

5  
2j



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGON"**

**PROPUESTA DE PROGRAMAS DE  
MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS  
ELECTROMECAVICOS Y DE CONTROL DE UN  
EDIFICIO INTELIGENTE Y SU RELACION  
COSTO-BENEFICIO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**

**JORGE G. <sup>USTUVO</sup> ANGELES ROJO**



**SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEX.**

**1996**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

**Gracias Dios por darme  
la oportunidad de lograr  
esta meta y por  
mantener tu presencia en mi vida**

---

---

**A mi amada esposa Vicky  
y a la bendición que Dios  
nos dio, nuestros hijos  
Ericka y Valeria, las amo**

**A la memoria de Chelito  
con un profundo agradecimiento  
a su amor y cariño,  
siempre estarás en mi corazón**

---

**Gracias a mi papé Jorge, mis hermanas Georgina y Laura,  
e mis Abuelos y Familiares por brindarme su  
carifio y apoyo moral en el transcurso de mi vida**

**Un agradecimiento especial a mis amigos y  
sus familias, por alentarme para la realización  
de esta tesis.  
Fam. Ruiz, Halgraves, Salinas, Gaytan y Sánchez**

---

---

**Gracias a la ENEP Aragón, a mis profesores, a mis  
compañeros y amigos de carrera, que siempre  
estuvieron presentes apoyándome en los momentos  
difíciles : Jorge Sierra, Miguel Rangel y Jacobo Romaro**

**Deseo reconocer la valiosa participación en esta  
tesis de nuestro asesor Ing. Leopoldo González González  
y la de mis compañeros Claudio Celis y  
Edmundo Rivas.  
Gracias**

## **Objetivo**

---

---

**Analizar la relación costo beneficio de un Edificio Inteligente para oficinas corporativas en la Ciudad de México, desde el punto de vista del mantenimiento a los sistemas eléctrico, aire acondicionado y de control**

## Tabla de Contenido

---

---

**Dedicatoria** ..... i

**Objetivo** ..... v

**Tabla de Contenido** ..... vi

**Introducción** ..... ix

### Capítulo 1

#### Antecedentes

1.1. Antecedentes Históricos ..... 1-1

1.2. Definición de Edificio Inteligente ..... 1-4

1.3. Grados de Inteligencia de un Edificio ..... 1-7

1.4. Requisitos que debe cumplir un Edificio Inteligente ..... 1-10

### Capítulo 2

#### Análisis del Sistema Eléctrico

2.1. Descripción General ..... 2-1

2.1.1. Diagrama Unifilar ..... 2-2

2.1.2. Acometida Eléctrica ..... 2-3

2.2. Subestaciones Eléctricas y Transformadores ..... 2-5

2.2.1. Capacidad de las Subestaciones ..... 2-5

2.2.2. Tableros de Distribución Inteligentes ..... 2-12

2.3. Sistemas de Iluminación ..... 2-15

2.3.1. Control Inteligente de Iluminación Porcentual ..... 2-17

2.3.2. Control Inteligente de Iluminación Gradual ..... 2-22

2.4. Sistema Eléctrico de Emergencia ..... 2-24

## Tabla de Contenido

2.4.1. Plantas de Emergencia	2-24
2.4.2. Tableros de Transferencia	2-32
2.4.3. Sistema de Energía Ininterrumpible	2-33
2.5. Propuesta de Mantenimiento para el Sistema Eléctrico	2-35
2.5.1. Subestaciones Eléctricas y Transformadores	2-35
2.5.2. Sistema Eléctrico Normal	2-38
2.5.3. Sistema Eléctrico de Emergencia	2-39
2.6. Análisis Costo Beneficio del Mantenimiento del Sistema Eléctrico	2-46

## Capítulo 3

### Análisis del sistema de Aire Acondicionado

3.1. Descripción General	3-1
3.2. Sistema de Aire Acondicionado de Confort	3-5
3.2.1. Unidades Generadoras de Agua Helada	3-7
3.2.2. Unidades Manipuladoras de Aire	3-10
3.2.3. Difusores de Control de Aire Variable	3-12
3.3. Sistema de Aire Acondicionado de Precisión	3-16
3.3.1. Torres de Enfriamiento	3-19
3.3.2. Equipos Liebert®	3-16
3.4. Sistemas de Inyección y Extracción	3-19
3.5. Propuestas de Mantenimiento	3-23
3.5.1. Propuesta de Mantenimiento para los Generadores de Agua Helada	3-25
3.5.2. Propuesta de Mantenimiento para las Unidades tipo Paquete (Equipos Liebert®)	3-28
3.5.3. Propuesta para el Mantenimiento de Tableros Eléctricos	3-33
3.5.4. Propuesta de Mantenimiento para los Controles Automáticos de Temperatura	3-34
3.5.5. Propuesta de Mantenimiento para Conductos de Aire, Rejillas y Difusores	3-35
3.5.6. Propuesta de Mantenimiento para Unidades Serpentina-Ventilador	3-35
3.5.7. Propuesta de Mantenimiento de Ventiladores	3-37
3.6. Análisis Costo Beneficio para el Mantenimiento del Sistema de Aire Acondicionado	3-41
3.6.1. Análisis Costo Beneficio para el Sistema de Aire Acondicionado de Confort	3-44
3.6.2. Análisis de Costo Beneficio para el Mantenimiento del Sistema de Aire Acondicionado de Precisión	3-46
3.6.3. Análisis Costo Beneficio del Mantenimiento del Sistema de Extracción e Inyección de Aire	3-47

---

**Tabla de Contenido**

**Capítulo 4**

**Análisis del Sistema de Control**

4.1. Descripción General	4-1
4.1.1. Sistemas de Automatización y de Protección	4-3
4.1.2. Asignación de Dispositivos Controladores	4-3
4.2. Control del Sistema Eléctrico	4-5
4.2.1. Control del Sistema de Alumbrado	4-5
4.2.2. Control de la Distribución Eléctrica	4-5
4.2.3. Control de las Plantas de Emergencia	4-8
4.2.4. Control de los UPS's	4-9
4.3. Control del Sistema Hidráulico	4-9
4.4. Control del Sistema de Aire Acondicionado	4-11
4.4.1. Control de Dispositivos en Azotes	4-12
4.4.2. Control de Dispositivos en Pisos	4-14
4.4.3. Control de Extractores e Inyectores de Aire	4-16
4.4.4. Control de Calidad de Aire en Estacionamientos	4-17
4.5. Propuesta de Mantenimiento para el Sistema de Control	4-17
4.5.1. Mantenimiento de las Computadoras	4-18
4.5.2. Mantenimiento de los Controladores	4-19
4.6. Análisis costo beneficio para el Sistema de Control	4-19

**Capítulo 5**

Conclusiones	5-1
--------------	-----

**Apéndice A**

Referencias

**Apéndice B**

Bibliografía

## **Introducción**

---

---

*"El corazón tiene razones que la razón no es capaz de explicar"*

*Blas Pascal*

Normalmente el mantenimiento de los edificios convencionales ha sido responsabilidad de los dueños por lo que, dependiendo de los servicios que se ofrezcan con relación a la cantidad y tipo, se puede contar con un departamento interno de mantenimiento o bien subcontratar a una empresa o empresas externas para ese fin.

En varias construcciones modernas la energía eléctrica, seguridad externa e interna (del edificio e integridad física de los usuarios), comunicaciones, sistemas de información y todo lo relacionado al mantenimiento del cableado y la total responsabilidad del mantenimiento del edificio han venido cambiando de concepto ya que estos sistemas día con día son mas sofisticados y esto ha traído como consecuencia que se busque personal y compañías más especializadas. Con ello nos referimos a que en un Edificio Inteligente, es de suma importancia desde el diseño del mismo, el contemplar las necesidades futuras de mantenimiento tales como áreas de trabajo, de control, de acceso, etc. ya que es un punto medular para el buen funcionamiento del mismo puesto que la mayoría de los equipos tienen la necesidad de recibir continuamente mantenimiento preventivo y, en algunos casos, correctivo

En resumen, se debe tomar en cuenta que el mantenimiento de un Edificio Inteligente es diferente al del Edificio Convencional, sobre todo en los equipos

---

que están automatizados. Uno de los objetivos de esta tesis es analizar que tan diferente es este mantenimiento y cuanto está costando, y una vez hecho lo anterior, averiguar si es rentable la operación del edificio, en base al costo de mantenimiento.

Cabe mencionar que con esto no queremos dejar una idea de que el mantenimiento de un Edificio Inteligente se encarece en comparación con uno convencional, ya que se ha demostrado que a lo largo del tiempo el mantenimiento de los equipos y áreas de un Edificio Inteligente son sumamente bajas durante toda la vida del mismo. Independientemente del "costo-beneficio" que se obtiene por el mayor tiempo de duración y eficiencia del mismo.

Los sistemas que analizaremos en los siguientes tres capítulos serán el sistema eléctrico, el sistema de aire acondicionado y el sistema de control. Parece que no se hace un análisis completo del edificio pero la razón de esto es que se tomaron los sistemas más representativos del edificio en el consumo de energía para tener un patrón de referencia en una evaluación final. El sistema de comunicaciones (voz y datos) no se analiza porque el enfoque de esta tesis está orientado a los sistemas que consumen más energía. Aunque el sistema de control no genera un ahorro de energía directamente, se analiza porque es el cerebro del edificio y controla los equipos que producen dicho ahorro. En cada capítulo se hace una amplia descripción de cada uno de ellos para identificar las principales diferencias de éstos con los sistemas tradicionales. Después se hace la propuesta de mantenimiento respectiva y al final un análisis costo beneficio para analizar que tan rentable es cada sistema.

# Capítulo 1

---

---

## Antecedentes

*"De todos los vicios y adicciones del Mundo, sólo me interesa ser adicto a la alegría"*

*Sergio Robert*

### 1.1. Antecedentes Históricas

Desde fines del siglo pasado ya se habían inventado elementos reguladores de temperatura para conseguir condiciones climáticas ideales. En los años cuarenta la invención de los sistemas neumáticos permitió el diseño de grandes redes para el control lógico y monitoreo de las zonas de ocupación desde puntos lejanos.

En los años cincuenta se generalizó el uso de métodos de comunicación por medio de un cable, a través del cual se transmite la información de los sistemas de aire acondicionado, seleccionando el sistema a monitorear y controlar desde el panel central, mediante la conmutación de relevadores. Se creó una rutina de operación, reduciendo los costos de instalación y supervisión.

En los años sesenta se hace posible la aplicación de los transistores en la supervisión y control con mayor eficiencia y rapidez mediante el uso de medidores analógicos y luces de estado en un panel central. Con esto aparecieron los primeros sistemas de control de edificios, basados en la electrónica, por lo que en esta época también aparecen los primeros sistemas de control de edificios basados en técnicas electrónicas, juntamente con un considerable aumento de la complejidad de las instalaciones técnicas y del tamaño de los edificios que hace necesario centralizar la señalización de desperfectos, anomalías y alarmas. Así

fue como se empezaron a ver grandes tableros con esquemas sinópticos que representaban las instalaciones sobre indicadores luminosos, instrumentos de medida, interruptores, etc., que permitían supervisar, incluso a distancia, los equipos e instalaciones de un edificio.

La rápida evolución de la electrónica, de la informática y de los conocimientos adquiridos en la automatización de otras áreas (fábricas, centrales eléctricas, etc.) hicieron posible desarrollar aplicaciones específicas y mejorar los sistemas de transmisión de señales, así como diseñar sensores especiales y realizar programas especiales encaminados a la optimización del control de edificios.

En estos sistemas, la electrónica y la informática garantizan un servicio de alta fiabilidad y precisión en cuanto al control del funcionamiento de complejos sistemas electromecánicos, cuyo costo de mantenimiento o las consecuencias de un desperfecto, justifican la inversión.

La crisis del petróleo de 1973 y la consiguiente escalada de los precios de la energía, propiciaron la necesidad de instalar sistemas capaces de reducir el consumo de energía. Esta reducción de energía llegó a ser un objetivo crítico en la operatividad de todo tipo de edificios y no solamente en los de nueva construcción. Las inversiones, aunque mayores, comenzaban a ser rentables en edificios ya construidos. El casi simultáneo desarrollo de los microprocesadores proporcionó las herramientas necesarias para la implementación de sofisticados sistemas de control con unos costos relativamente bajos; lo que condujo a que estos sistemas se fueran implementando cada vez más.

Al principio de los 80's el objetivo principal era la conservación de la energía, al menos si los precios del crudo hubiesen seguido aumentando. Pero la contención y la disminución de dichos precios restaron protagonismo a este argumento desde el punto de vista político y de imagen; por lo que el énfasis ha ido cambiándose

hacia una eficiente operatividad del edificio incluyendo controles más consistentes de temperatura y una ventilación y acondicionamiento más efectivos del edificio.

Para cubrir la necesidad de un control de edificios más efectivo, los sistemas han pasado desde las tecnologías basadas en métodos neumáticos a las basadas en control digital directo (DDC). La tecnología electrónica analógica no ha tenido demasiada penetración en el control de edificios, probablemente porque la precisión en medidas y la alta velocidad de respuesta requeridos en los controles industriales no son factores críticos en el control de edificios, habiéndose quedado reducido al mínimo los tratamientos analógicos, captación de medidas y ajustes de control, realizándose todo el manejo de la información en forma digital.

Actualmente ya no se concibe ningún nuevo edificio especialmente dedicado a oficinas bien sean corporativas o multiempresariales, que no incorpore sistemas automatizados para el control de su explotación y de la seguridad. El continuo avance de la microelectrónica y de la informática y la disminución de sus costos, hará que en un futuro muy próximo estas técnicas pasen a aplicarse de forma habitual en viviendas.

En los años 80's, también se manejaba constantemente el concepto de calidad paralelamente el de optimización de recursos, tanto humanos como materiales. Al desarrollarse este concepto, se inicia realmente la era del Edificio Inteligente, ya que uno de los factores principales es el de ahorrar recursos financieros y humanos; esto es, ser mucho más eficientes en todas las áreas de la empresa. En esta época la tecnología dio saltos impresionantes y es cuando se revoluciona realmente el manejo de instrumentos.

Ya en los años 90's y con la ayuda de la alta tecnología de hoy en día, podemos ubicar y definir perfectamente al Edificio Inteligente, ya que actualmente existe toda una efervescencia por este concepto y día a día se perfeccionan todos los pasos y requisitos a seguir para la construcción de un edificio de este tipo.

El concepto de *Edificio Inteligente* surgió en Japón a mediados de la década de los ochentas como una herramienta para incrementar la productividad, y en Estados Unidos fue inicialmente utilizada por vendedores de sistemas de automatización de edificios para describir la aplicación de la tecnología de microprocesadores.

El Edificio Inteligente surge como una respuesta a nuevos conceptos en espacios de trabajo, para hacerlo más eficiente y a la vez humanizarlo. El Edificio Inteligente responde mejor y con menor costo a las necesidades del usuario, haciéndolo más rentable y comerciable ya que se convierte en un ente cambiante que no es alcanzado por la obsolescencia. Su propósito es adelantarse al futuro y mantenerse a la vanguardia. Los Edificios Inteligentes no sólo deben resolver las necesidades presentes, deben ser capaces de resolver las necesidades futuras utilizando adecuadamente los recursos tecnológicos, teniendo como base una clara identificación de las necesidades del propietario y los usuarios<sup>1</sup>.

### 1.2. Definición de Edificio Inteligente.

Los criterios para definir si un edificio es inteligente o no, difieren mucho en la actualidad de los que se usaban hace algunos años. El bajo costo inicial en los servicios es aún un factor importante, pero actualmente se está dando un mayor énfasis a los costos de uso durante la vida del edificio, es decir, bajo criterios de costo-beneficio es determinante la capacidad del edificio para satisfacer las necesidades de la organización y su contribución a una mayor productividad del usuario y de la empresa en términos de efectividad organizacional.

Se puede decir que un edificio es inteligente, cuando cumple con las capacidades necesarias para lograr un óptimo conjunto de servicios en su ciclo de ocupación, además de satisfacer las expectativas esperadas inherentes al diseño y

administración del mismo, no son sólo los equipos e instalaciones lo que hace que un edificio sea inteligente<sup>2</sup>.

Son Edificios Inteligentes aquellos en los que el ingenio del hombre, jugando con los elementos y equipos, crea para los dueños, administradores del edificio e inquilinos, sistemas de aprovechamiento que les permitan alcanzar sus objetivos y sus metas dentro de los parámetros de eficacia, costo, comodidad, conveniencia, seguridad, flexibilidad y rentabilidad en la medida de sus necesidades<sup>3</sup>.

Un Edificio Inteligente es aquel que está dotado de "cerebro", es decir, de un órgano capaz de reaccionar ante estímulos exteriores y modificar el estado de funcionamiento de diferentes sistemas del edificio en orden a conseguir un grado óptimo de habilidad, lo mismo que un órgano animal regula sus funciones metabólicas<sup>4</sup>.

Esto significa que cualquier cambio en alguno de los sistemas del edificio (como son iluminación, temperatura, consumo de energía, flujo de aire, etc.) que se aparte de lo que se considera como su funcionamiento normal es comunicado a un sistema de cómputo que resuelve el problema, en la mayoría de los casos sin la necesidad de la intervención humana. Esto da como resultado el ahorro de energía, el abaratamiento de costos, rápida amortización, aumento en seguridad y optimización del confort.

Para que un edificio pueda llevar la etiqueta de inteligente debe cumplir los siguientes requisitos:

- Avanzados sistemas de comunicaciones
- Infraestructura susceptible de automatización
- Sistema completo de automatización del edificio

El *Intelligent Building Institute* (I.B.I.) da la siguiente definición de Edificio Inteligente<sup>6</sup>:

**"Edificio inteligente es aquél que proporciona un entorno productivo y rentable optimizando sus cuatro elementos básicos; Estructura, Sistemas, Servicios, Administración del edificio y sus interrelaciones".**

Los Edificios Inteligentes contribuyen para que sus dueños, administradores e inquilinos logren sus propósitos en materia de costos, comodidad, flexibilidad y valor comercial.

#### **Estructura del edificio.**

Esta incluye los componentes estructurales, el diseño arquitectónico, el diseño de interiores, el mobiliario y ciertos equipamientos propios del inmueble.

Uno de los aspectos clave en los Edificios Inteligentes es el óptimo aprovechamiento de la energía, por lo que debe prestarse especial atención a la ubicación geográfica, a la orientación del edificio, así como a la evolución adecuada de los elementos envolventes (techumbre, fachada, ventanas y pisos)

#### **Sistemas del edificio.**

Los sistemas del edificio son aquellos que tienen como función primordial proporcionar un ambiente adecuado y cómodo para sus ocupantes y para el equipo que aloja. Los principales sistemas del edificio son: calefacción, ventilación, aire acondicionado, alumbrado y energía eléctrica, seguridad y protección, hidrosanitario y transporte vertical.

#### **Servicios de un edificio.**

Los sistemas tradicionales no requieren mayor explicación: El guardia en el lobby, módulo de información, estacionamiento, limpieza de oficinas, etc., son comunes en todas las oficinas nuevas.

El tipo de servicio más comúnmente relacionado con el concepto de Edificio Inteligente es el de comunicaciones (VOZ Y DATOS).

### **Administración del edificio.**

Las funciones administrativas del edificio incluyen normalmente arrendamiento, mantenimiento, y servicios administrativos. En los edificios modernos será conveniente en un futuro próximo que la distribución de energía, seguridad, protección, redes de comunicación y sistemas de información sean responsabilidad de la gerencia del edificio.

La inteligencia de los sistemas se está convirtiendo en una herramienta vital para que los gerentes de los edificios estén en capacidad de recibir y procesar la información, y cuentan con bases de datos para hacer acopio y manejar la información para beneficio de los propietarios, de los ocupantes y de la administración del edificio.

Un Edificio Inteligente es entonces un servidor de las necesidades humanas y no sólo un ejemplo del desarrollo de tecnología, es decir, no basta la automatización y el control, si no se cuenta con la correcta integración de los sistemas, sin olvidar aspectos que proporcionen mayor productividad y un mejor ambiente.

### **1.2. Grados de Inteligencia de un Edificio**

Se pueden establecer diferentes niveles de *inteligencia* de los edificios, con base a tres factores: la automatización, el control y la integración<sup>8</sup>.

El uso de sistemas automatizados es un punto de partida para la creación de un Edificio Inteligente, por lo que se ha determinado como nivel 0 de *inteligencia* a la existencia de una completa automatización del edificio, pero sin la existencia de una integración de sus sistemas. Un edificio automatizado no es un Edificio Inteligente porque el control y la integración son partes fundamentales que no

pueden existir de manera independiente si se trata de llegar al grado máximo de inteligencia, el nivel 0 es el de menor inteligencia.

Los siguientes niveles se establecen tomando como base la combinación del control y la integración de los sistemas automatizados.

El control puede existir de manera manual o automática. En el modo manual se supervisa el estado real del sistema controlado y se indica al usuario la acción a seguir, mientras que en el modo automático la acción es ejecutada por un actuador, que forma parte del sistema mismo.

La integración puede existir de dos formas: por sistemas y entre sistemas. Por sistemas implica la intercomunicación de los diferentes elementos que conforman cada sistema, sin mantener contacto con los demás. En la integración entre sistemas, todos ellos están intercomunicados, así como sus elementos.

En el nivel 1 de inteligencia de un edificio, se cuenta con un control manual y existe la integración por sistemas. Sus desventajas son:

- No hay una operación 100 % confiable, dado que las acciones de control dependen del factor humano.
- La seguridad proporcionada tanto a los ocupantes del edificio como a los elementos de los sistemas no es óptima porque aumenta el tiempo de respuesta de los sistemas en caso de falla.
- No hay una operación eficiente de los sistemas porque no existe la debida comunicación entre ellos.
- Se podría tener una duplicidad de los elementos de supervisión y control.

Se considera como nivel uno porque ya involucra los conceptos de control e integración, aunque en un menor grado.

En el 2º nivel ya se cuenta con una integración entre sistemas, pero el control sigue siendo manual. Con esta combinación se eliminan dos de las desventajas del nivel 1, logrando la operación eficiente de los sistemas y evitando la duplicidad de elementos de supervisión y control.

El 2º nivel cuenta con las características que le dan eficiencia a los sistemas, sin embargo deja a un lado la seguridad, que es una de las necesidades primordiales a cubrir en el edificio.

Las necesidades de seguridad son cubiertas por el 3er. nivel, pero la operación de los sistemas no se lleva a cabo eficientemente, dado que la integración es por sistemas, aunque exista un control automatizado.

Finalmente, el 4º nivel se obtiene al contar con el control automático de todos los sistemas y la integración total de los mismos, logrando cubrir las necesidades de seguridad y eficiencia, llegando al grado máximo de inteligencia.

**Definición:** En base a las definiciones que se han presentado y a las observaciones de algunos Edificios Inteligentes, podemos decir que un edificio es inteligente cuando posee los sistemas y las interrelaciones entre ellos para lograr la optimización de las actividades que en él se realizan; debe ser capaz de incorporar las nuevas tecnologías que requieran sus ocupantes, debe poseer sistemas capaces de sentir el medio para modificar su funcionamiento a fin de hacerlo óptimo en todo momento. Esto significa que el edificio debe ser capaz de mantener el funcionamiento de todos sus sistemas dentro de un rango de operación que se considera normal y óptimo, la mayoría de las veces sin la necesidad de que intervenga el hombre. Todo esto para lograr un máximo aprovechamiento de los recursos y principalmente un importante ahorro de energía.

### **1.4. Requisitos que debe cumplir un Edificio Inteligente**

Ha existido cierta polémica con relación a poder definir los requisitos mínimos necesarios para considerar a un Edificio Inteligente, pero en cada ocasión se ha llegado a la conclusión que el edificio será tan inteligente como satisfaga todas las necesidades de los dueños y usuarios del mismo. Sin embargo podemos confirmar que existen tres factores de vital importancia que se deben considerar al momento de diseñar un Edificio Inteligente, éstos son:

- Flexibilidad
- Integración de servicios
- Diseño exterior e interior.

La flexibilidad informa sobre la capacidad del edificio para satisfacer las necesidades futuras de sus usuarios, entre las que destaca la posibilidad de modificar distribuciones físicas de personas y departamentos de una organización.

Una de las formas en que se puede subdividir un edificio en distintos elementos es tomando como criterio la distinta duración del ciclo de vida de sus componentes (figura 1.1).

La integración de servicios permite establecer el momento a partir del cual un edificio pueda ser considerado inteligente (siempre y cuando cumpla con las condiciones de flexibilidad y diseño) así como diferenciar entre distintos grados de inteligencia tecnológica. Los servicios ofrecidos en un edificio se pueden dividir en cuatro grandes grupos:

- Automatización del edificio.
- Automatización de las actividades que ahí se realizan
- Telecomunicaciones

• Planificación del espacio

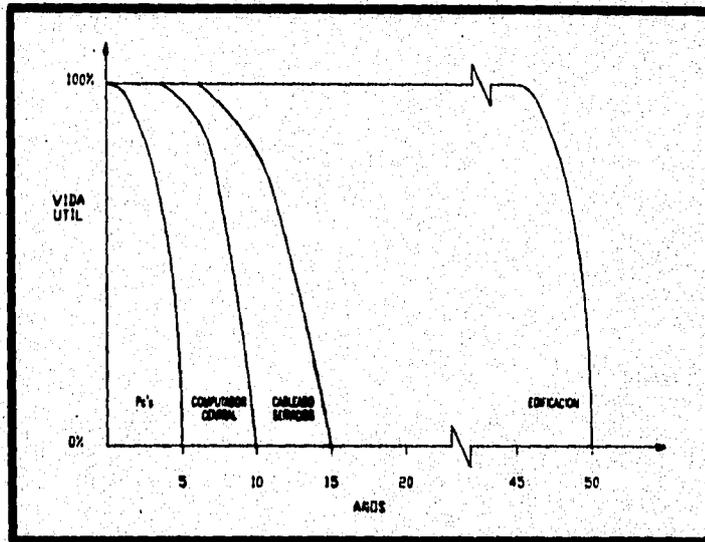


Fig. 1.1 Ciclo de vida de distintos componentes del edificio

Un edificio que disponga de las instalaciones que le son propias (climatización, seguridad, ascensores, suministros, etc.) gestionadas mediante un sistema sofisticado que permita un control integrado y centralizado del mismo, no es inteligente sino únicamente automatizado.

El edificio puede ser denominado inteligente cuando, además dispone de sistemas basados en tecnologías de información que permitan la oferta de servicios y aplicaciones de automatización de la actividad y de telecomunicaciones, servicios y aplicaciones a través de los que se genera un importante valor agregado.

En base a la definición del IBI en la sección 1.2, se han identificado cuatro áreas de vital importancia dentro de un Edificio Inteligente las cuales son: Edificación, Sistemas, Servicios y Administración.

Con relación a la edificación del edificio, básicamente nos estamos refiriendo a las facilidades arquitectónicas, espacios interiores y mobiliario.

Uno de los aspectos que es muy importante tomar en cuenta es el que la construcción tendrá que ser "eficiente" con relación a la cantidad de energía que consume. Para poder lograr esto hay que considerar varios aspectos o elementos que están íntimamente relacionados, tales como: azoteas, paredes, exteriores, luminosidad, pisos, etc. Por considerar un ejemplo, se tiene que analizar a fondo que tipo y cantidad de luz natural (luz de día) se podrá emplear para que todos los usuarios puedan desempeñar eficientemente su trabajo, independientemente de cada actividad.

Los espacios interiores con que cuenta el edificio tendrán que ser sumamente eficientes, para el confort, desempeño y facilidad operativa para el usuario. Se tendrá que tomar en cuenta la actividad, necesidades y forma de trabajo de cada persona para el diseño de cada área.

El mobiliario tiene que ser otro aspecto importante, no solo hablando de la estética, sino de lo funcional que puede ser, ya que tenemos que recordar que la gente que trabaja en un Edificio Inteligente, normalmente es gente que pasa el mayor tiempo en la oficina (de 8 a 10 horas diarias).

Los sistemas de un edificio son usados principalmente para proveer un ambiente confortable y seguro tanto a sus ocupantes como a los equipos utilizados dentro de la construcción. Los sistemas más importantes, por dar solo algunos ejemplos, serían: calefacción, ventilación y aire acondicionado, iluminación, seguridad, sistema contra incendios y energía eléctrica.

Cada uno de éstos serán afectados por el concepto de eficiencia. Esto es, que su nivel de consumo de energía tendrá que ser mínimo.

Por ejemplo, el sistema de calefacción y aire acondicionado debe ser capaz de incrementar o disminuir automáticamente en todas las áreas donde se requiere aire de precisión (equipos de cómputo, de telecomunicaciones, etc.). La iluminación debe de ser capaz de iluminar las áreas de un modo óptimo, ya que en este caso el consumo es directamente proporcional a la cantidad de energía que se consume (eficiencia). Este concepto es de suma importancia ya que ayudará en el caso de que los usuarios tengan la necesidad de poder observar con el mínimo de iluminación sus pantallas de la computadora, o en su caso determinar los tipos de colores que se utilizarán en las áreas, esto es para reflejo de luz, colores ergonómicos, etc. El diseño del cableado debe ser inteligente ya que de aquí se derivarán áreas de uso, bajos costos, facilidad de mantenimiento, etc.

El concepto de los servicios en los Edificios Inteligentes, es que no se tienen "ocupantes" sino "usuarios" y de ahí deriva el concepto de que los servicios tienen que ser contemplados, no sólo para una área en específico, sino para todos los usuarios, por tal motivo se conocen como "servicios multiusuarios".

