personas.

#### 4.- Administración y mantenimiento

La administración de un edificio inteligente es una función de gran responsabilidad que se desdobra en un elevado número de áreas de trabajo. Las responsabilidades y funciones de esta figura dependen principalmente de tres factores.

- Grado de complejidad tecnológica
- Organigrama de la empresa que lo explota y
- Edificio de un único usuario o multiusuario,

En un edificio inteligente de un único usuario, las dos áreas generales de actividad del *facilities manager* son:

- Administración
- Mantenimiento.

Dentro de la denominada *área de administración* se distinguen tres funciones principales.

- Administración de recursos.
- Planificación técnica y del entorno, y
- Coordinación con otros departamentos de la empresa

## Marco Teórico: (B) Modelo de edificio verde

### Cambio climático

El proceso de cambio climático se perfila como el problema ambiental global más relevante de nuestro siglo, en función de sus impactos previsibles sobre los recursos hídricos, los ecosistemas, la biodiversidad, los procesos productivos, la infraestructura, la salud pública y, en general, sobre los diversos componentes que configuran el proceso de desarrollo.

El planeta ya ha pasado por diversos cambios climáticos a lo largo de su historia. Determinados agentes naturales externos provocaron un clima más cálido de lo normal en Europa durante la Edad Media, un periodo que sucedió a otro de bajas temperaturas hasta mediados del siglo XIX.

Al parecer, las alteraciones naturales en las condiciones de los océanos han podido provocar estos cambios climáticos pasados. Además, las fluctuaciones en la luz solar y la frecuencia de erupciones volcánicas, entre otras causas, han sido algunos de los fenómenos climáticos que han podido provocar cambios en los patrones de lluvia y sequía.

El clima de la tierra está condicionado por la presencia de gases naturales de efecto invernadero, que absorben parcialmente la emisión de radiación infrarroja que emite la superficie, re-emitiendo radiación del mismo tipo (infrarroja), tanto al espacio exterior como hacia la superficie. Estos gases entre los cuales están, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el vapor de agua, y el ozono (O<sub>3</sub>), regulan la temperatura del planeta, contribuyendo que a nivel del mar ésta sea considerablemente mayor que la que se observaría si la atmósfera no tuviera estos componentes. El efecto invernadero ha estado siempre presente desde el momento en que se formó la atmósfera, contribuyendo en forma determinante al desarrollo de la vida sobre la Tierra. El problema surge cuando la cantidad de estos gases aumenta porque se altera el equilibrio natural y el clima se comporta de manera distinta. Lo que está en juego por la acción del hombre, es su intensificación y el impacto negativo que esto puede representar.

El bióxido de carbono, generado principalmente a través de la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural, o sus derivados), es el gas de efecto invernadero dominante. Cuando comenzó la revolución industrial hace 200

años, existían alrededor de 280 partes por millón (ppm) de este gas en la atmósfera, para 2001 existían 350 ppm, lo que significa un aumento del 31%<sup>3</sup>

De acuerdo al *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (IPCC), la temperatura puede aumentar de 1.4 a 5.8°C para el 2100.

En el contexto mundial, México se encuentra en el lugar 13 dentro de los países que generan las emisiones más altas en CO<sub>2</sub> según la *Agencia de Energía* de EE.UU.<sup>4</sup>

Se estima que en 2002 México generó el equivalente a 643,183 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, con una contribución de alrededor de 1.5% de las emisiones globales. En lo que respecta a las fuentes responsables de emisiones, corresponde 61% al sector energético; 7% a los procesos industriales; 14% al cambio de uso de suelo (deforestación); 8% a la agricultura y 10% a la descomposición de residuos orgánicos, incluyendo las plantas de tratamiento de aguas residuales y los rellenos sanitarios. Dentro del sector energético en particular, la generación de electricidad representa 24% de las emisiones; el uso de combustibles fósiles en el sector manufacturero e industria de la construcción 8%; el transporte 18%; los sectores comercial, residencial y agrícola 5%; y las emisiones fugitivas de metano durante la conducción y distribución del gas natural, otro 5%.

## Estrategia Nacional

El país se dispone a ampliar su respuesta frente a este desafío global. Desde una visión de *Desarrollo Humano Sustentable*, el *Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012* incorpora, por primera vez de manera explícita, el tema del cambio climático<sup>5</sup>. Muchos de los Programas Sectoriales que de él derivan hacen también referencia clara al tema.

En mayo de 2007 el Ejecutivo Federal presentó su *Estrategia Nacional de Cambio Climático*, en la que se identifican amplias oportunidades de mitigación y de adaptación, así como un primer posicionamiento del país en relación con el régimen internacional de atención al cambio climático. A partir de la publicación de la Estrategia, las distintas dependencias que participan en la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC) han trabajado en la elaboración del Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2008-2012, que constituye un

---

<sup>3</sup> 2001, Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC). <http://www.ipcc.ch/>

<sup>4</sup> 2006, Energy Information Agency, Department of Energy, USA.

<sup>5</sup> Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012 <http://pnd.presidencia.gob.mx/>

escalón muy significativo en el proceso de construcción, paso a paso, de un compromiso nacional de alcance creciente.

El PECC tiene como objetivo, el alcanzar una reducción de emisiones por acciones de mitigación del orden de 50 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente en el año 2012, y una reducción acumulada de alrededor de 128.5 millones de toneladas de bióxido de carbono o su equivalente del año 2009 al 2012, al contabilizar las acciones desarrolladas en los sectores relacionados con la generación y uso de energía, agricultura, bosques y otros usos de suelo, y desechos.

## Desarrollo Sustentable

Los desarrollos sustentables proporcionan oportunidades y beneficios tanto para el medio ambiente como para la sociedad.

El tipo de construcciones evolucionan en respuesta a los cambios culturales, nuevas necesidades programáticas, eventos recientes que cuestionan la funcionalidad de las normas, su accesibilidad y seguridad. Tiendas comerciales, edificios residenciales, estaciones de tren, aeropuertos, centros de reciclaje, etc., han cambiado nuestro paisaje urbano y de edificación.

La construcción y operación de edificios contribuyen significativamente, directa o indirectamente, a la mayoría de nuestros retos ambientales. Los edificios son grandes consumidores de recursos y generadores de desperdicio.

La Comisión Brundtland conocida así por su directora sueca Gro Harlem Brundtland, fue creada en 1983 por las Naciones Unidas. Esta comisión fue creada para atender la preocupación en el incremento acelerado del deterioro del medio ambiente y los recursos naturales y sus consecuencias tanto económicas como de desarrollo social.

En 1987, la Comisión Brundtland definió al *desarrollo sustentable*, como “cumplir con las necesidades de la generación actual sin comprometer la viabilidad de generaciones futuras de cumplir sus propias necesidades”.

Un edificio verde o un edificio sustentable, es el resultado de una filosofía de diseño que se enfoca en incrementar la eficiencia en el uso de los recursos – energía, agua y materiales – al mismo tiempo que se reducen los impactos en la salud humana y el medio ambiente durante la vida útil del edificio, esto, mediante una mejor ubicación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y demolición.

El diseño sustentable se enfoca en la calidad de nuestro medio ambiente como un sistema. Los objetivos principales de un diseño sustentable son:

- Evitar la desaparición de los recursos energéticos, agua y materias primas.
- Prevenir la degradación del medio ambiente causada por la infraestructura y las construcciones durante su vida útil, y crear ambientes construidos que sean habitables, cómodos, seguros y productivos.

Mientras que la definición de “edificio sustentable” cambia constantemente, persisten 6 elementos básicos:

### *Optimizar el terreno*

La creación de edificios sustentables comienza con una buena selección del terreno, incluyendo el reuso o readaptación de edificios existentes. La ubicación, orientación y paisaje de un edificio afecta al ecosistema local, transporte y uso de energía.

La seguridad física es un factor crítico cuando se diseña el espacio, incluye ubicar los caminos de acceso, estacionamiento, barreras vehiculares, e iluminación perimetral.

### *Optimizar el uso de energía*

Con la disminución de abastecimiento de combustibles fósiles, la preocupación en la independencia de la energía y el incremento en la seguridad, y el incremento de los impactos del calentamiento global, es esencial el buscar formas de reducir la carga, incrementar la eficiencia y utilizar recursos de energía renovable en las instalaciones.

### *Proteger y conservar el agua*

Un edificio sustentable debe reducir, controlar y/o tratar el agua de lluvia, utilizar eficientemente el agua, y el uso de agua reciclada, cuando sea posible.

### *Utilizar preferentemente productos ecológicos*

Un edificio sustentable está construido por materiales que minimizan el impacto del ciclo ambiental como el calentamiento global, reduce la degradación y la toxicidad humana. Materiales ecológicos tienen un efecto mínimo en la salud humana y contribuyen a mejorar la seguridad y la salud del trabajador, reduce los costos por deshecho y el logro de las metas ambientales.

### *Mejorar la calidad del aire en interiores*

La calidad del aire en el interior de un edificio tiene un impacto significativo en la salud, el confort y la productividad de sus ocupantes. Entre otros atributos, un edificio sustentable maximiza la luz natural, tiene una ventilación apropiada y control sobre la humedad, y evita el uso de materiales con emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOC).

### *Optimizar prácticas de operación y mantenimiento.*

Alentar a los operadores y personal de mantenimiento de un edificio a participar en las fases de diseño y desarrollo del proyecto para asegurar procedimientos óptimos de operación y mantenimiento. Los diseñadores pueden especificar materiales y sistemas que simplifican y reducen los requerimientos de mantenimiento, requieren menos agua, energía y químicos tóxicos para su mantenimiento y que son viables en su costo y reducen los costos de su ciclo de vida. Adicionalmente, se deben diseñar las instalaciones con medidores para llevar el control del progreso de las iniciativas de sustentabilidad, incluyendo reducción en energía y el uso de agua, y la generación de desperdicios, en el edificio y en el sitio.

## Que es un edificio verde

Un edificio verde se define según el foro internacional de estándares ASTM: es una construcción que suministra los requisitos de comportamiento del edificio al tiempo que minimiza la molestias a y mejora el funcionamiento de ecosistemas locales, regionales y globales, tanto durante como después de su construcción y su vida especificada<sup>6</sup>.

Un edificio verde optimiza eficiencias en la administración de los recursos y el comportamiento operacional; así como minimiza los riesgos a la vida humana y al ambiente. El concepto del edificio "Verde" ha atraído la atención de fabricantes, constructores y reguladores por igual, por la posibilidad de integrar tecnologías y naturaleza en la edificación, para proporcionar un ambiente seguro y sano en el diseño de una envolvente que se comporte eficientemente.

---

<sup>6</sup> Foro ASTM E 2114-01

## Introducción

Desde finales del siglo pasado y hasta nuestros días, se ha ido creando una conciencia relacionada con la sustentabilidad, el uso de tecnologías de la información y telecomunicaciones por todos los usuarios de un edificio, se ha vuelto indispensable el incremento de medidas de seguridad y el uso de complicados sistemas electromecánicos.

Esto obliga a realizar una reflexión, por un lado analizar los altos costos de mantenimiento que se ven involucrados en un edificio que no cuenta con sistemas de automatización de sus instalaciones, y por otro lado, la mayor inversión que realiza una empresa es en su personal, por lo que se hace necesario buscar el incremento de la productividad a través de todos aquellos elementos tecnológicos que permiten al usuario del edificio ser más productivo en la tarea a desarrollar, todo esto sin sacrificar el confort, es decir, al diseñar un edificio inteligente se debe jugar con estos tres factores cuidando siempre el costo-beneficio, ya que muchas veces la inversión crece y el beneficio es mínimo.

Por lo anterior para diseñar un nuevo edificio siempre tomamos en cuenta que el edificio además de ofrecer seguridad a sus ocupantes, les brinde condiciones superiores de calidad de vida, al tiempo que racionaliza el uso de energéticos y busca la sustentabilidad, los puntos más importantes a tomar en cuenta son los siguientes:

- Que la arquitectura busque envolventes eficientes y el mayor grado de flexibilidad en el diseño de sus espacios, ya que a lo largo de la vida útil del edificio, éstos sufrirán constantes modificaciones.
- Todas las instalaciones que conforman el edificio, seguridad, telecomunicaciones, eléctrica, hidráulica, sanitaria, aire acondicionado, etc. Deberán cumplir con normas nacionales e internacionales y buscar al máximo su flexibilidad.
- Aplicación de una plataforma única de cableado que soporta los sistemas de control, voz, datos y video para un edificio inteligente.
- Aplicación de sistemas para las telecomunicaciones, protección física, seguridad, ahorro de energía, operación y automatización en un edificio inteligente.
- Una buena operación del edificio permitirá siempre una máxima prevención de situaciones que pongan en riesgo la vida de sus ocupantes ante la falla de sistemas fundamentales y un buen mantenimiento permitirá alargar el ciclo de vida del edificio.

## Presentación de casos reales

En este informe se presentan tres casos prácticos, en los que se consideran de manera relevante los conceptos de ahorro de energía, automatización y sustentabilidad, que son realmente en lo que me he especializado profesionalmente en los últimos años.

- *Caso 1 Centro Corporativo Santa Fe.* Es un edificio que fue construido bajo el concepto de un edificio inteligente y después de su ocupación se realizó un análisis del consumo de energía para justificar y plantear nuevas prácticas de uso de los sistemas de iluminación con tecnologías innovadoras.
- *Caso 2 Edificio inteligente Torre Cuadro.* Revisa lo concerniente al concepto de un edificio automatizado, nos metemos a detalle de cómo plantear la automatización a través de un sistema central de monitoreo y control del sistema de aire acondicionado, sistema hidráulico, sistema sanitario y el sistema eléctrico.
- *Caso 3 Uso del Chilled Beam en un edificio verde.* Revisa lo concerniente al concepto de un edificio verde desarrollamos el concepto y llevamos a cabo la justificación para el uso de un sistema de aire acondicionado llamado chilled beam, que nunca antes se ha instalado en México.

Dentro del trabajo se desarrolla a fondo cada uno de los conceptos buscando lo siguientes:

- *Innovación tecnológica.* En su momento cada uno de los edificios presentó soluciones innovadoras, como fue en el caso 1 el uso de balastros electrónicos y así poder dimmear la iluminación en función de las condiciones exteriores.
- *Sustentabilidad.* La idea fundamental es siempre buscar el uso de tecnologías eficientes desde el punto de vista energético y así lograr abatir los costos de mantenimiento futuro.
- *Automatización.* En los tres casos existe un sistema de automatización que permite realizar el monitoreo permanente de los sistemas que integran el edificio.
- *Flexibilidad.* Que los cambios a realizar por las permanentes modificaciones dentro del uso de los espacios tengan el menor impacto posible en las instalaciones.

## CASO I: Centro Corporativo Santa Fe

### 1.1 Introducción

Desde su construcción y hasta 1994, fecha en la que se invitó a *High Tech Services (HTS)*, el Centro Corporativo Santa Fe había venido observando sus patrones en el consumo de energía, de los cuales haciendo un análisis se intuía cierta problemática.

Observando las facturaciones del suministro de energía eléctrica se había considerado que el Factor de Potencia se encontraba en un buen nivel (F.P.>96%), sin embargo, existían problemas con el suministro del voltaje de alimentación (23,000 Volts) por parte de *Luz y Fuerza del Centro (LyFC)* que se tuvieron que realizar análisis de Factor de Potencia en los elementos más importantes del sistema eléctrico.

Fue necesario revisar los sistemas principales consumidores de energía eléctrica como son: aire acondicionado, iluminación y el sistema de cargas (elevadores y sistemas hidráulicos).

### 1.2 Análisis de la demanda y el consumo de energía vigente

Como se indicó, se intuía un problema con el suministro de energía por parte de la empresa LyFC, lo que dio motivo para realizar diversos estudios asociados con la identificación y corrección de dicha problemática. En este orden de ideas, se realizó como se indica enseguida un estudio del Factor de Potencia.

#### **1.2.1 Estudio de factor de potencia**

El Factor de Potencia reportado en las facturaciones eléctricas, indicaba que estaba en buen nivel (F.P. superior al 96%); pero la existencia de problemas en el voltaje de alimentación (de 23,000 Volts) recibido de LyFC, obligó a realizar un estudio y registro de todos los parámetros eléctricos en distintos puntos del Centro Corporativo como fueron: la subestación receptora, la subestación de distribución y algunos otros puntos de mayor carga e importancia. Entre los parámetros registrados estaban:

- Intensidad de corriente por fase,
- Tensión entre fases (tres valores),
- Demanda de energía activa por fase,
- Demanda de energía aparente por fase,
- Demanda de energía reactiva por fase,

- Factor de potencia por fase,
- Distorsión armónica por fase y
- Frecuencia.

Se encontró que en todos los puntos se tenía un factor de potencia razonablemente bueno (ideal FP = 1.0, malo FP < 0.9, bueno/regular  $0.9 \leq FP \leq 0.99$ ); aún así se hacen algunas recomendaciones de instalación de capacitores, como por ejemplo:

En la subestación receptora, para obtener un suministro mejorado de la Potencia Reactiva, así como para obtener una regulación de voltaje en la instalación eléctrica y así poder reducir los costos de energía y mejorar el funcionamiento de motores, transformadores y los balastos de lámparas, ya que éstos últimos son los principales consumidores de *potencia reactiva*, se propone una opción para elevar la tensión de alimentación, por medio de la instalación de un banco automático de capacitores en alta tensión con control por voltaje para elevar este parámetro a su rango normal de 23,000 Volts y que además subirá el factor de potencia, con el fin de llevarlo a un valor cercano a la unidad, disminuyendo el consumo de *potencia reactiva* a un valor por debajo de la penalización impuesta por la compañía que suministra la energía eléctrica, y así poder disminuir los costos en los recibos energéticos y mejorar el funcionamiento del sistema.

Otro caso es el propuesto para el tablero regulado (salida de UPS), donde se indica la necesidad de instalar filtros de armónicas debido a los altos niveles de distorsiones en corriente, inyectando además reactivos capacitores para mejorar el factor de potencia.

Los armónicos provocan distorsiones en las formas de onda de corriente y voltaje, dependiendo del contenido de los mismos es la cantidad de distorsión. Para contrarrestar este efecto es necesaria la presencia de filtros, ya sean activos, pasivos o híbridos.<sup>7</sup>

### ***1.2.2 Sistema de alumbrado de alta eficiencia***

Los sistemas convencionales de alumbrado, generalmente ya consideran equipos de alta eficiencia que proporcionan ahorros de energía, pero las nuevas

---

<sup>7</sup> Guía de diseño de instalaciones eléctricas 08, Capítulo L. Schneider Electric.

tecnologías en iluminación demuestran la conveniencia de sustituir éstos, por equipos de mayor eficiencia que ya existen en el mercado, obteniendo mayores ahorros de energía y reducción de los costos de operación y mantenimiento, debido al incremento en la vida útil de las lámparas y balastos, sin afectar el nivel de luminosidad en los diferentes espacios de trabajo.

La instalación de balastos electrónicos *dimmeables* proporciona una reducción controlada de la iluminación, que en los casos de falla eléctrica o por estrategia de control de la demanda, puede disminuir el consumo de energía, atenuando la iluminación hasta en un 60%.

El comparativo correspondiente se presenta en las tablas 1.1, 1.2, 1.3:

Sistema convencional ahorrador	Sistema instalado (de mayor eficiencia)
Luminaria de 61 x 61 cm. con 4 lámparas de 20 W.	Luminaria de 61 x 61 cm. con 2 lámparas de 36 W (diseño especial)
Lámpara F20T12 (arranque instantáneo, Slimline)	Lámpara fluorescente compacta PL-L36W/41
Balastro electromagnético Mark III (2 balastos por luminaria)	Balastro electrónico Mark VII dimmeable (1 balastro por luminaria)

Tabla 1.1: Comparativo del sistema convencional con el sistema propuesto e instalado.

	Sistema convencional	Sistema propuesto y colocado
Vida útil y disipación de calor de balastos	Mark III = 20,000 hrs. (temperatura de operación 60 °C)	Mark VII = 80,000 hrs. (temperatura de operación 45 °C)

Tabla 1.2: Comparativo de vida útil de balastos y disipación de calor convencional y propuesto y colocado

	Sistema convencional	Sistema Propuesto y colocado
Vida útil de las lámparas	F20T12 = 9,000 hrs	PL-L36W/41 = 10,000 hrs

Tabla 1.3 Comparativo de vida útil de las lámparas

Lo anterior, representó realizar 4 cambios de balastro Mark III por uno de Mark VII

Las ventajas de la sustitución de un balastro electromagnético por uno electrónico en las lámparas fluorescentes son las siguientes:

- Permite que exista regulación (dimmeo) de manera más sencilla.
- Ayuda a corregir el factor de potencia.
- Prolonga la vida útil de las lámparas.
- Incrementa la eficiencia del funcionamiento de la lámpara.
- No existe el ruido generado por los balastos electromagnéticos.
- Proporcionan un encendido instantáneo de las lámparas.

Analizando de forma cuantitativa el consumo de energía en materia de iluminación del Corporativo y considerando los datos recabados, se obtuvieron los siguientes resultados comparativos en términos de consumo y de economía. Los datos que se consideraron fueron los siguientes: el sistema de alumbrado contaba con 3,593 gabinetes (luminarias). Se operaba un promedio de 16 horas diarias de lunes a viernes (de 6 a 22 hrs); los sábados operaba 6 horas (de 8 a 14 horas) y los domingos no operaba, lo cual representaba un total de 86 horas por semana lo que significa 3,949 hr/año. Se tenía una tarifa ordinaria media tensión (O-M).

Beneficios: Cédula de consumo.

Consumo de energía por gabinete	Sistema convencional	Sistema propuesto y colocado
	96 W	80 W

Tabla 1.4 Cédula de consumo. Sistema convencional contra sistema instalado

Demanda/ consumo	Energía	Económico
demanda	57.488 kW	\$ 16,403 / año
consumo	18,918 kWh/mes	\$ 31,719 / año
Ahorros		\$ 48,122 / año

Tabla 1.5 Comparativo de ahorro de energía y ahorro económico

*Ahorro por dimmeo de luminarias periféricas:* Se analizaron los siguientes datos: 810 luminarias existentes en la primera línea periférica posibles de dimmear al 60%, mientras que en la segunda línea existían 420 luminarias posibles de dimmear al 20%, todas ellas durante un periodo de 6 horas al día.

Demanda/ consumo	Energía	económico
demanda	45.6 kW	\$13,011 /año
consumo	7,108 kWh/mes	\$11,918 /año
Ahorros		<b>\$24,929 /año</b>

Tabla 1.6. Comparativo de ahorro de energía y ahorro económico

Par obtener niveles adecuados de iluminación en un espacio de trabajo se debe, en primer lugar, definir el tipo de actividad a realizar en un espacio específico para poder determinar la cantidad de iluminación adecuada. La iluminación recomendada para oficinas corporativas es la siguiente<sup>8</sup>:

- Salas de conferencia: 300-500 lux
- Lobby: 100 lux, recepción: 150 lux, pasillos: 200 lux
- Oficinas generales y privadas: 300 lux a 750 Lux

La orientación de las luminarias es de suma importancia debido a que se evitan los reflejos y deslumbramientos especialmente en espacios de trabajo.

*Ahorro por reducción de temperatura de operación del balastro:* Los balastos electrónicos presentan una gran ventaja en términos de reducción de temperatura de operación con respecto a los balastos electromagnéticos. Debido a que las luminarias estaban disipando más calor, en esa medida se incrementaba el consumo de aire acondicionado, es por ello, que se analizó este caso considerando los datos que a continuación se indican (Tabla 1.7). Y estos ahorros se vieron reflejados en este sistema.

Patrón de consumo	Sistema
50 W/m <sup>2</sup>	100% contactos y alumbrado
30 W/m <sup>2</sup>	60% alumbrado
20 W/m <sup>2</sup>	40% contactos

Tabla 1.7 Valores determinados para el cálculo de la disipación de calor

---

<sup>8</sup> IES Lighting Handbook, Application Volume, 1987, Illuminating Engineering Society of North America.

Para el sistema de aire acondicionado se consideró una carga térmica total de 115 W/m<sup>2</sup>, la cual será abatida por 4 enfriadores de 244 kW cada uno, lo que representa un total de 976 kW. Para el sistema de alumbrado y contactos se consideró una carga de 50 W/m<sup>2</sup>.

También se realizó el análisis en los sistemas de balastos; el balastro Mark III opera a una temperatura de 60°C, mientras que el Mark VII opera a una temperatura de 45°C (véase Tabla 1.8).

Sistema	Disipación calor °C	Consumo por área (W/m <sup>2</sup> )
Mark III	60	30.0
Mark VII	45	22.5
Ahorro	<b>15</b>	<b>7.5</b>

Tabla 1.8 Ahorro por reducción en disipación de calor

El ahorro obtenido en la iluminación también impactó en el ahorro en los enfriadores (sistema de aire acondicionado), involucrando sólo tres de los cuatro existentes.

*Ahorro económico por reducción de la carga térmica*

Demanda/Consumo	Energía	Económico
demanda	47.73 kW	\$ 13,619 /año
consumo	15,707 kWh/mes	\$ 26,335 /año
Ahorros		<b>\$ 39,954 /año</b>

Tabla 1.9 Ahorro en demanda, consumo y económico

- Ahorro por reemplazo de balastos = \$ 32,840 /año
- Ahorro por reemplazo de lámparas = \$ 13,940 /año

## Resumen de Ahorros

-Ahorro por eficiencia	\$ 48,122 /año
-Ahorro por dimmeo	\$ 24,929 /año
-Ahorro en aire acondicionado	\$ 39,954 /año
-Ahorro por reemplazo de balastos	\$ 32,840 /año
-Ahorro por reemplazo de lámparas	\$ 13,940 /año
Total	\$ 159,785 /año

Tabla 1.10 Resumen de ahorros.

*Inversión:* Se considera la diferencia entre el sistema convencional y el sistema instalado.

Sistema convencional		
Balastro Mark III	= \$ 60.00	Por gabinete = \$ 120.00
Lámpara F20T12	= \$ 16.25	Por gabinete = \$ 65.00
Total		= \$ 185.00

Tabla 1.11 Análisis económico del sistema convencional

Sistema instalado:		
Balastro Mark VII	= \$ 295.00	Por gabinete = \$ 295.00
Lámpara F20T12	= \$ 31.20	Por gabinete = \$ 62.40
Total		= \$ 357.40

Tabla 1.12 Análisis económico del sistema propuesto e instalado

$$\text{Incremento total de la inversión} = 3,593 \text{ gab.} \times (357.4 - 185.0) = \$ 619,433$$

$$\text{Tiempo simple de recuperación (T.S.R)} = (\$619,433)/(\$159,785/\text{año}) = 3.9 \text{ años}$$

El cambio del sistema convencional por el sistema instalado, representa una reducción del nivel de iluminación que se muestra a continuación:

$$\text{Sistema convencional} = 68 \text{ lm/W} \times 96\text{W} = 6,528 \text{ lúmenes}$$

$$\text{Sistema instalado} = 81 \text{ lm/W} \times 80\text{W} = 6,480 \text{ lúmenes}$$

Porcentaje de reducción =  $[(6,528 - 6,480) / 6,528] \times 100\% = 0.73\%$  (menor al 1%)

El Porcentaje de reducción en el sistema instalado no representa un descenso importante en niveles de iluminación ya que es menor al 1% y a que se respeta la luminosidad (lux) requerida para los diferentes espacios de trabajo en oficinas.

Cabe mencionar que el sistema de alumbrado estaba basado principalmente en lámparas fluorescentes, aunque en ocasiones por cuestiones decorativas, se instalaron lámparas incandescentes para crear ambientes creativos y confortables, acentuando las texturas de los objetos y lograr que los muebles luzcan más llamativos y atractivos; sin embargo, no olvidando nuestro objetivo, se buscó dentro de la categoría de luz incandescente la luz halógena, la cual es más blanca que la luz incandescente estándar, teniendo una temperatura de color de 3,000 K, mayor vida útil (hasta 3,000 horas de uso), bajo costo de mantenimiento, ahorro de energía y un mayor flujo luminoso. Entre las lámparas halógenas instaladas se pueden citar las de bajo voltaje MR-16 y lámparas reflectoras PAR.

Dentro de los otros tipos de lámparas instaladas, se tenían 15 lámparas de aditivos metálicos de 175 Watts y 54 lámparas de vapor de sodio de alta presión de 35 Watts, las cuales tenían las más altas eficiencias (125 lúmenes por Watt).

### ***1.2.3 Uso de sistemas de volumen de aire variable (VAV)***

Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) representan una parte muy importante de los costos de operación de los edificios. Si aseguramos que estos sistemas trabajen con máxima eficiencia habremos conseguido importantes ahorros. La clave para identificar las oportunidades de eficiencia energética en sistemas HVAC es comprender el perfil de operación del sistema que se refiere al calentamiento y enfriamiento.

Los sistemas convencionales de aire acondicionado son del tipo multi-zona y consisten de *unidades manejadoras de aire* (UMA). Y aunque este sistema brinda un buen control climático, desperdicia gran cantidad de energía y de manera constante debido a que los ventiladores (UMA's) operan continuamente a las condiciones máximas de diseño, no tomando en consideración que la mayoría de los edificios típicamente operan a plena carga menos del 5 % del tiempo y emplean la mayoría de las horas de operación en cargas cuyo rango va del 40 % al 70 % de su capacidad de carga total.

Para reducir el uso de energía en el sistema multi-zona se empleó la estrategia de convertirlo a un sistema de tipo *volumen de aire variable* (VAV). Ya que los sistemas VAV reducen significativamente los requerimientos de energía

Este sistema consiste en suministrar aire frío a cada planta, desde una manejadora de aire (UMA), y a través de ductos de lámina y terminales (cajas de volumen variable), hasta cada espacio las terminales controlarán el suministro de aire a cada local, para neutralizar la carga térmica, y como el volumen de aire es proporcional a la carga térmica, se reduce ésta, por la variación en la incidencia de los rayos del sol sobre los cristales, variando la temperatura exterior, por un bajo nivel de alumbrado o por bajo nivel de ocupación. El volumen de aire requerido se reducirá al mínimo necesario, ya que el sistema es auto-ajustable.