El servicio más común para usuarios de Edificios Inteligentes, es el que se asocia con la facilidad de contar con una red de transmisión y recepción de voz/datos. La teoría de esto se respalda con la provisión de un servicio que siempre tendrá la facilidad de tener un crecimiento para todo y no un servicio uni-dimensional como comúnmente se ha pensado. Este concepto tiene tres aspectos significantes.

- Primero. Un sistema de comunicaciones centralizado permite la integración y demanda de varias organizaciones o áreas con una sencilla facilidad y permite el acceso para capturas,

modificaciones de software y hardware, soporte técnico, y fácil transmisión, lo que básicamente significa menores costos.

- Segundo. Se toma nuevamente el concepto de tener una sola fuente de información, concepto que se había venido cambiando desde el desarrollo de las comunicaciones. Antes se pensaba que no se debería tener centralizada toda la información o la comunicación. Este concepto se ha cambiado con el buen diseño y planeación de una Red Integral de Comunicaciones, siempre pensando en la flexibilidad y actualización de la misma, sin perder el criterio de bajos costos para la puesta en marcha y mantenimiento.
- Tercero. Representa una ventaja sumamente importante, ya que de esta forma se extiende la vida útil del edificio con la estructura de multiusuario. Este concepto es el que se escuchará más a menudo, ya que dicho término es el que tiene más valor, puesto que significa mayor economía para todos los involucrados.

## **Capítulo 2**

---

---

### **Análisis del Sistema Eléctrico**

*"Invertir en conocimientos siempre  
produce los mejores intereses"*

*Benjamin Franklin*

#### **2.1. Descripción General**

Primero haremos una descripción general del sistema eléctrico, desde la acometida de la calle, hasta la descripción de los demás subsistemas, tales como el alumbrado, subestaciones, sistema de emergencia, etc. Más adelante analizaremos como es monitoreado y controlado cada uno de estos sistemas y finalmente haremos nuestra propuesta de mantenimiento y análisis costo beneficio para cada uno de ellos.

El sistema eléctrico está diseñado para que todos sus componentes reciban la energía eléctrica desde el punto de acometida por parte de Luz y Fuerza del Centro hasta las diferentes áreas de uso y aplicación del inmueble.

La ingeniería aplicada en este caso particular contempla, principalmente, el ahorro de energía teniendo como base el control automatizado de encendido, apagado y regulación de los equipos mecánicos y principalmente el control y regulación de la intensidad luminosa (conocida técnicamente como "dimeo") en las luminarias de las áreas abiertas y privadas y el encendido-apagado de pasillos, perímetro y baños. Se tiene conocimiento de que éste es el primer edificio en México proyectado bajo este principio.

**Cabe mencionar que en este edificio se tienen tres tipos de sistemas de alimentación, los cuales son el Sistema Normal, el Sistema de Emergencia y el Sistema Regulado.**

**El sistema normal alimenta equipos de uso no prioritario y que en el caso de falta de suministro, no influyen en el proceso productivo de las oficinas. Tales equipos pueden ser máquinas de escribir, lámparas de escritorio, unidades enfriadoras de aire, bombas recirculadoras de agua helada, bomba eléctrica contra incendio y en general, equipo de aire acondicionado de confort.**

**El sistema de emergencia, como su nombre lo indica, es el que entra en función en caso de una falla en la alimentación principal y alimenta algunas cargas de servicios generales y la totalidad de las cargas reguladas. Por ejemplo, el aire acondicionado de confort se interrumpe pero el de precisión (usado en las salas de cómputo) funciona al 100%**

**Finalmente el sistema regulado abarca principalmente equipos electrónicos delicados y es regulado en un equipo UPS (fuente ininterrumpible de energía, por sus siglas en inglés) y alimenta computadoras, conmutador, equipos de control de acceso, concentradores de conexiones para telefonía y cómputo (racks) y servidores, entre otros.**

### **2.1.1. Diagrama Unifilar**

**En la figura 2.1 presentamos el diagrama unifilar de la instalación eléctrica del edificio. Este diagrama se presenta lo más simplificado posible, pero sin sacrificar la claridad del mismo para los fines de esta tesis.**

**En él se pueden notar subestaciones receptora y transformadora, plantas de emergencia, sistema de energía ininterrumpible, tableros de distribución, tableros de transferencia, sistema de alumbrado, motores de los elevadores, alimentación**

eléctrica del sistema hidroneumático, sistema contra incendio, y sistema de aire acondicionado de confort y de precisión.

A pesar de que el edificio está casi al 100% de su utilización, no lo está en su capacidad, ya que se han dejado conexiones libres dentro de los tableros de distribución para que los circuitos que se vayan a implementar en un crecimiento posterior puedan ser agregados teniendo un impacto mínimo en la infraestructura del inmueble. El diseño de un Edificio Inteligente no solo consiste en la implantación de sistemas de control automático. También debe considerar la implantación inteligente de sus sistemas, considerando entre otras cosas, futuras ampliaciones, tanto en obra civil, como en los sistemas que lo integran, para de este modo sacar el máximo provecho de él.

### **2.1.2. Acometida Eléctrica**

La acometida eléctrica es suministrada por Luz y Fuerza del Centro. Esta es de mediana tensión con un voltaje de 23,000 [V], en 3 fases y tres hilos, a 60 [Hz], la cuál es aérea. La transición aéreo-subterránea es por medio de un poste, el cual cuenta con sus protecciones necesarias suministradas por la misma Compañía de Luz. Esta acometida es canalizada en cuatro tubos de PVC tipo pesado, de 100 [mm] de diámetro, los cuales rematan en el muro del cuarto de la subestación receptora y alimentan al gabinete de medición de la misma subestación ubicada en el Sótano 0 o 1er. Nivel de estacionamiento.

Así mismo, los medidores están instalados en un muro lateral de la caleta de control (acceso del estacionamiento) a través de un tubo conduit PGG de 50 [mm] de diámetro. Esto es con el objeto de que el personal de la Compañía de Luz pueda tener un acceso rápido y fácil a las lecturas del consumo. Finalmente, de la subestación receptora derivan dos alimentadores en mediana tensión para la subestación transformadora, ubicada en la planta Azotes-

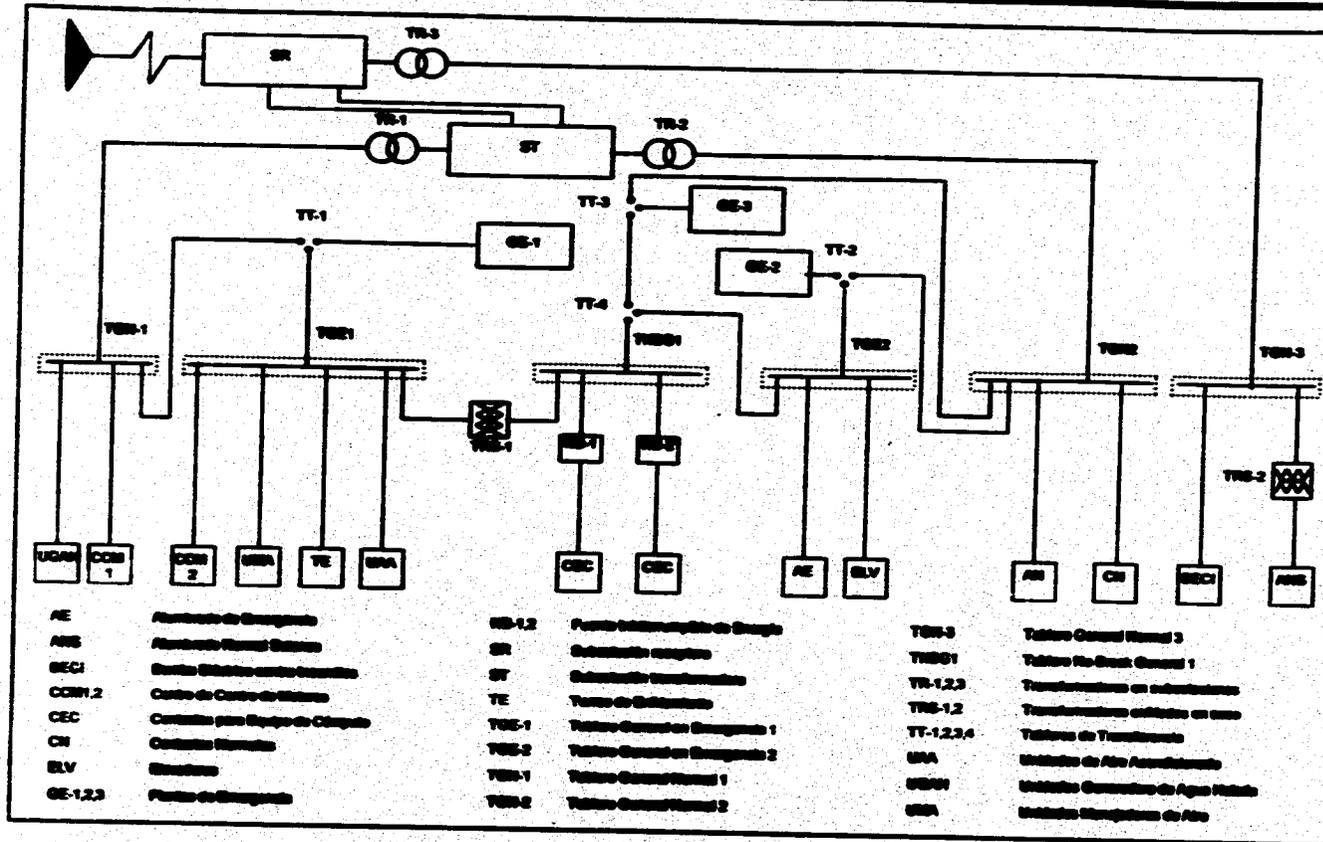


Fig. 2.1. Diagrama Unifilar

## **2.2. Subestaciones Eléctricas y Transformadores**

### **2.2.1. Capacidad de las Subestaciones**

En este caso en particular y por características de conveniencia de instalación, existen dos subestaciones, una receptora y otra transformadora. Que fueron calculadas en base a la carga eléctrica total instalada.

#### **Subestación Eléctrica Receptora.**

Esta subestación se encuentra ubicada en planta sótano 0, a la cual llega la acometida eléctrica en 23,000 [V], 60 [Hz], 3 fases, 3 hilos y se compone de los siguientes gabinetes:

- Equipo de medición
- Cuchilla de servicio de operación sin carga
- Seccionador principal en aire con apartarrayos
- Camino de barras
- Seccionador derivado 1 para alimentación en mediana tensión a subestación transformadora
- Seccionador derivado 2 para alimentación en mediana tensión en subestación transformadora
- Seccionador derivado 3 para alimentación en mediana tensión a transformador de potencia TR-3
- Gabinete de acoplamiento a transformador de potencia TR-3
- Transformador de Potencia TR-3 de 225 [KVA]

La razón por la que se tiene esta subestación receptora es por que desde este punto se sacan dos circuitos de alimentación general para el edificio, que se envían a la estación transformadora, ubicada en la planta Azotes del mismo. Con esta disposición, tenemos la ventaja de que en caso de que exista algún problema en alguno de los dos circuitos de la subestación receptora, se hagan las conexiones necesarias para mantener la alimentación a través del otro, con lo que se evita la interrupción de las actividades prioritarias, como lo es el manejo de la información.

La instalación de la subestación receptora se muestra a continuación.

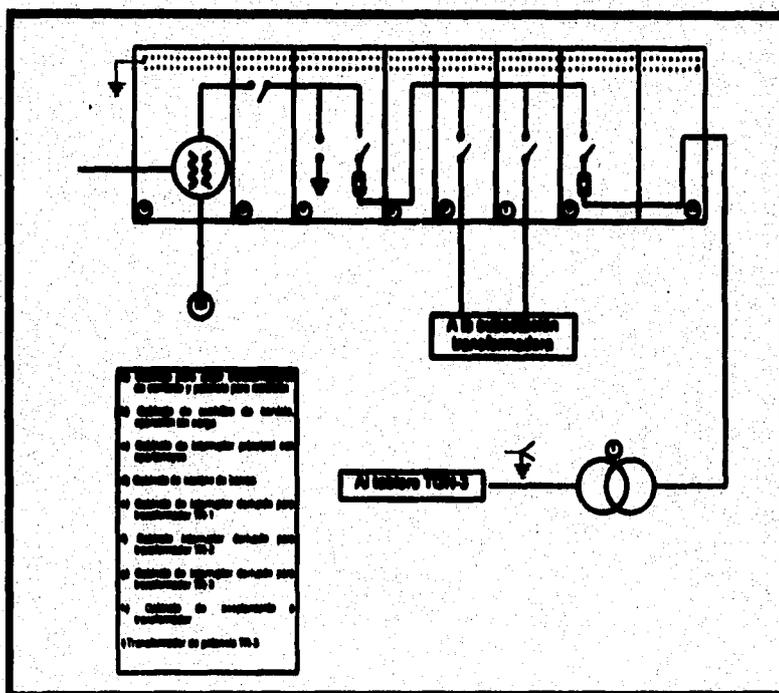


Fig. 2.2. Diagrama de la Subestación Receptora

El transformador de potencia TR-3 de 225 (KVA) con una tensión en el primario de 23,000 [V] y en el secundario de 440/254 [V] alimenta al tablero general TGN-3 en

servicio normal ubicado en el cuarto de la subestación receptora; alimenta a la bomba eléctrica contra incendio de 60 [HP] ubicada en el cuarto eléctrico del sótano 4 y al transformador reductor tipo seco de 112.5 [KVA] con una tensión de transformación en el secundario de 220/127 [V] en 3 fases, 4 hilos, conectado sólidamente a tierra, ubicado en el mismo cuarto de la subestación receptora, el cual alimenta a los tableros de distribución de alumbrado para los Sótanos 0,1,2,3 y 4 (estacionamientos).

El transformador es de una capacidad comercial de 225 [KVA]

El interruptor seleccionado para el tablero de distribución es de 300[A]

Finalmente la capacidad de la subestación es de 2225 [KVA]; 225 [KVA] para el transformador seco y 2000 [KVA] para la estación transformadora.

### **Subestación Eléctrica Transformadora**

El cuarto de la subestación transformadora se encuentra ubicada en el centro del edificio, en la planta Azotes, el arreglo de los equipos está, de acuerdo a la tensión de operación, formando bloques de acuerdo al flujo de la corriente, siendo éste:

- Gabinetes en mediana tensión
- Tableros generales y subgenerales en baja tensión 440 [V] en servicio normal
- Tableros generales y subgenerales en baja tensión 440 [V] en servicio de emergencia
- Tableros generales y subgenerales en baja tensión 220/127 [V] en servicio normal

- **Tableros generales y subgenerales en baja tensión 220/127 [V] en servicio de emergencia**
- **Tableros generales y subgenerales en baja tensión 220/127 [V] en servicio No-Break**
- **Cuarto de generadores en servicio emergencia y No-Break**
- **Cuarto de UPS's para cómputo y cargas prioritarias**

La subestación transformadora (ver figura 2.2) es central y la descripción está de acuerdo al gabinete de doble cuchilla de alimentación con enlaces, siendo de derecha a izquierda y de izquierda a derecha; los gabinetes que forman la primera sección de derecha a izquierda son:

- **Cuchilla de servicio**
- **Seccionador principal con apartarrayos**
- **Acoplamiento a transformador de potencia TR-1**
- **Transformador de potencia TR-1**

El transformador de potencia TR-1 de 1000 [KVA], con una tensión en el primario de 23,000 [V] en 3 fases, 3 hilos, 60 [Hz] y con una tensión en el secundario de 440/254 [V] en 3 fases, 4 hilos, 60 [Hz], alimentará al tablero general TGN-1 en servicio normal.

El tablero general de distribución TGN-1 alimentará a los equipos de aire acondicionado (UEA-1,2 y 3), al centro de control de motores CCM-2 para las bombas de agua helada 1,2 y 3 y al tablero de transferencia automática TT-1 que, al detectar la falta de energía por parte de la compañía suministradora, mandará la señal a la planta generadora de energía GE-1 para alimentar en servicio

emergencia al tablero general TGE-1 ubicado en el cuarto de la subestación transformadora.

El tablero general de distribución TGE-1 alimentará al tablero subgeneral TSGH-1 ubicado en el sótano 4 (cuarto de máquinas) para los equipos hidro-sanitarios, al centro de control de motores CCM-2 ubicado en el cuarto de la subestación transformadora para las torres de enfriamiento (TE-1, 2, 3 y 4), bombas de condensado (BAK-1, 2, 3 y 4) y ventiladores de inyección (baños, domo y escaleras), al tablero subgeneral TSGA-2 ubicado en el cuarto de la subestación transformadora para alimentación de los equipos Liebert de racks, servidores, Honeywell, laboratorios y help desk; al tablero subgeneral TSGA-1 ubicado en el cuarto de la subestación transformadora para alimentar a las unidades manejadoras de aire de los niveles 4, 3, 2, 1 y Planta Baja, al tablero subgeneral TSGA-3 ubicado en el Sótano 0 para alimentar a los equipos Liebert de RDI, encebretadores, impresión, unidades manejadoras de aire para zona secretarial y seguridad, al transformador reductor tipo seco TRS-1 de 500 KVA con tensión en el primario de 440/254 [V], conexión estrella que servirá de enlace y opción de alimentación al sistema de No-Break

Los gabinetes que forman la segunda sección de la subestación transformadora que va de izquierda a derecha son las siguientes:

- Cuchilla de servicio
- Seccionador principal con apartarrayos
- Acoplamiento a transformador de potencia TR-2
- Transformador de Potencia TR-2

El transformador de potencia TR-2 de 1000 [KVA] con una tensión en el primario de 23,000 [V] en 3 fases, 3 hilos, 60 [Hz] y con una tensión en el secundario de

220/127 [V] en 3 fases, 4 hilos, 60 [Hz] alimentará al tablero general TGN-2 en servicio normal.

El tablero general de distribución TGN-2 alimenta al tablero subgeneral TABG-1, ubicado en el cuarto de la subestación transformadora que alimenta los tableros de distribución para alumbrado de los niveles 4, 3, 2, 1 y Planta Baja, al tablero subgeneral TSGC-1 ubicado en el cuarto de la subestación transformadora que alimenta los tableros de distribución para contactos de los niveles 4, 3, 2, 1 y Planta Baja, al tablero de transferencia automática TT-3 que al detectar la falta de energía por parte de la compañía suministradora mandará la señal a la planta generadora de energía GE-3 y se interconectará con el tablero de transferencia TT-4 y que alimenta al tablero general TNBG-1 en servicio No-Break y finalmente al tablero de transferencia TT-2 que al detectar la falta de energía por parte de la compañía suministradora, mandará la señal a la planta generadora de energía GE-2 para alimentar en servicio Emergencia al tablero general TGE-2.

El tablero general de distribución TGE-2 alimentará en forma independiente a los motores tractores de los elevadores, ubicados en la planta Azotes, al tablero subgeneral TSGE-3 ubicados en el cuarto de la subestación transformadora que alimenta los tableros de distribución para alumbrado y válvulas de volumen variable de los niveles 4, 3, 2, 1, Planta Baja y Sótano 0, al tablero de transferencia automática TT-4 que al detectar la falta de energía por parte del tablero TGE-2 mandará la señal al tablero de transferencia TT-3 interconectado con la planta generadora de energía GE-3 que alimentará en sistema de seguridad al tablero general TNBG-1 ubicado en el cuarto de la subestación transformadora.

El tablero general de distribución TNBG-1 alimentará a dos equipos de corriente ininterrumpible No-Break, uno de ellos, el NB-1 de 300 KVA alimenta al tablero subgeneral TNSG-1 en servicio No-Break ubicado en el cuarto de la subestación transformadora que alimenta los tableros de distribución para contactos de

subgeneral TNSG-1 en servicio No-Break ubicado en el cuarto de la subestación transformadora que alimenta los tableros de distribución para contactos de cómputo de los niveles 4, 3, 2, 1, Planta Baja y Sótano 0, el otro equipo de corriente ininterrumpible No-Break, NB-2, alimenta al tablero subgeneral de distribución TNSG-2 en servicio No-Break, ubicado en el cuarto de la subestación transformadora que alimentará los tableros de distribución para contactos de racks, servidores, RDI, impresión y sistema de control automático, y finalmente se interconectará al transformador tipo seco TRS-1 de 500 KVA que deriva del tablero TGE-1.

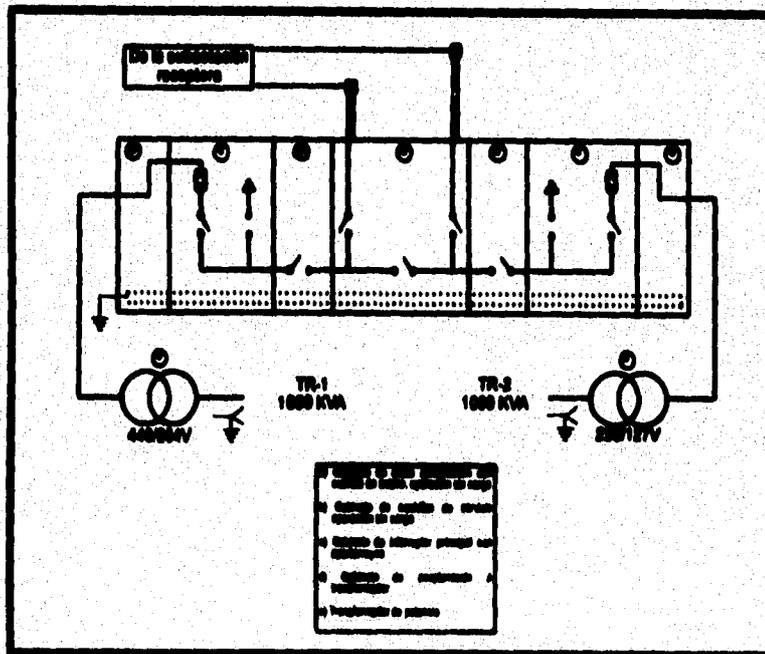


Fig. 2.3. Subestación transformadora

**El transformador TR-1 es de una capacidad comercial de 1000 [KVA]**

**El interruptor seleccionado para el tablero de distribución es de 1,300[A]**

**El transformador TR-2 es de una capacidad comercial de 1000 [KVA]**

**El interruptor seleccionado para el tablero de distribución es de 2000[A]**

**Finalmente, la capacidad total de la subestación receptora será de 2000 [KVA], debido a los dos transformadores de potencia de 1000 [KVA] cada uno.**

### **2.2.2. Tableros de Distribución Inteligentes**

**El tablero de distribución inteligente básicamente es un tablero de distribución normal, con elementos tradicionales, tales como interruptores termomagnéticos de diferentes capacidades y un interruptor termomagnético general, pero que además cuenta con un dispositivo electrónico de control inteligente, que en este caso se trata de un tablero Power Logic® CM-2000 de Square D.**

**Este último dispositivo, más que un sistema de control, es más bien un sistema de monitoreo, cuya función es proporcionar información relevante de la energía que llega al tablero de distribución.**

**Por sí mismo el tablero no hace más eficiente el manejo de la energía. Lo que se tiene que hacer es analizar la información que entrega dicho dispositivo, interpretarla y tomar alguna acción preventiva o correctiva en base a los datos obtenidos.**

**La razón por la que se han instalado estos tableros en el edificio es para tener un control en el consumo de la energía y detectar en un momento dado si se están empezando a generar problemas en la distribución y calidad de la misma. Es un equipo que tiene un beneficio implícito el cual solo es aprovechado si se ejecutan acciones correctivas en el momento que sean necesarias.**

Tenemos 3 Power Logic instalados en el edificio, uno en cada tablero de distribución general, los cuales corresponden a los 3 circuitos principales en los que se ha dividido eléctricamente el edificio. En la sección 2.3.1, figura 2.6 (Control Inteligente de Iluminación Porcentual) se tiene un esquema simplificado de como está la instalación eléctrica.

¿Que ventajas tenemos al instalar tableros inteligentes en lugar de tableros tradicionales?

Como se mencionó, estas ventajas dependen de la manera en que se interprete la información presentada por los tableros, sin embargo, las ventajas reales e inmediatas que podemos identificar son las siguientes:

- Podemos cuantificar el consumo de energía y compararlo con lo que está cobrando Compañía de Luz, para evitar cobros excesivos.
- Al tener dividido el edificio en 3 circuitos principales podemos detectar en cual de ellos puede existir un consumo excesivo y tomar una acción correctiva inmediata. Esto será particularmente útil en el caso del circuito que alimenta a las bombas de agua y motores de aire acondicionado y elevadores, ya que podemos hacer lecturas automáticas programadas en los tableros (p.ej. cada media hora durante una semana) para identificar periodos críticos de consumo (hora de entrada, salida, etc.).
- Podemos tener una lectura directa del factor de potencia en cada uno de los tres circuitos. Con un monitoreo periódico podemos tomar acciones correctivas y evitar multas por parte de la Compañía suministradora en caso de que dicho factor llegara a estar por debajo de la especificación requerida (80%).

- Podemos tener el monitoreo de hasta 50 valores característicos de cada uno de los 3 circuitos principales. Si quisiéramos tener medidores tradicionales para cada uno de estos valores, implicaría tener que comprar 50 medidores analógicos, uno para cada valor a monitorear.

Al poderse conectar los tableros a un sistema de cómputo para su monitoreo, también podemos obtener información relevante que no solo es de utilidad al área de mantenimiento, sino también al departamento de contabilidad que puede tener acceso al sistema para conocer el consumo exacto de energía eléctrica, el departamento de Ingeniería también puede acceder esta información para planear el crecimiento de las instalaciones y, por supuesto, el departamento de mantenimiento puede tener un control centralizado de sus equipos.

#### ¿Que es el Power Logic®?

Como se mencionó hace un momento, es un dispositivo electrónico que permite analizar en detalle la demanda de energía, permitiendo identificar oportunidades de reducción de costos. Indica cuanta capacidad se tiene de más, en base al contrato de potencia instalada hecho con la Compañía de Luz, para poder redistribuirla o hacer un ajuste en el contrato, además de avisar de problemas inminentes, proporcionando suficiente tiempo para evitarlos, así como evitar el paro de los equipos asociados con ellos. Permiten además medir el nivel de armónicos, permitiendo identificar y corregir algunas tendencias antes de que éstas causen el paro de otros equipos. Los Power Logic® CM-2050 de Square D fueron diseñados para aplicaciones industriales, comerciales, institucionales, etc., tanto para empresas grandes como pequeñas, para auxiliar en la administración de la inversión que se tiene en el sistema eléctrico, como es: costos de energía, costos de operación y mantenimiento y el costo del equipo mismo. Esto se logra a través de la información precisa obtenida acerca de las cargas de los circuitos y el estado de los equipos. Con esto se obtiene más fácilmente los patrones de

comportamiento del uso de la energía eléctrica, niveles de demanda y tendencias en el factor de potencia.

Una de las herramientas más novedosas que proporciona este equipo es que en la computadora y a través de una interfaz RS-485 conectada al Power Logic, se puede obtener la forma de onda que se está generando, tanto de voltaje como de corriente, con lo que se puede analizar la calidad de la energía con la que se está trabajando y, de ser necesario, tomar las medidas correctivas necesarias para resolver problemas, comúnmente debidos a armónicos.

Aunque este equipo tiene un costo mayor que el de un tablero tradicional, el ahorro en el manejo de energía reditúa la inversión en el mediano plazo. Además se tiene la característica de que estos tableros son actualizables, es decir, tienen una característica opcional de lógica programable que le permite, de acuerdo a como cambian las necesidades, configurar nuevas funciones dentro del monitor de circuitos. Otra característica es que los monitores de circuitos son completamente actualizables con un software, lo que permitirá en una posible ampliación de las características de los equipos, actualizar los monitores sin sacarlos de servicio.

### **2.3 Sistemas de Iluminación**

Una gran parte de los gastos de operación y mantenimiento de cualquier edificio está comprendido por el sistema de iluminación, llegando a ser hasta el 60% de éstos. Es en estos sistemas, en los que es más patente la instalación de un sistema inteligente de alumbrado, ya que en él se pueden considerar diferentes eventos, dependiendo de cada una de las áreas del edificio.

Además de tener el control centralizado de todo el sistema, existe la posibilidad de poder hacer modificaciones en la operación de una manera relativamente fácil. También es en este sistema en el que se puede lograr un ahorro de energía, el

cual puede ser cuantificado fácilmente. Estos equipos requieren de una inversión inicial relativamente grande, por lo que hay que tener mucho cuidado en su selección. Si no se hace una cuantificación adecuada, existe el riesgo de invertir demasiado en un equipo que puede no redituar la inversión en un tiempo razonable. Usualmente este sistema solo es justificable en edificios realmente grandes y complejos, como hospitales y oficinas, ya que en condominios o casas habitación es muy poco probable que se pueda hacer una inversión de este tipo para el consumo de energía que se requiere. Dicho en otras palabras, no se justifica la inversión.

Los objetivos de este sistema son el ahorro de energía y alargar la vida útil de los componentes de la instalación, como son luminarias e interruptores además de tener un control total en la operación de los mismos.

En el edificio en estudio, se tienen dos sistemas de iluminación, uno porcentual y otro gradual. La razón es la siguiente: al momento del diseño del edificio se contrató un sistema de control general, proporcionado por la empresa Honeywell. Este sistema lleva el control del sistema hidrosanitario, el sistema de seguridad, el sistema de aire acondicionado y el sistema de iluminación. Sin embargo, por las características del sistema de iluminación, éste no puede realizar la función de regulación porcentual, es decir, que varíe la intensidad de iluminación en las luminarias; solo puede controlar el encendido-apagado de éstas. Si se hubiera dejado todo el edificio con el sistema de encendido-apagado que proporciona Honeywell, el costo de iluminación aún hubiera sido bastante alto y no se hubiera logrado el ahorro de energía esperado. Por esta razón se tomó la decisión de adquirir otro sistema de iluminación, adicional al que ya se tenía y con la característica de que fuera porcentual. Este sistema es proporcionado por la empresa LUTRON y es completamente independiente del sistema proporcionado por Honeywell.