Al disminuirse los factores anteriores se reducirán las necesidades de aire en las diferentes áreas, lo cual será detectado por el sensor de temperatura (termostato de cuarto), que se instalará en cada zona. El sensor de temperatura cerrará parcialmente la compuerta de la caja de control de volumen por medio de un operador electrónico, que son suministradas por la caja. Al cerrarse las cajas crean presión en el ducto principal, en el cual se instalará un sensor diferencial de presión, para que opere al variador de frecuencia, que gobierna la velocidad del motor y por ende la del ventilador de la manejadora que alimenta de aire al ducto, consiguiendo un ahorro energético significativo cuando el sistema de HVAC requiere menos de un 100 % de uso.

El gasto volumétrico de aire se controla en las cajas terminales y la velocidad del ventilador debe responder a los requerimientos del sistema. Debido a que la capacidad del ventilador es directamente proporcional a su velocidad y la potencia requerida es proporcional al cubo de la velocidad, ésta debe disminuir cuando el gasto volumétrico decrece. Para estos sistemas la fuente de potencia ideal es el motor eléctrico de velocidad variable.

El sistema de control para un *volumen de aire variable* VAV recibe señales de termostatos ubicados en las zonas acondicionadas y acciona abanicos (colocados en o cerca de la zona) para regular el flujo de aire frío y mantener la temperatura deseada en las zonas. Si la temperatura en la zona sube, el termostato envía una señal al sistema de control para abrir los abanicos y permitir mayor flujo de aire.

Otra muy buena razón para usar los sistemas VAV (figura 1.1) es el potencial de ahorro de energía al operar los sistemas a cargas parciales, lo cual deriva en otros dos beneficios adicionales. Uno es la reducción del volumen de aire mediante el variador de frecuencia y como consecuencia menor consumo del motor del ventilador. El segundo es la reducción del flujo de aire a través del serpentín de enfriamiento lo cual ocasiona que el sistema de refrigeración disminuya su capacidad para estabilizar la temperatura del aire primario, y como consecuencia

un ahorro de energía en refrigeración comparado con una operación a plena carga.



Figura 1.1 Sistema *volumen de aire variable* (VAV)

#### ***1.2.4 Sistema de control inteligente para el control de demanda y rolado de carga***

La característica del control de demanda (DL) y rolado de carga (LR) es la de reducir el costo por consumo de energía por medio de deshabilitar cargas. Las cargas son físicamente equipos que el control DL/LR apaga. El control de demanda (DL) trabaja con los picos de demanda, el rolado de carga (LR) trabaja con el total de la demanda, reduciendo los costos por consumo del edificio.

El control de carga actúa generalmente sobre las cargas que consumen energía eléctrica. Para usar DL/LR, se definen grupos de cargas y dentro de estos grupos se asocian cargas, según las características del edificio.

Para esta aplicación se definen cuatro grupos con 500 cargas (como máximo) dentro del grupo.

*Proceso del control de demanda (DL)* : El control de demanda repite cada minuto lo siguiente:

1. DL toma la lectura de los KW.
2. DL proyecta el intervalo de demanda para el consumo. Si no existen cargas disponibles para reducir el consumo, el proceso genera un reporte cuando el promedio excede el límite establecido.

3. Si la demanda proyectada está sobre el pico de demanda establecido, DL calcula la corrección requerida. Esta corrección es el objetivo del proceso para reducir el consumo.
4. Si la demanda proyectada está sobre el consumo establecido, el proceso selecciona cargas disponibles con prioridad 4, hasta que se alcanza el objetivo. El proceso constantemente rota las cargas para rehabilitarlas.

El proceso no actúa sobre las cargas si:

- La carga está asegurada.
  - La carga está deshabilitada, fuera de línea o en alarma.
  - La carga está apagada
  - La carga está controlada por una prioridad más alta.
  - La carga ha sido encendida en un tiempo menor del especificado en el tiempo mínimo de encendido.
  - La carga está habilitada, en línea y en alarma
  - Las cargas han sido rehabilitadas por los proceso de DL/LR y están dentro del límite establecido para el tiempo mínimo de restablecimiento.
5. Si el proceso está habilitado y las cargas con prioridad 4 no satisfacen el objetivo, se habilitan las cargas disponibles con prioridad 3 hasta que satisface el objetivo.
  6. Si aún no se llega al objetivo, el proceso habilita las cargas con prioridad 2 y luego prioridad 1.
  7. Si el proceso no alcanza el objetivo aún con todas las prioridades habilitadas, se genera una alarma indicando que no se puede alcanzar el objetivo; una vez que se está alcanzando el objetivo se genera una alarma indicando que el proceso está en condiciones normales de trabajo.
  8. También se pueden seleccionar cargas manualmente para reducir el consumo. Para ello se escogen las siguientes cargas:
    - Las cargas que no estén habilitadas o controladas por el proceso de DL.
    - Aquellas cargas que reflejen considerablemente el consumo en el medidor.
  9. El proceso compara el intervalo de tiempo de cada carga que ha sido seleccionada para disminuir el consumo, con el mínimo tiempo de selección. Cuando este tiempo es alcanzado, el proceso verifica: el override de confort, si es especificado, los reportes de estatus en línea, habilitado y alarma, entonces el proceso rehabilita la carga.
  10. El proceso compara el intervalo de tiempo de cada carga que ha sido seleccionada para disminuir el consumo con el máximo tiempo de

selección, cuando este tiempo ha sido alcanzado el proceso deshabilita la carga.

*Proceso del rolado de carga (LR):* El rolado de carga repite cada minuto lo siguiente:

1. El proceso suma la relación de carga, para las cargas seleccionadas en la prioridad 3 de DL.
2. Si el ahorro del proceso está debajo del establecido, el proceso selecciona las cargas con prioridad 3 del proceso DL, hasta alcanzar el valor establecido.

El proceso LR no selecciona las cargas si:

- La carga está asegurada
  - La carga está deshabilitada, fuera de línea o en alarma
  - La carga está apagada.
  - La carga está controlada por una prioridad más alta.
  - La carga ha sido encendida en un tiempo menor del especificado en el tiempo mínimo de encendido.
  - La carga está habilitada, en línea y en alarma.
  - Las cargas han sido rehabilitadas por los procesos de DL/LR y están dentro del límite establecido para el tiempo mínimo de restablecimiento.
3. Si el proceso no alcanza el objetivo con la prioridad 3, se genera una alarma indicando que no se puede alcanzar el objetivo; una vez que se está alcanzando el objetivo, se genera una alarma que indica que el proceso está en condiciones normales de trabajo.
  4. El proceso compara el intervalo de tiempo de cada carga que ha sido seleccionada para disminuir el consumo con el mínimo tiempo de selección. Cuando este tiempo es alcanzado el proceso verifica el override de confort, si es especificado, los reportes de estatus en línea, habilitado y alarma, entonces el proceso rehabilita la carga.
  5. El proceso compara el intervalo de tiempo de cada carga que ha sido seleccionada para disminuir el consumo con el máximo tiempo de selección, cuando este tiempo ha sido alcanzado, el proceso deshabilita la carga.

Se determinó cuál era el ahorro, cuando cada carga era necesaria para los ocupantes o el proceso.

Los procesos de DL/LR operan con el principio de que algunas cargas no son críticas o no siempre son requeridas bajo ciertas circunstancias. Por ejemplo se puede determinar:

- Los ventiladores que han estado operando por una hora se pueden apagar normalmente, por un lapso de 10 minutos ó más.
- Una unidad manejadora de aire puede ser apagada normalmente 15 minutos antes de que se sienta algún cambio en el área a acondicionar.
- Iluminación decorativa no debe ser un valor adicional al costo asociado con el pico de demanda.

#### *Relación de cargas:*

Para el proceso DL/LR se seleccionan las cargas de una forma tal que se satisfaga el objetivo determinado, es necesario que se determine el porcentaje de la relación de cada carga. El ahorro esperado se identifica una vez seleccionada una carga. Por ejemplo un ventilador se debe relacionar con una carga de 10kW.

#### *Rolado de cargas:*

- Para determinar las cargas que consumen energía, por ejemplo ventiladores y bombas:
- Asignar una prioridad 3, esto significa que estas cargas son candidatos para los proceso de DL y LR.

#### *Limitador de demanda:*

- Determinar las cargas que pueden aplazar, pero no reducen el consumo de demanda.
- Identificar las cargas que puedan aplazar sin impactar significativamente el consumo de demanda, durante los periodos que puedan tener horario o bajo condiciones que se puedan definir.
- Si el impacto de las cargas es mínimo se asigna una prioridad de 4.
- Si el impacto de las cargas es poco mayor a las anteriores se asigna una prioridad de 3 ó 2.
- Revisar todas las cargas que no tengan prioridad, identificando cual podría ser seleccionada como último recurso para reducir cargos en el consumo de energía y asignar una prioridad de 1.

#### Establecimiento de tiempos de selección:

- Tiempo que puede una carga ser apagada antes de que genere algún problema al proceso.
- Una vez deshabilitada la carga por el proceso, ésta podrá ser rehabilitada pasando la etapa crítica.
- Necesidad de requerir un override para interactuar la carga en casos especiales.

Demanda posible de controlar = 365.65 kW (en el peor de los casos: 182.83 kW).

*Beneficios:*            Ahorro en demanda = \$ 52,167 /año  
                              Ahorro en consumo = \$ 31,856 /año  
                              Ahorro Total = \$ 84,023 /año

*Inversión:*            La inversión ya está incluida en el sistema de automatización (sistema inteligente)

#### Acciones y medidas incluidas en el Sistema Inteligente:

- a) Control del encendido y apagado de luminarias en todas las áreas, para iluminar sólo las zonas que lo requieran.
- b) Programa de control de equipos de aire acondicionado a base de termostatos en cada de volumen de aire variable (VAV), teniendo una regulación óptima y sin desperdicios de energía, por la medición real de la temperatura.
- c) Programa de control de equipos de aire acondicionado a base de controles de velocidad ajustada que operan a cargas parciales, reduciendo el consumo de energía a valores reales de carga.
- d) Planeación de paros de equipos de fuerza y de alumbrado, reduciéndolas demandas máximas elevadas y por ende los altos costos de demanda eléctrica.
- e) Registros sistematizados de los consumos eléctricos diarios, a través de PC del cuarto de control.
- f) Análisis de pérdidas de energía en los transformadores, por medio de la medición de temperatura del aceite, y mandar una señal en caso de pasar la temperatura de diseño.

### 1.3 Políticas para el ahorro de energía

Se consideró la sugerencia y en su caso implementación de las siguientes medidas con el objeto de incentivar el ahorro de energía.

1. Eliminación de horarios nocturnos para utilizar más eficientemente la luz natural
2. Realización de la limpieza por secciones para evitar encender todo el edificio.
3. Los sistemas operativos para el ahorro de energía, fueron integrados en el sistema inteligente, el cual opera en base a set point establecidos previamente, permitiendo atenuar carga (dimmeo de luminarias) o paro total de cargas, para evitar rebasar la demanda máxima fijada.

### 1.4 Acciones correctivas

Las medidas aplicadas son el resultado de la experiencia acumulada en cuestiones de sistemas de control, automatización y oportunidades de ahorro de energía en edificios, por la empresa consultora HTS, fungiendo como asesora desde el inicio del proyecto.

- a) Alumbrado de alta eficiencia tanto para áreas de trabajo como en las áreas decorativas.
- b) Balastros electrónicos dimmeables para la atenuación de la carga
- c) Optimización del uso del aire acondicionado. Uso de variadores de velocidad electrónicos para proporcionar la energía correspondiente a la carga requerida, sin derroche de ella.
- d) Uso de cajas de volumen de aire variable y termómetros en cada área para proporcionar las condiciones de confort óptimas mínimas requeridas por el personal y los sistemas computarizados.
- e) Control de las cargas por programas establecidos de reducción de la demanda eléctrica.
- f) Instalación de válvulas de 3 vías en el sistema de agua helada del aire acondicionado, evitando la re-circulación de agua helada, cuando no se requiera.
- g) Toma de temperaturas de los transformadores, para el análisis de pérdidas de energía.
- h) Registro de lecturas de consumo de energía en el cuarto de control.

## 1.5 Monitoreo y análisis de indicadores

La eficiencia del uso de energía en edificios comerciales de oficinas, se ilustra mejor en términos de uso anual de energía por unidad de área.

El Corporativo Santa Fe contaba en 1995 con una área total construida de 61,330 m<sup>2</sup> (660,150 ft<sup>2</sup>). Debido a que se trataba de un edificio nuevo sólo el 85% del edificio estaba ocupado (561,128 ft<sup>2</sup>), además la carga eléctrica se estaba estabilizando, por lo que se tomaría el último mes facturado, el cual es el valor máximo registrado, en el periodo de operación.

El consumo máximo registrado fue en el mes de abril de 1995, alcanzando un valor de 588,000 kWh. Los parámetros nacionales e internacionales, se encuentran en unidades americanas; por lo que, se haría su conversión en

$$\text{BTU} = 7'056,000 \text{ kWh/año} = 7.225 \times 10^{10} \text{ BTU/año}$$

Indicador = Energía anual / área construida

Parámetro eléctrico = 12.57 kWh/ft<sup>2</sup> anual. En el sistema inglés= 128,758 BTU/ft<sup>2</sup> anual

*( "Fuente BTU" denota la energía del combustible necesario para producir la energía utilizada en un edificio. La fuente de energía es proporcional al costo de la energía pero, a diferencia del costo, la fuente de energía permite que el funcionamiento del edificio se compare de un año al otro sin considerar la inflación. La electricidad, por ejemplo, requiere unos 10,239 Fuente BTU en la planta generadora para producir un kWh en el usuario.*

## 1.6 Innovación y mejora

El objetivo fue revisar de forma periódica las inversiones en modernización tecnológicas en el campo de equipamiento.

1. Con base en el sistema inteligente, se pueden obtener los registros sistematizados de los consumos de energía eléctrica de los transformadores principales.
2. Con base en el sistema Metasys<sup>9</sup> del sistema inteligente, se opera el control de demanda y rolado de cargas, manteniendo al mínimo valor establecido la demanda.

---

<sup>9</sup> Metasys es una arquitectura de control, desarrollada por Johnson Controls

3. Se encuentran instalados termómetros, que le indican al sistema inteligente la carga en que operarán las cajas de volumen de aire variable y éstas a su vez, indican a las unidades manejadoras el porcentaje de carga a operar por medio de la presión estática de los ductos de aire acondicionado.
4. Se tienen instalados sensores de presencia en las oficinas, para el control del personal.

## CASO 2: Torre Cuadro

### 2.1 Introducción

A mediados de los años 90 se hace necesario empezar a considerar la interrelación que existe entre la construcción de inmuebles y los ahorros económicos que no necesariamente se reflejaban en la disminución de los presupuestos y/o en la calidad de los materiales sino en la operación misma del día a día. Por ello, se trata de encontrar los métodos y las tecnologías que permitieran, desde su operación cotidiana, generar ahorros, propiciaran la actualización y la innovación.

En el trabajo realizado en esta Torre Cuadro, se pone de manifiesto esa intención. Se hizo una ingeniería que considera la concentración de distintos sistemas que consumen energía en un solo sistema, de tal manera que se permitiera la supervisión y control; la toma de medidas preventivas y correctivas desde un solo sitio tanto físico como lógico.