A pesar de que el sistema de iluminación porcentual representa un gasto adicional, tiene la ventaja de que está generando un ahorro en todo momento. En algunas áreas en las que es necesario que se tengan luminarias prendidas la mayor parte del día, como son privados y cubículos, se pueden regular las luminarias para que solo funcionen solo al 80% de su consumo, lo cual es una intensidad bastante buena y que no afecta la productividad en las oficinas; además, con esto se logra un ahorro, el cual va pagando la inversión a lo largo del tiempo.

### **2.3.1. Control Inteligente de Iluminación Porcentual**

El sistema de iluminación porcentual es aquel que nos permite manejar por medio de porcentajes la intensidad de lúmenes que genera una luminaria y con esto incrementar el ahorro de energía, que es uno de los objetivos principales de un Edificio Inteligente.

Este sistema, además de satisfacer las necesidades prioritarias de iluminación, tiene como características las de eliminar por completo la manipulación de los diferentes tableros de distribución ubicados en todo el edificio y además nos permite controlar, modificar y regular la intensidad de cada una de las luminarias, como ya mencionamos anteriormente. La tecnología instalada en el edificio es el sistema de regulación (dimm) marca LUTRON®, el cual es una gran mejora al sistema eléctrico tradicional.

Este sistema de iluminación utiliza el mismo tipo de luminarias que se usaría en un edificio tradicional; la diferencia importante está en el tipo de balastro que se está utilizando. Esta es una balastro electrónica marca LUTRON®, modelo ECO-10, número de parte ECO-T832-120-2, 120(V), 60/60 (Hz), 0.67(A), 2-32W T8 (para 2 luminarias, de 32 (W) tipo T8). La conexión en la luminaria se realiza con 2 cables forrados (para la fase y el neutro) y un cable desnudo para la tierra física; pero además se anexa un cable adicional, el cual va conectado de la balastro

electrónica hacia una tarjeta reguladora de control porcentual (dimmer) que se encuentra ubicado en el tablero de distribución y éste a su vez con una computadora, en donde nos va a permitir tener el control de cada una de las luminarias instaladas para que puedan ser reguladas.

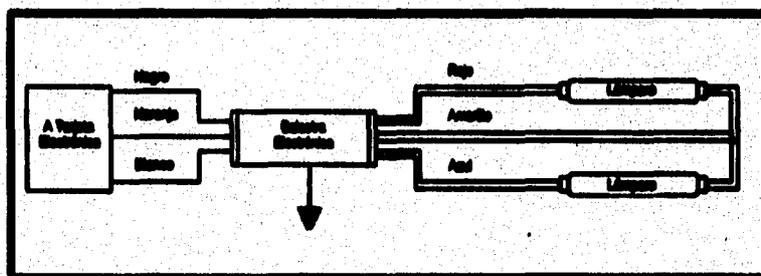


Fig. 2.4. Conexión de la balasta LUTRON®

El sistema LUTRON® está compuesto de lo siguiente:

- 1 Computadora central PC 486DX a 66mhz, 8MB de RAM
- 3 tableros GRAFIK 6000
- 26 tableros de distribución Grafik Eye, que contienen:
  - 24 tarjetas de regulación por cada tablero (624 en total)
  - 24 jumpers (1 por cada tarjeta)
  - 1 circuito selector (26 en total)

La función de la computadora es la de guardar el programa encargado de la iluminación del edificio, así como guardar la programación de la iluminación en cada uno de los circuitos y facilitar su reprogramación. También permite el

encendido-apagado o regulación en líneas (en el mismo momento en que se hace la modificación) de las luminarias.

El tablero GRAFIK 6000 funciona como central o como tablero general de todos los tableros de distribución que integran el circuito, el cual es el que manda la señal y toda la información para controlar la iluminación. Esta información es enviada al GRAFIK 6000 por medio de la computadora, en la que podemos programar:

- Escenas.- Nivel de iluminación o encendido- apagado de cada circuito, teniendo 17 opciones (por cada tablero) para ajustar la intensidad de la luz de diferentes maneras de acuerdo a nuestras necesidades.
- Horarios.- Podemos programar las diferentes escenas con los horarios que mas nos convengan de acuerdo a nuestras necesidades.
- Eventos Especiales.- Podemos programar con anterioridad eventos especiales como días festivos, eventos que requieran de algún arreglo especial de alumbrado a determinada hora, etc.
- Estaciones de Pared.- Podemos programar algún tipo de control auxiliar que nos permita restablecer la iluminación en caso de emergencia, es decir, si nuestro programa nos indica que la iluminación se apaga a las 10:00pm y nosotros requerimos iluminación fuera de este horario, únicamente accionando nuestra wall station (estación de pared) la iluminación queda restablecida, aunque por un periodo de una hora, después del cual vuelve a la escena programada en ese horario.

Las luminarias se agrupan en circuitos individuales y cada circuito es controlado por una tarjeta reguladora. Dicho de otra manera, una tarjeta reguladora controla

varias luminarias al mismo tiempo. Cada circuito individual llega a un conector (jumper) dentro del tablero de control y funciona como enlace entre la pastilla termomagnética que tiene cada circuito individual y su tarjeta reguladora. Este conector también tiene la función de que en caso de que sea necesario, puede desconectar a la tarjeta reguladora, dejando al circuito respectivo controlado únicamente por su pastilla termomagnética para tener un control manual de encendido-apagado. Esto es especialmente útil en caso de falla en la tarjeta reguladora. Esta tarjeta es la que nos permite el control de la intensidad de la iluminación o encendido-apagado de las luminarias. Como ya dijimos, cada circuito cuenta con su tarjeta reguladora las que a su vez están conectadas a un circuito selector, el cual nos permite programar los siguientes datos:

- Tipo de lámpara
- Asignación de tarjeta reguladora a cada circuito
- Porcentaje máximo de encendido
- Porcentaje mínimo de encendido

En este momento cabe mencionar que el circuito selector, las tarjetas reguladoras, las pastillas termomagnéticas y los conectores se encuentran dentro del tablero de control. Para mayor claridad consultar la figura 2.6 en donde se muestra esquemáticamente este circuito

Una de las principales ventajas de este sistema es de que se pueden programar hasta 17 situaciones de iluminación diferentes en las luminarias de una zona específica durante las 24 horas del día por tablero. Estas situaciones se llaman ESCENAS, las cuales ya se han explicado anteriormente.

Estas escenas se pueden programar en base a las necesidades de los usuarios y un calendario y horario en donde se pueden contemplar los días festivos, días no

Estas escenas se pueden programar en base a las necesidades de los usuarios y un calendario y horario en donde se pueden contemplar los días festivos, días no hábiles, horario de acuerdo a la estación del año y a la luz natural que entra del exterior.

Actualmente se está trabajando con un solo programa porcentual en todos los pisos del edificio, el cual es el siguiente:

**Edificio Montas Urales 424**

**Relación de Escenas y Horarios**

**Horario de Lunes a Viernes**

Hora	Escena	Porcentual	Gradual
6:00 a.m.	No. 3	20%	50% ON 50% OFF Perímetros Apagados
7:00 a.m.	No. 2	65%	100% ON Perímetros apagados
8:00 a.m.	No. 1	80%	100% ON Perímetros apagados
2:00 p.m.	No. 2	65%	100% ON Perímetros apagados
5:00 p.m.	No. 5	80%	100% ON Perímetros encendidos
9:00 p.m.	No. 2	65%	100% ON Perímetros apagados
10:00 p.m.	No. 5	0%	50% ON 50% OFF Perímetros apagados

**Horario de Sábados**

Hora	Escena	Porcentual	Gradual
8:00 a.m.	No. 2	65%	100% ON Perímetros apagados
6:00 p.m.	No. 5	0%	50% ON 50% OFF Perímetros apagados

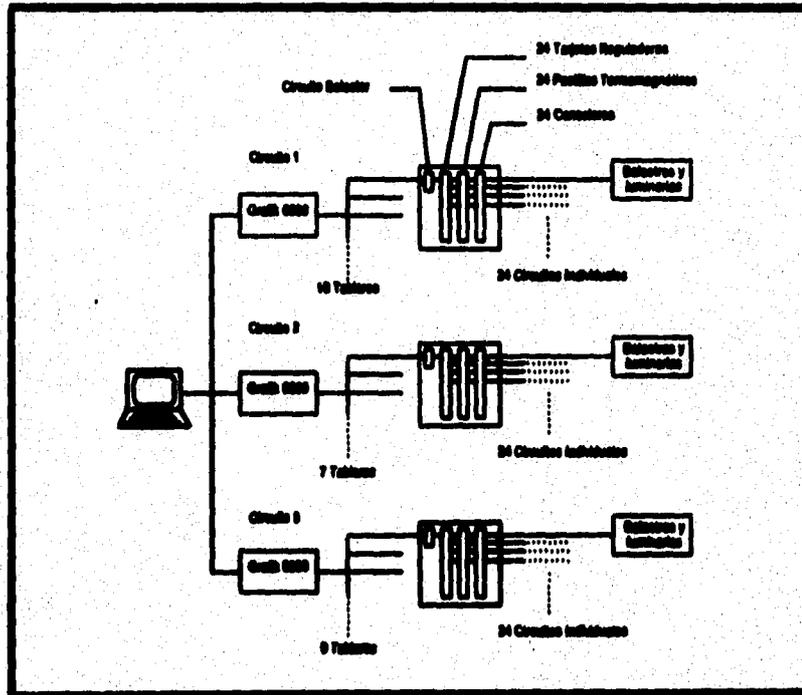


Fig. 2.5 Esquema del Circuito de Iluminación Porcentual

### 2.3.2. Control Inteligente de Iluminación Gradual

A diferencia del Sistema de Iluminación Porcentual, el Sistema de Iluminación Gradual es un sistema de iluminación que controla su intensidad de acuerdo al número de luminarias que están encendidas. Dicho de otra manera la iluminación gradual se regula por el encendido-apagado de las luminarias, no por la intensidad de energía que llega a ellas. Este sistema se controla desde el sistema general de control de Honeywell. Ver especificaciones en el capítulo 5, en las secciones 5.1 y 5.2

Las áreas principales en las que se tiene el sistema de iluminación gradual es en áreas comunes, tales como pasillo, corredores, jardinerías y estacionamientos, ya

que en estas áreas no impacta tanto el que algunas lámparas estén completamente apagadas a determinadas horas del día en las que no son muy transitadas.

Por el momento, y de acuerdo al programa de iluminación presentado en la sección anterior, vemos que desde las 7:00 a.m. y hasta las 10:00 p.m., todas las lámparas están encendidas y que durante el resto de la noche, solo la mitad de ellas están en funcionamiento. La iluminación de los perímetros del edificio está apagada todo el día y solo se prende de 5 p.m. a 9 p.m. El beneficio que se obtendrá con este sistema lo ejemplificamos a continuación con el programa de iluminación que se sugiere para el alumbrado de los sótanos (estacionamientos):

Estos permanecerán casi toda la noche al 25% de iluminación. En la mañana, a partir de las 6:00 a.m. el 50% de las luminarias se encienden, ya que a esa hora el tráfico es casi nulo, sin embargo es en ese momento en el que el personal de limpieza realiza su labor. A las 8:00 a.m. el 100% de las luminarias es encendido para recibir a los empleados. a las 10:00 a.m. se apaga el 50% de las luces para disminuir el consumo de energía, sin embargo, esta iluminación es suficiente para el tráfico relativamente reducido de esa hora (visitantes, empleados con permiso, etc.). A la hora de la comida, nuevamente vuelven a encenderse al 100% y después de ésta se vuelven a apagar al 50%. A la hora de la salida y hasta las 9:00 p.m. están encendidas al 100%, después regresan al 50% hasta las 11:00 p.m. y después de esa hora quedan nuevamente al 25% para los rondines del departamento de vigilancia. Ver la gráfica de la figura 2.6.

Además de prender y apagar las luces para el ahorro de energía, el sistema de iluminación gradual también puede ser programado para indicar como prenden las luminarias.

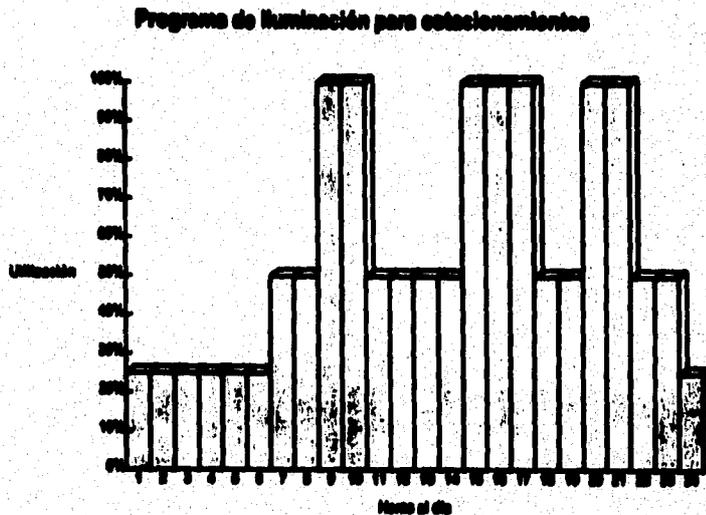


Fig. 2.6 Sugerencia para un programa de iluminación gradual en estacionamientos

Si siempre prendieran y apagarán las mismas, el desgaste en las mismas sería desigual; la mitad de ellas se tendrían que cambiar muy a menudo y la otra mitad muy de vez en cuando. El sistema alterna las luminarias de tal forma que las que prendieron en la mañana no sean las mismas que prenden en la tarde, evitando así que algunas lámparas queden siempre encendidas.

## **2.4. Sistema Eléctrico de Emergencia**

### **2.4.1. Plantas de Emergencia**

Las plantas de emergencia son dispositivos que aprovechan cierto tipo de energía para producir energía eléctrica. En este caso, trabajaremos con plantas con motor de combustión interna para transformar la energía térmica del combustible diesel en energía eléctrica. Este tipo de plantas se usa en sistemas de distribución

modernos que usan frecuentemente dos o más fuentes de alimentación debido a razones de seguridad y/o economía de las instalaciones en donde es esencial la continuidad del servicio eléctrico, por ejemplo:

- Instalaciones de Hospitales.
- Servicios de importancia crítica como elevadores.
- Instalaciones de alumbrado locales.
- Industrias de proceso continuo
- Instalaciones de computadoras, equipos de procesamiento de datos, etc.

En este edificio tenemos 3 plantas de emergencia con las siguientes especificaciones:

**GE-1** Planta generadora de energía eléctrica en servicio emergencia MCA. Selmec, modelo 1000-DFJD con capacidad de 913 KW continuos, 1000 KW en emergencia, para operar en 3F, 4H, 440/254 [V], F.P. 0.8 accionada con motor Cummins a diesel, la cual alimenta el equipo de aire acondicionado de precisión y sistema hidráulico

**GE-2** Planta generadora de energía eléctrica en servicio emergencia MCA. Selmec, modelo 1000-DFJD con capacidad de 913 KW continuos, 1000 KW en emergencia, para operar en 3F, 4H, 220/127 [V], F.P. 0.8 accionada con motor Cummins a diesel. Esta planta alimenta una carga significativa de alumbrado en todos los pisos y el servicio de elevadores.

**GE-3** Planta generadora de energía eléctrica en servicio emergencia MCA. Selmec, modelo 600-DFGB con capacidad de 650 KW continuos, 600 KW en emergencia, para operar en 3F, 4H, 220/127 [V], F.P. 0.8 accionada con motor Cummins a diesel. Con este equipo proporcionamos energía eléctrica a todo el

equipo de voz y datos situado en los diferentes pisos, cubículos y centros de cómputo y que representa la carga de mayor prioridad para la operación del sistema productivo de esta empresa. Dicho en otras palabras cualquier otro sistema puede quedar sin energía eléctrica, excepto el alimentado por la planta GE-3.

Estas plantas son de operación automática, de tal manera que cuando hay una falla en la energía eléctrica, entran en funcionamiento de 3 a 4 segundos. A continuación se explica que es lo que hace el sistema cuando hay una falla de alimentación y cuando se restablece está.

#### **Falla de Alimentación**

Al momento de la falla, un interruptor de transferencia (tipo contactor magnético) sale de la posición normal "N" y pasa a la posición fuera "F".

Al mismo tiempo el circuito de control de transferencia y paro manda señales al:

- Interruptor de transferencia para que éste se prepare para pasar a la posición de emergencia "E".
- Control maestro para que éste a su vez, mande la señal de arranque de la planta y la proteja contra falla de arranque, alta temperatura, baja presión de aceite y sobrevelocidad.

A los tres segundos la planta generadora está a toda su capacidad y el interruptor de transferencia se pasa a la posición de emergencia, alimentándose así la carga con la alimentación de emergencia; esta operación se le denomina "Transferencia" y puede variar de tres a diez segundos, dependiendo de la capacidad de la planta y la carga que tenga ésta.

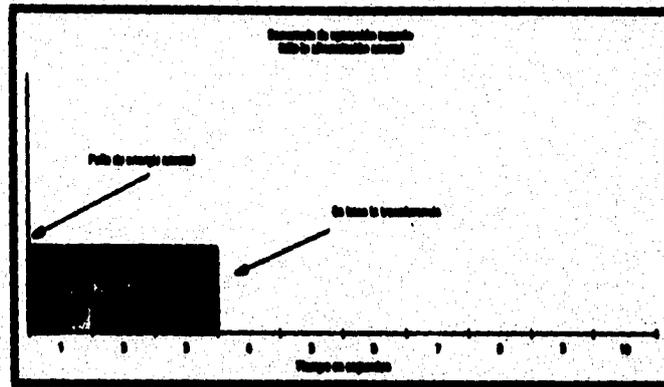


Fig. 2.7. Gráfica de tiempo en falta

### Restablecimiento de Alimentación

El circuito de control de transferencia y paro detecta la presencia de la alimentación normal y:

- A los cuatro minutos manda la señal al interruptor de transferencia para que haga la retransferencia, o sea, que se pase de la posición "F" a la posición "N". Se da este tiempo para dar oportunidad a la alimentación normal de restablecerse completamente, aunque también es variable, dependiendo de la zona en que esté instalada la planta.
- Cuatro minutos después manda la señal al control maestro para que éste dé la señal de paro de la planta. Se da este tiempo para dar oportunidad a la unidad para que disipe el calor excesivo, lográndose con ello una mejor conservación del motor.

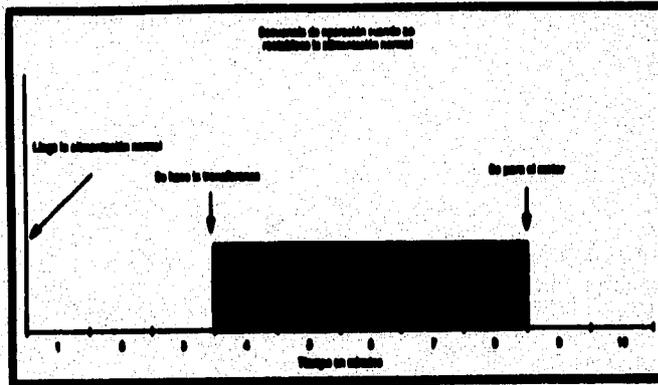


Fig. 2.8 Gráfica de tiempo en restablecimiento

### Instalación

Como se mencionó anteriormente, tenemos un sistema de emergencia de tres plantas con las especificaciones antes indicadas, las cuales están conectadas como se muestra en el siguiente diagrama:

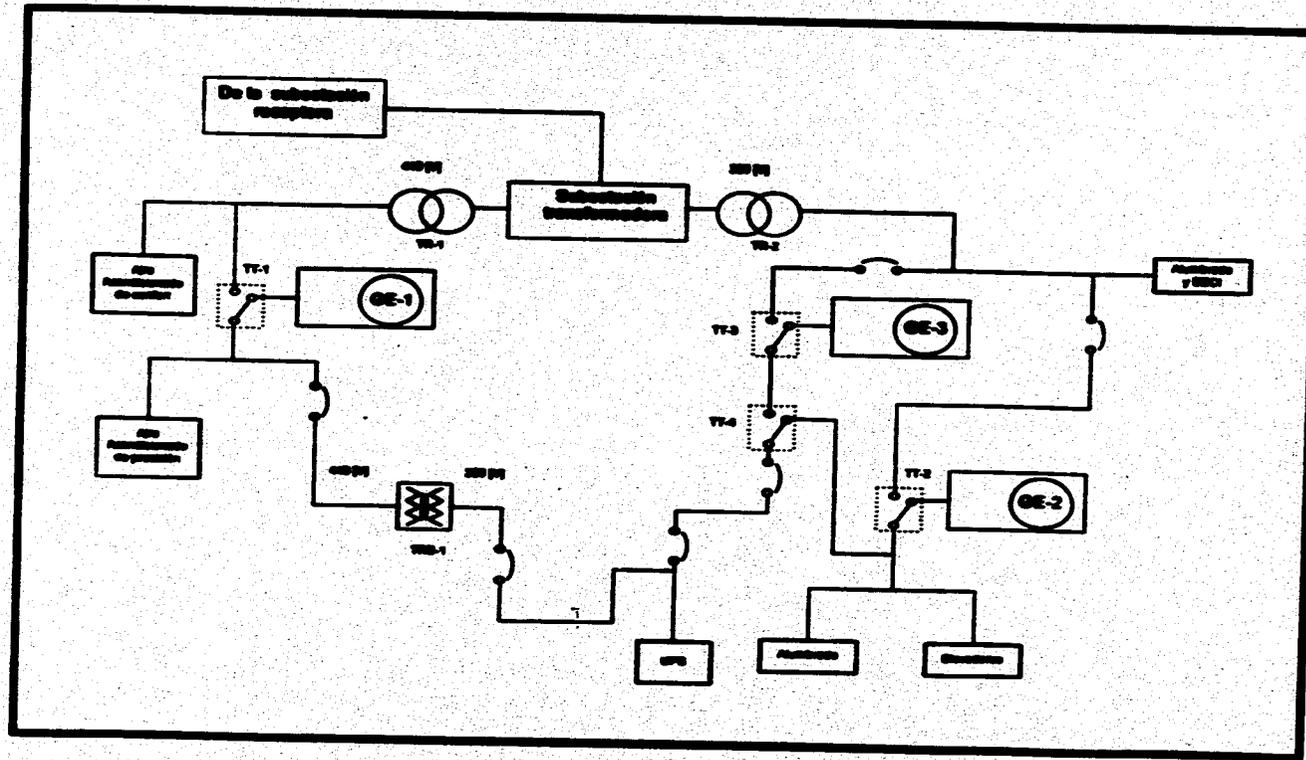


Fig. 2.9 Diagrama del Sistema de Emergencia

La instalación está dispuesta de tal manera que en el caso de que alguna de las plantas falle, las otras se interconectan a través de los tableros de transferencia de tal manera que pueden soportar el servicio del equipo faltante.

Los principales casos que tenemos considerados, son los siguientes:

**1.- Falta en la GE-1**

La carga eléctrica soportada por esta planta, se queda sin alimentación, por lo consiguiente, y por tener la prioridad más baja, no se transfiere a ninguna otra planta de emergencia. Quedan sin energía el aire acondicionado de precisión y el sistema hidroneumático.

**2.- Falta en la GE-2**

Quedan sin energía eléctrica todo el alumbrado y los elevadores

**3.- Falta en la GE-3**

Esta planta eléctrica está alimentando directamente al equipo de cómputo, el cual es de alta prioridad, por lo que si ésta falla, el tablero de transferencia TT-4 se activa para mandar la carga eléctrica hacia la planta de emergencia GE-2, la cual es una planta con capacidad de 1000 KW, diseñada para soportar inclusive las cargas mencionadas anteriormente, además de la propia.

**4.- Falta en GE-1 y GE-2**

Quedan fuera de servicio el aire acondicionado de precisión (para los centros de cómputo), el alumbrado en las áreas que aún se tenía, los elevadores y el sistema hidroneumático

**5.- Falta en GE-1 y GE-3**

Quedan fuera de servicio el aire acondicionado de precisión y el sistema hidroneumático

---

### **6.- Falta en la GE-2 y GE-3**

En este caso la planta GE-1 tomará la carga prioritaria soportada por GE-3, transformando la alimentación de voltaje de 440 [V] a 220 [V] a través de un transformador de núcleo seco y tendrá la capacidad de alimentar su carga y la de los centros de cómputo. Para tener esta condición, se tendrán que accionar manualmente dos interruptores electromagnéticos para dirigir el flujo de corriente hacia el circuito respectivo.

### **7.- Falta en GE-1, GE-2 y GE-3**

Todos los servicios quedan detenidos, quedando únicamente en servicio y por un lapso de 14 a 18 minutos, la alimentación a los equipos de cómputo y telefonía a través de un banco de baterías, instalados en los 2 UPS's centrales. Para mayor información de este equipo, consultar la sección 2.4.3 Sistema de Energía Ininterrumpible.

Resumiendo, el criterio del sistema de emergencia para este Edificio Inteligente de oficinas corporativas, es dar la máxima prioridad a las cargas eléctricas de los equipos de cómputo y telefonía, que es donde se procesa y transmite la información y los negocios de la empresa.

En segundo lugar se tiene considerados los servicios de apoyo tales como aire acondicionado de precisión, parte del alumbrado interior, servicio hidroneumático y elevadores

Finalmente, queda fuera del sistema de emergencia ( y por lo tanto sin prioridad) el aire acondicionado de confort, parte de los alumbrados interior y de sótanos (estacionamientos) y el alumbrado externo

### 2.4.2. Tableros de Transferencia

El diseño de un Edificio Inteligente no solo significa que todos sus elementos estén automatizados o involucren tecnología de punta. También se refiere al diseño inteligente de sus sistemas, aprovechando inclusive elementos tradicionales, pero usándolos de una manera novedosa para extender sus capacidades.

Tal es el caso de los tableros de transferencia. En una instalación de planta de emergencia se acostumbra usar un tablero de transferencia, manual o automático para hacer el cambio de la alimentación normal a la planta de emergencia en caso de ser necesario. En algunos casos, previniendo una falla de dicha planta, se tiene una segunda planta de respaldo, en caso de que falle la primera, pero esto ocasiona que se tenga la mitad del equipo subutilizado, lo que origina fuertes inversiones adicionales y gastos de mantenimiento innecesarios.

En el caso de este edificio, las tres plantas de emergencia entrarán en acción simultáneamente y de forma automática, en caso de ser requeridas y si alguna llegara a presentar problemas, los tableros detectan cual o cuales de ellas han fallado para redireccionar las cargas, considerando las prioridades que se detallan en la sección 2.4.1. Con esto se logra un ahorro financiero a largo plazo. Es interesante hacer notar que el elemento que tiene un papel clave en el diseño del sistema es el tablero de transferencia No. 4 (TT-4), el cual es el encargado de detectar la falla en la planta de emergencia GE-3 y redireccionar la carga hacia la planta GE-2. Con esto se logra la versatilidad y ampliación de las capacidades que se habían mencionado, ya que el equipo es utilizado de una manera inteligente, sin necesidad de tener otros equipos de respaldo adicionales.

Los interruptores que se han instalado en nuestro edificio en estudio son 4 interruptores de la marca SELMEC debido a las características de ser equipos sencillos y funcionales y sobre todo por requerir un mantenimiento mínimo.

Dependiendo de la carga a conmutar, SELMEC ofrece tres modelos diferentes, los cuales se listan a continuación:

Tipo	Carga
Interruptor de transferencia tipo contactores	Hasta 250 amperes
Interruptor de transferencia en caja moldeada con protección magnética (CHANGEMATIC)	Hasta 1000 amperes
Interruptor de transferencia electromagnética en aire (QUICK MAKE)	Hasta 3000 amperes

Para nuestro caso de estudio, se seleccionaron interruptores tipo CHANGEMATIC, debido a que las cargas que manejan están por arriba de los 250 [A] y por debajo de los 1000 [A].

Este interruptor de transferencia automática está equipado con un switch selector de dos posiciones (MANUAL-AUTOMÁTICO). Cuando el switch está en la posición de automático, la transferencia pasa de normal a emergencia, o viceversa, sin detenerse nunca en la posición de abierto, con lo cual garantizamos que nunca tendremos fuera de operación a las plantas de emergencia, cuando se operen automáticamente.

#### 2.4.3. Sistema de Energía Ininterrumpible

Este sistema tiene como objetivo el respaldar y regular en forma inmediata cualquier falta de energía o alteración de voltaje de la alimentación general.

Los equipos que están conectados a este sistema son principalmente computadoras, conmutadores telefónicos y todo lo relacionado a las instalaciones de voz y datos del edificio.

El equipo, también llamado UPS (Fuente ininterrumpible de energía), está formado por un gabinete donde se encuentran dispositivos electrónicos que nos rectifican los voltajes de alimentación a las cargas, así como un inversor, que convierte la corriente directa de un banco de baterías a corriente alterna.

La función de este banco de baterías es la de tomar la carga en forma instantánea en cuanto existe una falla en la alimentación, mientras arrancan las plantas de emergencia y se estabiliza su voltaje de operación.

Los UPS's instalados, fueron reutilizados de otras instalaciones ya existentes, en virtud de que cumplan con los requerimientos especificados para el nuevo edificio.

Tenemos dos UPS's instalados; uno marca Liebert® de 100 [KVA] de capacidad con un banco de baterías de 14 minutos de respaldo; el otro es marca Mitsubishi® de 300 [KVA] de capacidad y con un banco de baterías de 18 minutos de respaldo.