Fue necesario contar con sistemas que ayudaran a generar un ambiente de trabajo productivo y eficiente el cual redujera los costos de supervisión, control, operación, mantenimiento y consumo de energía, por ello se emplearía la automatización con la que a través de la optimización de sus elementos básicos (aire acondicionado, eléctrico e hidráulico) ayudara a los propietarios, operadores y ocupantes a realizar sus propósitos en términos de costo, confort, comodidad, seguridad y flexibilidad.

El sistema de automatización controla y monitorea los parámetros de operación de los diversos componentes tales como: sistema de aire acondicionado, eléctrico e hidráulico (que incluye unidades manejadoras de aire (UMA), unidades *generadoras de agua helada* (Chillers), ventiladores de extracción, equipos de precisión (Liebert), unidades lavadoras de aire y bombas de agua helada, tableros eléctricos, planta de emergencia, subestación, bombas de agua, cisternas y cárcamos.

El trabajo, en consecuencia, muestra un panorama general sobre el diseño y desarrollo del proyecto de Ingeniería de Automatización de los sistemas de aire acondicionado, hidráulico y eléctrico, considerando criterios, recomendaciones, lineamientos, estándares y normas nacionales e internacionales así, como las necesidades y especificaciones generales y particulares.

El edificio, está conformado de la manera siguiente: se diseñó estructuralmente con 12 niveles (proyecto ejecutivo completo), construidas 11 plantas más azotea y albergaría:

- Sótano 2, estacionamientos
- Sótano 1, estacionamientos
- Planta conjunto
- Planta baja
- Primer nivel.
- Segundo nivel.
- Tercer nivel.
- Cuarto nivel.
- Quinto nivel
- Sexto nivel
- Séptimo nivel
- Octavo nivel, nivel de crecimiento
- Azotea

El objetivo de la automatización consiste en obtener un control automático de los sistemas que se integran. Cada sistema por sí mismo genera información crítica de operación. Por ello, toda la información de todos los sistemas es recolectada en un histórico capaz de registrar y graficar los diferentes parámetros del sistema como un todo.

El sistema de monitoreo central concentra toda la información de los diferentes sistemas de automatización y muestra las condiciones de operación, alarmas y tendencias de monitoreo y en algunos equipos, información sobre comandos de operación.

El operador conoce los equipos y accesorios que controlan cada uno de los equipos del sistema de aire acondicionado, y monitoreo de equipos en los sistemas hidráulicos y eléctricos

## 2.2 Sistemas automatizados

Los sistemas que se integran a una automatización única o central (Figura 2.1) son:

- Aire acondicionado
- Eléctrico
- Hidráulico

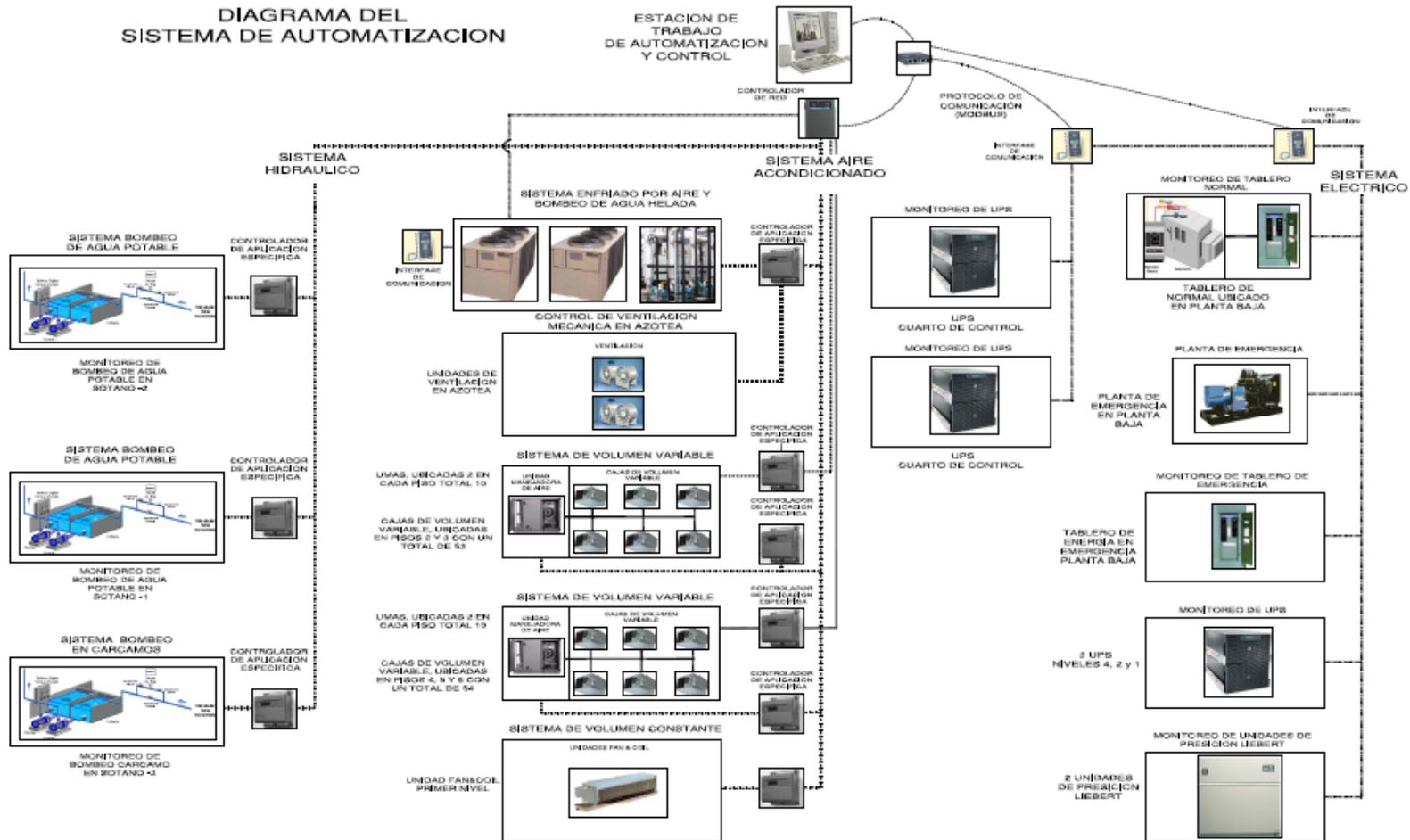


Figura 2.1 Diagrama de Sistema de Automatización

Esta integración tuvo el propósito de obtener beneficios económicos, ambientales y tecnológicos para el usuario, el propietario y los operadores. Se podría decir entonces que este sistema es una de las mayores herramientas para convertir a un inmueble en un edificio inteligente.

### *2.2.1 Características de los sistemas automatizados*

El sistema tiene la capacidad de autonomía, ordenando arranque y paro de equipos, presentando en forma clara las incidencias, comprimiendo y racionalizando los costos de pérdida de tiempo, permitiendo el control de todas las instalaciones en ausencia de personal especializado preseleccionando las alarmas urgentes y comunicándolas al personal de guardia en forma clara y precisa permitiendo aligerar los costos relacionados con los equipos de mantenimiento; estos sistemas regulan también el mantenimiento preventivo a través de una programación preestablecida logrando reducir el número de reparaciones inesperadas y los tiempos muertos de maquinarias y equipos.

Por lo anterior, se cuenta con un equipo moderno tecnológicamente hablando, capaz de conseguir los siguientes factores.

- Supervisión total de todas las instalaciones por una persona desde un punto de control (centro de control)
- Mayor seguridad al centralizar un elevado número de alarmas.
- Mínimo tiempo de respuestas a las alarmas y averías, al presentarse la información plenamente interpretada en el cuarto de control, permitiendo al operador, personal de mantenimiento y seguridad una actuación inmediata. El sistema posibilita la solicitud autónoma, de ayuda exterior.
- Control de grado de confort debido a la constante supervisión de las condiciones ambientales y la inmediata actuación sobre los elementos que las controlan.
- Ahorro energético como consecuencia de su poder de actuación inmediata en aquellos puntos en que las instalaciones han dejado de ser aprovechadas o donde existe un exceso de consumo respecto de las necesidades, o alejamiento de los parámetros de funcionamiento.
- Mantenimiento preventivo de las instalaciones, como consecuencia de la mejor vigilancia sobre el sistema y de la posibilidad de actuar desde el panel.
- Disminución de averías como consecuencia de la constante supervisión de los equipos por el sistema.
- Disminución del tiempo de búsqueda de averías, dado que el equipo las señala inmediatamente al producirse éstas.

- Análisis y valoración de rendimientos a partir de los datos almacenados, obteniendo diversos estudios referentes a consumo, tiempo de funcionamiento de equipos, frecuencia de averías, etc.
- Optimización del sistema al utilizar racionalmente instalaciones con el grado óptimo de aprovechamiento y conservación.

### *2.2.2 Arquitectura del sistema*

*Principales elementos del sistema:* El sistema consta de una estación de trabajo permanente, un controlador central de red y una red primaria (Figura 2.2) que los comunica y en la cual se pueden agregar estaciones adicionales si se requieren. Desde este punto neurálgico, comienza una red de comunicación a, y entre *controladores de aplicación específica* (CAE's), así como a interfaces especiales para equipos periféricos (planta de emergencia, subestación y tableros de Iluminación).

Una red secundaria desde controladores, permite la comunicación con la instrumentación de los equipos, la cual permite la implementación de estrategias de monitoreo y control para automatizar la operación de las instalaciones del inmueble de manera eficiente. Dado que la programación de operación de los equipos reside en los CAE's, el sistema funciona aún si uno o más controladores salen de operación o se interrumpen las líneas de comunicación.

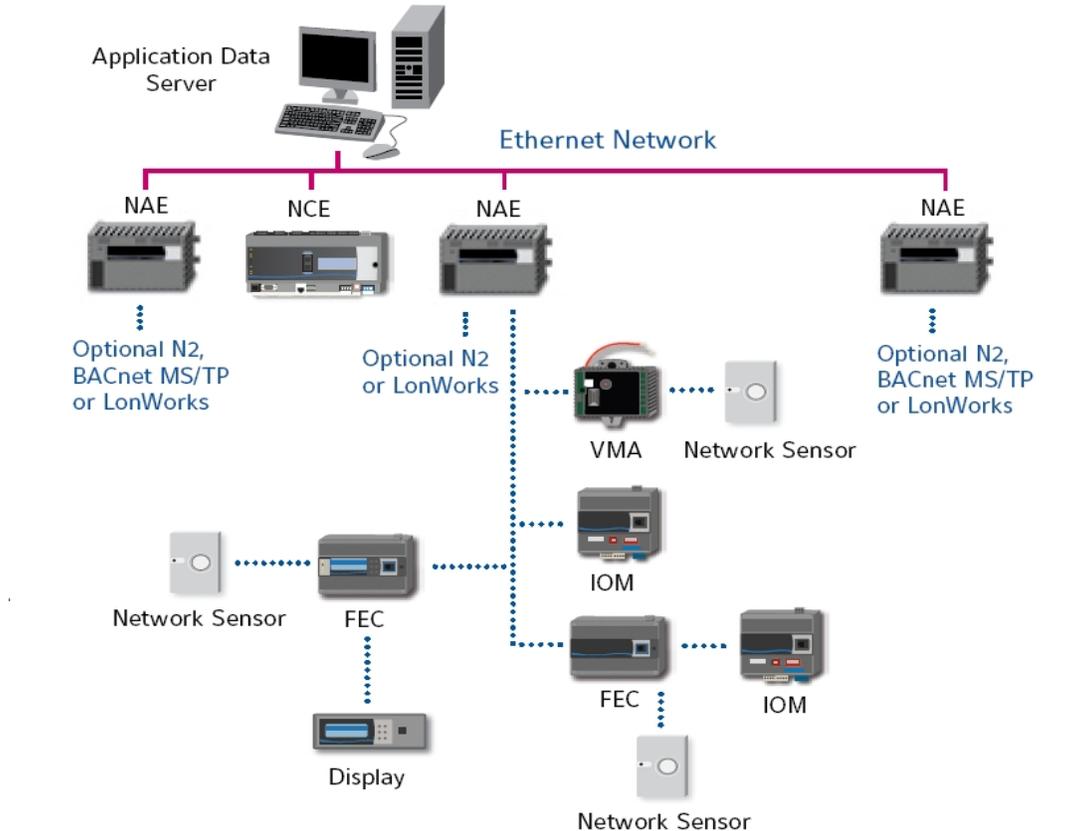


Figura 2.2 Esquema de los elementos principales del sistema

Los equipos de control y monitoreo (controladores de aplicación específica), se alojan junto a los equipos de aire. Tomando los parámetros de operación de cada uno de ellos, se definen los parámetros a monitorear y las acciones necesarias a controlar, con el propósito de tener un óptimo funcionamiento de los sistemas.

## 2.3 Componentes del sistema de automatización

### 2.3.1 Centro de control

El cuarto de control central, cuenta con una computadora, impresora de eventos donde se exhiben, mediante listados, los parámetros de los equipos e instalaciones, con el propósito de llevar registro y estadística del estado de los equipos y sus insumos. Adicionalmente, se registra el historial del comportamiento de cualquier equipo y el acumulado de tiempo caído de las diferentes componentes de las instalaciones (Figura 2.3).

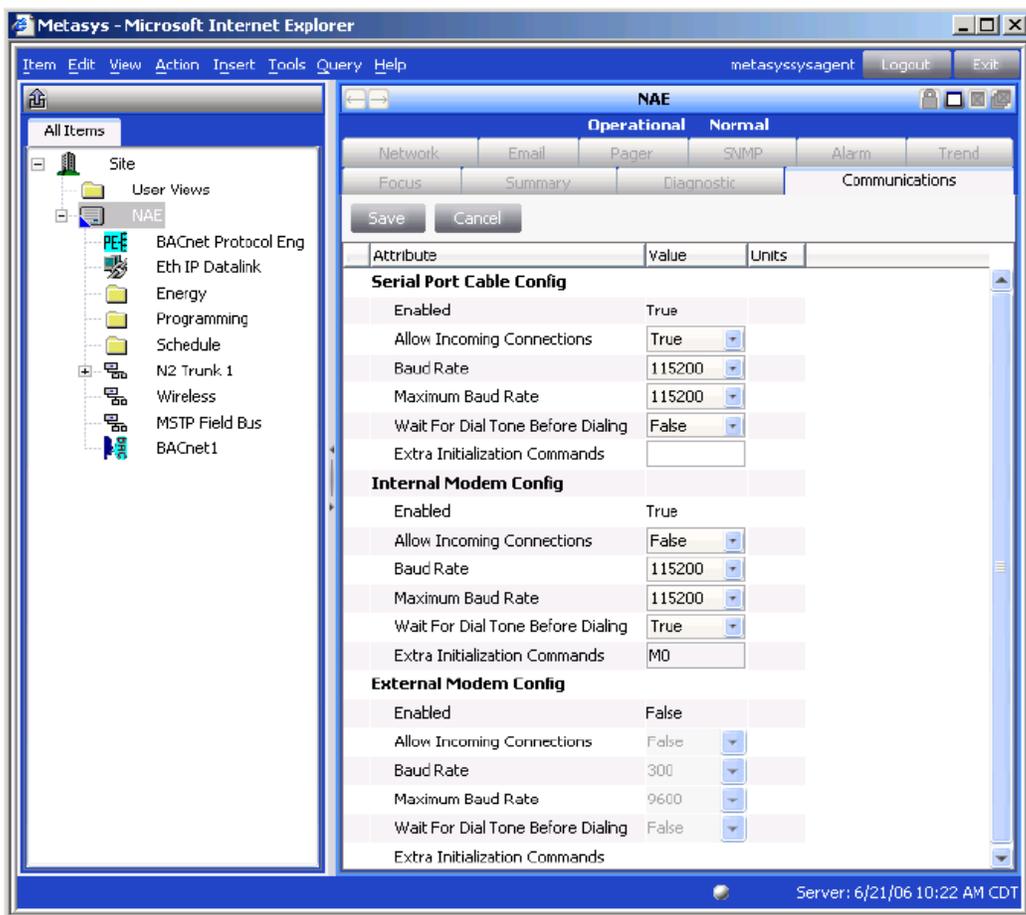


Figura 2.3 Control de Red NAE.

El cuarto está provisto de alimentación eléctrica para los equipos a instalarse. También cuenta con aire acondicionado para dar confort y ayudar a disipar el calor generado por el equipo. La iluminación es difusa con la coloración e intensidad necesaria para un trabajo continuo sin que produzca deslumbramientos ni reflejos molestos en la superficie de las pantallas de los monitores.

### 2.3.2 El controlador de red

El controlador de red (NAE), es el “administrador del edificio” de todo el sistema de automatización (Figura 2.4), ya que en él se concentran las señales enviadas desde todos los controladores de aplicación específica (CAE’s), y tiene como funciones:

- Coordinar los equipos
- Controlar horarios de funcionamiento
- Controlar los equipos
- Recibir las alarmas y eventos
- Administrar las comunicaciones remotas

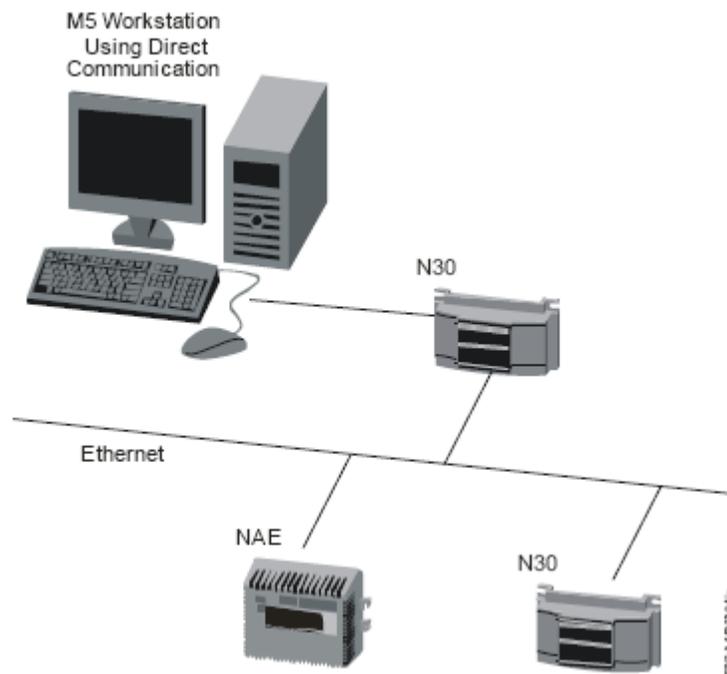


Figura 2.4 Controlador de red

### 2.3.3 Comunicación

Todos los controladores (CAE's) y la estación de trabajo se encuentran en una red de comunicación BACnet Network local, que permite la intercomunicación directa entre ellos (Figura 2.5). El intercambio de datos, señales de control, de sincronización y alta o baja de cambios se basa en una identificación lógica de

cada equipo y puede llevarse a cabo desde cada elemento en la red (con las claves de acceso adecuadas), sin estar restringido por el hardware o por el manejo del sistema.

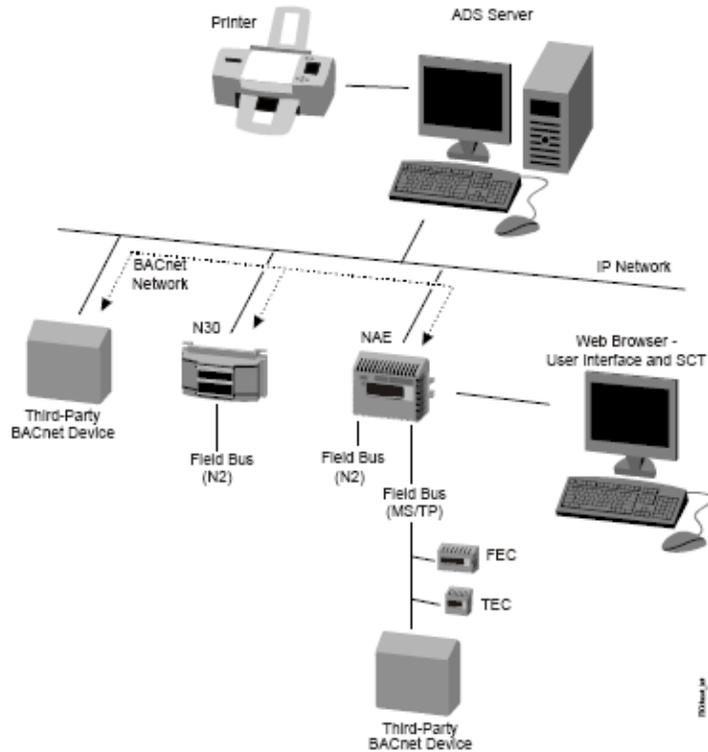


Figura 2.5 Comunicación de red

Desde el Cuarto de Control Central se origina la Red Primaria BACnet Networks (Ethernet) de comunicación a, y entre Controladores de Aplicación Específica (NAE), así como a interfaces especiales para equipos periféricos, (como en el caso de las unidades generadoras de agua helada, UPS, Lieberts, planta de emergencia, TGE, TGN, etcétera).

Una Red Secundaria Field Bus (MS/TP) desde el control NAE hace posible la comunicación entre los controladores de campo y la instrumentación de los equipos, lo que permite la implementación de estrategias de monitoreo y control para automatizar la operación de las instalaciones del inmueble de manera eficiente.

Los tipos de red que integran la totalidad del sistema son:

- De controlador de red a estación de trabajo: BUS BACnet Network (Ethernet)
- De controlador de red a controladores unitarios y entre ellos: Field BUS BACnet (MS/TP) (cable torcido y blindado)
- De controladores unitarios a instrumentación correspondientes: Señal analógica o binaria (cable torcido y blindado)
- De tableros de iluminación maestros a tableros de iluminación esclavos UTP cat-5e.

El diseño de la red cuenta con las siguientes características:

- Alta velocidad de transferencia (MS/TP 19,200 bps) para el reporte de alarmas, rápida generación de reportes para múltiples controladores y el cargado o descargado eficiente entre dispositivos de la red.
- Soportar cualquier combinación de controladores y estaciones de trabajo.
- Detección de fallas en los dispositivos residentes en la red. Es capaz de reconfigurar automáticamente los dispositivos para la ejecución de funciones especificadas.
- Capacidad de almacenar mensajes de alarmas para prevenir que la información se pierda.
- Detección de errores, corrección y retransmisión para garantizar la integridad de la información.
- Definición automática de dispositivos para prevenir pérdidas de alarma e información, y restablecimiento del reporte de alarmas en caso de que un dispositivo operacional no responda.
- Los componentes de la red y protocolos permiten el acceso con otras aplicaciones en red. El sistema usa protocolos industriales estándares.

### *2.3.3 Protocolos de comunicación*

Un punto muy importante para la configuración de un sistema de automatización y control es el protocolo en el cual trabaja cada uno de los equipos de los diferentes sistemas a monitorear/controlar.

Un protocolo de comunicación es en general, como un idioma, un conjunto de convenciones que gobiernan el formato y el tiempo de intercambio de mensajes entre dos entidades que se están comunicando. Los fabricantes de sistemas de control basado en microprocesadores han establecido métodos de comunicación propios.

Un protocolo abierto continúa siendo un protocolo, pero a diferencia de los protocolos propios, éste es publicado por un vendedor, para que esté abierto a proveedores de otras marcas que deseen usarlo para establecer comunicación con sus productos. El mayor propósito de esto es el interés comercial para integrar estos controladores a los suyos con el objeto de comunicar los controles de cada especialidad de manera coordinada, a esto se le conoce como interoperabilidad, que es la posibilidad de conectar sistemas de control de diferentes proveedores en un sistema central de automatización para que funcionen organizadamente.

Para hacer integraciones según las necesidades del inmueble, con la tranquilidad de que se emplea un estándar que permite certificar el nivel de cumplimiento de los productos, y sin el inconveniente de “atarse” a una sola marca, se han establecido dos protocolos abiertos:

Protocolo BACnet: desarrollado y publicado por ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado). Es el protocolo para elaborar una red de Controles de Automatización de edificio y control de aplicaciones tales como calefacción, ventilación y control del aire acondicionado, control de la iluminación, control de acceso y sistemas de detección de incendio y equipos asociados.

Este protocolo permite integraciones a través de redes Ethernet y protocolo TCP/IP que permite su uso en Internet; punto a punto sobre RS-232; Master-Slave/Token-Passing; sobre RS-485.

Protocolo Modbus: es un protocolo de comunicaciones basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (PLCs). Convertido en un protocolo de

comunicaciones estándar en la industria es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales. Las razones por las cuales el uso de Modbus es superior a otros protocolos de comunicaciones son:

- Es público
- Su implementación es fácil y requiere poco desarrollo
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones

Modbus permite el control de una red de dispositivos, por ejemplo un sistema de medida de temperatura y humedad, y comunicar los resultados a un ordenador. Modbus también se usa para la conexión de un ordenador de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión adquisición de datos (SCADA). Existen versiones del protocolo Modbus para puerto serie y Ethernet (Modbus/TCP).

Existen dos variantes, con diferentes representaciones numéricas de los datos y detalles del protocolo ligeramente desiguales. Modbus RTU es una representación binaria compacta de los datos.

La versión Modbus/TCP es muy semejante al formato RTU, pero estableciendo la transmisión mediante paquetes TCP/IP. Cada dispositivo de la red Modbus posee una dirección única. Cualquier dispositivo puede enviar órdenes Modbus, aunque lo habitual es permitirlo sólo a un dispositivo maestro. Cada comando Modbus contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden. Todos los dispositivos reciben la trama pero sólo el destinatario la ejecuta (salvo un modo especial denominado "Broadcast").

### 2.3.4 Software

El software del sistema adquiere una gran importancia, dado que es a través de él, que el operador tiene la posibilidad de cambiar parámetros de ajuste en los equipos (con privilegios de administrador), cambiar secuencias de operación y en general modificar las condiciones de control de cada uno de los sistemas controlados/monitoreados (figura 2.6).

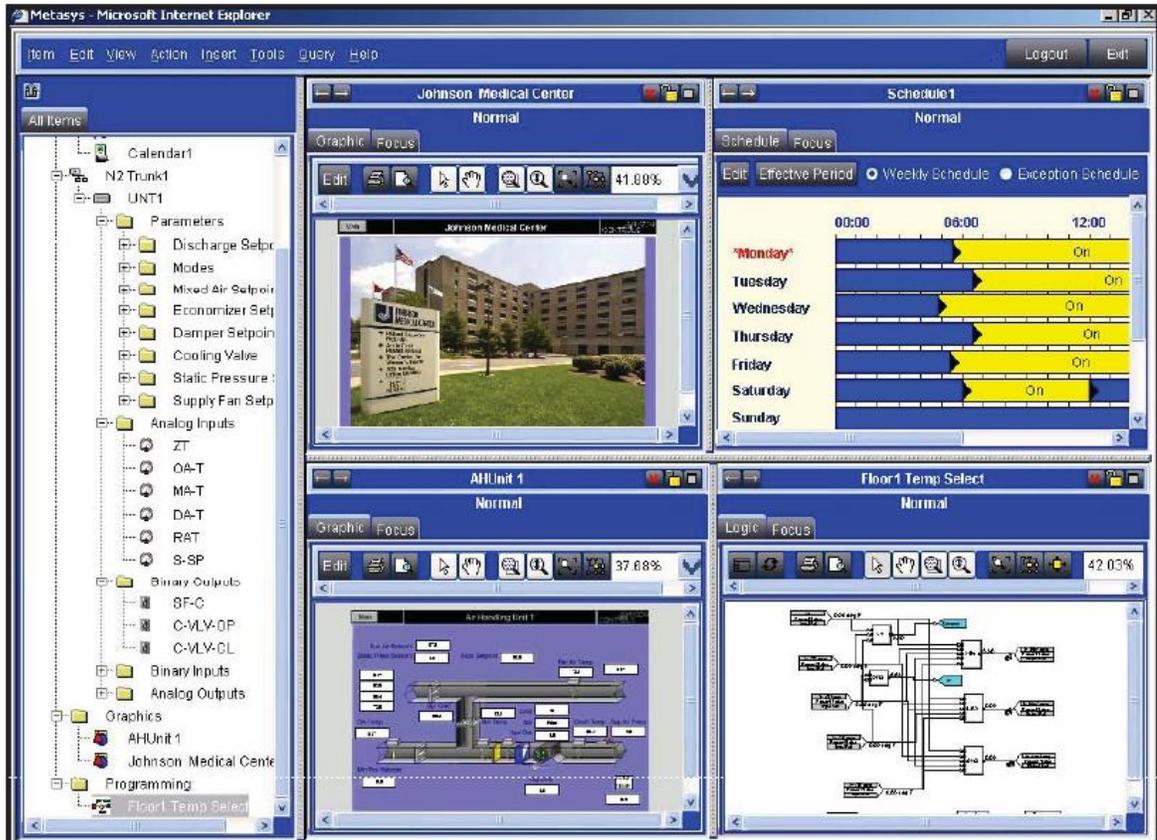


Figura 2.6 Software de Monitoreo.

El software maneja los parámetros de:

- Recibir y reportar alarmas y estados de los equipos
- Monitoreo de algoritmos de control.
- Elaborar programas de ahorro de energía, a través del análisis del funcionamiento y las necesidades del inmueble.
- Programa de monitoreo de consumo eléctrico.
- Realiza gráficos interactivos que permitan al operador del software una mejor visualización del sistema, lo que repercute en un óptimo uso del mismo.

- Establecer y ejecutar secuencias de mantenimiento y rutinas de control de los diferentes sistemas, con el propósito de lograr los beneficios que un sistema de automatización y control puede ofrecer, poniendo especial interés en:
  - Establecimiento de horarios para el funcionamiento de los equipos (según el uso del inmueble y una adecuada calendarización de eventos),
  - Coordinación del encendido y apagado de los equipos, para protección de los equipos y por estrategia de ahorro de energía (arranque de equipos escalonados).
  - Restablecimiento de motores en caso de falla de energía,
  - Monitoreo de todas las variables y alarmas al alcanzar límites (altos y bajos).
  - Limitador de pico de demanda, para protección de los equipos y por estrategia de ahorro de energía.
  - Elaboración de gráficas de cualquier colección de datos requerida por el usuario y la posibilidad de realizar comandos de control como consecuencia de valores resultantes de estas gráficas (por ejemplo: promedios, máximos, mínimos, desviaciones, otras variables) que permitan la implementación de métodos de control estadístico de procesos (SPC) en el manejo del edificio y sus instalaciones.
  - Ejecutarse tanto automática como manualmente y ser flexibles para permitir al usuario hacer modificaciones y ajustes (Figura 2.7).