La razón por la que estos tiempos de respaldo sean tan breves es que la función principal del UPS no es la de soportar la carga por un tiempo indefinido, sino la de hacer transparente para los equipos de voz y datos la falta de la alimentación general y la entrada de las plantas de emergencia. Debido a la naturaleza de estos equipos, no se puede interrumpir la energía en ningún momento, lo que no se lograría debido a la forma de operación de las plantas de emergencia que tardan hasta 10 segundos en estar al 100% de su capacidad de operación.

En el display que se encuentra en el gabinete del equipo se puede monitorear lo siguiente: voltaje de entrada, voltaje de salida, porcentaje de carga, frecuencia, voltaje entre fases, eventos extraordinarios, etc.

---

## **2.5. Propuesta de Mantenimiento para el Sistema Eléctrico**

### **2.5.1. Subestaciones Eléctricas y Transformadores**

El mantenimiento correctivo es una parte importante del mantenimiento de cualquier equipo o sistema. Sin embargo para esta tesis, nos concentraremos únicamente en el mantenimiento preventivo de los mismos.

Para un resultado óptimo de la propuesta de mantenimiento para las subestaciones, se deberán cumplir con ciertos requisitos preliminares de instalaciones y ambiente de operación, con el objeto de tener al equipo en las mejores condiciones, evitando costarlo a situaciones extremas o inadecuadas para los mismos. Estas medidas son:

- El local de las subestaciones deben mantenerse aseado, seco, bien ventilado, preferentemente con una temperatura ambiente promedio de 30°C y una máxima de 40°C, libre de polvo, humos o agentes similares.
- Los gabinetes y mirillas de inspección deben mantenerse lo más limpio posibles.
- Debe evitarse el almacenaje de objetos ajenos a las subestaciones en el local de las mismas.
- Vigilar que los extintores, pértiga y fuelles de repuesto estén siempre en condiciones óptimas de operación y que se encuentren a la mano.
- SIEMPRE deben transcurrir unos 20 segundos después de desenergizar y abrir las puertas de la subestación para entrar en

ella, además de descargar eléctricamente los buses de las mismas.

El mantenimiento preventivo para las subestaciones eléctricas transformadoras se realizará en dos fases, la fase de inspección y la fase de examen.

Para la fase de inspección, de acuerdo a las propuestas realizadas por los fabricantes y debido a que la frecuencia de maniobras de una subestación es relativamente baja, es aconsejable realizar las siguientes actividades de mantenimiento preventivo, por lo menos cada 12 meses, las cuales principalmente consisten en una inspección visual preventiva de todos los equipos y dispositivos eléctricos que forman parte de la subestación, para descubrir posibles señales de deterioro, pudiendo incluir comprobaciones operacionales de los mismos. Estos trabajos no implican desmontaje de los equipos. Las actividades a realizar son:

- Inspección visual para verificar el estado y condiciones que guardan los equipos.
- Limpieza del polvo que se ha acumulado en todas las partes de metal y partes aislantes.
- Revisar, limpiar y engrasar los contactos de las cuchillas y del interruptor en aire.
- Verificar que los tornillos de todas las uniones y conexiones se encuentren perfectamente apretados.
- Revisar que los accionamientos mecánicos para la conexión y desconexión manual de las cuchillas y del interruptor estén correctamente ajustados.

Como actividades de la fase de examen se recomienda realizar un examen de los componentes de la subestación después de tres o cuatro años de operación

normal, o después de 200 operaciones bajo carga, lo que ocurra primero, consistiendo en una revisión detenida de piezas que implicará probablemente algún desmontaje con objeto de darse una idea en cuanto a sus condiciones. Estas actividades son:

- Verificar el desgaste de piezas de contactos, así como de todas las piezas que realizan movimientos, por ejemplo: flechas, guías, barras, resortes, etc.
- Realizar la prueba de rigidez dieléctrica entre fases y de fases a tierra de cada uno de los equipos contenidos en la subestación, incluyendo aisladores de barras y apartarrajos.

Aún cuando las actividades para la fase de inspección se recomiendan hacerse al menos cada año, nosotros sugerimos que sean realizadas cada 6 meses, debido a que esta revisión no requiere demasiado tiempo, se cuenta con el personal necesario en todo momento y por su naturaleza no se requiere hacer un gesto inmediato.

Por otro lado, para la fase de examen consideramos que estas actividades deben realizarse cada 3 años, que es lo que recomienda el fabricante.

En ambos casos se deberá llevar un reporte o bitácora que deberá ser archivado en un lugar adecuado, para llevar un registro de todos los servicios que se le han hecho a estos equipos, así como poder programar con exactitud los que serán requeridos en el futuro.

Los transformadores que se tienen instalados en estas subestaciones son transformadores de potencia autoenfriados en silicón, por lo que su mantenimiento radica principalmente en mantener en buen estado el silicón. Sin embargo, hay otras pruebas que se tienen que realizar y que se presentan a continuación:

- Líquido aislante
  - Resistencia dieléctrica mayor a 23 [KV]
  - Color cristalino azulado
- Resistencia de aislamiento, la cual se realiza entre fases y tierra
- Índice de polarización
- Factor de potencia el cual no debe ser mayor al .05%
- Prueba de voltaje inducido para determinar la calidad del aislamiento que hay entre las espiras y entre las bobinas del primario y del secundario; es decir, se demuestra la calidad del aislamiento de los devanados.

Todas estas pruebas se realizan anualmente, excepto la prueba del voltaje inducido, que se realiza cada 5 años. Así mismo se debe verificar cada seis meses el apriete de tornillos para evitar absorción de humedad a través de los empaques. Si se encuentran en mal estado, habrá que cambiarlos.

### **2.5.2. Sistema Eléctrico Normal**

El Sistema eléctrico normal es básicamente todo el cableado y la distribución eléctrica del edificio. Lo analizamos aquí porque su importancia es básica en el funcionamiento del inmueble.

Al cableado se realiza una inspección visual cada 6 meses, en donde haya posibilidad de hacerlo, verificando que no exista degradación en el aislante del cable, lo cual puede ser originado tanto por agentes corrosivos como por roedores que destruyan el mismo.

A los tableros de distribución se le da el siguiente mantenimiento:

- Apriete de tornillos y bornes de los interruptores termomagnéticos cada 2 meses.
- Tomar mediciones de voltajes y amperajes para prevenir sobrecargas cada 2 meses.
- Verificar balanceo de cargas cada 2 meses.
- Revisión de las zapatas y platinos de los interruptores.

Los arrancadores se usan básicamente en los motores del edificio, tales como bombas de agua y aire acondicionado y su mantenimiento consiste básicamente en supervisar periódicamente su accionamiento y operación cada mes.

Además de los elementos mencionados anteriormente, tenemos el sistema de iluminación, cuyo mantenimiento es mínimo, ya que solo se concreta a hacer una inspección visual de los tableros de distribución y limpiar el polvo acumulado en ellos cada 6 meses. El mantenimiento de la computadora que controla este sistema se presentará en el capítulo del sistema de control. Por otro lado, podemos decir que el mantenimiento a las luminarias y balastras se hace prácticamente todos los días, ya que en cuanto algunos de estos elementos falla, es reportado de inmediato por el personal afectado y la gente del departamento de mantenimiento acude de inmediato para reparar la falla.

### **2.5.3. Sistema Eléctrico de Emergencia**

Como se ha visto anteriormente, el sistema de emergencia comprende a las plantas de emergencia, los tableros de transferencia y los UPS's. En el caso de las plantas de emergencia, los principales elementos que tenemos son el motor de combustión interna y el generador, pero además hemos incluido a los tableros de transferencia como parte de este equipo, debido a que el mantenimiento se hace en conjunto, ya que si no existieran plantas de emergencia, no tendría sentido

instalar dichos tableros. Para este equipo y al igual que en el caso de las subestaciones eléctricas, se deben acatar las siguientes recomendaciones generales para lograr una operación sin problemas y un mantenimiento más efectivo:

- Procurar que no entre tierra ni polvo al motor, al generador y al interior de los tableros de control y transferencia.
- Conservar perfectamente lubricado el motor y las chumaceras del generador y excitatriz.
- Cerciorarse de que el combustible esté bien dosificado para el motor.
- Comprobar que al operar la planta se conserven dentro de los valores normales las temperaturas del agua del radiador, de los embobinados del generador, de las bobinas de los contactores magnéticos, de los tableros, etc.
- Evitar fugas y goteras sobre partes metálicas para evitar la corrosión.
- Mantener siempre los suministros de aire necesario, tales como: Aire limpio para la operación del motor, aire fresco para el enfriamiento del motor y generador y los medios necesarios para desatorar el aire caliente.
- Corregir las fallas en cuanto se presenten sobre todo en el caso de las más sencillas.
- Llevar una bitácora del mantenimiento de la planta para comprobar la correcta aplicación del programa de mantenimiento.

- Llevar una bitácora del mantenimiento de la planta para comprobar la correcta aplicación del programa de mantenimiento.

El mantenimiento que se da actualmente a estos elementos es mensual; sin embargo, hay ciertos elementos que requieren una inspección más frecuente, estas actividades no toman mucho tiempo y el puede evitar un problema potencial, en caso de que se requieran las plantas. El programa de actividades que se sugiere es el siguiente:

- **Diariamente verificar:**
  - Que no haya securrimientos de ningún tipo así como objetos extraños sobre el motor, generador y tableros.
  - Válvulas de combustible abiertas
  - Que el precalentador eléctrico del agua opere correctamente a 70°C.
- **Semanalmente, además de todo lo anterior, verificar:**
  - Nivel de agua en el radiador
  - Nivel de aceite en el cárter.
  - Nivel de combustible en el tanque
  - Limpieza y buen estado del filtro de aire
  - Limpiar el polvo que se haya acumulado sobre la planta o en los pasos de aire de enfriamiento y los tableros
  - Operar la planta en vacío durante 30 minutos

- Mensualmente, además de lo anterior, verificar:
  - Nivel del electrolito en las baterías, limpieza de los bornes y apriete de las terminales
  - Purgar el tanque de combustible y filtros, así como de la trampa de agua en sistema de inyectores para evitar fugas y entradas de aire.
  - Que no existan tornillos flojos, elementos caldos, sucos o faltantes en el motor o tablero.
  - Comprobar la tensión correcta y el buen estado de las bandas del ventilador y generador.
  - Apriete de conexiones en todos los componentes del sistema de inyectores para evitar fuga y entrada de aire.
  - Verificar estado y apriete de mangueras en general.
  - Verificar funcionamiento y calibrar temperatura en el prescalentador y termostato, para que la temperatura se mantenga a 70°C.
  - Verificar régimen de carga de batería, en conjunto alternador, regulador y batería.
  - Lubricar cojinetes de generador, marcha y bomba de agua.
  - Apriete en general de terminales eléctricas en el motor.
  - Verificar la calibración de las protecciones por alta temperatura, baja presión de aceite, falla de arranque y sobrevelocidad.
  - Verificar la calibración del gobernador para ajustar la velocidad del motor a 1800 [RPM] 60 [Hz].

- **Verificar apriete y estado del acoplamiento del generador con el motor.**
- **Apriete de terminales en el interruptor termomagnético, diodos giratorios y tornillería en general, en generador de corriente alterna.**
- **Comprobar apriete y voltaje de operación del regulador de voltaje del generador de corriente alterna.**
- **Verificar resistencia en motor principal y motor excitador.**
- **Apriete de terminales eléctricas en control y fuerza de tableros de transferencia.**
- **Comprobar tiempo de operación en intentos de arranque, de transferencia y paro del motor.**
- **Verificar operación de aparatos de medición (voltímetro, amperímetro y frecuencímetro).**
- **Verificar operación de sensor de voltaje y cargador de baterías en tablero de control.**
- **Verificar y calibrar operación del reloj de programador semanal.**
- **Comprobar paro de motor y sistema de alarma al accionar protecciones del motor.**
- **Pruebas con carga en operación manual y automática.**
- **Limpieza general del conjunto motor, generador y tablero de transferencia.**

Como el funcionamiento de las plantas es esporádico y por periodos relativamente cortos, se debe tener monitoreado el tiempo de operación total de las plantas para que cada 100 horas se haga el cambio de filtros y el cambio de aceite y a las 500 horas se realice la afinación del motor de las mismas. Esta afinación es hecha por personal especializado, pero en general se concreta a la revisión y limpieza de la bomba de inyección e inyectores de combustible, así como al cambio de aceite y filtros.

Claramente se puede notar que el mantenimiento para las plantas de emergencia es sensiblemente mas amplio, comprende más actividades y con mayor frecuencia que en otros equipos. La razón es simple, al tener partes móviles y motores de combustión interna en estos equipos, hay vibraciones, generación de calor y desgaste; además de que es un equipo de vital importancia para el buen funcionamiento del edificio y es primordial de que su estado esté en condiciones excelentes en todo momento para que pueda ser utilizado sin problemas cuando así sea necesario.

El mantenimiento a los UPS's se realiza a través de una compañía especializada en realizarlo, debido al sistema complejo de sus componentes, básicamente electrónicos.

**Este mantenimiento es manual y semestralmente**

El mantenimiento mensual se realiza con carga llevando a cabo las siguientes actividades:

- Limpieza del gabinete y banco de baterías
- Apriete de tornillería
- Buen estado de cables de carga
- Operación correcta de tarjetas electrónicas

- Buen estado de fusibles
- Operación correcta de todos los indicadores y medidores
- Correcta operación de ventiladores
- Temperatura de operación dentro del rango especificado por el fabricante

También se debe verificar la operación de los UPS's a través de los siguientes parámetros:

- Voltajes de entrada entre fases
- Voltajes de salida entre fases
- Voltaje de baterías
- Voltaje del inversor
- Corriente de entrada en cada fase
- Corriente de salida en cada fase
- Corriente del rectificador
- Frecuencia de entrada
- Frecuencia de salida

El mantenimiento también incluye una prueba de respaldo del UPS's

El mantenimiento semestral incluye, además de las actividades que se mencionan para el mantenimiento mensual, las siguientes actividades, las que se deben realizar sin carga:

- Limpieza de ventiladores

• Limpieza y ajuste de conexiones de baterías

...Y en general todas las partes mecánicas que conforman el sistema, las cuales se deberán desarmar totalmente para realizar limpieza y engrasado de las mismas.

De acuerdo a lo anterior, y revisando las rutinas de mantenimiento que se efectúan para estos mismo equipos instalados en un edificio tradicional, se concluye que el mantenimiento es el mismo y solo se diferencia en el control del monitoreo que se instala en el Edificio Inteligente para visualizar los parámetros registrables en la computadora central. También el costo es el mismo ya que las empresas que proveen este servicio aún no toman en cuenta en que tipo de inmueble trabajen porque para ellos los equipos aún son los mismos y tratan de intervenir lo menos posible en el sistema de control central.

**2.6. Análisis Costo Beneficio del Mantenimiento del Sistema Eléctrico**

Empezaremos este análisis mencionando primero algunas características que se tienen al instalar los sistemas automatizados en Edificios Inteligentes.

Edificio Tradicional	Edificio Inteligente
Mano de obra estándar	Mano de obra mejor capacitada
Mayor supervisión física	Supervisión centralizada
Los programas deben de seguirse mediante una revisión continua	Mejor control de los programas preestablecidos
Mayor frecuencia de atención de reportes	Las reposiciones de refacciones se vuelven mas esporádicas
Se deberá llevar un control escrito para poder determinar la vida útil de las refacciones	Se puede prevenir con mayor facilidad el desgaste de las refacciones con un control automatizado

Estos puntos por si solos nos reflejan únicamente beneficios en la ejecución y control del mantenimiento a las instalaciones y no representa significativamente un costo importante de ahorro, ya que como se observa en los puntos anteriores, el importe en la mano de obra se incrementa debido a la especialización de la misma. Sin embargo, el ahorro representativo se refleja en la reducción de personal debido a que los trabajos de supervisión y las ocasiones de reemplazo de refacciones y mantenimiento preventivo a las instalaciones se realizan en periodos mas largos, lo que nos permita optimizar el tiempo de trabajo del personal.

En el caso de las subestaciones eléctricas receptoras y transformadoras, las plantas de emergencia y los UPS's, aparentemente se tiene un gasto adicional, ya que se hace una fuerte inversión en dicho equipo, sin embargo el beneficio radica en que debido a la disposición especial de esta instalación, se reduce en un 50% el riesgo de dejar sin energía eléctrica al edificio ya que se tiene una doble alimentación, si un circuito falla, el otro sigue funcionando sin afectar la función del edificio. Así pues, las plantas de emergencia y los UPS's apoyan esta característica de operación continua, la cual no existiría si no se hubiesen instalado. Las plantas de emergencia pueden operar de manera indefinida, incluye en caso de desastre natural y los UPS's protegen continuamente contra descargas eléctricas a los equipos más delicados sin los cuales la empresa no puede ejercer su función financiera. En estos equipos no se tiene un ahorro de energía, pero si se tiene un beneficio que deriva en la operación continua del edificio, lo cual justifica la inversión.

Finalmente el ejemplo más palpable de una relación Costo-Beneficio lo tenemos en el sistema de iluminación, el cual si genera un ahorro de energía debido a la inversión en un equipo de tecnología de punta.

Se considera que en promedio existe una carga instalada de alumbrado porcentual en cada piso de oficina desde la Planta Baja al Cuarto Nivel de 60

[KW], por lo tanto, de acuerdo al programa de iluminación porcentual instalado (revisar la sección 2.3.1) se concluye que el ahorro es el que se presenta en las siguientes tablas:

**Tabla No. 1**  
**Programa de Iluminación porcentual de lunes a viernes**  
**Carga instalada: 60[KW]**

Escena No.	Ahorro en %	Horas de operación	Ahorro en [KW]	Totales en [KW-Hr]
3	60	1	48	48
2	35	1	21	21
1	20	6	12	72
2	35	3	21	63
6	20	4	12	48
2	35	1	21	21
<b>Subtotal</b>				<b>273</b>

**Tabla No. 2**  
**Programa de Iluminación porcentual de sábados**  
**Carga instalada: 60[KW]**

Escena No.	Ahorro en %	Horas de operación	Ahorro en [KW]	Totales en [KW-Hr]
2	35	10	21	210
<b>Subtotal</b>				<b>210</b>

El sistema de iluminación gradual está dividido en pisos de oficinas y estacionamientos

En cada piso de oficinas la iluminación gradual esta dividida así: 60% corresponde a pasillos y zonas de servicios y el 40% restante corresponde a perímetros., que comprende la iluminación gradual en cada piso; el consumo en cada uno de ellos es de 6(KW); el ahorro se muestra en la siguiente tabla

**Tabla No. 3**  
**Programa de Iluminación gradual de lunes a viernes**  
**en pisos de oficinas**  
**Carga instalada: 6 (KW)**

Escena No.	Ahorro en %	Horas de operación	Ahorro (en KW)	Totales en (KW-Hr)
3	70	1	4.2	4.2
2	40	1	2.4	2.4
1	40	6	2.4	14.4
2	40	3	2.4	7.2
6	0	0	0	0
2	40	1	2.4	2.4
6	70	6	4.2	33.6
<b>Subtotal</b>				<b>64.8</b>

**Tabla No. 4**  
**Programa de Iluminación gradual de sábados**  
**en pisos de oficina**  
**Carga instalada: 6 [KW]**

Escena No.	Ahorro en %	Horas de operación	Ahorro en [KW]	Totales en [KW-Hr]
2	35	18	2.1	33.6
<b>Subtotal</b>				<b>33.6</b>

El consumo de energía en cada estacionamiento es de 12 [KW]. En base a la propuesta hecha en la sección 2.3.2 para la iluminación en estacionamientos, se tiene el siguiente ahorro :

**Tabla No. 5**  
**Programa de Iluminación gradual de lunes a viernes**  
**en estacionamientos**  
**Carga instalada: 12 [KW]**

Escena No.	Ahorro en %	Horas de operación	Ahorro en [KW]	Totales en [KW-Hr]
A	50	2	6	12
B	0	2	0	0
A	50	4	6	24
B	0	3	0	0
A	50	2	6	12
B	0	2	0	0
A	50	2	6	12
C	75	7	9	63
<b>Subtotal</b>				<b>123</b>

**Tabla No. 6**  
**Programa de Iluminación gradual de sábados**  
**en estacionamientos**  
**Carga instalada: 12 [KW]**

Escena No.	Ahorro en %	Horas de operación	Ahorro en [KW]	Totales en [KW-Hr]
D	50	7	6	42
E	75	17	9	153
<b>Subtotal</b>				<b>195</b>

El total del ahorro presentado por cada tabla es por piso y por día. El total de energía ahorrada por mes se obtiene de la siguiente manera:

**Subtotal del sistema porcentual de lunes a viernes x 5 pisos x 20 días hábiles**

$$(173) \times (5) \times (20) = 17,300 \text{ [KW-Hr]}$$

+

**Subtotal del sistema porcentual de sábados x 5 pisos x 5 sábados**

$$(216) \times (5) \times (5) = 5,400 \text{ [KW-Hr]}$$

+

**Subtotal del sistema gradual de lunes a viernes x 5 pisos x 20 días hábiles**

$$(64.2) \times (5) \times (20) = 6,420 \text{ [KW-Hr]}$$

+

**Subtotal del sistema gradual de sábados x 5 pisos x 5 sábados**

$$(33.6) \times (5) \times (5) = 840 \text{ [KW-Hr]}$$

+

**Subtotal del sistema gradual de lunes a viernes x 5 estacionamientos x 20 días hábiles**

$$(123) \times (5) \times (20) = 12,300 \text{ [KW-Hr]}$$

+

**Subtotal del sistema gradual de sábados x 5 estacionamientos x 5 sábados**

$$(186) \times (5) \times (5) = 4,675 \text{ [KW-Hr]}$$

Sumando los totales de cada una de estas fórmulas, obtenemos un total de **86,985 [KW-Hr]**, el cual es el ahorro mensual de energía del sistema de iluminación

Si no se tuviera instalado este sistema de iluminación, el consumo en el edificio sería el siguiente:

**Carga instalada del Sistema de iluminación porcentual de lunes a viernes x 10 horas de operación x 5 pisos x 20 días hábiles**

$$(80) \times (10) \times (5) \times (20) = 80,000 \text{ [KW-Hr]}$$

+

**Carga instalada del Sistema de iluminación porcentual de sábados x 10 horas de operación x 5 pisos x 5 días hábiles**

$$(60) \times (10) \times (5) \times (5) = 15,000 \text{ [KW-Hr]}$$

+

**Carga instalada del Sistema de Iluminación gradual de lunes a viernes x 20 horas de operación x 5 pisos x 20 días hábiles**

$$(6) \times (20) \times (5) \times (20) = 12,000 \text{ [KW-Hr]}$$

+

**Carga instalada del Sistema de Iluminación gradual de sábados x 16 horas de operación x 5 pisos x 5 días hábiles**

$$(6) \times (16) \times (5) \times (5) = 2,400 \text{ [KW-Hr]}$$

+

**Carga instalada del sistema de Iluminación gradual de lunes a viernes x 24 horas de operación x 5 estacionamientos x 20 días hábiles**

$$(12) \times (24) \times (5) \times (20) = 28,800 \text{ [KW-Hr]}$$

+

**Carga instalada del sistema de Iluminación gradual de sábados x 24 horas de operación x 5 pisos x 5 días hábiles**

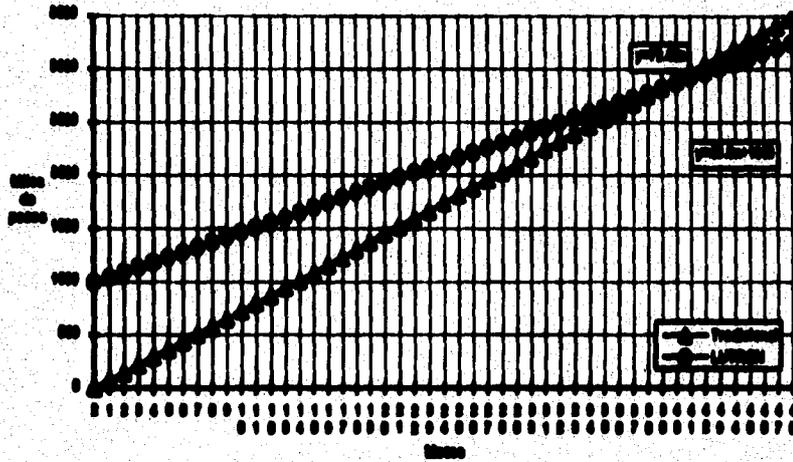
$$(12) \times (24) \times (5) \times (5) = 7,200 \text{ [KW-Hr]}$$

**Por lo que el consumo total, sin ahorro, sería de 151,400 [KW-Hr]**

El sistema de Iluminación está representando un ahorro del 35.31% en el consumo mensual de Iluminación. Tomando un precio de N\$ 0.45 por [KW-Hr], tendremos un ahorro de N\$ 25,843.25 mensuales. Si el costo del sistema de Iluminación LUTRON® fue de alrededor de N\$1,000,000.00 y el costo de su mantenimiento es prácticamente igual al de un edificio tradicional, tendremos que esta inversión se recuperará en 39 meses de uso del sistema (3 años y 3 meses).

La siguiente gráfica presenta la recuperación de esta inversión a lo largo del tiempo. La ecuación  $y=72.45x$  representa el costo acumulado del sistema tradicional y la ecuación  $y=48.8x+1000$  es la del sistema inteligente. La diferencia entre las dos gráficas después del punto de equilibrio indica el ahorro que se va acumulando mes con mes. Ambas ecuaciones son en miles de pesos

Retorno de la Inversión  
Sistema de Iluminación



## Capítulo 3

---

---

### Análisis del sistema de Aire Acondicionado

*"Todos quieren ser sabios, pero nadie quiere pagar el precio"*

*Jovenal*

#### 3.1. Descripción General.

El acondicionamiento del aire se originó en 1802. Primero se utilizó para ayudar en los procesos industriales, como por ejemplo, en el hilado del algodón, en la producción de fibras sintéticas, para imprimir colores múltiples en diversos productos, etc. Se hizo popular en la década de los 20's, cuando cientos de teatros fueron equipados con sistemas de enfriamiento para atraer a los clientes durante los calurosos meses de verano. Desde entonces el aire se acondiciona en muchos lugares: escuelas, oficinas, industrias, casas, automóviles etc<sup>o</sup>.

El edificio que se está analizando cuenta con tres sistemas de aire acondicionado, que son: Sistema de aire acondicionado de confort, Sistema de aire de precisión y Sistema de inyección y extracción de aire.

El sistema de aire acondicionado de confort provee al edificio la temperatura, la humedad y el ambiente necesarios para que la gente que labora en el edificio realice sus actividades cómodamente, logrando así un aumento en la productividad de los trabajadores.

El sistema de aire de precisión tiene la finalidad de mantener las condiciones ambientales adecuadas (temperatura y humedad), para que los equipos,

principalmente equipos de cómputo y de datos, trabajen adecuadamente. Muchos de estos equipos pueden dañarse cuando no trabajan en las condiciones de temperatura y humedad especificadas por los fabricantes, por lo que este sistema es uno de los más importantes en lo relativo a ambientación.

Los equipos de inyección se ocupan para la presurización de las escaleras y los de extracción se emplean principalmente para extraer el aire en los sanitarios y estacionamientos.

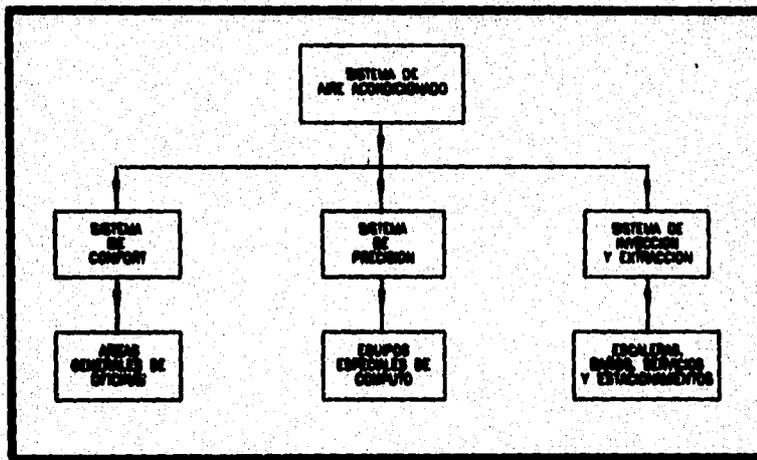


Fig. 3.1. Descripción general del sistema de aire acondicionado

El diseño del aire acondicionado para el edificio fue hecho de tal forma que en el interior de este se mantienen las condiciones de confort y calidad del aire adecuadas para un edificio de oficinas. Para lograr esto, se siguieron los siguientes lineamientos y consideraciones en su diseño:

- Confiabilidad absoluta en su operación.
- Facilidad para la instalación y mantenimiento.

El diseñador tomó los siguientes coeficientes de transmisión térmica para el cálculo de cargas de enfriamiento.

Concepto	Coefficiente (btu/hr·m <sup>2</sup> ·°F)
a) Ventana	11.10
b) Muro Exterior	4.73
c) Muro no acond.	3.67
d) Puerta no acond.	6.06
a) Entrepiso	5.63
g) Techo	4.62

#### Condiciones de Temperatura consideradas en el diseño

VERANO	Temp. bulbo seco		Humedad relativa
	°C	°F	
Exterior	30	86	20
Interior	22.2±1	72±2	60 ± 5

#### Ventilación

Los lineamientos para renovación de aire fueron los siguientes:

- En áreas públicas y oficinas 34 m<sup>3</sup>/hr. (20 pcm) por persona de inyección de aire.
- En sanitarios públicos 20 cambios por hora de extracción de aire.