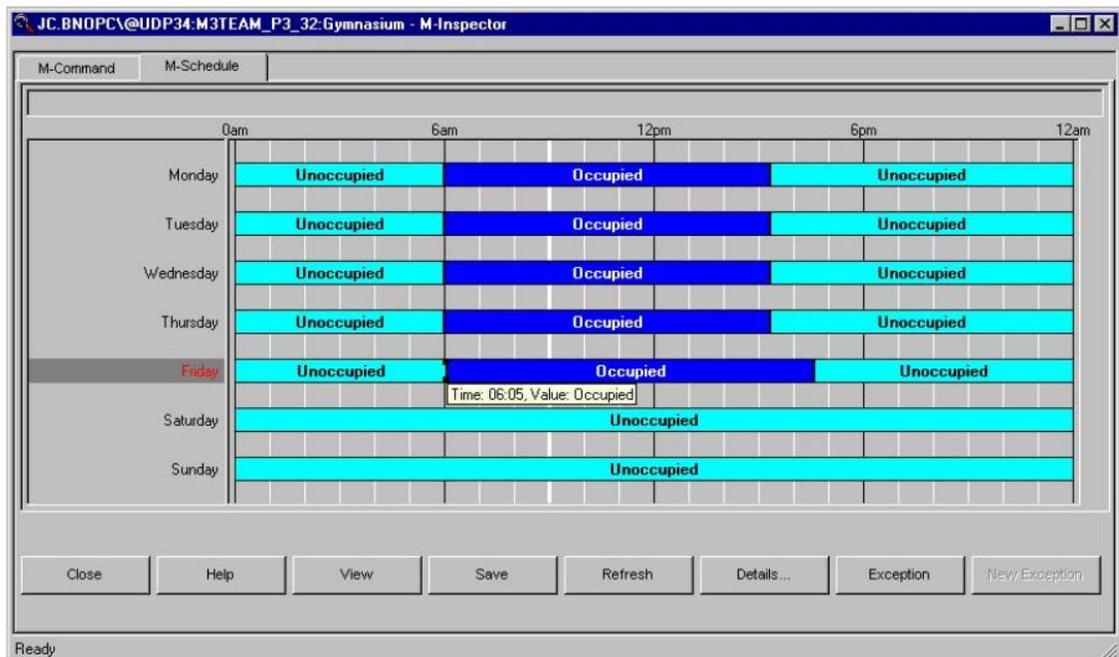


Figura 2.7 Pantalla de configuración de Horarios

El panel analiza el estado de todos los equipos controlados, lo compara con su horario normal y manda los comandos de arranque o paro según sea necesario, para restablecer la operación normal.

El manejo del sistema es a través de gráficos, que representan la localización de los equipos de manera que al seleccionarlos o señalarlos (cursor del *mouse* de manera 100% amigable al usuario) se exhiben los parámetros y estados de manera automática. También es posible visualizar todos los elementos de un sistema en particular para tener un panorama de su desempeño (Figura 2.8).

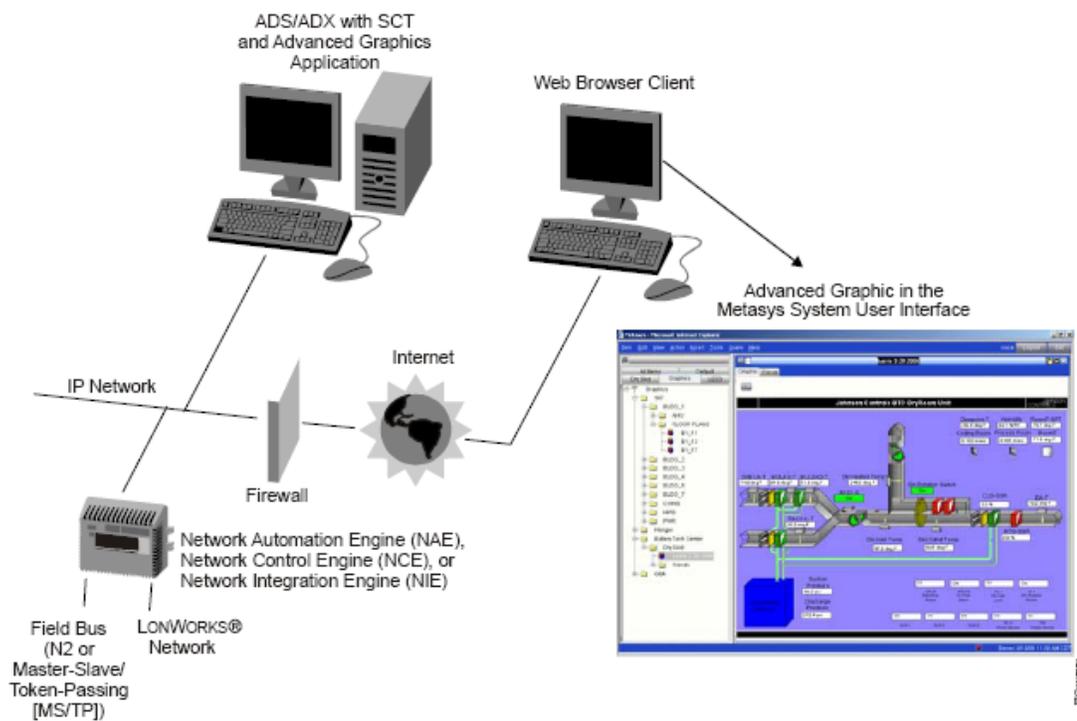


Figura 2.8 Gráficos en PC de Monitoreo

## 2.4 Puntos de monitoreo y control de los subsistemas

### 2.4.1 Controlador

Los controladores de aplicación específica o controladores unitarios son de tipo PLC (Programmer Logic Controller), es decir, un equipo electrónico, programable, diseñado para controlar en tiempo real los procesos secuenciales.

Los PLC se han popularizado en la automatización de viviendas y edificios (Domótica). Los PLC incorporan, funciones de tratamiento lógico, funciones de cálculo numérico, de regulación de PID (Proporcional Integral Derivativo) y de "servo control".

El control de procesos industriales se hacía en forma cableada por medio de contactores y relés. Al operario que se encontraba a cargo de este tipo de instalaciones, se le exigía tener altos conocimientos técnicos para poder realizarlas y posteriormente mantenerlas. Además cualquier variación en el proceso suponía modificar físicamente gran parte de las conexiones de los montajes, siendo necesario para ello un gran esfuerzo técnico y un mayor desembolso económico. En la actualidad, el computador y los autómatas programables han intervenido de forma considerable para que este tipo de instalaciones se hayan visto sustituidas por otras controladas de forma programada.

Los PLC tienen las siguientes ventajas:

- Posibilidad de hacer cambios fácilmente, según los desarrollos o cambios en las máquinas o procesos y con un mínimo costo.
- Mínimo espacio de ocupación, menor peso y tamaño.
- Menor costo de mano de obra y de mantenimiento.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómata.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Sistema muy confiable.
- Permite la simulación de procesos, alarmas y fallas sin influir directamente en la máquina o proceso.

Los controladores de uso general utilizan el lenguaje de programación FBD (Function Block Diagram) funciones de bloques, Cada operación elemental que realiza un servomecanismo se representa mediante un rectángulo en cuyo interior se escribe el nombre o la descripción de ese proceso elemental. En la parte inferior se suele anotar la ecuación matemática que se ejecuta sobre la entrada para obtener la salida (figura 2.9):

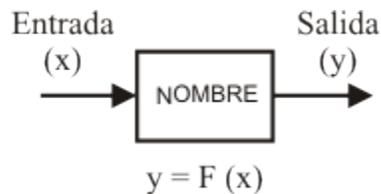


Figura 2.9: Controlador de uso general

*Se cuentan con varios bloques de estrategias y operaciones matemáticas ya preestablecidos de los cuales se pueden combinar de tal forma que cubran la necesidad de la estrategia.*

La estructura básica de cualquier autómata programable es:

Fuente de alimentación: convierte la tensión de la red, 110 ó 220V ac a baja tensión de cc (24V por ejemplo) que es la que se utiliza como tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el autómata.

CPU: la unidad central de procesos es el auténtico cerebro del sistema. Es el encargado de recibir órdenes del operario a través de la consola de programación y el módulo de entradas. Después las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas.

Módulo de entradas: aquí se unen eléctricamente los captadores (sensores de temperatura, humedad, estado de equipos). La información que recibe la envía al CPU para ser procesada según la programación. Hay 2 tipos de captadores conectables al módulo de entradas: los pasivos y los activos.

Módulo de salida: es el encargado de activar y desactivar los actuadores (relevadores, actuadores, motores pequeños). La información enviada por las entradas a la CPU, cuando ésta es procesada, se envía al módulo de salidas para que éstas sean activadas (también los actuadores que están conectados a ellas). Hay 3 módulos de salidas según el proceso a controlar por el autómata: relés, triac y transistores.

Los controladores unitarios de aplicación específica se dividen en dos tipos:

- controladores unitarios montados en fábrica: los equipos están preparados con una tarjeta de control y a través de la red de control siguen una secuencia programada (por ejemplo: bombas de calor).
- controladores instalados en campo: se instalan cerca de los equipos a controlar y/o monitorear, y se conectan a la red de *control central* para seguir la secuencia programada desde la estación de trabajo (por ejemplo: NAE, DX 9100, AHU).

Por su parte, los controladores de aplicación específica (CAE), pueden aceptar cualquier variable y reportar alarmas directamente a cualquier otro CAE sin depender del procesador central, o bien, enviarlo directamente al Controlador de Red. Es en estos dispositivos donde se realiza la programación de funciones específicas para cada uno de los equipos que controla (por ejemplo: DX-9100 para sistemas planta de emergencia, UNT para fan & coil, AHU para manejadoras de aire, VAV para cajas de volumen variable, etc.).

Cada CAE ejecuta su propia estrategia de control, manejo de alarmas, registro de parámetros y acceso a la información de manera independiente. Una falla de cualquier componente o de las conexiones de comunicación no causa interrupciones en sus tareas.

Dado que la programación de operación de los equipos reside en los CAE's, el sistema funciona aún si uno o más controladores salen de operación o se interrumpen las líneas de comunicación. Al restablecerse la comunicación, el CAE reportará nuevamente al controlador de red, pero no existirá reporte alguno del tiempo en que no hubo red.

El sistema es capaz de expandirse tanto en capacidad como en funciones adicionando sensores, actuadores, CAE's, o estaciones de trabajo, incluso, integrar una estación de trabajo portátil, con el propósito de monitorear y controlar los equipos en cualquier punto remoto.

*Las Señales de Control:* La información que viaja a través de las Redes de comunicación (Primaria y Secundaria), viaja en forma de datos:

- Binarios (digitales)
  - o entradas
  - o salidas

- Analógicos
  - o entradas
  - o salidas

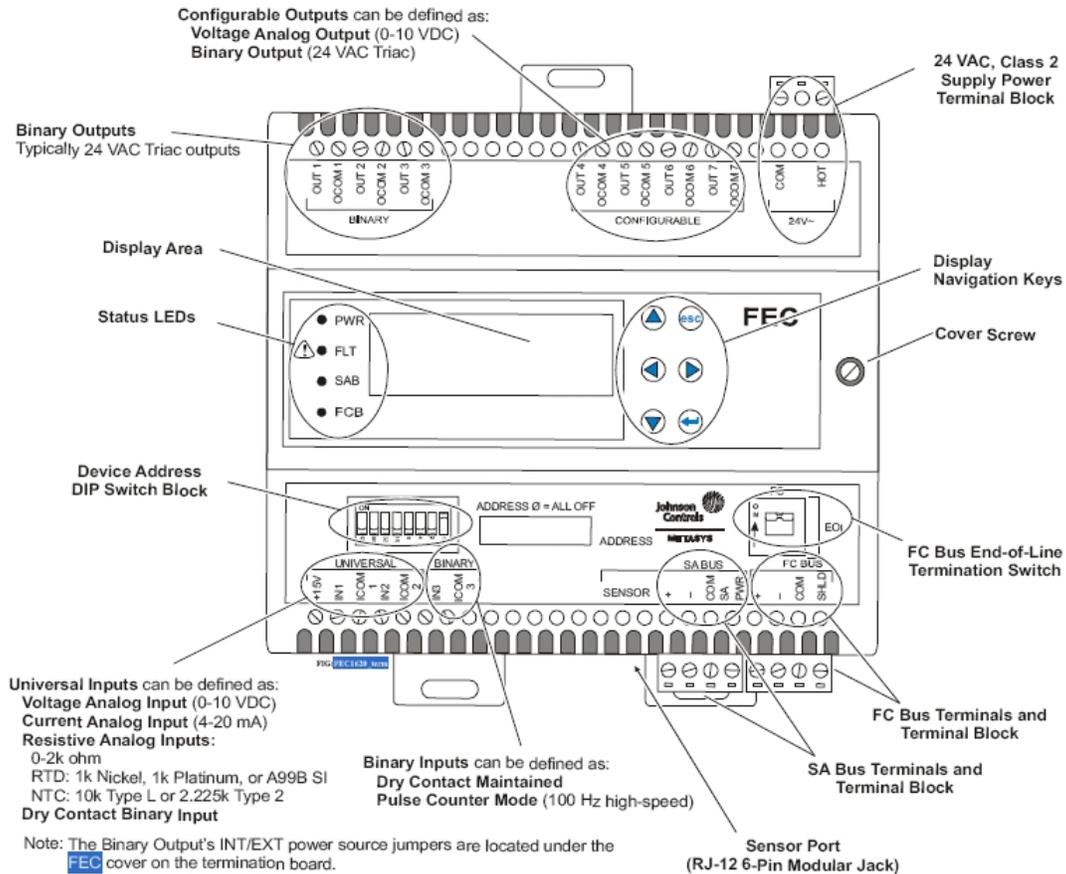


Figura 2.10 Tablero de señales de control

Los datos o señales binarias se refieren a información que sólo puede tener dos estados completamente opuestos, como: encendido – apagado, si – no, lleno – vacío, 0% – 100%, etc.

**Entradas Digitales o Binarias (BI):** Los módulos de entrada digitales trabajan con señales de tensión, por ejemplo cuando por una vía llegan 24 voltios se interpreta como un "1" y cuando llegan cero voltios se interpreta como un "0". Se refieren a información que los equipos envían al *controlador unitario*, como: prendido, apagado, nivel alto, nivel bajo, etc

*Salidas Binarias (BO):* Aquellas señales que permiten actuar sobre los dispositivos enviando órdenes. El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relé interno en el caso de módulos de salidas a relé.

En los módulos estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relés internos al módulo.

Los módulos de salidas estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre elementos que trabajan todos a la misma tensión, en cambio los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas. Se refieren a acciones que se comandan a los equipos desde el Controlador Unitario, como: encender, apagar, abrir o cerrar válvula on/off.

Los datos o señales analógicas se refieren a información que puede variar dentro de un rango establecido, son una cantidad numérica, como: temperatura, humedad, cantidad de insumos, frecuencia de motores, etc.

*Entradas Analógicas (AI):* Aquellas señales que recibe el control de los dispositivos y que varían se les denominan señales analógicas, por que toman un valor “eléctrico” análogo al valor físico que están representando. Se refieren a información que los equipos envían al Controlador Unitario, como: temperatura de cuarto, frecuencia de motor, presión diferencial en ducto, flujo de agua en línea, etc.

Por regla general, los instrumentos de medición entregan una señal analógica de 4-20 mA, pueden entregar una señal de 0-20 mA o en menor número de ocasiones entregan una señal de 0-10 Volts.

*Salidas Analógicas (AO):* Aquellas señales que permiten actuar sobre los dispositivos enviando órdenes, permiten que el valor de una variable numérica interna del control se convierta en tensión o intensidad.

Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para actuadores que admitan mando analógico como pueden ser los variadores de velocidad, permitiendo al control realizar funciones de regulación y control de procesos continuos. Se refieren a acciones que se comandan a los equipos desde el Controlador Unitario, como: variar frecuencia de motor, variar apertura en válvula modulante, etc

*Entradas Universales:* Estas entradas son completamente configurables dentro del controlador, esto es, se pueden utilizar ya sea de manera binaria o analógica sirviéndonos de esta manera para tener una mayor apertura del controlador y una mayor flexibilidad para generar datos de monitoreo (entradas) y control (salidas).

#### *2.4.2 Sistema de aire acondicionado*

La configuración del sistema de control y automatización depende de los subsistemas de aire acondicionado que se proyecten para el inmueble. El sistema debe contar con la instrumentación necesaria para controlar y monitorear los siguientes equipos:

- Unidades generadoras de agua helada
- Bombas de agua helada
- Ventiladores de extracción
- Unidades de manejadoras de aire de volumen variable
- Unidades lavadoras de aire
- Chilled beam
- Liebert

En general, los equipos de aire deben ser controlados y monitoreados con los siguientes propósitos:

- Asegurar el confort del usuario por medio de la constante verificación del estado de los equipos.
- Garantizar una vida útil más larga de los equipos por medio del monitoreo de su estado y de una correcta operación.
- Obtener ahorros de energía a través del establecimiento de adecuadas estrategias de operación.

Con el objeto de identificar su buen funcionamiento, el sistema de control será capaz, como mínimo, de registrar y transmitir:

- Temperaturas de entrada/salida del líquido enfriado.
- Temperaturas de retorno/inyección del aire suministrado.
- Alarmas por parámetros fuera de los programados, por falla en los equipos, por equipos fuera de servicio.

Los equipos son controlados para su encendido y apagado a partir de un horario determinado por el horario de trabajo y la calendarización de eventos. Existe la

posibilidad de que este control sea realizado manualmente, en caso de que exista alguna falla en el control central o en la comunicación del bus.

*Unidades generadoras de agua helada-* Los Enfriadores cuentan con un centro de control micro computarizado con display local en el cual se visualizan los parámetros siguientes:

- Arranque y paro
- Estado de los compresores
- Temperatura de entrada del líquido enfriado.
- Temperatura de salida del líquido enfriado y su punto de ajuste.
- Alarma por baja temperatura del líquido enfriado.
- Alarma por falla en el motor y compresor de la enfriadora.
- Alarma por enfriadora fuera de servicio.
- Punto de ajuste.
- Porcentaje de carga.

*Bombas de agua helada.* Este sistema de bombeo es el encargado de suministrar agua a la manejadora de aire, y posterior mente regresarlo al sistema de bombeo. Los puntos a monitorear son los siguientes:

- Arranque y paro
- Estado de la bomba
- Estado del motor.

El bombeo está monitoreado y controlado por el sistema de automatización y control a través de relevadores para control de arranque y paro del equipo (1 por cada bomba), así como por donas de corriente para la verificación de este estado (1 por cada equipo). El sistema bombeo está integrado a un CAE que permite obtener los parámetros necesarios para el correcto monitoreo del funcionamiento del equipo.

La utilización de cada bomba se rige por parámetros de programación que permiten que cada bomba sea usada el mismo número de horas por igual. De esta manera, a través de la señal de “bomba requerida”, se establece cuál es la bomba a utilizar o hasta que la programación (o el operador vía manual) la arranque.

*Ventiladores de extracción e inyección:* El sistema extrae aire siendo controlado para su encendido y apagado a partir de un horario determinado por el horario de trabajo y la calendarización de eventos. El arranque y paro también puede ser

definido por el operador desde la estación de trabajo central. Para tener el estatus del ventilador se instalara un switch de corriente (dona de corriente).

Si el estado del ventilador no es igual al del comando de arranque o de paro después de un tiempo predeterminado, se enviará una alarma de estado del ventilador a la estación de trabajo.

Se puede también programar cambios de aire con respecto a horarios establecidos por el usuario final.

*Unidades manejadoras de aire de volumen constante:* Como su nombre lo indica el volumen de aire es constante. El arranque y paro del motor se logra con la intervención de un relevador de arranque. Los parámetros a monitorear son los siguientes:

- Arranque y paro
- Monitoreo del variador de frecuencia
- Temperatura de inyección y retorno del aire
- Estado de los filtros (limpios o requieren limpieza)
- Estado del ventilador.

Un sensor de presión diferencial monitoreará la saturación del filtro de partículas instalado en la succión de la manejadora, con el propósito de conocer su estado (sucio / limpio), y por lo tanto su eficiencia.

Un sensor de temperatura instalado en el ducto de inyección permite monitorear la diferencia de temperatura, con el objetivo de controlar la válvula del serpentín de enfriamiento, para llevar a cabo estrategias de ahorro de energía de manera precisa. De igual manera los sensores de temperatura controlan la válvula de agua helada.

*Unidades lavadoras de aire:* Cuando la temperatura/humedad del espacio sea menor al rango (en grados °C) seleccionado, se comandará a la bomba y al ventilador para que encienda para llegar a condiciones de temperatura requerida.

La secuencia del equipo se inicia a partir de un horario. El arranque y paro de una o las dos bombas se activa desde el controlador al pie del equipo.

*Equipo de precisión Liebert:* Estos son sistemas de enfriamiento de precisión que poseen la eficiencia, confiabilidad y flexibilidad necesarias para controlar la disipación de calor, control de humedad, filtración y otros requerimientos de instalaciones con alta disponibilidad. Estos equipos satisfacen las necesidades de

densas cargas electrónicas que requieren de niveles más exactos de humedad y una mayor calidad de aire y están preparados para brindar enfriamiento durante las 24 horas del día, todo el año. De esta manera, los equipos a refrigerar tienen menores posibilidades de sufrir alteraciones.

Se monitorea por medio de una interfaz de comunicación (ModBUS) la cual está integrada a un controlador de red que la comunica con el cuarto de control y si el Liebert deja de operar o tiene alguna falla se enviará una alarma al controlador de red (NAE).

#### *2.4.3 Sistema hidráulico*

La configuración del sistema de control y automatización depende de los sistemas hidráulicos que se proyecten para el inmueble. El sistema cuenta con la instrumentación necesaria para controlar y monitorear los siguientes equipos:

1. Bombas de agua potable y tratada, tanque de tormentas y cárcamo de achique.
2. Bombas sumergibles para cárcamos de aguas negras.
3. Cisternas de agua: potable, tratada y pluvial.
4. Toma domiciliaria

En general, los equipos de aire deben ser controlados y monitoreados para:

1. Prolongar una vida útil más larga de los equipos por medio del monitoreo de su estado y de una correcta operación.
2. Obtener ahorros de energía a través del establecimiento de adecuadas estrategias de operación.

*Sistemas de bombeo:* Cada bomba del sistema cuenta con un selector de modo de operación *manual-fuera-auto* ubicado en el cuarto de máquinas, el cual permite controlar de manera local al equipo mediante botones de arranque y paro, sacar definitivamente de operación al equipo o bien, arrancarlo de modo remoto mediante el control de la bobina del arrancador respectivo.

El bombeo está monitoreado y controlado por el sistema de automatización y control a través de relevadores para control de arranque y paro del equipo (1 por cada bomba), así como por donas de corriente para la verificación de este estado (1 por cada equipo). El sistema bombeo está integrado a un CAE que permite obtener los parámetros necesarios para el correcto monitoreo del funcionamiento del equipo.

*Cisternas de agua y cárcamos:* Se monitorea la existencia de agua mediante sensores de nivel que permiten conocer si el volumen de agua alcanza niveles de riesgo. Mediante parámetros previamente establecidos, se determina el punto “*nivel bajo*” y “*nivel alto*”, que permiten determinar las acciones necesarias a llevar a cabo para el adecuado funcionamiento del sistema hidroneumático.

Se debe generar una alarma en los siguientes casos:

- a) Cuando el nivel sea *bajo*, alarma en la estación central de automatización, para apagar las bombas (manualmente ya que no se controlan) y prevenir el funcionamiento en vacío.
- b) Cuando el nivel no es *alto*, alarma en la estación central de automatización, lo que implica la verificación de la toma domiciliaria o bien, si la falla corresponde a la red externa, efectuar la reparación o solicitar de manera oportuna el suministro del líquido.
- c) Si el volumen de agua alcanza el nivel *súper alto*, alarma en la estación central de automatización, para prevenir desbordamientos y señalar que la válvula de nivel no está cerrando.

*Toma domiciliaria:* Con el propósito de totalizar el consumo de agua del edificio, la toma domiciliaria debe llevar un sensor de flujo analógico, que permite saber la cantidad de agua que es suministrada a las cisternas. El controlador dispara una alarma cuando el nivel de las cisternas de agua potable es menor al máximo y no hay flujo suficiente en la línea.

#### 2.4.4 Sistema eléctrico

El sistema cuenta con la instrumentación necesaria (interfaces de comunicación) para controlar y monitorear los equipos del sistema eléctrico:

1. Subestación eléctrica
2. Plantas de emergencia
3. Tableros eléctricos
4. Sistema ininterrumpido de energía (UPS)

Nota: Los equipos a controlar y monitorear son de servicio a áreas comunes del edificio.

En general, los equipos de aire deben ser monitoreados con el propósito de:

1. Garantizar una vida útil más larga de los equipos por medio del monitoreo de su estado para evitar cualquier daño al presentarse los primeros síntomas de falla, así como por medio de una correcta operación.
2. Obtener ahorros de energía a través del establecimiento de adecuadas estrategias de operación. La planta de emergencia es puesta en operación en horarios pico, para tener importantes ahorros de consumo.

*Subestación- monitoreo de consumo de energía eléctrica:* Los transformadores son monitoreados por medio de un juego de donas de corriente instaladas en cada una de las fases después del transformador (equipos montados de fábrica) de la subestación propia.

Los parámetros a monitorearse son:

- Voltaje entre fases (V)
- Voltaje de cada fase al neutro (V)
- Corriente por fase (A)
- Corriente promedio (A)
- Consumo (kWhr)
- kW por fase; VA's
- Factor de potencia por fase
- Factor de potencia
- Demanda (kW)
- Demanda mínima, máxima y promedio
- Demanda por fase (kW), VAR's.

El sistema de medición en los tableros (Power Meter, *Power Logic*, etc.) utiliza un puerto de comunicación Modbus para transmitir la información al sistema central de monitoreo y tener un reporte completo

*Plantas de emergencia:* La planta de emergencia cuenta con un centro de control micro computarizado con display local en el cual se visualizan las alarmas y parámetros siguientes:

- Alarmas de carga de batería
- Falla de arranque
- Paro por sobre velocidad
- Falla en motor
- Nivel de agua en radiador
- Sobrecalentamiento

Así mismo se cuenta con un puerto de comunicación ModBUS para transmitir la información al sistema central de monitoreo y tener un reporte completo de la planta de emergencia.

La planta de emergencia arranca a falta de energía eléctrica que es suministrada por la compañía de luz.

Se debe contar adicionalmente con un sensor digital de temperatura de superficie acoplado al pre-calentador de combustible el cual detecta si éste se enfría. Se debe incluir además, un medidor de voltaje que detecte si la batería se desconecta o pierde carga y otro de nivel para detectar cuando la reserva de combustible tenga un volumen escaso.

El sistema debe ser capaz de poner en operación la planta de emergencia cuando la demanda sea tal que convenga absorber el pico de energía con la planta, y no con la alimentación de la Compañía Suministradora y así, mantener el nivel de demanda máxima a un valor conservador y reducir el cargo por consumo.

*Sistema ininterrumpido de energía (UPS):* Sistema de energía para equipos informáticos que provee de autonomía para trabajar sin suministro eléctrico, estos equipos disponen de una unidad de potencia, una unidad de baterías y una unidad inteligente que es la que nos brinda el software para poder hacer el apagado ordenado del sistema operativo sin perder la información.

Se monitorea por medio de una interfaz de comunicación (ModBUS), la cual está integrada a un controlador de red que la comunica con el cuarto de control y si el UPS deja de operar o tiene alguna falla se envía una alarma al cuarto de control.

*Control de iluminación:* El encendido de todos los circuitos de iluminación se controla dependiendo del horario programado de trabajo, grado de ocupación y fecha, mediante el control sobre los interruptores termo-magnéticos del tablero de iluminación, enlazándose con el sistema central.

También se controlan por medio de sensores de presencia u ocupación, los cuales al cumplirse el horario de trabajo, comienzan a realizar la función de encendido y apagado de las luminarias en niveles.

En el caso de los estacionamientos, se realiza de 2 formas, en el área de cajones el encendido de luminarias se hace en espacios de 6 cajones, los cuales son conectados a un powerpack y operan en stand alone, en el área de pasillos de circulación, las luminarias encienden por medio de un sensor que es dirigido a los tablero inteligentes.

Se realiza la integración de los tableros por medio de la interfaz de protocolo BACnet MSTP en cada uno de los tableros a integrar al sistema.

## CASO 3: Uso del Chilled Beam en un edificio verde

### 3.1 Sistema Chilled Beam

El movimiento hacia el diseño de edificios sustentables está siendo conducido mayormente por los dueños de edificios quienes son sensibles al medio ambiente. También hay grandes preocupaciones a la hora de asegurar un ambiente interno propio a todas horas y para todas las condiciones de los ocupantes de un edificio. Además de proveer un control de temperatura.

Un sistema completo de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) debería satisfacer otros aspectos relacionados directamente con los usuarios como son: el confort, la productividad y salud, así como la ventilación, distribución de aire, control de humedad, y niveles de ruido.

A medida que los dueños y consultores de los edificios evalúan sus diferentes sistemas HVAC, encuentran que los Chilled Beam son la solución “verde” ideal para muchos edificios. En efecto, los Chilled Beam son usualmente la llave para lograr los nuevos requerimientos de eficiencia energética.

También hay argumentos económicos y de confort muy convincentes para el uso de Chilled Beam por encima de los sistemas convencionales. Mientras que éstos son relativamente nuevos en Norteamérica, los Chilled Beam son aprobados y usados exitosamente en Europa, Australia y otras partes del mundo. Sería apropiado para espacios que no necesitan ser deshumidificados. Para ilustrar lo anterior, se tomará como ejemplo un edificio llamado Praderas. Éste cuenta con una planta baja y 5 niveles de oficinas. Se realizó una comparativa general con los dos sistemas: Chilled Beam y volumen de aire variable (VAV), y la conclusión fue que la inversión inicial es mayor con Chilled Beam, pero a la larga es mejor en cuanto al ahorro del uso energético. (Ver Tabla 3.1)

El cambiarse de sistema VAV a Chilled Beam es un cambio fundamental en la construcción de nuevos edificios. Este cambio viene en un momento adecuado ya que se vive bajo la presión de que los costos de energía aumentan, leyes que promueven la construcción de edificios verdes, y certificaciones que acreditan la utilización de los recursos de manera más eficiente (LEED), Leadership in Energy and Environmental Design, así como un enfoque general al medio ambiente.