Todos los equipos y sus instalaciones complementarias incluyen los eliminadores de vibración y de sonido necesarios.

El aire que se inyecta a las áreas públicas es limpiado en filtros de fibra de vidrio desechables de 2" de espesor.

El edificio cuenta con 12 unidades de manejo de aire (UMA) y dan servicio de la siguiente manera:

<b>UMA</b>	<b>SERVICIO</b>
1 y 2	4º Nivel
3 y 4	3º Nivel
5 y 6	2º Nivel
7 y 8	1º Nivel
9 y 10	Planta Baja
11 y 12	Estano 0

En todos los laboratorios de cómputo, laboratorio de banca electrónica, monitoreo, equipos de control automático, encebretado, impresión, RDI (Red Digital Integrada), UPS (Sistema de Energía Ininterrumpible); se utilizan unidades acondicionadoras de aire tipo paquete, también conocidas como unidades Liebert®, las cuales constituyen el sistema de aire acondicionado de precisión.

Los equipos que dan servicio de ventilación por inyección son: aire exterior y la presurización de escaleras. El equipo para aire exterior cuenta con filtrado.

Los equipos que dan servicio de ventilación por extracción son : sanitarios, domos y estacionamientos.

### **3.2. Sistema de Aire Acondicionado de Confort.**

El sistema de aire acondicionado de confort está integrado por tres unidades generadoras de agua helada, las tuberías y válvulas necesarias para distribuir el agua helada, 12 unidades manejadoras de aire, la red de ductos para la circulación y distribución del aire, los difusores y rejillas necesarios para la inyección del aire y las cámaras comunes para mezclar el aire de recirculación y el aire exterior. En la figura 3.2 se muestra un esquema del sistema de aire acondicionado de confort.

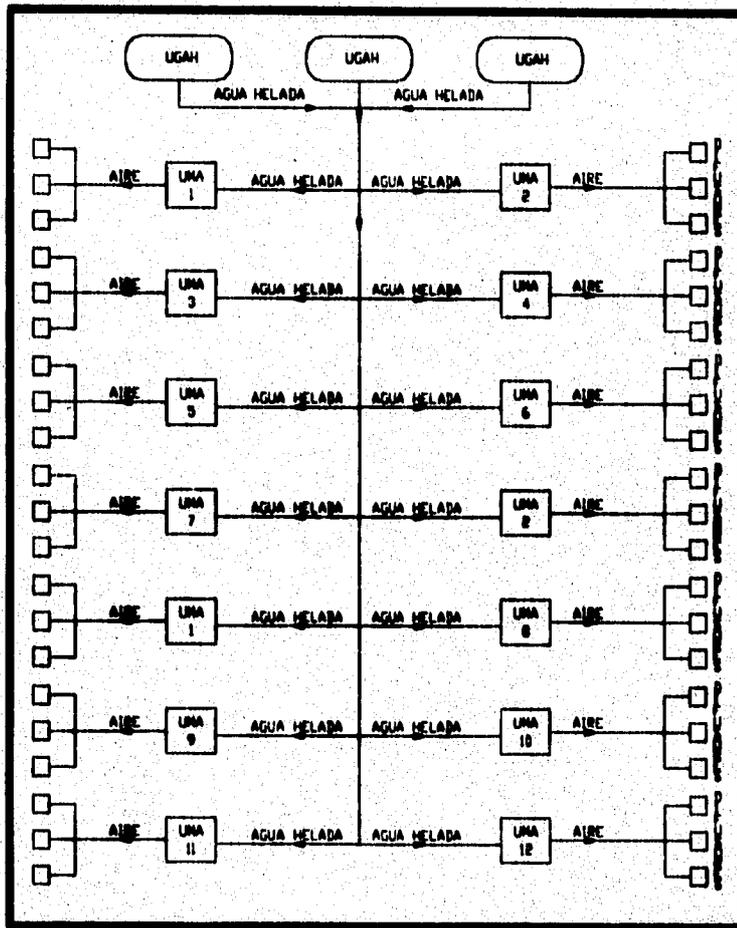


Fig. 3.2. Diagrama esquemático del sistema de aire de confort

El manejo del aire es a través de unidades manejadoras de aire de tipo unizonas con volumen variable. Estas unidades están integradas por: sección de abanicos, serpentín para enfriamiento, filtros y sección de caja de lámina galvanizada para el retorno del aire.

El enfriamiento del aire en estas unidades es por medio de agua refrigerada circulada en los tubos de los serpentines, esta agua es llevada hasta la temperatura requerida desde una planta central de enfriamiento. Para el control del flujo de agua se instalaron válvulas de dos vías y se encuentran en los recorridos de las derivaciones de los ductos troncales con cajas de volumen variable.

La circulación del aire es a través de ductos circulares a alta velocidad antes de las válvulas de volumen variable; después de las válvulas la circulación del aire es a través de ductos rectangulares a baja velocidad con aislamiento interior, el cual ayuda a disminuir los niveles de ruido dentro del ducto. La terminación de los ductos es en difusores cuadrados, redondos o rejillas, según se requiera.

El retorno del aire es a través de cámaras plenas que están selladas entre el plafón y la losa para evitar filtraciones de aire de áreas no acondicionadas y así asegurar que la temperatura del aire de retorno sea la adecuada, ya que con la temperatura del aire exterior se forma una temperatura de mezcla con la cual fueron seleccionados los serpentines de la unidad. Para permitir el paso del aire hacia la cámara plena de retorno se instalaron en los plafones y en los lugares indicados en el proyecto, rejillas para retorno de aire. La cantidad de aire del exterior es la mínima necesaria y el resto es retomado a través de las cámaras plenas.

### **3.2.1. Unidades Generadoras de Agua Helada**

Las unidades generadoras de agua helada son unidades paquete que cuentan con un compresor, un intercambiador de calor y un condensador; estas unidades proporcionan el agua helada que, por medio de tuberías de cobre, es transportada hasta las manejadoras de aire.

En la figura 3.3. se muestra un sistema típico de refrigeración. En el evaporador (intercambiador de calor) el agua cede parte de su energía térmica al refrigerante; en el compresor la energía mecánica del compresor es transmitida como energía térmica al refrigerante a medida que se le comprime; el vapor a alta temperatura y alta presión es conducido hasta el condensador donde el vapor transfiere su energía al medio ambiente a medida que se condensa y pasa al estado líquido; el refrigerante en estado líquido es conducido hasta la válvula de expansión, que es un dispositivo que dosifica y controla automáticamente el flujo de refrigerante de la línea de líquido al evaporador.

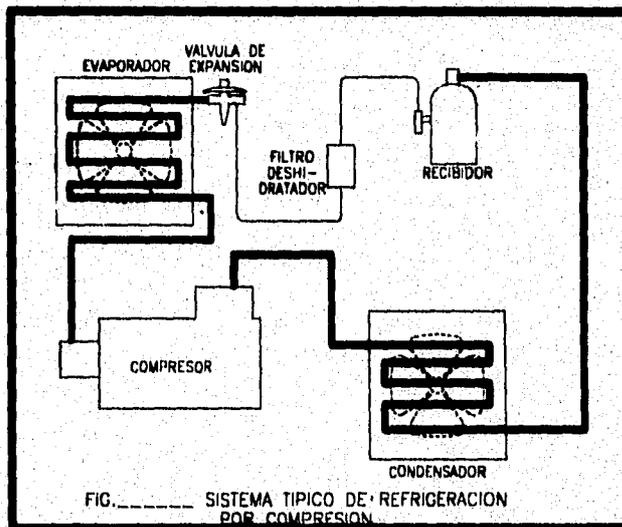


Fig. 3.3. Sistema típico de refrigeración por compresión

Su propósito es mantener al evaporador tan lleno de líquido como sea posible sin permitir que éste entre a la línea de succión y encuentre un camino de regreso al compresor. En el caso de las generadoras de agua helada en el evaporador se produce el agua helada que se utiliza posteriormente en las manejadoras de aire.

El edificio cuenta con tres unidades generadoras de agua helada tipo recíprocante con enfriamiento por aire marca YORK , modelo YCAJ88XU6 con una capacidad nominal de 208 [T.R.] Estos equipos tienen las siguientes características:

Los compresores son del tipo semiherméticos recíprocantes para freón 22, equipados con control de capacidad, protegidos contra sobrecargas y bajos voltajes; cuentan con bomba integral para lubricación de tipo reversible; incluyen calentador para el cárter, indicador visual de nivel de aceite y conexiones necesarias para los protectores e instrumentos de indicación necesarios de montaje externo.

El intercambiador de calor es del tipo de coraza y tubos, la coraza está construida de acero y los tubos de cobre. Su conexión está hecha para obtener la máxima eficiencia y está aislado térmicamente por el exterior para evitar la condensación de la humedad y pérdida de eficiencia.

Los condensadores son de enfriamiento por aire con tubos de cobre aislados de aluminio, conectados adecuadamente y colocados para obtener el rendimiento máximo y permitir el escurrimiento del refrigerante líquido y del aceite hacia las líneas que van hacia afuera. Los ventiladores son de tipo axial, construidos de aluminio, balanceados estática y dinámicamente, montados directamente sobre la flecha de los motores que los impulsan; los motores eléctricos son cerrados, con ventilación exterior y están montados sobre abrazaderas fijas del gabinete en una posición tal que aseguran el máximo flujo del aire.

Todo el conjunto está interconectado con las tuberías de cobre necesarias para el flujo del refrigerante líquido o gaseoso y con interconexiones eléctricas para la operación automática y segura de las unidades. El tablero de control incluye relevadores de arranque, protectores contra sobrecarga y bajo voltaje, interruptores de temperatura y presión, interruptor anticongelante y protector contra baja presión de aceite.

Los componentes de los enfriadores están montados en una estructura metálica para ser colocados a la intemperie; a excepción de los compresores, que están montados sobre resortes para evitar la transmisión de vibraciones. La tubería de conexión de los compresores, como el resto del equipo, incluye eliminadores de vibración adecuados.

Estas unidades generadoras de agua helada, que generalmente se adquieren como un paquete, no tienen diferencias significativas con las que se utilizan en edificios tradicionales que cuentan con sistemas de aire acondicionado; sin embargo es importante mencionar que gracias al sistema de control con el que cuenta el edificio es posible tener un monitoreo constante de las unidades así como una base de datos de algunas de las variables más importantes de estos equipos.

### **3.2.2. Unidades Manejadoras de Aire.**

Las unidades manejadoras de aire son de volumen variable y cuentan con las siguientes especificaciones:

Están hechas y armadas en fábrica. El fabricante es YORK y son del modelo TEMPMASTER.

La base está fabricada en acero de 6" eléctricamente soldado para formar una estructura rígida.

El piso está construido por paneles de acero galvanizado calibre 18.

Los paneles de las paredes están contruidos con una doble pared de 4" de ancho, el panel exterior está fabricado con lámina de acero galvanizado de calibre 18 y el panel interior es de lámina de acero galvanizado perforado calibre 22. Los

paneles mayores de 44" llevan una estructura interna para evitar la deflexión del panel y todos ellos están soportados por una estructura interna.

Todas las paredes, piso y techo de la UMA (Unidad Manejadora de Aire) están aisladas con un mínimo de 1" de aislamiento con una densidad de 1.5 (lb/pie<sup>3</sup>).

Para el drenaje cuenta con una charola de condensados fabricada en acero calibre 18.

Las puertas de acceso son de doble pared y aisladas, fabricadas en lámina de acero galvanizada calibre 18, las puertas tienen como mínimo 2 picaportes y un sello de presión.

Los serpentines son de la marca "Free-Flow®" y "Turbofin®"; están fabricados de acuerdo al estándar ARI 410 y están instalados en el interior del equipo para un flujo horizontal.

El gabinete del serpentín está fabricado en acero galvanizado calibre 18. El serpentín está fabricado con tubos de cobre y aletas de aluminio.

Los ventiladores son de tipo centrífugos o del tipo Vane Axial balanceados estática y dinámicamente y probados en fábrica.

El ventilador y el motor están montados en una base común para permitir una tensión constante en las bandas. El ensamble entre la base del motor y la base de la UMA lleva resortes de 1" de deflexión.

Las bandas son de tipo "V", los filtros son de 2" de espesor de fibra de vidrio del tipo desechables.

Una característica importante de las manejadoras de aire es el hecho de contar con un sistema variador de frecuencia. Este sistema es controlado por un sensor de presión que se localiza dentro de los ductos de aire de alta velocidad. Este

sensor detecta las sobrepresiones ocasionadas por el cierre de las válvulas de volumen variable modificando la velocidad de los motores de las UMAS a través de los variadores de frecuencia, dependiendo de la demanda térmica que exista en ese momento. Como consecuencia de que las manejadoras no siempre trabajen a su máxima potencia se logra un importante ahorro de energía y una mayor vida útil.

### 3.2.3. Difusores de Control de Aire Variable

La ventaja del sistema de volumen variable es que se pueden acondicionar diferentes áreas con su control independiente. Para el control de las válvulas de volumen variable se requiere de un termostato localizado dentro del área acondicionada, el cual, dependiendo de las condiciones de temperatura en el interior, enviará una señal al motor de la válvula de volumen variable para abrirla o cerrarla según se requiera.

El objeto de estas válvulas es el de regular el flujo del aire para mantener una temperatura de confort constante en el interior de las áreas para las cuales fueron seleccionadas.

En la medida de que las válvulas de volumen variable cierran la compuerta reguladora de flujo de aire, se ocasiona una sobrepresión en el ducto principal la cual será registrada por un sensor de presión a 3/4 partes del recorrido principal del ducto de suministro de aire acondicionado; al detectarse esta sobrepresión el sensor enviará una señal al tablero del ventilador de frecuencia para disminuir las R.P.M. del motor y en esta forma reducir la sobrepresión en el ducto.

La circulación del aire es a través de ductos circulares a alta velocidad antes de las válvulas de volumen variable. Después de la válvula de circulación del aire

será a través de ductos rectangulares a baja velocidad con aislamiento interior, el cual ayudará en gran parte a disminuir los niveles de ruido dentro del ducto.

La terminación de los ductos es en difusores de inyección cuadrados, redondos o rejillas.

El edificio cuenta con las siguientes válvulas:

- 160 válvulas de volumen variable marca TUTTLE & BAILEY®, con ventilador, incluye controles y termostato tipo DDC.
- 160 válvulas de volumen variable marca TUTTLE & BAILEY®, sin ventilador, incluye controles y termostato tipo DDC.
- 2 válvulas de volumen variable marca TUTTLE & BAILEY®, con ventilador modelo FPV1-410, incluye controles y termostato tipo DDC.
- 1 válvula de volumen variable marca TUTTLE & BAILEY®, con ventilador modelo FPV1-816, incluye controles y termostato tipo DDC.

**3.3. Sistema de Aire Acondicionado de Precisión.**

El sistema de acondicionamiento de aire por unidades tipo paquete está integrado por sección evaporadora, compresor hermético y condensador por agua.

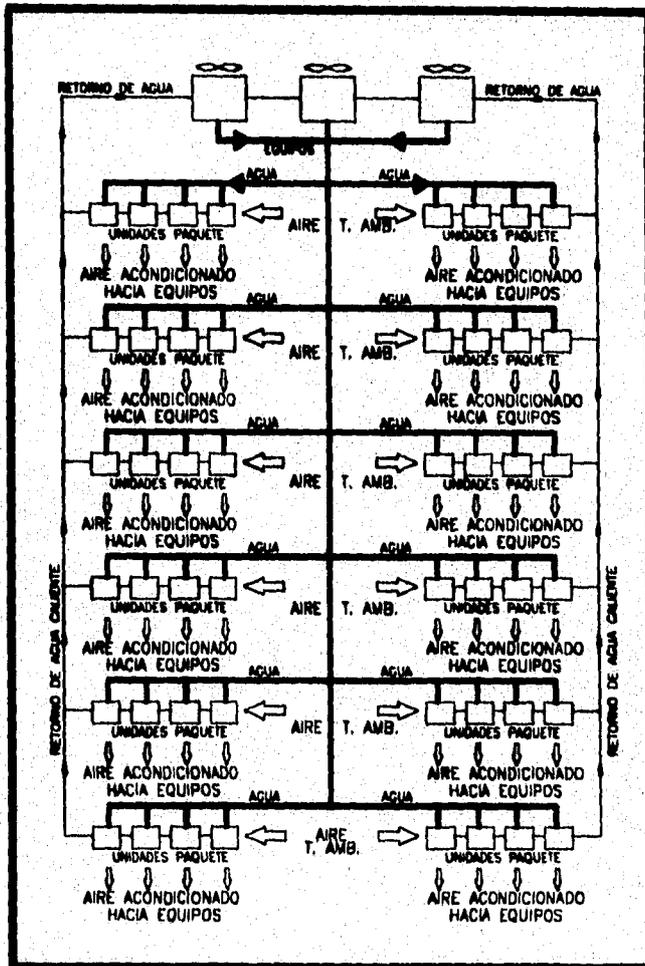


Fig. 3.4. Diagrama esquemático de red de distribución de agua fría para unidades paquete de aire de precisión

### 3.3.1. Torres de Enfriamiento

El edificio tiene instalados 4 enfriadores evaporativos de circuito cerrado de la marca BALTIMORE AIR COIL® tiro forzado y flujo cruzado, serie V, modelo F1732-J, con capacidad para enfriar 110 [gpm], con motor para la bomba de recirculación de 3/4 [HP] y con motor eléctrico para el ventilador de 7.5 [HP]. Con gabinete construido de acero galvanizado en paneles soportados por un armazón de acero galvanizado y terminado con cromato de zinc.

El tanque para el almacenamiento del agua fría está construido de lámina de acero galvanizado, acabado con cromato de zinc y del tipo de autoimplado con las pendientes necesarias para drenaje y succión. El tanque incluye conexiones para succión, drenaje, rebosadero y reposición de agua, la conexión de succión tiene los dispositivos necesarios para evitar que se formen vórtices y la conexión de alimentación está equipada con válvula de flotador de alta presión con flotador de plástico ajustable en el sitio; éste cuenta con cabezales de distribución por gravedad en la parte alta, construidos de lámina galvanizada y terminados con cromato de zinc; los orificios para la salida del agua son de plástico y están colocados de tal manera que aseguran una correcta distribución del agua sobre toda la superficie del serpentín.

Las torres de enfriamiento cuentan con dos bombas de recirculación tipo centrífuga con sello mecánico, instalado de fábrica verticalmente.

Los serpentines están fabricados con tubos de acero y están montados en una estructura del mismo material; cada uno de estos elementos está protegido mediante un baño de zinc fundido.

Los eliminadores de gotas están construidos de cloruro de polivinilo con dimensiones de aproximadamente 5" de ancho separados 1" entre sí.

Estos elementos terminan en forma de gancho con el objeto de descargar el aire en una dirección que no se permita la recirculación del mismo.

El equipo mecánico está integrado por ventiladores centrifugos con álabes curvados hacia adelante, contruidos de acero galvanizado. Están balanceados estática y dinámicamente desde fabrica, montados sobre flechas de acero y soportados en la misma estructura con cojinetes autoalineable y accesorios de lubricación para su mantenimiento

El motor está totalmente cerrado, es del tipo jaula de ardilla y está montado sobre una base ajustable debido a que la transmisión es mediante poleas y bandas.

### **3.3.2. Equipos Liebert®.**

El sistema de acondicionamiento de aire por unidades tipo paquete está integrado por sección evaporadora, compresor hermético y condensador por agua.

Los sistemas de control ambiental que se utilizan en el edificio son CHALLENGER 3000 . Los sistemas CHALLENGER 3000. Se encuentran disponibles en el mercado en diversas configuraciones; estas configuraciones operan con un microprocesador de control estándar (SM) o un microprocesador de control avanzado (AM) o con un microprocesador de control avanzado con gráficas (AG).

En los sistemas CHALLENGER 3000 el compresor puede estar incluido dentro del mismo sistema o ser una parte separada de la unidad de condensación, el sistema puede trabajar con aire, agua o glicol enfriado. Dependiendo del método de rechazo de calor seleccionado, los sistemas cuentan con una o dos etapas de refrigeración mecánica.

**Calentamiento:**

Dos estados estándar de recalentado eléctrico, con control eléctrico de recalentado SCR, sistema de recalentamiento de agua caliente y sistema opcional de recalentamiento de gas en agua.

**Humidificación:**

Se cuenta con un sistema estándar de generación de humedad o con la opción de generación de vapor

**Deshumidificación**

Esta operación es opcional.

**Panel de estado y control.**

El panel frontal de control del microprocesador estándar (SM) utiliza LEDs en la pantalla de estado de operación y en las condiciones de alarma de la unidad; una pantalla numérica y botones de control se ubican en la tarjeta del circuito cerca del panel de control, esta tarjeta se utiliza para monitorear y controlar el sistema.

El estado de la unidad y las alarmas activas se muestran en el panel frontal.

Las condiciones presentes del cuarto acondicionado y los puntos de operación de la unidad se muestran en el display numérico de la tarjeta.

Se dispone de una conexión de comunicaciones para un sistema de monitoreo al LIEBERT®.

**LEDs de estado:**

El modo de operación de la unidad está indicado por un LED en la sección de estado: enfriamiento, recalentamiento, humidificación y deshumidificación.

**LEDs de alarma:**

Se dispone de dos condiciones de alarmas activas: una audible y otra visual. La alarma audible puede ser silenciada presionando el botón **ALARM SILENCE**. Sin embargo el LED que indica el problema permanece encendido hasta que el problema es corregido. Las alarmas disponibles son: temperatura alta, temperatura baja, humedad alta, humedad baja, pérdida de flujo de aire, alta presión de calentamiento, cambio de filtro de aire y alarma local.

**Display numérico**

El display numérico en la tarjeta del microprocesador (arriba e izquierda de la tarjeta) indica:

- Temperatura actual de la habitación
- Temperatura establecida de operación
- Sensibilidad de temperatura
- Humedad actual en la habitación
- Humedad establecida de operación
- Sensibilidad de humedad
- Proporción de humedad de agua

El indicador numérico (temperatura actual, temperatura de operación, etc.) corresponde al LED apropiado abajo del display; por ejemplo, cuando está encendido el LED **TEMPERATURE SET POINT** (temperatura de operación) y el display numérico muestra 72, entonces la temperatura de operación es 72 °F

**Advanced Button (Botón de Avance)**

Presionando el botón ADV pasará el display numérico a través de los 7 LEDs indicadores.

**Control Buttons (Botones de Control)**

Doa botones de control son usados para cambiar el punto de operación mostrado en el display numérico, el botón UP incrementa el valor y el botón DOWN lo decrementa.

**Set Points (Puntos de Operación)**

Los botones de control en la tarjeta del microprocesador son usados para ajustar los puntos establecidos de temperatura, humedad y sensibilidad. La tarjeta está localizada junto al panel frontal y se encuentra separada de todo por una línea de componentes de voltaje.

**Punto de Operación de Temperatura.**

Se utiliza el botón ADV para establecer la temperatura de operación. El display numérico indicará el punto establecido actual. Utilizando los botones UP o DOWN se seleccionan los valores de operación deseados. El rango de operación de este equipo es de 40 a 85 °F (4 a 29 °C)

**3.4. Sistemas de Inyección y Extracción**

El sistema de ventilación por inyección de aire está integrado por ventilador mecánico que succiona el aire directamente del exterior a través de un banco de filtros y forzará su paso hacia el interior por medio de ductos de lámina galvanizada por lo que descarga el aire en el espacio que se desea ventilar.

Para la presurización de las escaleras se instaló un ventilador de inyección, el cual suministra aire al cubo de escaleras manteniendo una presión positiva con un área de escape del aire. Este equipo se localiza en la Azotea y su operación se inicia con una señal del sistema de emergencia.

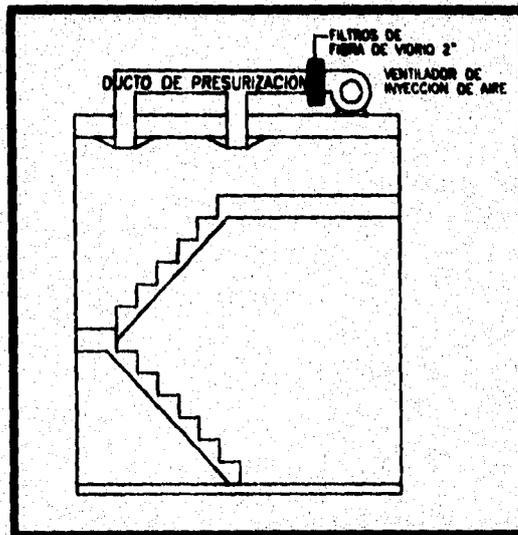


Fig. 3.8 Esquema del sistema de presurización de escaleras

Los sistemas de ventilación por extracción de aire están equipados con ventiladores mecánicos que lo succionan de las áreas que se desea ventilar. La circulación del aire será a través de ductos adecuados para este servicio; la descarga del aire viciado es directamente hacia el exterior.

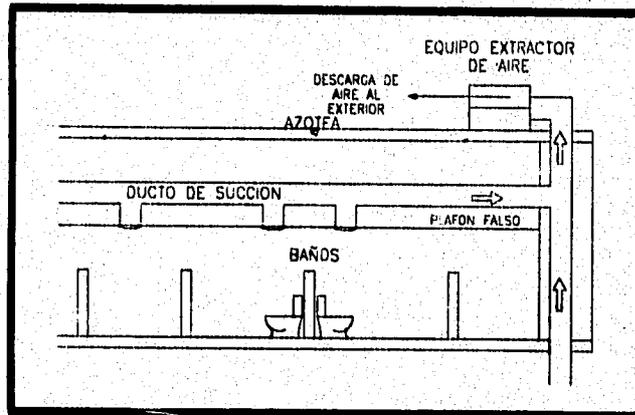


Fig. 3.6. Esquema de extracción de aire en los baños

Para los sistemas de extracción e inyección de aire se instalaron los siguientes ventiladores; todos son de tipo centrífugo:

- 1 ventilador de extracción centrífugo tipo Vent-Set, marca LOREN COOK®, modelo 245CP, para manejar 4880 cfm, con motor eléctrico de 1/2 HP.
- 1 ventilador de extracción centrífugo tipo Vent-Set, marca LOREN COOK®, modelo 300CP, para manejar 7500 cfm, con motor eléctrico de 3/4 HP.
- 2 ventiladores de extracción centrífugos marca LOREN COOK®, modelo 330 SQIB, para manejar 13824 cfm, con motor eléctrico de 2 HP.
- 3 ventiladores de extracción axial marca LOREN COOK®, modelo 14S10, para manejar 1516 cfm, con motor eléctrico de 1/8 HP.

- 1 ventilador de extracción centrífugo tipo en línea, marca LOREN COOK®, modelo 300-SQIB, para manejar 10575 cfm, con motor eléctrico de 1 - 1/2 HP.
- 1 ventilador de extracción centrífugo tipo en línea, marca LOREN COOK®, modelo 385-SQIB, para manejar 18760 cfm, con motor eléctrico de 3 HP.
- 1 ventilador de extracción centrífugo tipo en línea, marca LOREN COOK®, modelo 385-SQIB, para manejar 14515 cfm, con motor eléctrico de 1-1/2 HP.
- 4 ventiladores de extracción centrífugo tipo en línea, marca LOREN COOK®, modelo 385 SQIB, para manejar 18780 cfm, con motor eléctrico de 2 HP.
- 4 ventiladores de extracción centrífugo tipo en línea, marca LOREN COOK®, modelo 300-SQIB, para manejar 9868 cfm, con motor eléctrico de 1-1/2 HP.
- 4 ventiladores de extracción centrífugo tipo en línea, marca LOREN COOK®, modelo 330-SQIB, para manejar 11842 cfm, con motor eléctrico de 1-1/2 HP.
- 1 ventiladores de extracción centrífugo tipo en línea, marca LOREN COOK®, modelo 185-SQIB, para manejar 2334 cfm, con motor eléctrico de 3/4 HP.
- 1 sección de ventilación marca RECOLD®, modelo AH-485-FC para manejar 34660 cfm, con motor eléctrico de 2 HP.

- 3 extractores de aire marca GREENHECK® tipo centrífugo de pared, para manejar 3480 cfm, con motor eléctrico de 1 HP.

El sistema de extracción de aire en los estacionamientos es muy importante ya que es una de las partes inteligentes del edificio. Los estacionamientos cuentan con una serie de sensores de monóxido de carbono (CO), que al detectar un nivel alto de este gas envían una señal que pone en marcha a los ventiladores extractores de aire.

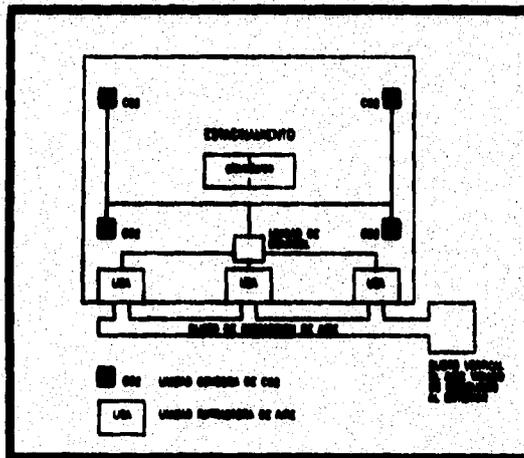


Fig. 3.7. Esquema del sistema de extracción de aire en las plantas de estacionamientos

### 3.5. Frecuencias de Mantenimiento

Los equipos en los sistemas de aire acondicionado del edificio en estudio básicamente son: generadoras de agua helada, las cuales están compuestas por compresor, condensador, válvulas y evaporador; manejadoras de aire, las cuales contienen ventiladores y serpentines; ventiladores de extracción y ventiladores de inyección; todos estos equipos son similares a los que se utilizan en edificios de

tipo tradicional por lo cual las propuestas de mantenimiento que se señalarán posteriormente serán válidas tanto para edificios tradicionales como para Edificios Inteligentes. Algunos equipos que contienen sistemas de control y de comunicaciones con tecnologías muy avanzadas tales como válvulas de volumen variable, controladores de velocidad para los motores de las manejadoras, etc., serán tratados independientemente dentro de las propuestas de mantenimiento de cada sistema señalando cuando un equipo es exclusivo de los edificios comúnmente llamados inteligentes; cabe mencionar que en muchos de estos equipos el mantenimiento por parte de la administración del edificio es mínimo.

La compañía encargada del proyecto e instalación de los sistemas de aire acondicionado hace las siguientes recomendaciones para el mantenimiento de los equipos:

- Llevar a cabo una bitácora en libretas de hojas foliadas en las que se anotarán los trabajos que se realizan y las observaciones del personal.
- Llevar un control de los avances, fallas y reparaciones en los equipos.
- Mantener limpios los cuartos de máquinas y en buen estado la pintura de los equipos.
- Los operadores deberán revisar periódicamente que no existan fugas en tuberías de agua y refrigerante y repararán inmediatamente las que se encuentren.
- Inspeccionar periódicamente los tornillos de ajuste, contratuerces, refrigerante y opreros de poleas, coples flexibles, empaques de bombas, etc.

Para cumplir con las recomendaciones de los fabricantes, se proponen las siguientes rutinas de mantenimiento, las cuales se describen de acuerdo a la periodicidad de la rutina y a los equipos que corresponde a cada una.

**3.5.1. Propuesta de Mantenimiento para los Generadores de Agua Helada**

**Rutina diaria:**

Arranque, chequeo y anotación de voltajes, presiones, amperajes y temperatura sobre hojas de bitácora especial. Se propone el siguiente formato de bitácora (ver la figura 3.8). Se llenará una hoja similar a la mostrada en la figura por semana, esta bitácora deberá ser llenada por los operadores de las generadoras de agua helada y estará disponible en cualquier momento para el encargado de mantenimiento del edificio.

GENERADORA DE AGUA HELADA							
FECHA	UN. No.	NOMBRE DE MÓDULO	VOLTAJE (V)	AMPER (A)	PRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	TEMPERATURA (°C)	OBSERVACIONES
	1						
	2						
	3						
	1						
	2						
	3						
	1						
	2						
	3						
	1						
	2						
	3						
	1						
	2						
	3						
	1						
	2						
	3						
	1						
	2						
	3						

**Fig. 3.8. Hoja de bitácora para las rutinas de mantenimiento diario en los generadores de agua helada.**

**Rutina quincenal:**

**Chequeo de fugas de refrigerante.**

- Limpieza de tableros de control eléctrico de compresores.
- Verificación del funcionamiento del interruptor de flujo del agua fría.
- Verificación del nivel de aceite.
- Verificación de presiones alta y baja en los circuitos de refrigerante.
- Verificación de protecciones por alta y baja presión del refrigerante.
- Verificación de protección por baja presión de aceite.
- Verificación de protección por baja temperatura del agua fría.
- Verificación de control de temperatura de agua fría.
- Chequeo de funcionamiento de válvulas de expansión y solenoides.
- Comprobación del funcionamiento de los instrumentos de operación automática del enfriador.

GENERADORA DE AGUA HELADA RUTINA DE MANTENIMIENTO QUINCENAL				
FECHA	FECHA PRÓXIMO MANTENIMIENTO	OBSERVACIONES		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES		UCAH-1	UCAH-1	UCAH-1
SE LOCALIZO FUGAS DE REFRIGERANTE (SI) (NO) EN CASO DE HABER DETECTADO FUGAS DE REFRIG. INDICAR SI FUERON REPARADAS O LAS CAUSAS POR LAS CUP. NO SE PUDO REPARAR		(SI) (NO)	(SI) (NO)	(SI) (NO)
LIMPIEZA A TABLEROS DE CONTROL ELECTRICO DE COMPRESORES				
CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL INTERRUPTOR DE FLUJO DE AGUA FRIA (INDICAR LAS FALLAS EN CASO DE EXISTIR)		(SI) (NO)	(SI) (NO)	(SI) (NO)
NIVEL DE ACEITE.				
PRESION ALTA DEL CIRCUITO DE REFRIGERANTE				
PRESION BAJA DEL CIRCUITO DE REFRIGERANTE				
INDICAR EL ESTADO DE LAS PROTECCIONES POR ALTA Y BAJA PRESION EN LOS C.M. DEL REFRIGERANTE.				
INDICAR EL ESTADO DE LAS PROTECCIONES POR BAJA PRESION DE ACEITE				
INDICAR EL ESTADO DE LAS PROTECCIONES POR BAJA TEMPERATURA DE AGUA FRIA.				
INDICAR EL ESTADO Y FUNCIONAMIENTO DE LOS CONTROLES DE TEMPERATURA DE AGUA FRIA.				
INDICAR SI EL FUNCIONAMIENTO DE LAS VALVULAS DE EXPANSION Y SOLENOIDES ES CORRECTO. (INDICAR LAS FALLAS EN EL FUNCIONAMIENTO)				
INDICAR SI LOS INSTRUMENTOS DE OPERACION AUTOMATICA DEL ENFRADOR ESTAN FUNCIONANDO DE MANERA CORRECTA.				
OBSERVACIONES:				

Fig. 3.8. Propuesta de hoja de bitácora para las rutinas de mantenimiento quincenal en las unidades generadoras de agua helada

**Rutina semestral:**

Se recomienda que cada seis meses se lleven a cabo las siguientes actividades:

- Reparación de compresores (si es necesario).
- Eliminar fugas de refrigerante.
- Carga de aceite (si es necesario).

- Limpiar con agua a presión los condensadores de los enfriadores.
- Ajuste de presiones de descarga y succión.
- Limpieza y chequeo de contactores de arrancadores de los enfriadores.
- Ajuste completo de controles y protecciones de los enfriadores, como son interruptores de alta y baja y de presión de aceite, termostatos de baja temperatura, control de temperatura , etc.

El personal encargado de realizar estas actividades deberá entregar un reporte escrito de todas las fallas localizadas en los equipos, las reparaciones y ajustes realizados a éstos, así como una lista de las piezas que se hayan sustituido.

### **3.5.2. Propuesta de Mantenimiento para las Unidades tipo Paquete (Equipos Liebert®)**

La vida útil de cualquier equipo depende directamente de un buen mantenimiento. Para el mantenimiento de estos equipos se propone la siguiente lista de revisiones y recomendaciones:

#### **Rutina Mensual:**

- Inspección del nivel de aceite.
- Inspección de la mirilla indicadora de humedad.
- Limpieza del filtro de agua.

**Rutina bimestral:**

- Lubricación general a todas aquellas partes que lo requieran.
- Revisión y limpieza de los platinos de contactores.
- Revisión y ajuste de la tensión en las bandas.
- Revisión de la firmeza y alineación de las poleas.

**Rutina semestral:**

- Revisión de la calibración de todos los instrumentos de protección y control.
- Limpieza del serpentín del condensador.

**Rutina anual:**

- Hacer una inspección general del alambreado eléctrico.
- Limpieza de las unidades.
- Lubricación de las unidades.
- Revisión de todas las piezas que puedan sufrir desgaste.
- Revise que ninguna parte este floja o tenga señales de corrosión.
- Repare y proteja todas las partes afectadas.
- Revise el aislamiento en las tuberías, evaporador y bomba de agua de tuberías y evaporador.

### **6.4.3. Propuesta de Mantenimiento para las Unidades Manejadoras de Aire.**

Para el mantenimiento de las unidades se elaboró la siguiente lista de revisiones y recomendaciones:

#### **Rutina quincenal:**

- Inspección de filtros de aire.
- Limpieza de filtros de aire, si es necesaria.
- Lubricar las chumaceras de la unidad con el lubricante indicado en la placa metálica colocada en cada manejadora abajo de la placa de identificación. En la misma placa se indica la frecuencia con que debe cambiarse el lubricante.
- Lubricar las chumaceras del motor de acuerdo con las instrucciones que proporcione el fabricante de los motores. Si no se dispone de estas instrucciones, usar aceite para máquinas SAE-10, sin detergentes, en aquellos motores equipados con chumaceras de manguito y con copas para el aceite.

#### **Rutina trimestral:**

- Limpieza de los serpentines, ya que la transmisión de calor se afecta grandemente por la acumulación de materias lo que repercute en la disminución de capacidad de la unidad. Para la limpieza de los serpentines es recomendable el uso de cepillos suaves de alambre en acoplamiento con una aspiradora.

**Rutina semestral:**

- Revisar la tensión en las bandas "V".
- Proteja todas las partes afectadas.
- Si el aislamiento de las tuberías requiere arreglo o reposición, hágalo.

Los filtros deben revisarse regularmente. La frecuencia de estas revisiones depende del tipo de servicio, pero en general debe hacerse semanalmente. Los filtros desechables deben reemplazarse cada vez que se requiera, antes de que se llenen de polvo. Los filtros limpiables, con la anticipación necesaria para evitar que se ensucie hasta el punto que se obstruya el flujo del aire.

**Rutina anual.**

- Inspección general del alambrado eléctrico.
- Limpieza de la unidad.
- Lubricación de la unidad.
- Revisión de piezas con efectos de desgaste.
- Ajuste de partes flojas.
- Revisión y búsqueda de partes afectadas por corrosión.
- Reparación y protección de todas las partes afectadas.

**Propuesta de mantenimiento para las bombas.**

**Recomendaciones para aumentar la vida útil de los equipos:**

- Cuidar que éstos no tengan vibración de ninguna especie, ya que esto daña motores, coples y bombas.
- Cuidar que no haya exceso de basura y polvo, ya que esto daña los baleros de los motores y de las bombas.
- Cuidar que no existan encharcamientos ya que estos ocasionan oxidación y destrucción en el equipo.

**Rutina diaria:**

- Checar voltajes de operación.
- Checar amperaje de operación.

El voltaje cuando tiene variaciones demasiado grandes puede llegar a dañar el motor, los contactores y la bobina en el arrancador.

**Rutina semanal:**

- Engrasar los baleros de los motores que poseen graseras.
- Verificar la alineación correcta del cople.
- Limpiar excedentes de grasa y polvo en los motores y bombas.

**Recomendaciones para las líneas de alimentación:**

- Checar los interruptores.
- Revisar los arrancadores.
- Revisar la caja de conexiones del motor.

Estas revisiones son importantes para evitar un falso contacto que ocasione mala conductividad y quemé el motor.

La interrupción en alguna de las líneas puede ocasionar un corto circuito o que el motor se quemé en dos fases.

**Recomendaciones:**

- Nunca dejar trapos, estopas, etc., encima de los motores y bombas.
- Cerrar las válvulas, tanto de succión como de descarga.
- Nunca invertir la dirección de la rotación.
- Cuando se retire algún motor para su revisión o reparación, verificar al reconectar que la dirección de la rotación del motor es en el sentido que indique la flecha.
- Nunca hacer un ajuste o reparación de la caja de conexiones del motor, arrancador o interruptor de cuchillas con corriente. Hacer una inspección visual para verificar alguna falla. Si existe alguna, desconectar la alimentación antes de proceder a la revisión o reparación.

**3.5.3. Propuesta para el Mantenimiento de Tableros Eléctricos.**

**Rutina mensual:**

- Limpieza

- Verificación del estado general y que no existan corrientes flojas y sobrecalentadas o huellas de arcos eléctricos que se hayan establecido.
- Eliminar vibraciones en arrancadores.
- Verificar que se cuenta con las tapas y que los controles quedan exentos de polvo o cuerpos extraños.

**Rutina anual:**

- Reparación o reemplazo de todas las piezas de contacto que se encuentran desgastadas.

**3.5.4. Propuesta de Mantenimiento para los Controles Automáticos de Temperatura:**

**Rutina mensual:**

- Limpieza, evitando acumulación de polvo y otros cuerpos.
- Revisión del funcionamiento de la regulación automática cerciorándose que al actuar el termostato, éste abre o cierra la válvula compuesta de tres vías de cada "fan and coil".
- Mantener controles y termostatos con sus respectivos etapas.

**Revisión constante:**

- Revisión del sistema de alimentación y retorno de agua fría en tuberías incluyendo soportaría, aislamiento, válvulas manuales, manómetros, termómetros, etc., que se encuentran en el cuarto

de máquinas y que salgan de éste para la alimentación de equipos.

**3.5.5. Propuesta de Mantenimiento para Conductos de Aire, Rejillas y Difusores:**

**Rutina trimestral:**

- Limpieza en los ductos donde sea posible.
- Limpieza de difusores y rejillas.
- Verificar el buen estado del aislamiento.

**3.5.6. Propuesta de Mantenimiento para Unidades Serpentin-Ventilador:**

Para el mantenimiento de las unidades, se sugiere la lista de revisiones recomendadas a continuación. La vida útil depende directamente de un mantenimiento adecuado.

**Rutina semanal:**

- Los filtros deben revisarse regularmente. La frecuencia de esta revisión depende del tipo de servicio, pero en general debe hacerse semanalmente. Los filtros desechables deben reemplazarse cada vez que se requiera, antes de que se llenen de polvo. Los filtros no desechables deben limpiarse con la debida anticipación para evitar que se ensucien hasta el punto de que obstruya el flujo de aire.

**Rutina quincenal:**

- Inspeccionar los filtros de aire y limpiarlos si es necesario.
- Lubricar las chumaceras de la unidad con el lubricante indicado en la placa metálica colocada en cada manejadora, abajo de la placa de identificación. En la misma placa se indica la frecuencia con que debe cambiarse el lubricante.
- Lubricar las chumaceras del motor de acuerdo con las instrucciones que proporcione el fabricante de los motores. Si no se dispone de estas instrucciones, usar aceite para máquina SAE-10, sin detergentes, en aquellos motores equipados con chumaceras de manguito y con copas para el aceite.

**Rutina trimestral:**

Debe hacerse la limpieza de los serpentines ya que la transmisión de calor se afecta grandemente por la acumulación de materias ajenas y esto repercute en la disminución de capacidad de la unidad.

Para la limpieza de serpentines, es recomendable el uso de cepillos suaves de alambre en acoplamiento con una aspiradora.

**Rutina semestral:**

Revisar la tensión en las bandas "V", las bandas deben poder moverse con la mano sin aplicar un esfuerzo excesivo, aproximadamente 1/2" hacia adelante y hacia atrás. Las bandas nunca deben estar flojas pero tampoco deben tener tensión excesiva, pues esto puede dañar tanto las chumaceras del motor como las de la flecha de los abanicos así como disminuir la vida útil de las bandas.

**Rutina anual:**

- Hacer una inspección general del alumbrado eléctrico, limpieza, lubricación, desgaste, partes flojas y corrosiones.
- Reparar y proteger todas las partes afectadas.

**3.5.7. Propuesta de Mantenimiento de Ventiladores:**

Debe establecerse un programa de mantenimiento para inspeccionar todas las partes en movimiento. Al principio es recomendable efectuar inspecciones diarias a fin de determinar la frecuencia de revisión más adecuada.

A continuación se enuncia el mantenimiento recomendable a las diversas partes del ventilador.

**Cercaza, rotor y flecha.**

Todos los tornillos deben revisarse periódicamente, para asegurarse que estén bien apretados. La cercaza y el motor deben inspeccionarse para detectar desgastes o acumulación de polvo. Límpiolos periódicamente utilizando chorros de vapor, agua, aire comprimido o con un cepillo de alambre, esto ayudará a reducir el desbalanceo, cubra las chumaceras para evitar que penetre el agua.

Si el rotor tiene desgaste en las aapas, deberá ser reemplazado o reparado.

Para equipos que van a permanecer fuera de operación en periodos prolongados, gire el rotor diariamente 1 1/3 de vuelta (480 °) con el objeto de evitar que la flecha sufra deformaciones.

Nunca gire el ventilador a una velocidad superior a la original.

**Chumaceras.**

Se recomienda relubricar las chumaceras con grasa SKF 2P a base de litio (Li) o grasa de litio No. 2 Quaker State, mediante una bomba manual para grasa.

La grasa de la chumacera deberá ser limpiada antes de introducir la grasa nueva. Para este ventilador la cantidad de grasa será de 30 gr.

En caso de que exista un exceso de ruido en las chumaceras, producto de baleros gastados, se recomienda cambiar la chumacera completa.

**Transmisión de poleas y bandas.**

Revisar las bandas, si están muy flojas proceda a tensarlas; si hay desgastes o si presentan cuarteduras en la base de contacto con las poleas proceda a cambiarlas, reemplace éstas con un juego igualado.

Revise las poleas y si estas presentan fractura, cámbielas por nuevas y apríste uniformemente.

**Motores.**

En motores de tipo abierto aspirados los devanados con aire comprimido de baja presión para eliminar el polvo y suciedad, no deberá utilizarse una presión mayor a 50 [lb/in<sup>2</sup>].

Verifique que el motor no esté sobrecargado comparando las lecturas actuales de empuje contra la establecida en la placa de datos, aceptando hasta un incremento del 10% con respecto a lo que indica dicha placa.

Los motores con baleros sellados prelubricados, no requieren lubricación adicional durante su vida normal.

Engrase a la primera puesta en marcha hasta que la grasa salga por la abertura de evacuación, utilizando para ello grasa SKF 2P a base de litio (Li) o grasa de litio del No.2 Quaker State.

Si el ventilador trabaja las 24 horas del día, el intervalo de engrase para el motor será de tres meses.

Ponga el motor en marcha con los tapones abiertos y déjelos trabajar 10 minutos para eliminar el exceso de lubricante.

#### **Pintura.**

Aplique pintura periódicamente en el interior y exterior del equipo.

Seleccione el tipo de pintura adecuada al ambiente que estará expuesto el ventilador.

El tipo de pintura será:

**Pintura alquídica:** ambiente normal (calor, sol, lluvia, etc.)

**Pintura epóxica o de poliuretano:** ambiente corrosivo (alcalinidad, salina, húmedo, etc.)

**Causa de los problemas más comunes:**

**1.- Cantidad de aire y presión excesiva:**

- La resistencia del sistema es mayor que la calculada.
- La velocidad del ventilador es menor que la calculada.
- Las compuertas no están adecuadamente ajustadas.

- Conexiones deficientes o abruptas en los ductos de succión y descarga.
- Fugas de aire en el sistema.
- Rotor dañado.
- Dirección de rotación equivocada.

**2.- Vibración y ruido:**

- Desalineación en chumaceras, copias, rotor o transmisiones de poleas y bandas.
- Cuerpos extraños causando desbalanceo del rotor.
- Cimentación insuficiente.
- Baleros gastados.
- Rotor o motor dañados.
- Opreores y tornillos rotos o flojos.
- Ficha del ventilador o del motor vencido.
- Motor o rotor desbalanceado.
- Velocidad demasiado alta o sentido de giro equivocado.
- Componentes o partes sueltas o flojas.
- Vibración transmitida hacia el ventilador procedente de otro equipo.
- Rotor rozando con alguna pieza.

**3.- Bateros sobrecalentados:**

- Exceso de grasa en bateros.
- Alineación defectuosa.
- Flecha vencida.
- Empuje axial anormal.
- Suciedad en bateros.

**4.- Sobrecarga en el motor.**

- Velocidad en el ventilador muy alta.
- Motor mal conectado.
- Alineación defectuosa.
- Dirección de rotación equivocada.

**3.6. Análisis Costo Beneficio para el Mantenimiento del Sistema de Aire Acondicionado.**

En este caso se hará el análisis costo beneficio de cada uno de los sistemas que componen el aire acondicionado del edificio, estos sistemas son: el sistema de aire de confort, el sistema de aire de precisión y el sistema de inyección y extracción. El análisis costo beneficio es exclusivamente referido al mantenimiento aplicable a los diversos equipos. También se hará una comparación entre Edificios Inteligentes y edificios tradicionales, se compararán los servicios que ofrecen, el mantenimiento que requieren, las ventajas y desventajas que tienen tanto edificios tradicionales como los inteligentes y principalmente nos enfocaremos a determinar

las ventajas que ofrecen éstos últimos en cuanto al ahorro de energía, ya que éste es uno de los puntos primordiales de un edificio de este tipo. Algunos de los aspectos en los que difieren los edificios tradicionales de los Inteligentes se ilustran en la siguiente tabla.

Edificio tradicional	Edificio Inteligente
Menor número de equipos	Gran número de equipos y sensores
Meno de obra semicalificada a calificada	Se requiere mano de obra especializada en la mayoría de las ocasiones.
Gran parte del mantenimiento puede ser realizado por el mismo personal del edificio sin recurrir a compañías externas	Gran parte de los equipos requieren que el mantenimiento se lleve a cabo por compañías especializadas.
Escaso control estadístico del funcionamiento de los diversos equipos	Alto control estadístico del funcionamiento de los equipos.
Operación continua o intermitente a plena carga de los equipos	La operación de los equipos es continua, pero a una carga mínima necesaria para mantener las condiciones de confort requeridas.
Consumo de energía alto.	Considerable ahorro en el consumo de energía.
Escasas posibilidades de adaptación de las capacidades de los equipos a futuras necesidades.	Capacidad para integrar nuevas tecnologías y equipos

Los Edificios Inteligentes poseen algunos equipos especiales que no los encontramos en los tradicionales; muchos de estos elementos extras son los que

hacen que se les llame Edificios Inteligentes. Una breve comparación se observa en la tabla siguiente:

Equipos	Edificio Inteligente	Edificio tradicional
Unidades Generadoras de Agua Helada (UGAH)	3	3
Válvulas de volumen variable	284	0
Equipos LIEBERT	20	0
Sensores de presión		
Sensores de temperatura		
Unidades Manejadoras de Aire (UMA)	12	18
Unidades de inyección de aire	4	4
Unidades de extracción de aire	28	28

En el caso de las manejadoras de aire, obviamente se requieren más unidades para el edificio tradicional, puesto que en este caso la carga térmica generada por los equipos de cómputo tendrá que ser soportada por las mismas manejadoras, mientras que en el Edificio Inteligente esta carga térmica es soportada por los equipos LIEBERT.

### 3.6.1. Análisis Costo Beneficio para el Sistema de Aire Acondicionado de Confort.

En el caso del sistema de aire acondicionado de confort se cuenta con 12 manejadoras de aire que proporcionan este elemento en las condiciones y cantidad necesarias para mantener un ambiente de confort agradable a los usuarios del edificio. Estas manejadoras de aire están equipadas con equipos variadores de frecuencia. Así mismo, el sistema de ductos que lo complementa cuenta con difusores de volumen variable. Los difusores están controlados por un sensor que, dependiendo de las condiciones del ambiente en los espacios acondicionados, manda una señal hacia un motor que se encarga de cerrar o abrir la válvula de volumen variable; al abrirse o cerrarse dicha válvula ocasiona una diferencia de presión dentro del ducto, la cual es detectada por un sensor de presión que envía una señal al variador de frecuencia, que a su vez actúa sobre el motor de la manejadora de aire aumentando o disminuyendo su velocidad, según se requiera. Al variar la velocidad de los motores de una forma controlada, se tiene un considerable ahorro de energía que se traduce en un ahorro en dinero. Para poder cuantificar este ahorro se desarrolló la siguiente tabla, en la cual los valores de porcentaje de potencia de operación son solo aproximados y son la media de una serie de datos que se tomaron de los tableros variadores de frecuencia. Para realizar el cálculo del consumo de energía se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo} = \left[ \frac{\% \text{ de capacidad}}{100} \right] \left[ \text{Capacidad nominal en H.P.} \right] \times 0.746 \left[ \text{Horas de operación} \right]$$

...para el caso de equipos que cuentan con variadores de frecuencia.

En los equipos que no cuentan con ellos se utilizó la fórmula:

$$\text{Consumo} = \left[ \text{Capacidad nominal en H.P.} \right] \times 0.746 \left[ \text{Horas de operación} \right]$$

En donde el número 0.746 es un factor para convertir H.P. a KW.

$$\text{Consumo} = \left[ \frac{\% \text{ de capacidad}}{100} \right] \times \left[ \text{Capacidad nominal en H.P.} \right] \times 0.746 \times \left[ \text{Horas de operación} \right]$$

...para el caso de equipos que cuentan con variadores de frecuencia.

En los equipos que no cuentan con ellos se utilizó la fórmula:

$$\text{Consumo} = \left[ \text{Capacidad nominal en H.P.} \right] \times 0.746 \times \left[ \text{Horas de operación} \right]$$

En donde el número 0.746 es un factor para convertir H.P. a KW.

Las siguientes dos tablas presentan el consumo de cada uno de los sistemas que se han mencionado:

LÍNEA	TIPO	DESCRIPCIÓN	CARGAS						HORAS	CONSUMO (KWH)	COSTO (\$)	
			1	2	3	4	5	6				
1	PISO 4	% DE POT. = CONSUMO =	30	30	30	30	30	30	11.18	248.08	6000	61.897.52
2	PISO 4	% DE POT. = CONSUMO =	10	30	30	30	30	30	6.888	156.008	7400.00	60.898.54
3	PISO 3	% DE POT. = CONSUMO =	10	30	30	30	30	30	3.73	100.308	4000.0	61.678.87
4	PISO 3	% DE POT. = CONSUMO =	10	30	30	30	30	30	3.73	117.408	4000.0	60.887.81
5	PISO 2	% DE POT. = CONSUMO =	10	30	30	30	30	30	4.626	119.816	4700.00	60.887.81
6	PISO 2	% DE POT. = CONSUMO =	10	30	30	30	30	30	3.73	119.30	4700.0	60.188.54
7	PISO 1	% DE POT. = CONSUMO =	10	30	30	30	30	30	4.626	106.108	4000.00	61.881.87
8	PISO 1	% DE POT. = CONSUMO =	30	30	30	30	30	30	3.73	119.30	4700.0	60.188.54
9	P.B.	% DE POT. = CONSUMO =	30	30	30	30	30	30	4.626	132.062	5000.00	60.200.04
10	P.B.	% DE POT. = CONSUMO =	25	30	30	30	30	30	3.73	88.048	3000.0	61.738.87
11	ML	% DE POT. = CONSUMO =	10	0.746	11.18	3.888	3.887	30	0.746	19.883	700.00	6004.00
12	ML	% DE POT. = CONSUMO =	10	0.746	11.18	3.888	3.887	30	0.746	19.877	700.00	6001.00
<b>CONSUMO TOTAL =</b>									<b>1267.046</b>	<b>54881.8</b>	<b>600.000.00</b>	
CONSUMO EN (KWH) = COSTO EN PESOS =												

ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA SISTEMA DE AIRE DE CONFORT EDIFICIO TRADICIONAL											
UMA	UBIC	CAP	% DE CAP. DE OPERACIÓN					CONSUMO DIARIO	CONSUMO MENSUAL	COSTO	
			HORARIO= TOT. HRS =	7-9	9-16	16-17	17-20				20-21
1	PISO 4	30	% DE POT. 100	100	0	0	100	100			
			CONSUMO=	74.8	222.8	0	111.8	37.3	447.8	17904	87,827.78
2	PISO 4	40	% DE POT. 100	100	0	0	100	100			
			CONSUMO=	89.8	179.04	0	89.8	29.84	368.68	14322.2	86,922.21
3	PISO 3	25	% DE POT. 100	100	0	0	100	100			
			CONSUMO=	37.3	111.8	0	55.88	18.65	223.8	8982	53,658.88
4	PISO 3	25	% DE POT. 100	100	0	0	100	100			
			CONSUMO=	37.3	111.8	0	55.88	18.65	223.8	8982	53,658.88
5	PISO 2	30	% DE POT. 100	100	0	0	100	100			
			CONSUMO=	44.78	134.28	0	87.14	22.38	288.68	10742.4	84,728.88
6	PISO 2	25	% DE POT. 100	100	0	0	100	100			
			CONSUMO=	37.3	111.8	0	55.88	18.65	223.8	8982	53,658.88
7	PISO 1	30	% DE POT. 100	100	0	0	100	100			
			CONSUMO=	44.78	134.28	0	87.14	22.38	288.68	10742.4	84,728.88
8	PISO 1	25	% DE POT. 100	100	0	0	100	100			
			CONSUMO=	37.3	111.8	0	55.88	18.65	223.8	8982	53,658.88
9	P.B.	30	% DE POT. 100	100	0	0	100	100			
			CONSUMO=	44.78	134.28	0	87.14	22.38	288.68	10742.4	84,728.88
10	P.B.	25	% DE POT. 100	100	0	0	100	100			
			CONSUMO=	37.3	111.8	0	55.88	18.65	223.8	8982	53,658.88
11	M.L.	8	% DE POT. 100	100	0	0	11.18	3.73	44.78	1790.4	8787.78
			CONSUMO=	7.48	22.28	0	11.18	3.73	44.78	1790.4	8787.78
12	M.L.	8	% DE POT. 100	100	0	0	11.18	3.73	44.78	1790.4	8787.78
			CONSUMO=	7.48	22.28	0	11.18	3.73	44.78	1790.4	8787.78
							CONSUMO TOTAL=	2818.88	11278.2	868,888.88	
							CONSUMO EN KW-HR				
							COSTO EN PESOS M				

Como se observa en las tablas de consumo de energía en el Edificio Inteligente tenemos un ahorro de 1,452.8 [KW-Hr] diarios que equivalen a 58,112.2 [KW-Hr] al mes, considerando 20 días laborales. En el caso del edificio tradicional se ha considerado que las manejadoras dejan de operar durante la hora de comida. Aún así el consumo de energía es considerablemente alto comparado con el consumo del Edificio Inteligente.

**3.6.2. Análisis de Costo Beneficio para el Mantenimiento del Sistema de Aire Acondicionado de Precisión.**

El sistema de aire acondicionado de precisión está integrado principalmente por las torres de enfriamiento y las unidades acondicionadoras de aire de la marca LIEBERT®. Como detalle interesante, se hace notar que en la actualidad estos equipos no son de uso exclusivo de los Edificios Inteligentes, también son muy

populares en edificios de tipo tradicional. Este es uno de los casos en los que los avances y novedades de hace apenas algunos años ahora son la normalidad y se están empleando en la mayoría de las construcciones actuales, sean o no inteligentes. El uso de equipos LIEBERT® permite aprovechar mejor los espacios y evita los altos costos que implica la instalación de ductos demasiado grandes para poder llevar el aire hasta los lugares donde se requiere. Además, la precisión que ofrecen estos equipos en cuanto al control de temperatura y humedad los hacen ideales para controlar el ambiente en salas de cómputo o de telecomunicaciones, en donde los equipos son muy sensibles a los cambios ambientales y donde la disipación del calor juega un papel muy importante en el funcionamiento de los mismos.

El costo de estos equipos es relativamente alto, sin embargo los beneficios que ofrecen son muchos ya que pueden proteger eficazmente otros equipos más costosos en lo que se refiere a condiciones ambientales. En un edificio tradicional estos equipos pueden sustituirse por un sistema de ductos y una mayor potencia en las manejadoras de aire o un mayor número de éstas lo que llevaría a aumentar los gastos de mantenimiento de manejadoras de aire y ductos. Los equipos LIEBERT® requieren de un mantenimiento más especializado, lo que implica un costo mayor que el de las manejadoras y ductos, pero la confiabilidad y efectividad de estos equipos justifican por mucho su costo y el costo de su mantenimiento.

### **3.6.3. Análisis Costo Beneficio del Mantenimiento del Sistema de Extracción e Inyección de Aire.**

En el sistema de extracción e inyección de aire, el edificio cuenta con una gran cantidad de ventiladores, extractores de aire y unidades serpentín-ventilador.

Algunos de estos equipos poseen variadores de frecuencia similares a los utilizados por las manejadoras, otros permanecen encendidos todo el día y algunos prenden y apagan de acuerdo a un programa preestablecido. En los estacionamientos se cuenta con un sistema de extractores de aire que se accionado por una serie de sensores de monóxido de carbono (CO), lo cual permite tener un ahorro de energía, ya que los extractores son encendidos sólo cuando se requieren. Se cuenta con un sistema de tres extractores de aire por nivel de estacionamiento.

Para poder cuantificar el ahorro de energía en los equipos de extracción e inyección se realizaron las siguientes tablas de comparación entre un edificio tradicional y un Edificio Inteligente. Los equipos que usa esta parte del sistema son dos unidades serpentín-ventilador, que para esta tabla se indican como UMA 13 y UMA 14. El sistema de aire de confort tiene 12 UMAs, por lo que para diferenciarlas, se les asignaron estos números.

Análisis de consumo de energía para las unidades serpentín-ventilador del Edificio Inteligente							
Cap. nominal		Horario	hrs.cons. (HRS)	% de operación		consumo [KW-Hr]	
UMA 13	UMA 14			UMA 13	UMA 14	UMA 13	UMA 14
3	3	7-9	2	30	30	1.3428	1.3428
3	3	9-15	6	80	70	10.7434	9.3888
3	3	15-17	2	80	80	2.6866	2.238
3	3	17-21	4	20	20	1.7804	1.7804
Consumo total por unidad=						16.6612	14.7708
Consumo total=						31.332	
Consumo bimestre=						1263.26	

**Análisis de consumo de energía para unidades serpentín ventilador en edificios tradicionales**

UMA	CAP. [HP]	Hrs. operando	Consumo
UMA 13	3	14	31.332
UMA 14	3	14	31.332
<b>Consumo diario=</b>			<b>62.664</b>
<b>Consumo bimestral=</b>			<b>2086.88</b>

Se observa que en el caso de las unidades serpentín-ventilador utilizadas en edificios inteligentes se tiene un ahorro de energía igual a:

$$62.664 \text{ [KW-Hr]} - 31.332 \text{ [KW-Hr]} = 31.332 \text{ [KW-Hr]}$$

...diarios, que equivalen a un total de :

$$31.332 \text{ [KW-Hr/día]} \times 20 \text{ días /mes} = 626.64 \text{ [KW-Hr]}$$

...al mes; al multiplicar este valor por el costo del [KW-Hr] obtenemos el total del ahorro en efectivo, esto es:

$$626.64 \text{ [KW-Hr]} \times 0.46 \text{ [\$0/KW-Hr]} = \text{N}6281.00$$

Para el análisis del consumo de energía en los extractores de los estacionamientos, se han elaborado las siguientes tablas de comparación entre edificios tradicionales y Edificios Inteligentes.

<b>Análisis de consumo de energía para los extractores ubicados en los estacionamientos del Edificio Inteligente.</b>				
<b>Ventilador No.</b>	<b>Cap. [H.P.]</b>	<b>Hra Operación [KW-Hr]</b>	<b>Consumo [KW-Hr]</b>	<b>Costo [M\$]</b>
1	2	5	7.45	3.35
2	1-1/2	5	5.595	2.52
3	1-1/2	4	4.475	2.01
4	2	5	6.952	4.03
5	1-1/2	5	5.595	2.52
6	1-1/2	4	4.475	2.02
7	2	4	5.935	2.65
8	1-1/2	4	4.475	2.01
9	1-1/2	5	5.595	2.52
10	2	5	7.45	3.35
11	1-1/2	5	5.595	2.52
12	1-1/2	4	4.475	2.01
<b>Consumo total diario=</b>				<b>75.124</b>
<b>Consumo total mensual=</b>				<b>1,452.45</b>
<b>Costo total al mes=</b>				<b>N\$531.11</b>

Análisis de consumo de energía para los extractores ubicados en los estacionamientos para el caso de un edificio tradicional.				
Ventilador No.	Capacidad [H.P.]	Hrs operación [KW-Hr]	Consumo [KW-Hr]	Costo [M\$]
1	2	12	17.904	8.06
2	1-1/2	12	13.428	6.04
3	1-1/2	12	13.428	6.04
4	2	12	17.904	8.06
5	1-1/2	12	13.428	6.04
6	1-1/2	12	13.428	6.04
7	2	12	17.904	8.06
8	1-1/2	12	13.428	6.04
9	1-1/2	12	13.428	6.04
10	2	12	17.904	8.06
11	1-1/2	12	13.428	6.04
12	1-1/2	12	13.428	6.04
Consumo total diario=				179.94 [KW-Hr]
Consumo total mensual=				3,609.89 [KW-Hr]
Costo total al mes=				M\$ 1,611.36

Al comparar el consumo de energía en el Edificio Inteligente con el consumo que debería haber en el caso de no contar con los detectores de CO se observa un ahorro de energía de:

$$179.94 \text{ [KW-Hr]} - 79.124 \text{ [KW-Hr]} = 100.816 \text{ [KW-Hr]}$$

diarios; en un mes se tendrá un ahorro de energía de:

$$166.916 \text{ [KW-Hr]} \times 20 \text{ días} = 2,178.32 \text{ [KW-Hr]}$$

Este valor, al llevarlo a términos monetarios considerando un costo de N\$ 0.48 por KiloWatt-Hora nos da un ahorro bimestral en el consumo de energía de los extractores en los estacionamientos de:

$$2,178.32 \text{ [KW-Hr]} \times 0.48 \text{ [N$/KW-Hr]} = \text{N\$ } 909.24$$

El consumo de los demás ventiladores se presenta en la tabla siguiente. En este caso el consumo tanto en el Edificio Inteligente como en el tradicional será el mismo, ya que estos ventiladores no cuentan con ningún sistema de ahorro en especial y su operación es igual, tanto el Edificio Inteligente como en el tradicional; esto es, los ventiladores permanecerán operando las 14 horas laborales en el edificio o tendrán un sistema de encendido y arranque, pero tanto en el edificio tradicional como en el inteligente el programa de encendido y arranque será el mismo. Para la determinación del consumo se consideró que los ventiladores permanecen encendidos todo el tiempo para calcular el máximo consumo de éstos.

# de ventiladores	Capacidad [H.P.]	Hrs operación	Consumo [KW-Hr]
1	1/2	14	5.222
2	3/4	14	7.833
3	1/8	14	1.744
3	2	14	20.888
2	1.5	14	15.866
1	3	14	31.332
1	1	14	10.444
<b>Consumo diario =</b>			<b>93.129</b>
<b>Consumo mensual =</b>			<b>1,992.58</b>
<b>Costo total del consumo al mes =</b>			<b>N\$ 938.16</b>

En la siguiente tabla se presenta un resumen del total de consumo y de ahorro de energía obtenido para el sistema de inyección y extracción del Edificio Inteligente comparado con un edificio tradicional.

<b>Sistema de inyección y extracción</b>					
<b>Comparación de consumo de energía</b>					
<b>Edificio Inteligente</b>			<b>Edificio tradicional</b>		
<b>Sistema</b>	<b>Consumo diario</b>	<b>Consumo mensual</b>	<b>Sistema</b>	<b>Consumo diario</b>	<b>Consumo bimestral</b>
Serpentín Ventilador	31.332	626.64	Serpentín Ventilador	62.664	1,303.28
Extracción de aire estacionamientos	70.124	1,402.48	Extracción de aire estacionamientos	179.04	3,680.00
Ventiladores no inteligentes	93.129	1,862.58	Ventiladores no inteligentes	93.129	1,862.58
<b>Total=</b>	<b>194.585</b>	<b>3,891.70</b>	<b>total=</b>	<b>334.833</b>	<b>6,746.06</b>

El ahorro en consumo de energía para el sistema de inyección y extracción, comparando el Edificio Inteligente con el tradicional es de:

$$\text{ahorro diario} = (334.833 - 194.585) \text{ [KW-Hr]} = 140.248 \text{ [KW-Hr]}$$

$$\text{ahorro mensual} = (6,746.06 - 3,891.70) \text{ [KW-Hr]} = 2,854.36 \text{ [KW-Hr]}$$

Para el sistemas de aire acondicionado tenemos los siguientes resultados globales:

El consumo de energía para los sistemas de aire acondicionado tanto del Edificio Inteligente como del edificio tradicional es:

**Consumo Sistema Confort + Consumo Sistema Precisión + Consumo Sistema Inyección y Extracción.**

El sistema de precisión no fue evaluado, puesto que se ha considerado que en los edificios tradicionales que se están construyendo en la actualidad, el sistema es idéntico tanto para edificios tradicionales como para Edificios Inteligentes por lo cual no se considerará para los datos globales.

Para el Edificio Inteligente tenemos:

$$(27,340.9 + 3,891.70) \text{ [KW-Hr]} = 31,232.60 \text{ [KW-Hr]}$$

Para el edificio tradicional tenemos:

$$(63,397.88 + 6,748.88) \text{ [Kw-Hr]} = 63,144.28 \text{ [KW-Hr]}$$

La diferencia de consumos de energía para Edificios Inteligentes y tradicionales en el sistema de aire acondicionado es de:

$$(63,144.28 - 31,232.60) \text{ [KW-Hr]} = 31,911.68 \text{ [KW-Hr]}$$

Como se observa, el ahorro en el consumo de energía que ofrece el Edificio Inteligente es bastante considerable, del orden del 50% del consumo de energía del edificio tradicional. Este ahorro a lo largo del tiempo justifica el gasto que

implican los diversos equipos que posee el Edificio Inteligente en cuanto a ahorro de energía.

Multiplicando el ahorro de energía por N\$ 0.45, que es el costo promedio del KiloWatt-Hora tenemos:

$$31,891.66[\text{KW-Hr}] \times 0.45 [\text{N\$/KW-Hr}] = \text{N\$ } 14,346.75$$

...al mes. Los equipos que nos proporcionan el ahorro de energía son los sensores de CO en el sistema de extracción y los variadores de frecuencia en el sistema de confort. De éstos, los más significativos son los variadores de frecuencia; el costo de estos variadores se resume en la siguiente tabla.

Descripción	Capacidad [HP]	Cantidad	Costo Unitario [N\$]	Costo total [N\$]
Variador de frec.	5	2	7,355.00	14,710.00
Variador de frec.	25	5	14,121.25	70,606.25
Variador de frec.	30	3	17,760.00	53,280.00
Variador de frec.	40	1	20,523.75	20,523.75
Variador de frec.	50	1	24,643.75	24,643.75
Variador de frec.	15	2	12,872.50	25,745.00
<b>Costo total de los equipos=</b>				<b>N\$ 209,508.75</b>

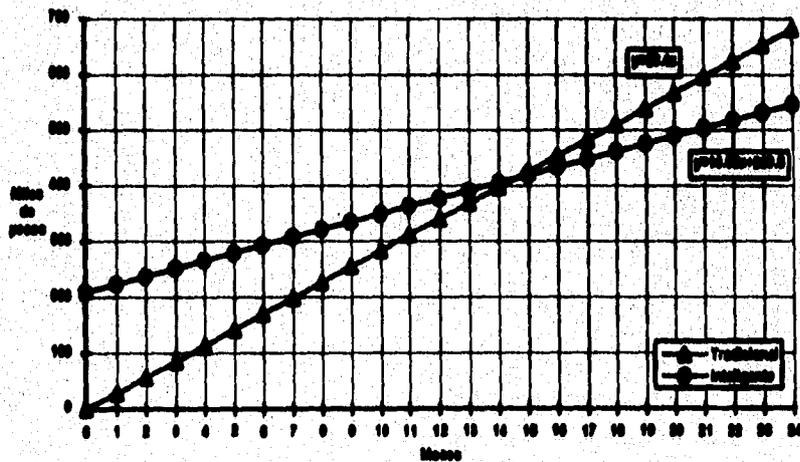
Al dividir el costo de los equipos por el ahorro obtenido en el consumo de energía, obtenemos el número de meses en que se recupera la inversión, esto es:

$$N\$209,608.75 / 14,348.75 \text{ (N\$/ mes)} = 14.6 \text{ meses}$$

esto es, la inversión se recupera en menos de 1 año y 3 meses.

La siguiente gráfica muestra el costo de operación de los dos sistemas. Como en el caso del sistema eléctrico, la diferencia en las gráficas, después del punto de equilibrio, es lo que se está dejando de gastar en aire acondicionado. Las gráfica está en miles de pesos.

Retorno de la inversión  
Sistema de Aire Acondicionado



## Capítulo 4

---

---

### Análisis del Sistema de Control

*"Hemos aprendido a volar como las aves y a nadar como los peces, pero no hemos aprendido el sencillo arte de vivir juntos como hermanos"*

*Martin Luther King*

#### 4.1. Descripción General

En todo Edificio Inteligente siempre se tiene un control central de todos los sistemas que componen los servicios del edificio. Desde este sistema se puede controlar, monitorear y/o ajustar cada uno de los sistemas mencionados. Usualmente está compuesto por una computadora central con un programa de control, de la cual pueden o no depender una o varias terminales remotas, además de los sensores y controles remotos para cada uno de los elementos que se integran a dicho control central.

El sistema de Control Central que se está usando en este caso es un sistema de la empresa Honeywell, el cual está compuesto por una computadora central, una estación remota y una impresora para reportes y alarmas, además de todos los sensores instalados en diversas partes del edificio. En la computadora central se tiene instalado el programa que integra cada uno de estos equipos y dispositivos, el cual es el Grafik Central. Por el momento el sistema monitorea alrededor de 5000 puntos. La siguiente lista indica todo el equipo electrónico que se tiene instalado en el edificio, sin contar los sensores.

- 1 computadora central

- 1 computadora remota
- 1 impresora
- 1 sistema servidor de comunicaciones
- 3 controladores EXCEL 500
- 5 controladores EXCEL Plus
- 20 Controladores FB90 Plus

En la figura 5.1 se muestra el diagrama de bloques de este sistema de control.

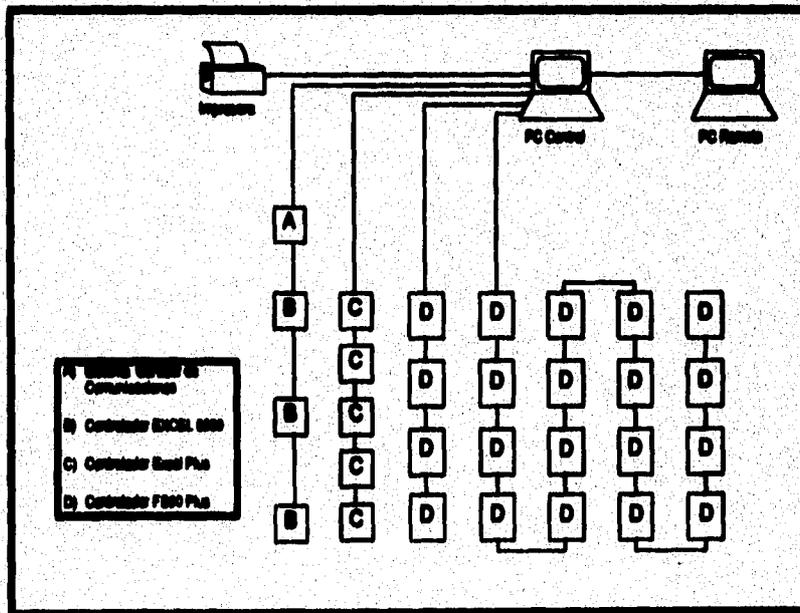


Fig. 4.1. Sistema de Control Central

**4.1.1. Sistemas de Automatización y de Protección**

El programa que está instalado en la computadora central es el Grafik Central y controla 12 sistemas diferentes, divididos en dos grupos, los cuales son:

**Tabla 4.1**

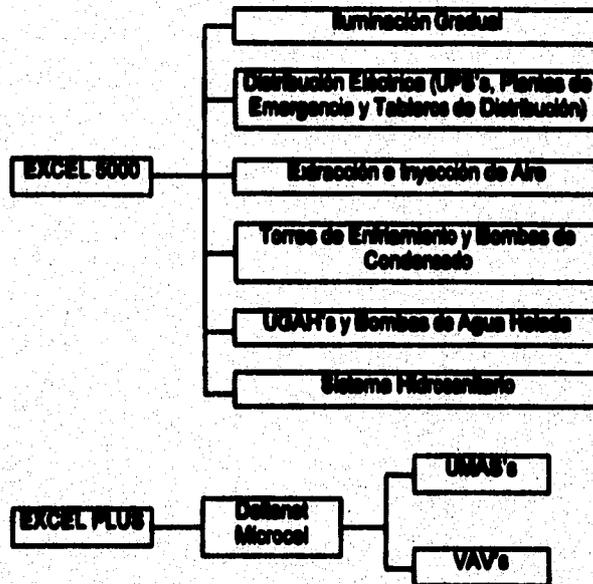
<b>Sistemas de automatización</b>	<b>Sistemas de protección</b>
Control de aire acondicionado	Sistema de detección de incendio
Control de iluminación	Sistema de seguridad
Medición de consumo de energía eléctrica	Sistema de vigilancia perimetral
Consumo de agua	Sistema de rondines de vigilancia
Supervisión de sistema hidráulico	Sistema de control de accesos
Control de extractores e inyectores de aire	Calidad del aire en estacionamientos subterráneos

Este programa es una interfaz gráfica que facilita el manejo de los sistemas del edificio. Todo se maneja en base al ratón y únicamente basta dar un click a la opción deseada para revisar el sistema que se desea.

**4.1.2. Asignación de Dispositivos Controladores**

En la implementación del sistema de control, se decidió agrupar a los sistemas de tal manera que los Sistemas de Protección se controlen a través de las tarjetas FS90 Plus y los Sistemas de Automatización a través de los tableros EXCEL 5000 y EXCEL Plus. En este capítulo analizaremos solamente los Sistemas de Automatización; los Sistemas de Protección, a excepción de la Calidad del Aire en Estacionamientos, no son temas de análisis en esta tesis, por lo tanto el siguiente

cuadro sinóptico que muestra que dispositivos controla cada tarjeta, solo presenta los dispositivos controlados por las EXCEL 5000 y las EXCEL Plus



Los tableros EXCEL 5000 controlan el sistema de iluminación y parte del equipo de aire acondicionado, como torres de enfriamiento, bombas de agua, etc., extracción de aire y sistema hidrosanitario. Por otro lado, los tableros EXCEL plus están controlando las Unidades Manejadoras de Aire y las Cajas de Volumen de Aire Variable a través de controladores Deltanet Microcel (uno por cada UMA o VAV). Hay un controlador EXCEL Plus en cada piso, desde el primero hasta el cuarto piso. La Planta Baja y el Sótano 0 son controlados por el mismo controlador. Esto nos da un total de 5 Controladores EXCEL Plus y 67 Deltanet Microcel por piso.

## **4.2. Control del Sistema Eléctrico**

El Grafik Central nos permite monitorear el sistema de alumbrado gradual y el sistema de distribución eléctrica (tableros eléctricos, plantas de emergencia y UPS's).

### **4.2.1. Control del Sistema de Alumbrado**

En el caso del sistema de alumbrado, se está controlando el encendido apagado de la iluminación en los estacionamientos, áreas de servicio en los pisos de oficinas, pasillos y periferias.

Este sistema se controla por medio del EXCEL 5000 y su objetivo es programar las secuencias de encendido y apagado de las áreas de servicio que tienen luminarias no regulables.

A pesar de que en este sistema se tiene la opción de ser regulable, sólo se usa como encendido apagado y todo está manejado en la computadora central. Actualmente está trabajando conforme se muestra en el capítulo 2.

### **4.2.2. Control de la Distribución Eléctrica**

Por otra parte en este sistema se integra el control del sistema de distribución eléctrica de los tableros eléctricos que contienen a los Power Logic®. Esto se logra mediante la interconexión de los tableros entre sí a través de un cable belden y usando un conector MCT-485 en el primer Power Logic® y un conector MCA-485 en el último tablero y de ahí hacia la computadora central, en la cual se tiene instalada una tarjeta SY/LINK. El diagrama de esta conexión se muestra en la siguiente página, en la figura 4.2.

En la computadora, además se tienen instalados los siguientes programas:

- **SMS770** para el monitoreo de los tableros
- **GFX700** para hacer diagramas unifilares y monitorear en puntos específicos de la instalación, valores tales como potencia, voltaje, factor K, etc. También se puede usar para crear tableros de control "virtuales" en pantalla, con esto se puede controlar el arranque y paro de diferentes equipos conectados a estos tableros.
- **DDE300** para intercambio dinámico de datos. Este software crea archivos en formato Excel (\*.XLS) con la información necesaria para crear estadísticas, gráficas, etc. con las variables que entrega el tablero.

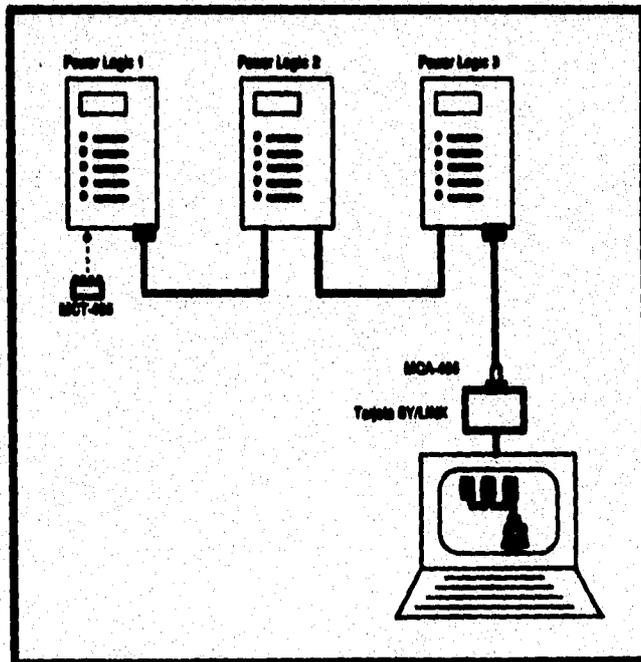


Fig. 4.2. Conexión de Power Logic's al sistema

Es posible verificar estos tableros inteligentes remotamente desde la computadora, ya sea conectada en red o desde un módem, así como revisar los diagramas unifilares y recibir una alarma de un circuito que se está acercando a una condición de sobrecarga.

Se pueden obtener hasta 50 datos relevantes de la instalación eléctrica a través del Power Logic. Estos datos son:

#### Medición en tiempo real

- Corriente (por fase N, G, 3F)
- Tensión (L-L, L-N)
- Potencia real (por fase, 3F)
- Potencia reactiva (por fase, 3F)
- Potencia aparente (por fase, 3F)
- Frecuencia
- Temperatura (ambiente interno)\*
- THD (corriente y tensión)
- Factor-K (por fase)

#### Lectura de demandas

- Demanda de corriente (instantáneo por fase, pico)
- Promedio de factor de potencia (total 3F)
- Demanda de potencia real (total 3F)
- Demanda de potencia reactiva (total 3F)\*
- Demanda de potencia aparente (total 3F)
- Lecturas Coincidentes\*
- Predicción de demandas\*

#### Lecturas de Energía

- Energía acumulada real
- Energía acumulada reactiva
- Energía acumulada aparente\*
- Lecturas bi-direccionales\*

#### Valores de análisis de energía\*

- Factor Cresta (por fase)
- Demanda de Factor-K (por fase)
- Factor de potencia por técnica de desplazamiento y distorsión de onda (por fase, 3F)
- Valor fundamental de tensión (por fase)
- Valor fundamental de corriente (por fase)
- Valor fundamental de potencia real (por fase)
- Potencia armónica
- Desbalanceo (corriente y tensión)
- Rotación de fases

\*Disponibles únicamente sin comunicación a PC con programa de aplicación Power Logic.

**4.2.3. Control de las Plantas de Emergencia**

Para las plantas de emergencia, el sistema de control nos va a permitir monitorear las condiciones de operación y modificarlas de acuerdo a las necesidades del edificio.

Este monitoreo se lleva a cabo a través de una interfaz desde el display de control en la planta hacia la computadora central.

Para efectos de mantenimiento, existe una programación de arranque y paro recomendada por el fabricante para la verificación del buen funcionamiento de las plantas, la cual está en la memoria de la computadora central del sistema de control.

Los parámetros que se monitorean en las plantas de emergencia, son los siguientes:

- Voltaje entre fases
- Corriente de fases
- Consumo en (KW-Hr)
- Factor de Potencia
- Frecuencia
- Funcionamiento del Gobernador
- Funcionamiento del Regulador
- Temperatura del Refrigerante
- Arranque y Tiempo de Arranque
- Paro y Tiempo de Paro

#### **4.2.4. Control de los UPS's**

En los UPS's solo podremos monitorear los valores de operación de los mismos sin que se pueda modificar su estado de operación programada, así como tampoco manejar desde nuestro centro de control ningún tipo de puenteo en caso de falla.

En este caso, la conexión del gabinete del UPS' hacia la computadora central, se llevará a cabo a través de una interfaz, la cual llevará la información generada hacia nuestra estación para poderla visualizar remotamente.

Los parámetros a monitorear en los UPS's son los siguientes:

- Voltaje de Entrada entre fases
- Voltaje de Salida entre fases
- Corriente de entrada de cada fase
- Corriente de salida de cada fase
- Voltaje de las baterías
- Frecuencia de puenteo
- Frecuencia de salida

#### **4.3. Control del Sistema Hidráulico**

En el sistema hidráulico se monitorean las bombas de agua potable y bombas de agua tratada, así como las bombas contra incendios y las bombas de achique por medio del Grafik Central.

En todas las bombas podemos monitorear que éstas estén en funcionamiento, y en el caso de las bombas contra incendio, el paro y arranque en caso de ser

necesario. También se puede monitorear la presión que se tiene en el cabezal en el que confluyen las bombas de cada uno de los 4 sistemas de bombeo, así como la presión individual en cada una de ellas.

Al igual que en las plantas de emergencia, se han programado rutinas de paro y arranque para mantenimiento de estas bombas. Con esto verificaremos su buen funcionamiento en caso de surgir alguna emergencia.

Además de detectar paro y arranque, en el sistema de bombeo contra incendio existen 4 alarmas adicionales, que son falta de energía e inversión de fases en la bomba eléctrica, falta de sistema (falta de arranque) y falta de batería en la bomba de combustión interna. Ver figura 4.3.

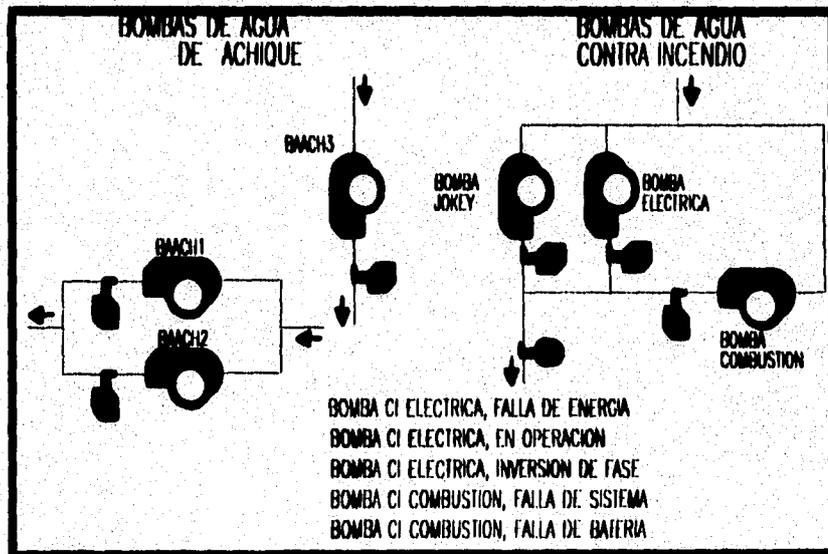


Fig. 4.3. Sistema de bombeo

#### **4.4. Control del Sistema de Aire Acondicionado**

Como ya se mencionó en el capítulo 3, el aire acondicionado está dividido en 3 sistemas, aire acondicionado de confort, aire acondicionado de precisión y sistema de inyección y extracción.

En el Sistema de Control se debe accesar la opción **CONTROL DE AIRE ACONDICIONADO** para la supervisión y manejo de los equipos relacionados con el mismo

Esta opción presenta al sistema de aire acondicionado, dividido de acuerdo a los niveles del edificio, es decir presenta las siguientes opciones:

- Azotea
- 4 Nivel
- 3 Nivel
- 2 Nivel
- 1 Nivel
- Planta Baja
- Sótano 0 (Motor Lobby)

Por lo tanto, si se quisiera verificar el funcionamiento de las Torres de Enfriamiento, que pertenece al sistema de precisión, o saber la temperatura del agua de las Unidades Generadoras de Agua Helada, se tendría que consultar en ambos casos la opción **AZOTEA**, ya que es en esta planta en la que se encuentran físicamente estos equipos. Para monitorear el funcionamiento del sistema de inyección y extracción de aire en escaleras, baños, domos y cuartos de UMA's debemos regresar a la pantalla principal y seleccionar la opción **SISTEMA DE INYECCIÓN Y EXTRACCIÓN**. Ver la tabla 4.1

**4.4.1. Control de Dispositivos en Azotes**

En la opción AZOTEA, como se mencionó hace un momento, se monitorean las Torres de Enfriamiento y las Unidades Generadoras de Agua Helada. En éstas se controlan y monitorean las siguientes variables:

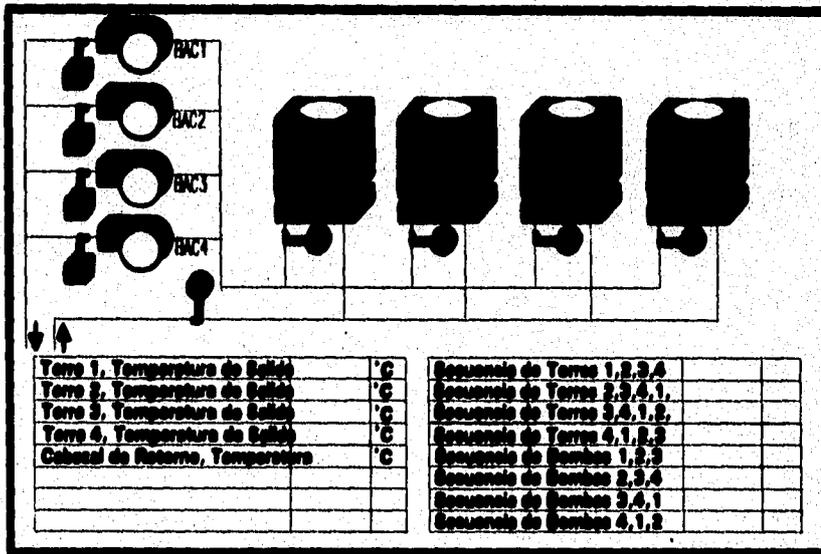


Fig. 4.4. Torres de enfriamiento de agua

**Torres de Enfriamiento**

- Temperatura de Salida
- Temperatura del Cabezal de Retorno
- Estado, Arranque y Paro de las Torres
- Secuencia de Arranque de las Torres

- Estado, Arranque y Paro de las Bombas
- Secuencia de Arranque de las Bombas

**Unidades Generadoras de Agua Helada**

- Temperatura de Salida
- Presión en el Cabezal de Salida
- Arranque y Paro de la UGAH
- Presión, Velocidad, Arranque y Paro de las Bombas

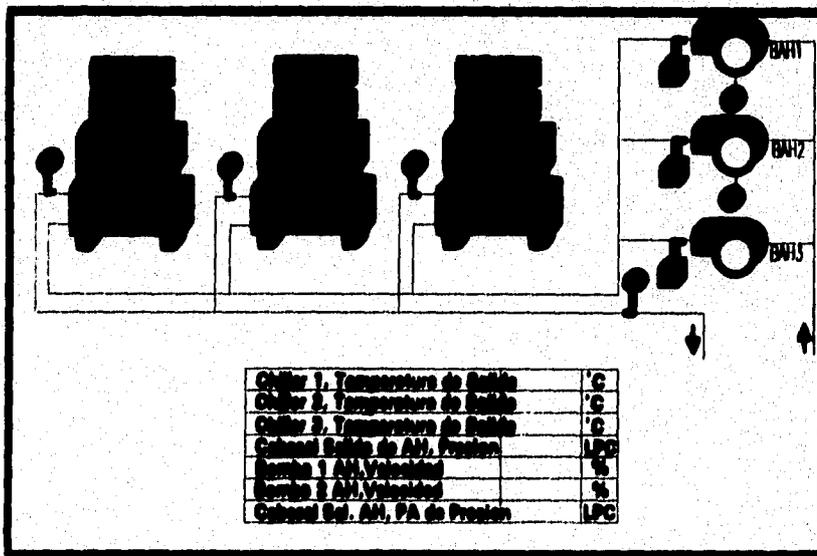


Fig. 4.5. Unidades generadoras de agua helada

**4.4.2. Control de Dispositivos en Pisos**

Para el resto de los pisos, las pantallas que presenta el sistema son prácticamente iguales, ya que en cada piso se tienen en promedio 65 cajas de Volumen de Aire Variable y 2 Unidades Manejadoras de Aire. En cada uno de estos equipos se puede monitorear y modificar lo siguiente:

**Cajas de Volumen de Aire Variable. Ver figura 4.6:**

- Abertura de Compuerta
- Volumen de Aire
- Temperatura de Area
- Punto de Ajuste
- Permiso de Regulación

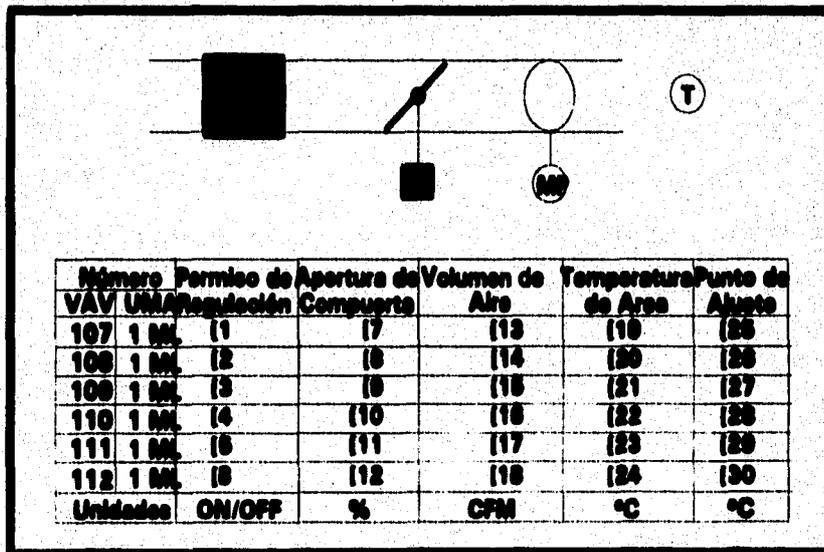


Fig. 4.6. Cajas de volumen de aire variable

UMA. Ver figura 4.7 :

- Paro y Arranque del Ventilador
- Estado del Ventilador
- Apertura de Válvula
- Temperatura de Impulsión
- Punto de Ajuste de Temperatura de Impulsión
- Velocidad del Variador de Frecuencia
- Punto de Ajuste del Variador de Frecuencia
- Presión de Cámara de Impulsión
- Estado del Filtro
- Horario de Operación

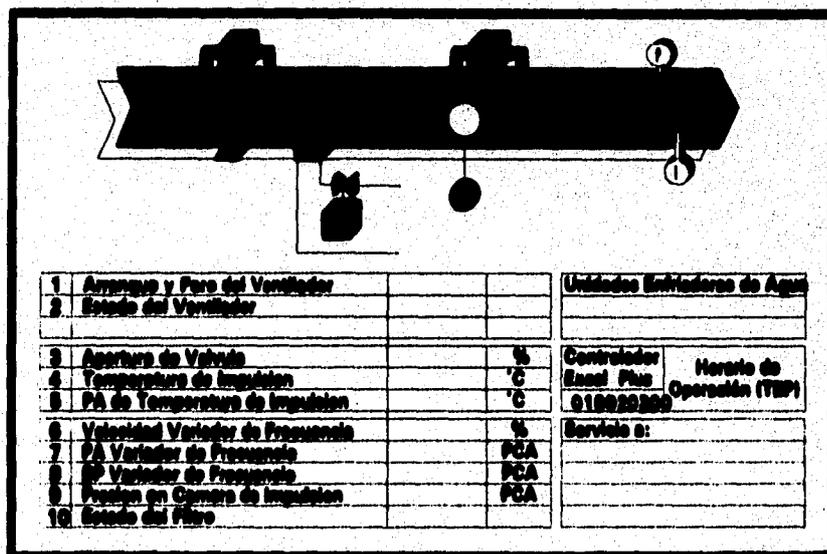


Fig. 4.7. Unidad manejadora de aire

#### 4.4.3. Control de Extractores e Inyectores de Aire

Para el control de extractores e inyectores, se debe seleccionar la opción **CONTROL DE EXTRACTORES E INYECTORES DE AIRE**.

Esta opción se encuentra en el menú principal; una vez seleccionada tendremos acceso a controlar las siguientes opciones:

- Arranque, paro y presión a la salida de los inyectores y extractores en las siguientes partes:
  - Inyectores: Escaleras oriente, escaleras centrales y UMAS
  - Extractores: Baños sur, baños centrales y domo lado poniente, domo lado oriente

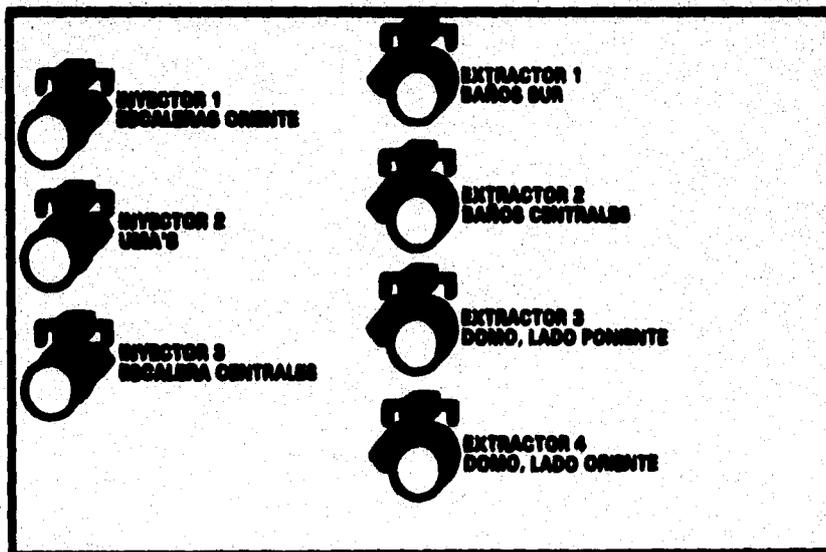


Fig. 4.8. Control de extractores e inyectores de aire

#### 4.4.4. Control de Calidad de Aire en Estacionamientos

En el caso del sistema de extracción de los estacionamientos, está incluido dentro de los sistemas de protección del edificio bajo el nombre de CALIDAD DE AIRE EN ESTACIONAMIENTOS SUBTERRANEOS.

En esta opción solo se puede monitorear el nivel de monóxido de carbono (CO), y el paro y arranque de los ventiladores. En caso de falla, aparecerá una alarma.

Fig. 4.9

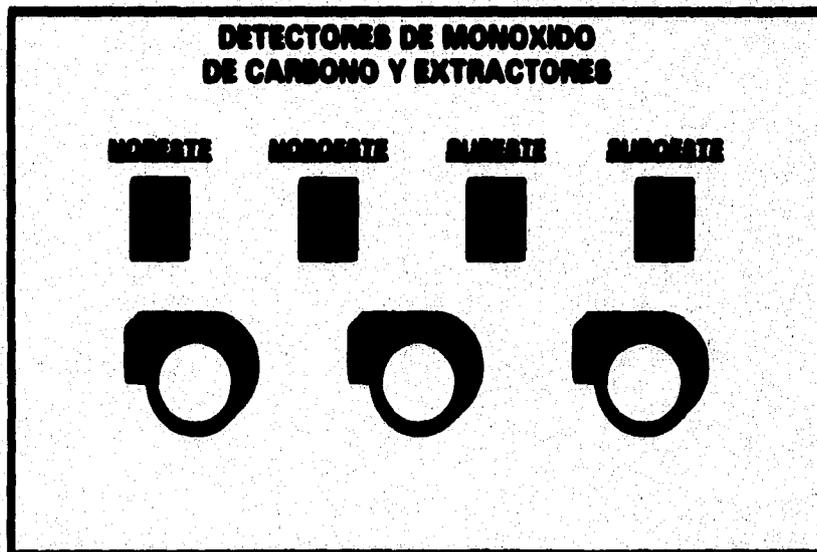


Fig. 4.9. Calidad de aire en estacionamientos subterráneos

#### 4.5. Propuesta de Mantenimiento para el Sistema de Control

En este sistema, el equipo que requiere más mantenimiento son las dos computadoras, ya que son las que tienen más interacción con el usuario y por lo tanto, están más expuestas a sufrir alguna falla. Los controladores son dispositivos de control electrónicos que prácticamente no requieren mantenimiento

o que, en el caso más extremo, éste es mínimo, ya que carecen de partes móviles, además de que están protegidos del polvo con gabinetes de plástico transparente. Los sensores llevan solo mantenimiento correctivo que básicamente es verificar su correcta calibración. Su mantenimiento se detalla a continuación

#### **4.5.1. Mantenimiento de las Computadoras**

Este mantenimiento está orientado a evitar fallas por acumulación de polvo dentro de la tarjeta madre del equipo y evitar fallas por caída de sistema del disco duro. Este mantenimiento se debe realizar cada 6 meses y comprende los siguientes pasos

- Desarmado y limpieza interior y exterior del Monitor
- Desarmado y limpieza interior y exterior del Teclado
- Desarmado y limpieza interior y exterior del Ratón
- Desarmado y limpieza interior y exterior del CPU
- Limpieza de polvo de la Tarjeta Madre
- Limpieza de las cabezas lectoras de la unidad manejadora de discos flexibles
- Verificar que no existan virus informáticos\*
- Defragmentación del disco duro\*
- Chequeo de la superficie del disco duro\*
- Verificación de la calibración de la unidad manejadora de discos flexibles\*

\*Con un software de utilidades para PC

Como medida de protección adicional, se recomienda que se tenga actualizado y disponible en todo momento un respaldo de la información relevante en el disco duro, para que en caso de falla del mismo, se pueda recuperar la información rápidamente. Este respaldo debe actualizarse cada mes y estará bajo la custodia del coordinador de mantenimiento del edificio.

#### **4.5.2. Mantenimiento de los Controladores**

Estos equipos requerirán, más que un mantenimiento, una inspección cada cuatro meses, para verificar el estado físico de los mismos, ya que su estado de operación se está revisando en todo momento desde la computadora central. Esta inspección consiste en:

- Revisión visual del gabinete de plástico del controlador
- Limpieza de posible polvo acumulado en los circuitos.
- Engrasado y apriete de tornillos
- Revisión de la conexión de las terminales con los cables de señales

#### **4.6. Análisis costo beneficio para el Sistema de Control**

La diferencia fundamental entre un edificio tradicional y un edificio inteligente radica en el sistema de control, ya que en este último se monitorean todos los controles automáticos de los equipos que componen las instalaciones. Pueden existir edificios con algún grado de automatización pero sin un sistema de control central que integre todos sus sistemas.

En un edificio tradicional este sistema es sustituido por cuadrillas de personal que llevan a cabo las funciones de monitoreo y/o arranque y paro, así como de

mantenimiento de todos los equipos electromecánicos, por lo que la relación costo beneficio se obtiene del costo de inversión del equipo utilizado, los programas de mantenimiento y el personal requerido versus el costo de la mano de obra de operación y mantenimiento tradicional.

El Sistema de Control es una inversión que se realiza una sola vez, la cual ya no vuelve a realizarse, y su mantenimiento es mínimo por lo que los gastos recurrentes debido a este rubro son mínimos.

Como en los capítulos anteriores, a continuación se mencionan las diferencias que existen entre ambos edificios, teniendo en cuenta que en el edificio tradicional se tiene a un grupo de técnicos y que en el edificio inteligente se tiene un sistema de control automático con el personal requerido.

Edificio Tradicional	Edificio Inteligente
Los sistemas no son monitoreados en todo momento y no se descubren las fallas hasta que afectan a los usuarios	Integración de todos los sistemas incluidos en el control central. Detección inmediata de fallas
La búsqueda de reportes es susceptible de estar incompleta o errónea por ser generada manualmente	Generación automática de reportes de fallas
Tiempo de respuesta mucho mayor en caso de fallas.	Localización exacta de alarmas al momento de presentarse
Se requiere mas personal de supervisión para la atención de reportes	Poco personal para el manejo de todos los sistemas del edificio
Mayor inversión mensual en salarios	Aunque aumentan los salarios, la cantidad de personal es menor
Servicio únicamente durante días y horas hábiles	Poco mantenimiento y una operación continua las 24 horas del día

En un edificio como el que se está analizando se requeriría del siguiente personal para poder ajustar y controlar los sistemas que se han estudiado en esta tesis. Se considera que el edificio va a tener el mismo funcionamiento y monitoreo, y que los técnicos sustituirán al sistema de control, por lo que se requerirán más de éstos.

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo mensual
1	Supervisor hidráulico sanitario	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
2	Plomero	\$ 2,500.00	\$ 5,000.00
2	Ayudante de plomero	\$ 1,800.00	\$ 3,600.00
1	Supervisor eléctrico	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
3	Electricista	\$ 2,500.00	\$ 7,500.00
3	Ayudante de electricista	\$ 1,600.00	\$ 4,800.00
1	Supervisor de aire acondicionado	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
5	Técnico de aire acondicionado	\$ 2,500.00	\$ 15,000.00
<b>Total</b>			<b>\$ 48,000.00</b>

Este mismo edificio, con sus sistemas inteligentes requiere del siguiente personal para su control y mantenimiento

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo mensual
1	Plomero	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
1	Ayudante de plomero	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00
2	Electricista	\$ 3,000.00	\$ 6,000.00
2	Ayudante de electricista	\$ 2,000.00	\$ 4,000.00
4	Técnico en aire acondicionado	\$ 3,000.00	\$ 12,000.00
1	Técnico en sistema	\$ 6,000.00	\$ 6,000.00
<b>Total</b>			<b>\$ 33,000.00</b>

El costo del sistema completo, cuya descripción se hizo en la sección 5.1, es de \$4,200,000.00 pesos.

Para hacer la evaluación se consideraron las siguientes ecuaciones:

**Costo acumulado del sueldo de los técnicos en edificio tradicional**

$$45.6X \quad \dots \text{Ec. (1)}$$

**Costo acumulado del sueldo de los técnicos en edificio inteligente + Costo inicial del equipo**

$$33X + 4200 \quad \dots \text{Ec. (2)}$$

Donde: X = No. de meses

Si igualamos estas dos ecuaciones, obtendremos el tiempo en el que el costo de cada opción es el mismo:

$$(48.6X) = (33X + 4200)$$

Despejando X tenemos que:

Paso 1.  $45.6X - 33X = 4200$

Paso 2.  $12.6X = 4200$

Paso 3.  $X = 4200 \div 12.6$

$X = 333$  meses.

Aparentemente se requerirán de 28 años para recuperar esta inversión, lo que parece ser un tiempo demasiado largo. Sin embargo, hay que considerar que este sistema por el solo no es de utilidad y que tanto el sistema eléctrico, como el de aire acondicionado no podrían ser administrados eficientemente sin el sistema de control, por lo que deben ser evaluados en conjunto. Para ello se hizo la siguiente consideración.

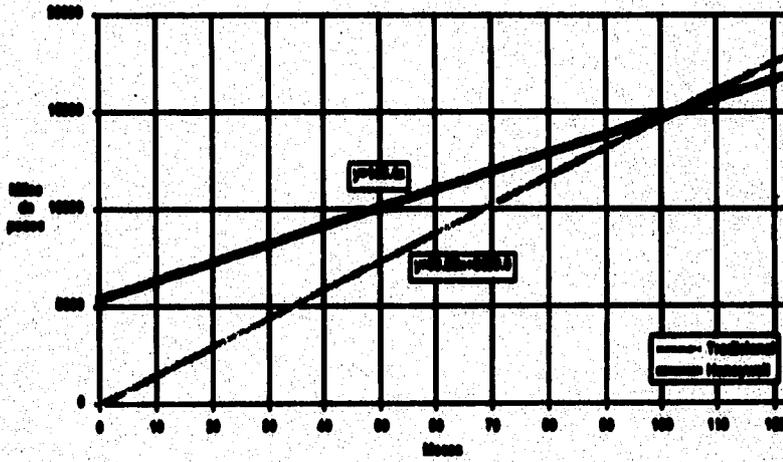
Si hacemos una suma algebraica de las ecuaciones de los tres sistemas y procedemos de la misma forma para despejar la incógnita se obtiene el siguiente resultado:

Sistema	Tradicional	Inteligente
Iluminación	72.45x	48.6x+1000
Aire Acond.	28.4x	14.06x+209.5
Control	48.6x	33x+4200
<b>Total</b>	<b>149.4x</b>	<b>85.66x+5409.5</b>

$x = 102.9 \approx 103$  meses.

Lo que nos da como resultado que la inversión total de estos tres sistemas se puede recuperar en 8 años y 7 meses, el cual es un tiempo razonable para una inversión de este monto. La gráfica respectiva se muestra a continuación

Resumen de la inversión  
Sistema de Control Honeywell



## Capítulo 5

---

---

### Conclusiones

*"Todo fracaso es el condimento que da sabor al éxito"*

*Truman Capote*

En el análisis del edificio se encontró que, en conjunto los tres sistemas que se estudiaron si tienen una relación costo beneficio positiva, lo que significa que la inversión se recuperará en un futuro, aunque esta tardará un poco más de ocho años en lograrse; sin embargo este periodo se considera un tiempo razonable debido al monto de la inversión original.

Después del retorno de la inversión, el edificio no solo dejará de gastar energía innecesariamente sino que en cada sistema se tendrá un ahorro mensual constante, este ahorro se traduce en capital que puede ser utilizado en otras áreas de la empresa, ya sea mantenimiento, ingeniería o inclusive finanzas.

Debido al sistema de iluminación, cuyas balastres son electrónicas y no generan el 25% de consumo adicional, a la calidad de los equipos y al cableado en general, se tiene un factor de potencia mayor del 90%, por el cual Luz y Fuerza del Centro hace una bonificación adicional en el cobro bimestral de la electricidad.

Pero el beneficio obtenido no solo es en dinero, también hay beneficios implícitos que no se evalúan en efectivo. Este es el caso de la planta de tratamiento de agua, que aunque no se analizó en esta tesis, es importante mencionar que realiza un proceso de limpieza en las aguas de lluvia que se captan, la cual es utilizada en sanitarios, realizando de esta forma un ahorro de este líquido. Es obvio que este ahorro solo es durante la temporada de lluvias, pero su aportación,

aunque pequeña, es valiosa. También el sistema eléctrico y el sistema de aire acondicionado tienen su aportación, ya que consumen menos energía, la cual puede ser utilizada por otro sector de la sociedad sin necesidad de quemar combustible en las plantas de energía termoeléctricas, nucleoelectricas, etc.

En el Capítulo 1 se habla del grado de inteligencia de un edificio. En base al estudio hecho, concluimos que este edificio tiene un grado 4 de inteligencia, porque sus sistemas están completamente integrados y monitoreados en un control central. Sin embargo, debemos hacer notar, como otra conclusión importante, que aún cuando se tiene este grado de inteligencia, la puesta a punto de todos los sistemas es una tarea muy delicada que puede demorar hasta varios meses y que si no se hace como se especifica, la eficiencia del edificio puede resultar afectada.

Es de suponerse que el mantenimiento en un Edificio Inteligente es diferente del de un edificio tradicional y que el personal que lo realiza debe tener alguna capacitación especial. Sin embargo lo que ocurre en la realidad es que el mantenimiento es muy semejante en ambos casos, aunque la mano de obra si debe estar más capacitada, ya que en caso de una falla, este personal debe ser capaz de determinar en donde se encuentra, ya sea en el equipo, en el sistema de control o en el sistema de comunicaciones. Por este hecho, el costo del mantenimiento es un 10% mayor en la mano de obra que en el caso del edificio tradicional.

Las rutinas de mantenimiento preventivo en los dos edificios resultan ser iguales, sin embargo la diferencia considerable se observa en los mantenimientos correctivos, los cuales se presentan con mayor frecuencia en el tradicional que en el inteligente y considerando que el mantenimiento correctivo es de mayor costo que el preventivo resulta ser mas provechoso el inteligente.

Paradójicamente el sistema de control central casi no requiere mantenimiento preventivo y solo involucra a una persona para su operación.

En el Edificio Inteligente, teniendo un sistema centralizado de control se puede garantizar en un alto porcentaje la operación y funcionamiento ininterrumpido de los sistemas electromecánicos del edificio, con lo cual se obtiene de igual forma una función ininterrumpida de los procesos productivos de la empresa.

Otro punto importante a destacar es que el diseño de los sistemas está hecho de tal forma que en caso de descomposturas o fallas, éstas se puedan resolver fácil y rápidamente.

Como se mencionó en el capítulo 2, las plantas de emergencia pueden operar indefinidamente, por lo que se tiene la alternativa de operar el edificio con suministro eléctrico generado por el sistema de emergencia en horas pico en las cuales se tiene el mayor impacto. Aunque en una ampliación de esta posibilidad se está evaluando el que el edificio funcione durante todas las horas hábiles con sus plantas de emergencia para reducir aún más los costos en energía eléctrica.

Otra ventaja que se tiene en este edificio es que por el tipo de servicios que tiene, su plusvalía será mayor a través del tiempo, ya que se considera que su conservación será mejor y su administración más barata, lo que lo convierte en una excelente inversión a largo plazo.

Finalmente, para concluir esta tesis, se hace notar que los edificios, inteligentes o no, son solo materia y está en el ingenio del hombre diseñar y conjuntar todos los beneficios que aportan los avances de la tecnología para su mejor aprovechamiento. En este momento las alternativas de soporte y confort hacen que por ahora sólo se llegue a una simulación de un edificio inteligente, pero que en realidad solo resulta ser un edificio automatizado y controlado por el ser humano. Aún estamos lejos de tener un edificio que se autogestione completamente sin la intervención del hombre, sin embargo el rumbo que se está tomando hoy en día está abriendo el camino hacia nuevas posibilidades que nos acerquen más a esta meta. Por el momento, los primeros pasos ya se han dado.

## **Apéndice A**

---

### **Referencias**

- 1.- Consideraciones de diseño para Edificios Inteligentes en el sector financiero  
Autor: Varios. Tesis profesional Universidad La Salle, 1994
  - 2.- Boletín Técnico del Sistema de Control de Johnson Controls, METASYS, 1995
  - 3.- Boletín Técnico del Sistema de Control de Johnson Controls, METASYS, 1995
  - 4.- Boletín Técnico del Sistema de Control de Johnson Controls, METASYS, 1995
  - 5.- Los Edificios Inteligentes, realidad o eufemismo. Autor Pablo Zapán Lechuga, Revista Construcción y Tecnología. Marzo 1995
  - 6.- Modelo tecnológico de automatización y control de un Edificio Inteligente para la Ciudad de México. Autor: Varios. Tesis Profesional UNAM, 1994
-

## **Apéndice B**

---

### **Bibliografía**

- 1. Consideraciones de diseño para Edificios Inteligentes en el sector financiero, Autor: Varios. Tesis profesional Universidad La Salle, 1994**
  - 2. Diseño e integración de servicios en un Edificio Inteligente, Autor: Varios. Tesis profesional Universidad La Salle, 1994**
  - 3. Honeywell, Excel Building supervisor integrated, Memoria técnica de sistemas: Deltanet Excel Plus, Deltanet Microcel y Excel 5000, 1994**
  - 4. Honeywell, protocolo de control, sistemas Deltanet Excel Plus, Deltanet Microcel y Excel 5000, 1994**
  - 5. Operation and maintenance manual, K30 and K50 Engine Series; Cummings.**
  - 6. Manual de Operación y mantenimiento de plantas eléctricas de emergencia, Selmao, Equipos Industriales S.A. de C.V.**
  - 7. Instalaciones electromecánicas: Carpeta complementarias al proyecto y Obra de Ingeniería Eléctrica en Mediana y Baja tensión de alumbrado, contactos, fuerza, alimentadores principales, subestación receptora, transformadora, planta generadora de energía eléctrica y sistema de fuerza ininterrumpible de las oficinas administrativas Montes Urales II, Uribe Ingenieros Asociados, S.A. de C.V, 1995**
  - 8. Bulletin No. 30201M930/R3/94, Power Logic Circuit Monitor Series 2000, Square D Instruction Bulletin, March, 1994**
-