### 3.1.1 Funcionamiento del sistema Chilled Beam

Es un sistema de aire-agua que utiliza la energía que es transportada por dos corrientes de fluido para lograr la capacidad requerida de enfriamiento o calefacción.

El aire suministrado por la manejadora central hacia los Chilled Beam se llama aire primario. Éste es suministrado a volumen constante y a una relativamente baja presión estática (típicamente bajo 0.5" ca.). Como se puede ver en la Figura 3.1, dentro del Chilled Beam el aire primario es descargado a una cámara plena a través de una serie de boquillas. Dentro de la cámara se crea una zona de baja presión relativa, así mediante el serpentín secundario de agua entra el aire del cuarto a la cámara mezcladora. Éste aire se llama aire secundario y se induce por arriba en el Chilled Beam, siendo enfriado o calentado por el cambiador de calor dentro de éste.

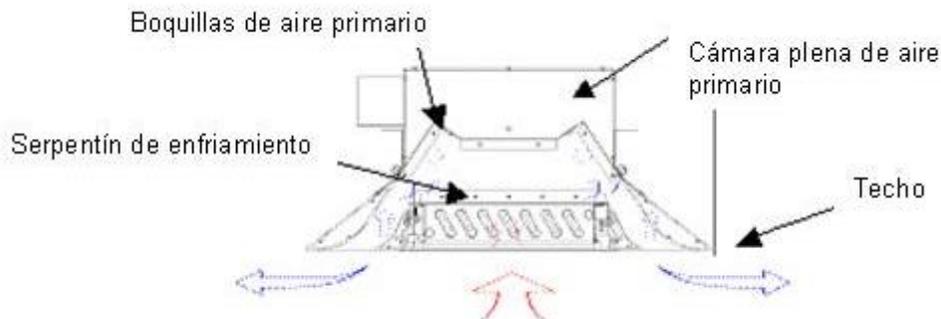


Figura 3.1 Sistema Chilled Beam

La principal diferencia es que el Chilled Beam utiliza una muy baja presión estática del aire primario (casi siempre menor a 0.5" c.a.) y que se instala en el techo a diferencia de los que van instalados en las paredes.

### 3.1.2 Principal aplicaciones para Chilled Beam

La aplicación ideal para Chilled Beam es para lugares con requerimientos medios o altos de enfriamiento. La reducción en el aire primario es dramática contra los sistemas VAV ya que se pueden reducir hasta 75-85%. Algunas de estas

aplicaciones incluyen oficinas, salas de juntas, laboratorios, universidades, hospitales, escuelas, edificios en remodelación y bibliotecas.

Además debido a los bajos niveles de ruido de los Chilled Beams son buenos candidatos para edificios que requieran bajos niveles de ruido.

También los son para edificios donde requieren que el aire interior sea de calidad y con ventilación propia, y control de humedad a todas horas.

La aplicación más común de Chilled Beams es en edificios que están esforzándose por conseguir la certificación LEED. (Leadership in Energy and Environmental)

Hay varias áreas en las que los Chilled Beam pueden ayudar a obtener créditos para la certificación LEED, entre ellas están eficiencia energética, calidad de aire interior y control individual de temperatura.

### *3.1.3 Chilled Beams versus las unidades de inducción convencionales*

Las principales diferencias son:

- La instalación en techo contra la instalación en piso/pared
- Presión estática menor
- Menos ruidosos
- Generalmente requieren menos aire primario

A continuación se muestra una tabla comparativa de costos de manera global entre ambos sistemas (tabla 3.1 ):

	VAV	Chilled Beam
<b>Costos de instalación</b>		
Manejadoras centrales (tamaño)	Mucho mayor	Mucho menor
Ductos (tamaño)	Mucho mayor	Mucho menor
Plafón (espacio)	Mayor	Menor
Tubería	Poco menor	Poco mayor
Sistema de control (complejidad)	Mayor	Menor
<b>Costos de Operación</b>		
Energía de ventiladores	Mucho mayor	Mucho menor
Energía de bombas	Poco menor	Poco mayor
Mantenimiento	Mayor	Menor
<b>Comfort</b>		
Control de temperatura	Igual/poco peor	Igual/poco peor
Control de humedad	Mucho peor	Mucho mejor
Nivel de ruido	Mayor	Menor
Movimiento de aire	Variable/peor	Constante / mejor
<b>Otros</b>		
Créditos LEED	Pocos	Varios

Tabla 3.1: Costos

### 3.1.4 Análisis comparativo Chilled Beam versus VAV

Ambos sistemas requerirán la misma capacidad de enfriamiento o calefacción y como resultado tendrían chillers iguales. La diferencia principal, y la base de comparación radica en el sistema de manejo de aire 75% - 85% menor en los sistemas Chilled Beam. Esta diferencia se vuelve dramática, y como los Chilled Beams no tienen partes movibles, los costos de mantenimiento son mínimos, además el espacio requerido para instalar las manejadoras de aire es mucho menor que con el sistema VAV al igual que el tamaño de los ductos.

Cuando se habla de ahorro de energía y se comparan éstos con otros sistemas existen algunos elementos que no son sujetos a este sistema como son el chiller, la torre de enfriamiento, y las bombas; además de la energía usada usualmente en ventiladores de extracción y bombas de desagüe.

Por otra parte se considera que el mayor ahorro de energía proviene de los ventiladores sin embargo, en relación a las bombas se ha registrado un módico incremento en la energía total de ellas y esto es como resultado del sistema secundario de agua. A pesar de que el sistema ACB (Active Chilled Beam)

consume menos energía que un sistema convencional, no reduce significativamente, el ahorro de energía logrado por los ventiladores. Como en cualquier comparación de uso de energía entre sistemas alternativos, cada instalación debe de ser comparada por separado.

Una sola válvula de control puede controlar varios Chilled Beams en una misma zona con un solo sensor de temperatura que controle la válvula. La tubería y válvulas después de la válvula de control deben ser tales que cada unidad reciba el flujo de agua que deba de recibir. El proporcionar un control individual de aire acondicionado para cada ocupante puede ayudar a conseguir puntos de certificación LEED. Esto puede ser logrado proporcionando una válvula de control y sensor de temperatura a cada Chilled Beam.

### *3.1.5 Diseño de agua helada en sistemas Chilled Beam para ambientes de alta humedad*

En los ambientes de alta humedad, necesitamos:

- Evitar la condensación, para esto, el aire exterior es previamente acondicionado y deshumidificado en la manejadora junto con el aire de retorno necesario para completar el aire primario total.
- Mantener en el edificio una ligera presión positiva contra la del exterior para evitar la filtración de humedad.

Una vez que el aire está deshumidificado, el punto de rocío es monitoreado y la temperatura del aire primario es controlada para mantener el nivel de humedad de diseño y así evitar la condensación en el Chilled Beam. Si el sistema no puede mantener la humedad de diseño, como último recurso se debe incrementar la temperatura del agua helada secundaria.

Con el objeto de no filtrar aire húmedo y causar problemas de condensación durante los periodos en los que no se ocupe, el sistema puede y debe tener las compuertas de aire exterior cerradas para tener menos infiltración de aire húmedo.

Para contrarrestar esto, cuando se vuelve a prender el equipo después del fin de semana, sólo se enciende el sistema de aire primario mientras el secundario permanece apagado. Esta manera de operar hace que el sistema primario seque gradualmente y baje el nivel de humedad. Una vez que sucede esto el sistema secundario se enciende y por lo tanto se ahorra energía.

Las temperaturas del sistema de agua helada pueden ser variables por lo que se toma como base para decidir qué temperatura se va a usar para el sistema

secundario es relacionarlo con el punto de rocío del cuarto. En teoría, una superficie en un cuarto a temperatura de punto de rocío de éste, tiene la posibilidad de condensar vapor de agua del aire. A ciertas condiciones de aire, la película de aire en la superficie actuará como una capa de aislamiento y la temperatura caerá por debajo de la del punto de rocío del cuarto y así ya no condensará. La efectividad de dicha capa depende de la velocidad del aire y de la velocidad del fluido en los tubos. Una velocidad de aire por arriba de la del serpentín y una velocidad baja en el agua dentro de los tubos del serpentín minimizan el potencial de éste de condensar. Esto provoca que la temperatura de punto de rocío del cuarto baje unos 2-3°F. Por consiguiente, si se toma una temperatura de 55°F para el sistema primario, se podría tomar una de 53°F para el sistema secundario. Aún así se recomienda que ésta temperatura esté justo o ligeramente por arriba del punto de rocío para dar seguridad de que no vaya a condensar cuando varíen un poco las condiciones del cuarto.

#### *3.1.6 Ventajas Chilled Beam:*

- Debido a que no tienen partes móviles son más silenciosos que los Fan & Coil y su mantenimiento es más fácil.
- La altura de piso a piso se puede incrementar ya que los Chilled Beams no requieren de gran equipamiento ni grandes ductos.
- El uso de ventiladores se minimiza lo que hace que se ahorre energía.
- Tienen un mejor sistema de distribución de aire lo que hace que la temperatura sea más de confort.

#### *3.1.7 Desventajas Chilled Beam:*

- Pueden llegar a costar aproximadamente 15% más que los sistemas convencionales VAV y son fabricados primordialmente en el extranjero.
- Muchos ingenieros aún no están familiarizados con esta nueva tecnología.

## Conclusiones

Debido a que el Centro Corporativo Santa Fe era un edificio nuevo, los parámetros de comparación serían los encontrados para edificios similares a éste (en aquellos tiempos). Por lo que el consumo de este edificio se estableció en 128,758 BTU/ft<sup>2</sup> al año.

El promedio normal para un edificio comercial de oficinas era de 190,000 BTU/ft<sup>2</sup> anualmente para este tamaño de edificio, debido a la gran demanda de energía de las computadoras en el centro de cómputo, que funcionaban las 24 horas del día, todos los días.

El uso de energía en las sucursales variaba entre 115,000 BTU/ft<sup>2</sup> al año hasta 360,000 BTU/ft<sup>2</sup> al año, debido a que las sucursales individualmente eran relativamente pequeñas.

El proyecto resultó un éxito y el cliente se mantiene hasta la fecha realizando innovaciones de manera permanente.

Respecto al *Edificio Cuadro*, fue uno de los primero en plantearse de manera integral el tratar de tener perfectamente automatizados todos y cada uno de los diferentes sistemas, hasta la fecha nosotros mismos en otra de las empresas *OMEI*, nos encargamos de ir desarrollando nuevos proyectos para ir ampliando cada vez más la automatización de los nuevos equipos que se van introduciendo al edificio.

Respecto al *edificio verde*, está siendo en este momento todo un reto para nuestra empresa poder instalar el primer edificio verde con esta tecnología en México, ya que al principio siempre habrá una desconfianza, hasta este momento la obra tienen un avance de un 70% y consideramos que una vez que esté concluida, será un proyecto de referencia para otros muchos clientes.

Lo que si quisiera concluir es que el haber creado un empresa como *High Tech Services*, ha sido todo un reto en mi vida profesional, ya que ésta me compromete a mantenerme siempre en la vanguardia de los desarrollos tecnológicos en nuestro país, y siempre ser los primeros en proponer la introducción de nuevas tecnologías y nuevos conceptos que marquen la diferencia en materia de edificios inteligentes y verdes.

El concepto de sustentabilidad pronto se volverá una norma en la construcción de nuevos edificios, en la ciudad de México ya existen algunos incentivos de carácter fiscal, ahora únicamente falta volverlo obligatorio.

## Anexo 1: Resumen de proyectos

Se desarrolló el proyecto integral de "edificio inteligente", integrando algunos de los siguientes sistemas:

- *Sistema de automatización*
- *Sistema de seguridad integral*
- *Sistema de automatización*
- *Sistema de seguridad*
- *Sistema de cableado estructurado*
- *Sistema de telecomunicaciones*
- *Sistema de acondicionamiento de aire*

Para los siguientes edificios:

- *Cervantes Saavedra*  
Boulevard Miguel de Cervantes Saavedra  
Col. Granada México, D.F.
- *Mediterranea Departamentos*  
Santa Fe  
México, D.F.
- *Play City Acapulco*  
Av. Costera Miguel Alemán No. 173,  
Col. Fraccionamiento Magallanes  
Acapulco, Guerrero
- *Edificio Corporativo 3M-México*  
Santa Fe, México, D. F.
- *Corporativo Plaza Reforma*  
Centro Empresarial Santa Fe
- *Torre del Bosque*  
Av. Manuel Ávila Camacho No. 24, Lomas de Chapultepec
- *Colegio de Ingenieros Civiles de México, A. C.*  
Camino a Santa Teresa No. 187
- *Quadro Magno*  
Centro Corporativo Santa Fe
- *Torre Pedregal*  
Blvd. Adolfo Ruiz Cortínez 3642, Periférico Sur

- Centro Corporativo Corum  
Periférico Sur No.3315, San Jerónimo
- Centro Empresarial Promoción del Grupo SARE  
Periférico Sur No. 4119, Col. Rincón del Pedregal
- Centro Nacional de Rehabilitación  
Carretera México Xochimilco No. 259
- Centro Maguen David  
Av. Carlos Echánove S/N, Col. Lomas de Vista Hermosa, México D. F.

## Glosario

Chillers: *generadoras de agua helada*

HVAC: Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Las siglas HVAC corresponden al acrónimo inglés de *Heating, Ventilating and Air Conditioning* que engloba el conjunto de métodos y técnicas que estudian y analizan el tratamiento del aire en cuanto a su enfriamiento, calentamiento, (des)humidificación, calidad, movimiento, etc.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change. El *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* fue establecido conjuntamente en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el mandato de analizar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y de formular estrategias de respuesta realistas.

LEED. Leadership in Energy and Environmental. Es un conjunto de normas sobre la utilización de energías alternativas en edificios de mediana y alta complejidad. Se basa en la calidad medioambiental interior, la eficiencia energética, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sostenible del sitio y la selección de materiales. Existen cuatro niveles de certificación: certificado, plata, oro y platino. Fue desarrollado por el *US Green Building Council*.

UMA: unidades manejadoras de aire

VAV: Volumen de aire variable. Sistema de aire acondicionado en la que la cantidad de aire que se suministra a una zona determinada está regulada automáticamente en una cámara de volumen variable

## Bibliografía

- Guía de diseño de instalaciones, Schneider Electric.
- IES Lighting Handbook, Application Volume, 1987, Illuminating Engineering Society of North America.
- U.S. Green Building Council, “LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction”, 2009 Edition U.S. Green Building Council, Washington D.C.
- “Green Office Buildings: A Practical Guide to Development”, Urban Land Institute, Washington D.C.
- Al Gore, “Our Choice: A Plan to Solve the Climate Crisis”, Melcher Media, Rodale
- Sandra Mendler, William Odell, Mary Ann Lazarus, “The HOK Guidebook to Sustainable Design”, Second Edition, Wiley, Nueva York
- Asociación Nacional de Energía Solar A,C. (ANES)
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers).