

20149

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

10

=====

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**EDIFICIOS CON ALTA TECNOLOGÍA**

**SISTEMAS DE MÁXIMA EFICIENCIA ENERGETICA  
CASO DE ESTUDIO "TORRE SIGLUM"**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
MAESTRO EN ARQUITECTURA**

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

**JESÚS RIVERA CARRASCO**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**MEXICO 2003**

III



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.

# PAGINACIÓN DISCONTINUA

---

**TESIS  
CON  
FALLA DE  
ORIGEN**

---

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. JOSÉ DIEGO MORALES RAMÍREZ**

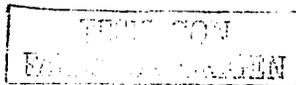
**SINODALES**

**DR. DAVID MORILLÓN GALVEZ**

**M. EN ARQ. FRANCISCO REYNA GOMEZ**

**M. EN ARQ. ENRIQUE SANABRIA ATILANO**

**M. EN ARQ. JORGE RANGEL DÁVALOS**



---

## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo con todo cariño:

A mis padres:

Agustín Rivera Salvador.

Gregoria Carrasco Rivera.

A mi hermana:

Isabel Rivera Carrasco.



---

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Diego Morales, como tutor, por el gran apoyo recibido en la elaboración de este documento.

A los sinodales; Dr. David Morillón Gálvez, M. en Arq. Francisco Reyna Gómez, M. en Arq. Enrique Sanabria Atilano y M. en Arq. Jorge Rangel Dávalos; por sus atinados puntos de vista en el desarrollo de este trabajo.

A la Dirección General de Intercambio Académico, por el apoyo recibido durante los estudios, así como durante la elaboración de este documento.

Al Instituto de Geofísica y al Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México por facilitar amplia información en el desarrollo del tema.

Al Arq. José Luis Pérez de Grupo de Diseño Urbano (GDU), por facilitar información referente al edificio Torre Siglum.

Al Ing. Enrique Hernández Cervantes, administrador del Edificio Torre Siglum, por facilitar el acceso a una planta tipo y monitorear la humedad y temperatura de éste.

Y a todas aquellas personas que sin pensarlo ayudaron a la elaboración de este trabajo, muchas gracias.

---

## RESUMEN

La presente investigación se titula Edificios con Alta Tecnología, Sistemas de Máxima Eficiencia Energética caso de Estudio "Torre Siglum". Trata básicamente acerca del consumo energético en aire acondicionado en la ciudad de México, dicho consumo, a través de sistemas de máxima eficiencia energética se puede tener ahorro y racionalización de la energía, así como disminución en la emisión de contaminantes a la atmósfera, debido a las condiciones climáticas de la ciudad.

Primero se exponen los antecedentes de los edificios con alta tecnología, el funcionamiento de éstos, así como la problemática del ahorro energético en la actualidad. Se revisa la normatividad referente al ahorro energético, se analizan los sistemas de máxima eficiencia energética, mismos que nos conducen al ahorro y racionalización de la energía preservando la armonía entre el entorno natural y el entorno edificado; esto a través de un análisis de la ubicación de proyecto, conceptos de diseño arquitectónico y de los sistemas operativos de máxima eficiencia energética (calentamiento y enfriamiento natural).

Al revisar las características climáticas de la ciudad de México, se pueden tener condiciones de confort en los edificios con alta tecnología a través de los sistemas de máxima eficiencia energética, esto debido a las características climáticas que se tienen en la ciudad; resultado que es reflejado en el costo – beneficio de la estrategia propuesta para comprobar la factibilidad de ésta.

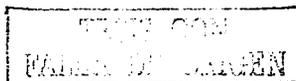
De la aplicación de uno de los recursos de estos sistemas, como lo es la ventilación natural podemos tener un ahorro del 66.66 % del total de la carga en aire acondicionado, en el edificio Torre Siglum. Lo cual quiere decir que las propuestas con sistemas de máxima eficiencia energética tiene serias ventajas sobre las edificaciones que no toman en consideración las ventajas que se pueden tener.

La utilización de estos sistemas, no solo implica un beneficio económico en la facturación eléctrica, si no también energético al tener una buena racionalización de la energía, y por consiguiente un beneficio ambiental al disminuir la contaminación a la atmósfera.



---

# ÍNDICE



	<b>PAGINA</b>
<b>Dedicatoria</b>	v
<b>Agradecimientos</b>	vi
<b>Resumen</b>	vii
<b>índice</b>	ix
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>Capítulo I. ANTECEDENTES</b>	<b>5</b>
<b>1.1 ¿QUÉ ES EL AHORRO DE ENERGÍA?</b>	<b>6</b>
1.1.1. <i>La energía en el funcionamiento del edificio</i>	6
1.1.2. <i>La energía en la climatización</i>	7
1.1.3. <i>El ahorro de energía en la actualidad</i>	7
1.1.4. <i>Problemática actual para el ahorro de energía</i>	8
<b>1.2 EL EDIFICIO CON ALTA TECNOLOGÍA</b>	<b>9</b>
1.2.1 <i>Antecedentes de los edificios con alta tecnología</i>	10
1.2.2 <i>funcionamiento del edificio con alta tecnología</i>	10
<b>1.3 LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO Y CALEFACCIÓN</b>	<b>12</b>
1.3.1 <i>El aire acondicionado</i>	12
1.3.2 <i>Calefacción</i>	13
1.3.3 <i>Sistemas de máxima eficiencia energética</i>	14
<b>Capítulo II. NORMATIVIDAD Y SISTEMAS DE MÁXIMA EFICIENCIA ENERGETICA</b>	<b>15</b>
<b>2.1 NORMATIVIDAD EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO Y CALEFACCIÓN</b>	<b>16</b>
<b>2.2 NORMATIVIDAD SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO Y CALEFACCIÓN</b>	<b>17</b>
<b>2.3 SISTEMAS DE MÁXIMA EFICIENCIA ENERGETICA</b>	<b>18</b>
2.3.1 <i>Localización de proyecto</i>	19
2.3.1.1 <i>Topografía</i>	19
2.3.1.2 <i>Entorno</i>	20
2.3.2 <i>Conceptos arquitectónicos</i>	21
2.3.2.1 <i>Forma</i>	21
2.3.2.2 <i>Núcleo de servicios</i>	21
2.3.2.3 <i>Orientación de la forma</i>	22
2.3.2.4 <i>Ventanas en fachada</i>	23
2.3.2.5 <i>Características de fachada</i>	24
2.3.2.6 <i>Dispositivos de control solar</i>	25
2.3.2.7 <i>Vegetación</i>	26
2.3.2.8 <i>Configuración interior</i>	27
2.3.3 <i>Sistemas operativos de máxima eficiencia energética</i>	28
2.3.3.1 <i>Calentamiento natural</i>	29
2.3.3.2 <i>Enfriamiento natural</i>	33

<b>Capítulo III. BIOCLIMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO</b>	<b>35</b>
<b>3.1 EL CLIMA EN LA CIUDAD DE MÉXICO</b>	<b>36</b>
3.1.1 <i>Temperatura</i>	37
3.1.2 <i>Humedad relativa</i>	39
3.1.3 <i>Radiación solar</i>	41
3.1.4 <i>Vientos</i>	42
3.1.5 <i>Precipitación</i>	44
3.1.6 <i>Nubosidad</i>	45
3.1.7 <i>Insolación</i>	46
<b>3.2 BIOCLIMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO</b>	<b>46</b>
3.2.1 <i>Comodidad térmica</i>	47
3.2.2 <i>Confort mensual de la temperatura</i>	47
<b>3.3 ANALISIS DEL CASO DE ESTUDIO: TORRE SIGLUM</b>	<b>48</b>
3.3.1 <i>Descripción del proyecto</i>	49
3.3.2 <i>Dimensiones</i>	49
3.3.3 <i>Descripción de planta tipo</i>	50
3.3.4 <i>Fachadas</i>	50
3.3.5 <i>Jardinería</i>	51
3.3.6 <i>Automatización y control de sistemas</i>	51
3.3.7 <i>Instalación eléctrica</i>	52
3.3.8 <i>Aire acondicionado</i>	52
3.3.9 <i>Ventilación y extracción de aire</i>	53
3.3.10 <i>Temperatura y humedad Torre Siglum</i>	53
<b>Capítulo IV. ESTRATEGIAS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN LA CLIMATIZACIÓN DE EDIFICIOS</b>	<b>57</b>
<b>4.1 ESTRATEGIAS DE CLIMATIZACIÓN PARA EDIFICIOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO</b>	<b>58</b>
4.1.1 <i>Ubicación</i>	58
4.1.2 <i>Forma y orientación</i>	60
4.1.3 <i>Características de fachada</i>	61
4.1.3.1 <i>Fachadas energetizadas</i>	61
4.1.4 <i>Dispositivos de control solar</i>	62
4.1.5 <i>Vegetación</i>	64
4.1.6 <i>Ventilación</i>	65
<b>4.2 CASO DE ESTUDIO TORRE SIGLUM</b>	<b>68</b>
4.2.1 <i>Diagnóstico térmico</i>	68
4.2.2 <i>Adecuación térmica con estrategias de máxima eficiencia energética</i>	71
<b>4.3 COSTO – BENEFICIO</b>	<b>73</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>81</b>
<b>GLOSARIO DE TERMINOS</b>	<b>85</b>
<b>APÉNDICE</b>	<b>88</b>

---

## ***Introducción***

---

Las edificaciones construidas por los propios usuarios, dieron origen al término de arquitectura vernácula, ésta evolucionaba con el tiempo casi de manera imperceptible, se ajustaba a las dimensiones y necesidades del humano, sin apearse al estilo de moda o capricho del arquitecto<sup>1</sup>. Estas edificaciones brindaban confort con los recursos que la naturaleza les ofrecía interactuando con el medio ambiente de manera armónica.

Actualmente los edificios tratando de preservar esa armonía pueden hacer uso, no solo de la energía natural si no también de los adelantos que la tecnología actualmente ofrece, entendiéndose que se debe utilizar dicha tecnología para preservar el medio ambiente y porque no, también para reestructurarlo.

El termino con el que identificaremos a un edificio que utiliza la tecnología para lograr estos propósitos será "edificio con alta tecnología". El objetivo del edificio con alta tecnología es fundamentalmente el de integración y maximización de servicios a través de la automatización de sus funciones para satisfacer las necesidades de confort del usuario así como de ahorro energético.

El consumo de energía esta determinado por actividades, las cuales pueden ser de transformación y progreso, siempre que el consumo este ajustado a nuestras necesidades y se trate de aprovechar al máximo la energía, a través de la racionalización.

Como consecuencia de estas actividades existe un alto nivel de desperdicio de energía, debido a fallas técnicas, red eléctrica en malas condiciones, desconocimiento del funcionamiento de diversos equipos y aparatos. Por lo que respecta a la edificación tenemos que no se toman en cuenta las variables climatologicas para dar una respuesta adecuada mediante el diseño y selección de materiales a utilizar, que reduzcan el consumo energético y con ello también sea reducida la emisión de contaminantes y la facturación eléctrica.

Finalmente la decisión de implementar equipo mecánico de aire acondicionado y calefacción debe ser consecuencia de un análisis de cálculo, en el cual de cómo resultado temperaturas fuera del rango de confort. El objetivo del diseño es el de obtener un edificio confortable de máxima eficiencia energética, es decir, que el edificio mas eficiente será el edificio con climatización natural, que emplea cero energía a lo largo del año para dicho propósito.<sup>2</sup>

El diseño no solo de este tipo de edificios debe implementar estrategias de climatización natural para lograr condiciones lo mas cercanas a los rangos de confort y con ello tratar de implementar al mínimo los sistemas mecánicos tanto de calefacción como de aire acondicionado para obtener máxima eficiencia energética.

---

<sup>1</sup> RUDOLFSKY, BERNARD. *Constructores Prodigiosos*. México, Ed. Concepto, S. A., 1988

<sup>2</sup> D. A. SAMANO. *Sistemas Pasivos (Edificios Confortables de Máxima Eficiencia Energética)*, Notas del Curso de Actualización en Energía Solar, pp. 212-245, IIM-UNAM-IES Temixco, Morelos, abril de 1988

---

Esta investigación pretende dar solución a uno de los problemas que representan el consumo de energía, en relación con el uso del aire acondicionado en edificios con alta tecnología a través de los sistemas de máxima eficiencia energética

Este tipo de edificios se presentan principalmente en las grandes ciudades debido a la centralización de servicios que presenta nuestro país, es por ello que tomaremos como caso de estudio la ciudad de México y se analizará un caso de estudio en específico, el edificio Torre Siglum.

Este edificio de forma elíptica en planta, catalogado como "edificio inteligente", cuyo término genera diversas controversias, en lo sucesivo lo nombraremos como "edificio con alta tecnología". La forma del edificio nos hace suponer un ahorro energético que analizaremos en el desarrollo de esta investigación.

Así que partiendo de la implementación de sistemas de máxima eficiencia energética en los edificios para un uso y racionalización eficiente de la energía, se formula como hipótesis de esta investigación:

A través del uso de sistemas de máxima eficiencia energética en los edificios con alta tecnología de la ciudad de México se puede racionalizar el uso de la energía, teniendo como consecuencia disminución en el consumo de ésta y en emisiones contaminantes a la atmósfera, además del ahorro económico en la facturación eléctrica.

El objetivo general de esta investigación, es la propuesta de alternativas que nos permitan ahorro energético, por lo consiguiente económico, y disminución de emisiones contaminantes en edificios con alta tecnología, para la ciudad de México. Así como cubrir los siguientes objetivos particulares:

- Establecer condiciones de confort para el usuario, optimizando la energía utilizada en los sistemas mecánicos.
- Demostrar la factibilidad de los sistemas de máxima eficiencia energética y su repercusión en el ámbito económico.
- Establecer parámetros mediante los cuales se puedan tomar decisiones de diseño para la conceptualización final del proyecto.
- Generar conciencia acerca de el uso de la energía y sus repercusiones en el medio ambiente para preservar y/o rescatar la armonía con la naturaleza

La investigación esta dirigida a las personas que toman decisiones en relación con el consumo de energía; a todo el profesionista, no solo a los arquitectos, relacionado con la problemática del alto consumo de energía ya que con la disminución del consumo se alcanzan otros objetivos ya descritos tal es el caso de disminución de emisiones contaminantes al medio ambiente y también reducción en la facturación eléctrica. Dirigida también a los

---

alumnos de arquitectura como guía de la forma en relación con su área expuesta a las ganancias y pérdidas de energía. A todo el interesado en el campo del ahorro energético para ampliar las investigaciones en esta área.

El desarrollo de este trabajo esta dividido en 4 capítulos. En el primer capítulo se hace referencia a los antecedentes de los edificios con alta tecnología así como al de la energía. También se habla acerca los elementos de la naturaleza que son controlados por sistemas mecánicos para obtener condiciones de confort.

En el capítulo dos se habla acerca de la normatividad de los sistemas mecánicos y los sistemas de máxima eficiencia energética. El capítulo tres trata acerca de la descripción de las características climáticas en la ciudad de México.

En el cuarto capítulo se hace referencia al caso de estudio y se plantean estrategias de climatización con apoyo de sistemas de alta resolución. Se realiza un análisis de costo – beneficio para verificar la factibilidad del uso de sistemas de máxima eficiencia energética.

Para terminar se dan a conocer los objetivos logrados a través de las conclusiones en relación con las propuestas de la investigación.

---

## **Capitulo I**

### ***Antecedentes***

---

En este capítulo se plantea el funcionamiento de la energía dentro de un edificio así como el ahorro energético en la actualidad.

Se hace referencia a los antecedentes del edificio con alta tecnología así como a su funcionamiento. Se hace mención también acerca de los elementos de la naturaleza que son controlados por sistemas mecánicos para obtener condiciones de confort.

## **1.1 ¿QUÉ ES EL AHORRO DE ENERGÍA?**

Ahorro de Energía, esfuerzo por reducir la cantidad de energía para usos industriales y domésticos, en especial en el mundo desarrollado.<sup>3</sup>

Generalmente se emplea más energía eléctrica de la que realmente se necesita; existe un gran desperdicio de energía originado por diversas causas tales como por la falta de cultura, por una mala selección de equipos o por la falta de estrategias eficaces que tengan como objetivo primordial disminuir el consumo de energía y con ello disminuir la facturación eléctrica.

El ahorro de energía consiste en maximizar dicha energía, obteniéndose de esta el máximo aprovechamiento y en el cual esta implícito el término racionalización; el cual implica que fuese cual fuese el tipo de energía se debe tomar en cuenta una adecuada racionalización de esta.

### **1.1.1 LA ENERGÍA EN EL FUNCIONAMIENTO DEL EDIFICIO**

Un edificio mantiene relaciones energéticas con el medio que lo rodea y para lo cual cabe señalar primero cuales son las energías que desde el entorno penetran en el edificio. Por lo que distinguiremos dos tipos fundamentales: las energías que se encuentran en estado libre en el medio ambiente como son la radiación solar y el viento entre otras y las energías transformadas que llegan convertidas, por ejemplo, en electricidad. Estas son en realidad resultado de un aprovechamiento indirecto de las energías naturales, pero básicamente proveniente de la explotación de depósitos no renovables.<sup>4</sup>

Denominando entonces dos tipos de energía las naturales y las artificiales, tenemos que ambas penetran al edificio ya sea a través de la envolvente de este o en forma de energía canalizada.

---

<sup>3</sup> Enciclopedia Microsoft® Encarta® 99. © 1993-1998 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

<sup>4</sup> SERRA, R.. *Clima Lugar y Arquitectura* Ciemat, España 1989

---

El edificio, por otro lado, tiene pérdidas de energía hacia el exterior, las cuales se producen básicamente a través de la envolvente de este; dichas pérdidas pueden ser por radiación, conducción y convección, a través de paramentos opacos o de aberturas vidriadas. Es importante optimizar los sistemas naturales de control, para regular las ganancias de energías naturales y las pérdidas de energía a través de la envolvente del edificio; lo cual permitirá mejorar su comportamiento frente a las diferentes condiciones climáticas con un importante ahorro de energías artificiales.

### 1.1.2 LA ENERGÍA EN LA CLIMATIZACIÓN

Cuando hablamos de energía en la climatización nos referimos al control sobre ciertos elementos de la naturaleza como lo es el control de la humedad, temperatura y movimiento del aire; esto es mediante la implementación de sistemas de máxima eficiencia energética y sistemas mecánicos.

Desde la antigüedad la gente solía manipular ciertos elementos de la naturaleza al enfriar el aire, tal es el caso de la india por ejemplo donde se colgaban tapetes de pasto en las ventanas que al paso del aire y a la vaporización del agua se lograba como resultado el enfriamiento del aire para llegar a tener las condiciones más favorables de confort para el humano.<sup>5</sup>

Actualmente hablando de los sistemas de enfriamiento de aire éstos tienen como fuente de energía la electricidad y siendo este tipo de instalación la que llega a emplear el 60 % del consumo total de un edificio, es indispensable reducir el consumo de ésta mediante la implementación de distintas medidas de conservación de energía que nos proporcionen como resultado un ahorro en costos energéticos.<sup>6</sup>

### 1.1.3 EL AHORRO DE ENERGÍA EN LA ACTUALIDAD

Actualmente la problemática de el ahorro energético ha cobrado gran interés en nuestro país y prueba de ello es la norma NOM-008-ENER-2001 emitida por la CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía) referente a la envolvente de edificios no residenciales, y que en uno de sus apartados señala: "La normalización para la eficiencia energética en edificios representa un esfuerzo encaminado a cooperar en el diseño térmico de edificios, con el objetivo de que estos resulten ser sistemas

---

<sup>5</sup> GARCÍA, MURIEL IGNACIO. El aire acondicionado y el plástico. *Instalaciones, Revista de Ingeniería*. Editorial Albatros Año 4, Numero 48, México, D.F. p. 12

<sup>6</sup> Instituto Mexicano del Edificio Inteligente A. C., *Edificios Inteligentes I*, Fundación Casa del Arquitecto, A C México, D.F. p.104

---

energéticamente eficientes. Lo cual implica que se logre la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía.”<sup>7</sup>

Si bien es posible utilizar tecnología de punta en los sistemas de aire acondicionado y calefacción para ahorrar energía, también es necesario complementarla con diferentes medidas de conservación de energía como son la instalación de termostatos programables, disminución de poder de iluminación por m<sup>2</sup>, apagar luces en cuartos de lavado, escaleras de servicio y garaje durante los periodos desocupados, instalación de cronómetros y descubridores del movimiento, para asegurar que la iluminación general este apagada durante los periodos desocupados y la instalación de dispositivos de control de poder, para apagar el equipo de oficina cuando no este en uso.

Las medidas de conservación de energía requieren de un proceso de análisis profundo, que pudiendo ser manual utilizando matrices y análisis de sensibilidad, bien pueden llevarse a cabo a través de una aplicación de computo como se realizan en otros países. El resultado de estos análisis es de gran utilidad una vez relacionando el ahorro de energía con el ahorro en costos.

#### **1.1.4 PROBLEMÁTICA ACTUAL PARA EL AHORRO DE ENERGIA**

La evolución histórica de la eficiencia energética en el mundo se ha visto marcada por tres sucesos fundamentales : la crisis energética (ocurrida en la década de los 70), la globalización de la economía y la necesidad de proteger al medio ambiente; nuestro país no escapa a esta situación, al igual que en todo el mundo. La crisis energética cede el turno protagónico a la globalización, la cual exige elevar la productividad y competitividad, y a la urgencia de proteger al medio ambiente; lo cual ha originado la aplicación de medidas de eficiencia energética.

En el marco actual y en el propuesto, por el ejecutivo, no se le da el espacio debido a la eficiencia energética o a los recursos renovables, a pesar de tener un gran potencial en nuestro país. De hecho no se hace mención sobre la eficiencia energética en absoluto, así como tampoco se considera el establecimiento de nuevas tecnologías mas eficientes en la década 2000 – 2010, como lo son las celdas de combustible, autos híbridos, microgeneración, etc.<sup>8</sup>

El ahorro y uso eficiente de la energía son importantes componentes para el futuro desarrollo sustentable de cualquier país,

---

<sup>7</sup> CONAE. NORMA NOM-008-ENER-2001. "Eficiencia energética en edificaciones. envolvente de edificios no residenciales", México, 2001.

<sup>8</sup> FRIEDMAN RAFAEL. Eficiencia energética y reforma al sector eléctrico mexicano. *Energía racional, Revista informativa del ahorro de energía eléctrica*. FIDE. Año 10, Número 39. México, D.F. p. 39.

---

sin embargo, en nuestro país existen muchas barreras; por ello es imprescindible que el Estado, a través de políticas y programas respalde la evolución hacia un mercado de eficiencia energética maduro y autosuficiente. La idea central no es si el sistema actual es mejor o no al que propone el ejecutivo. Lo que se debe buscar es una mezcla de medidas adecuadas al contexto mexicano, que estimule el movimiento hacia un sistema eléctrico sustentable en términos económicos, sociales y ambientales que resulten en aumentos a la eficiencia en el uso de energéticos.<sup>9</sup>

## 1.2 EL EDIFICIO CON ALTA TECNOLOGÍA

Existen muchos conceptos de lo que es un edificio con alta tecnología, sobre todo si tomamos en cuenta que comúnmente es llamado: "Edificio Inteligente" por lo que hay una gran polémica acerca de aplicar el adjetivo "inteligente" a un objeto inanimado siendo que "...la cultura latina vincula este don a la persona humana y es ésta quien la transfiere a sus creaciones, hechas a imagen y semejanza por reflejo universal, el contenido de una solución inteligente mas no la inteligencia propiamente dicha".<sup>10</sup>

Podemos definir entonces a los edificios con alta tecnología como aquellos que incorporan a un edificio funcionalidad, sistemas expertos y de inteligencia artificial para una mayor flexibilidad y maximización de sus recursos naturales a través de sus recursos artificiales; tales sistemas expertos y de inteligencia artificial forman parte de la tecnología que es mejorada al paso del tiempo, lo que significa que lo último en tecnología que se aplicó hace no mucho tiempo viene siendo desplazado por nuevos sistemas que nos permiten un mejor funcionamiento del edificio.

Los edificios con alta tecnología utilizan los sistemas expertos y de inteligencia artificial, mismos que cada vez son más utilizados, para proporcionar un entorno productivo y rentable optimizando sus sistemas. Estos tipos de edificios son cada vez mas requeridos ya que además de ser funcionales agregan valores a través de la tecnología tales como seguridad y eficiencia por lo que prácticamente son el futuro de la arquitectura. La necesidad de edificios con alta tecnología queda fuera de duda, debido a que actualmente un edificio ya no debe ser pasivo en donde únicamente se trabaja. Ahora debe funcionar como un medio dinámico entre el usuario y el inmueble.

---

<sup>9</sup> FRIEDMAN RAFAEL. Eficiencia energética y reforma al sector eléctrico mexicano. *Energía racional, Revista informativa del ahorro de energía eléctrica*. FIDE. Año 10, Número 39, México, D.F. p. 49

<sup>10</sup> Instituto Mexicano del Edificio Inteligente A. C., *Edificios Inteligentes I*, Fundación Casa del Arquitecto, A. C. México, D.F. p.8

---

### **1.2.1 ANTECEDENTES DE LOS EDIFICIOS CON ALTA TECNOLOGÍA**

El concepto de los edificios con alta tecnología, llamados comúnmente como "edificios inteligentes" surge después de la Segunda Guerra Mundial durante la crisis, el Arq. Montier nos relata que el término inteligente se utiliza en Europa después de la Segunda Guerra Mundial donde se generaliza a todas las actividades, incluyendo la construcción, naciendo el concepto de edificio inteligente y así este concepto va a Asia (Japón), luego a Estados Unidos y de ahí a Latinoamérica. En E.U. surge a principios de los 70's con diferentes equipos de control de ahorro de energía. Sin embargo, a la mitad de los 80's varias empresas como AT&T, IBM, Honeywell y otras, vieron la urgente necesidad de ofrecer a los propietarios de edificios los sistemas y servicios demandados por las modernas organizaciones interesadas en la automatización y productividad tanto del edificio como del usuario directo de este.

En México el concepto sobre este género de edificios "...surge en los 90's. El IMEI (Instituto Mexicano del Edificio Inteligente) se fundó en octubre de 1991, y se podría decir que el punto de partida o motivación para un mayor desarrollo de edificaciones de este tipo fue la Torre Chapultepec, ubicada en la Esquina de Paseo de la Reforma y Arquímedes, la cual ganó el Premio Internacional del Edificio Inteligente en 1993"<sup>11</sup>

Actualmente con el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica, con los tratados con Chile así como con Europa. Nuestro país se ve en la urgente necesidad de implementar en los edificios corporativos los sistemas artificiales de alta resolución para que las compañías puedan competir en el ámbito de las empresas internacionales, la implementación de estos sistemas debe acelerarse en función del nivel de competencia que se desea lograr. Así como sucede en el área de la computación en donde la empresa debe actualizarse con lo último en programas y equipo o de lo contrario ésta queda en desventaja con sus respectivos competidores.

### **1.2.2 FUNCIONAMIENTO DEL EDIFICIO CON ALTA TECNOLOGÍA**

Un edificio con alta tecnología busca controlar de manera absoluta los sistemas operantes o integrales de una edificación, concepto que corona el manejo de la arquitectura a través del

---

<sup>11</sup> VAZQUEZ, MARTÍNEZ ALEJANDRO *Oficinas Inteligentes*. Tesis de maestría en arquitectura; México, D.F. Programa de maestría y doctorado en arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 1997, p. 4.

---

pensamiento que quiere reflejar una nueva forma de vida: la vida del nuevo milenio.<sup>12</sup>

Las funciones fundamentales con las que toda infraestructura inteligente deberá contar son:<sup>13</sup>

- Máxima economía
- Máxima flexibilidad
- Máxima seguridad para el entorno, usuario y patrimonio
- Máxima automatización de la actividad
- Máxima eficiencia en su operación y conservación

De acuerdo a las funciones citadas anteriormente es necesario definir los alcances de estas en el edificio con alta tecnología.

Por lo que respecta a la máxima economía, esta se encuentra relacionada con el consumo de los energéticos; un objetivo clave dentro de toda infraestructura con alta tecnología sería el lograr que estas fueran autosuficientes en cuanto a sus requerimientos energéticos y darle el mejor tratamiento posible a estos energéticos mediante una eficaz racionalización.

El tema de flexibilidad consiste en que una infraestructura con alta tecnología sea capaz de cambiar de giro de utilización o bien sea capaz de adaptarse a las nuevas tecnologías con un mínimo de inversión posible.

La importancia de la seguridad reside en garantizar la integridad física de los ocupantes del edificio, la infraestructura vista como inmueble y la del entorno. Esto lo podemos lograr mediante la utilización de estructuras recuperables, subproductos reciclables y minimización del consumo de recursos no renovables entre otros.

La máxima automatización de las actividades esta en relación directa con un buen sistema de comunicaciones tanto internas como externas, para lograr una automatización eficiente será necesario que las plataformas de comunicación así como sus respectivos protocolos sean abiertos, es decir, que trabajen bajo un mismo lenguaje de comunicación con lo que estaríamos hablando de un software universal.

Por último hablando de operación y mantenimiento tenemos que explotar todas sus capacidades buscando la satisfacción de los usuarios a la vez que se mantiene la edificación en condiciones optimas de funcionamiento.

---

<sup>12</sup> Instituto Mexicano del Edificio Inteligente A. C., *Edificios Inteligentes I*, Fundación Casa del Arquitecto, A. C. México, D.F. p.12

<sup>13</sup> Instituto Mexicano del Edificio Inteligente A. C., *Edificios Inteligentes I*, Fundación Casa del Arquitecto, A. C. México, D.F. p.18

---

### 1.3 LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO Y CALEFACCIÓN

Son los procesos relativos a la regulación de las condiciones ambientales con propósitos industriales o para hacer más confortable el clima de las viviendas. La calefacción eleva la temperatura en un espacio determinado, con respecto a la temperatura atmosférica, a un nivel satisfactorio. Los sistemas de ventilación controlan el suministro y la salida de aire, de forma independiente o en combinación con los sistemas de calefacción o aire acondicionado, para proporcionar el oxígeno suficiente a los ocupantes del recinto y eliminar olores. Los sistemas de aire acondicionado controlan el ambiente del espacio interior (temperatura, humedad, circulación y pureza del aire) para la comodidad de sus ocupantes o para conservar los materiales que ahí se manejen o almacenen.<sup>14</sup>

La función fundamental de estos sistemas es proporcionar condiciones óptimas de confort para un mejor desempeño y rendimiento de trabajo de los ocupantes de un edificio.

#### 1.3.1 EL AIRE ACONDICIONADO

Cuando hablamos de aire acondicionado nos referimos al control sobre ciertos elementos de la naturaleza como lo es el control de la humedad, temperatura y movimiento del aire dentro de un espacio arquitectónico definido y delimitado. Esto se traduce en un alto consumo de energía que es necesario reducir para conservar el mayor tiempo posible nuestros recursos no renovables.

El objetivo primordial del aire acondicionado es el de proporcionar un ambiente confortable para lo cual se requiere de una ventilación adecuada de lo contrario se daría lugar al llamado "Síndrome del Edificio Sellado".

Al comenzar a viciarse el aire dentro de los edificios se originó lo que se conoce como el "Síndrome del Edificio Enfermo"<sup>15</sup>, cuyos síntomas son difíciles de atribuir a alguna causa específica. La característica principal del Síndrome del Edificio Enfermo es que las personas experimentan alguna o varias molestias (dolor de cabeza, ardor de ojos, estornudos, comezón, problemas del aparato respiratorio, náusea, fatiga, visión borrosa entre otras) cuando se encuentran dentro del inmueble y estas desaparecen cuando salen del mismo.

---

<sup>14</sup>"Calefacción, ventilación y aire acondicionado". *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 99*. © 1993-1998 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

<sup>15</sup>Instituto Mexicano del Edificio Inteligente *Edificios Inteligentes I* p.106  
Fundación Casa del Arquitecto México, 2000

---

La tecnología en el aire acondicionado a lo largo del tiempo ha desarrollado diferentes tipos de sistemas de aire acondicionado que tienden a consumir menor energía. En el sistema de aire acondicionado un punto importante es el compresor, dispositivo responsable del 80 al 90 % del consumo de energía eléctrica del equipo de aire acondicionado. Por lo que las diferentes empresas especialistas en aire acondicionado desarrollan y perfeccionan estos sistemas día a día.<sup>16</sup>

La tendencia en los sistemas de aire acondicionado es lograr un confort adecuado con el máximo ahorro de energía, una opción que podremos ver en el futuro es la de almacenamiento de Hielo (Ice Storage)<sup>17</sup>; que consiste en producir durante la noche una cantidad suficiente de hielo para suplir, o al menos complementar, la carga térmica que se genera durante el día; por lo general este hielo se almacena en tanques subterráneos especiales y se va derritiendo durante el día enfriando el agua que se envía a las majadoras de aire, unidades serpentín-ventilador, etc.

### 1.3.2 CALEFACCIÓN

Generalmente se considera que el objetivo de la calefacción es calentar en invierno los espacios habitados por personas, pero mas específicamente se trata de regular la pérdida de calor del cuerpo humano durante las épocas frías del año, calentando el ambiente con el fin de establecer un equilibrio térmico entre el cuerpo y el ambiente que le rodea para de esta forma obtener el máximo bienestar de los ocupantes.

Los factores que influyen sobre la sensación de bienestar son especialmente la temperatura del aire, la temperatura media de las paredes, la humedad del aire, su respectivo movimiento así como la depuración del mismo.

La calefacción solamente influye sobre dos de estos cinco factores, la temperatura del aire y la temperatura media de las paredes.

La calefacción puede ser directa, como en el caso de chimeneas o estufas en una habitación, o un sistema central con vapor, agua caliente o aire caliente que recorre tubos y cañerías para transportar su energía térmica a todas las estancias de un edificio. El primer sistema de calefacción fue la hoguera, con la que las personas calentaban sus moradas. Los antiguos romanos

---

<sup>16</sup> LEÓN, MÁRQUEZ MAURICIO. LG una solución a los retos de mantenimiento en el mercado hotelero. *Instalaciones, Revista de Ingeniería*. Editorial Albatros Año 4, Numero 48, México, D.F. p. 20

<sup>17</sup> Instituto Mexicano del Edificio Inteligente *Edificios Inteligentes* / p.108 Fundación Casa del Arquitecto México, 2000

---

desarrollaron estufas y braseros de diversos tipos, algunos de los cuales se siguen utilizando en muchas partes del mundo.<sup>18</sup>

### 1.3.3 SISTEMAS DE MÁXIMA EFICIENCIA ENERGETICA

Los sistemas de máxima eficiencia energética están basados en la climatización natural, que emplea cero energía artificial a lo largo del año para lograr su propósito. Teniendo como consecuencia final el apoyo de sistemas mecánicos si el análisis de cálculo así lo requiere.

El sistema mecánico trabaja fundamentalmente a través de la envolvente del Edificio Inteligente, la cual representa una piel protectora que actúa computarizadamente, con sensores que se activan respondiendo al clima exterior controlando la transmisión de calor por medio de materiales nuevos como lo es el llamado súper vidrio de características termo aislante, foto sensible, activado químicamente o electrónicamente, el cual permite obtener un confort superior en la arquitectura interior con mínimos costos en aire acondicionado y calefacción; esto no solo repercute en el ahorro en si sino que como efecto secundario protege el medio ambiente como consecuencia de tener menos desperdicio energético.<sup>15</sup>

---

<sup>18</sup> "Calefacción, ventilación y aire acondicionado". *Enciclopedia Microsoft® Encarta* © 99. © 1993-1998 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

<sup>19</sup> Instituto Mexicano del Edificio Inteligente *Edificios Inteligentes I* p.108  
Fundación Casa del Arquitecto México, 2000

---

## **Capítulo II**

### ***Normatividad y sistemas de máxima eficiencia energética***

---

La normatividad es el resultado de una serie de observaciones con el objetivo de regular actividades o recursos, en este caso de la energía; para lo cual se han publicado las siguientes normas en nuestro país.

## **2.1 NORMATIVIDAD EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO Y CALEFACCIÓN**

La normatividad en lo referente a equipos de aire acondicionado y calefacción trata sobre la eficiencia energética de acondicionadores en sus diferentes tipos. Así la CONAE vigila y apoya el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética que son las siguientes en lo referente a el aire acondicionado.

### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-011-ENER-2002, EFICIENCIA ENERGÉTICA DE ACONDICIONADORES DE AIRE TIPO CENTRAL. LÍMITES, MÉTODOS DE PRUEBA Y ETIQUETADO<sup>20</sup>**

El objetivo de esta Norma permite establecer los niveles mínimos de eficiencia energética estacional que deben cumplir los acondicionadores de aire tipo central; especifica además el método de prueba que debe usarse para verificar dicho cumplimiento y define los requisitos que se deben incluir en la etiqueta de información al público.

La aplicación de esta Norma es para los acondicionadores de aire tipo central, nuevos, tipo paquete o tipo dividido, operados con energía eléctrica, en capacidades de enfriamiento de 10 540 W hasta 17 580 W que funcionan por compresión mecánica y que incluyen un serpentín evaporador enfriador de aire, un compresor y un serpentín condensador enfriado por aire o por agua, comercializados en la República Mexicana.

### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-ENER/SCFI/ECOL-2000, EFICIENCIA ENERGÉTICA, REQUISITOS DE SEGURIDAD AL USUARIO Y ELIMINACIÓN DE CLOROFLUOROCARBONOS (CFC's) EN ACONDICIONADORES DE AIRE TIPO CUARTO. LÍMITES, MÉTODOS DE PRUEBA Y ETIQUETADO<sup>21</sup>**

El objetivo de esta norma es establecer las especificaciones y los métodos de prueba de la Relación de Eficiencia Energética (REE), así como especificaciones de seguridad al usuario, la eliminación de cloro fluorocarbonos (CFC's) y los métodos de prueba para verificar dichas especificaciones y definir los requisitos que debe incluir la etiqueta de información de los productos nacionales y extranjeros, que se comercialicen dentro de los Estados Unidos Mexicanos.

---

<sup>20</sup> Publicada el jueves 16 de mayo de 2002 en el Diario Oficial de la Federación.

<sup>21</sup> Publicada el lunes 3 de abril de 2000 en el Diario Oficial de la Federación.

---

La aplicación de esta Norma es para los acondicionadores de aire tipo cuarto, con o sin calefacción, con condensador enfriado por aire comercializados en la Republica Mexicana con capacidades de enfriamiento hasta de 10,600 W.

Estas normas referentes a los tipos de aire acondicionado tipo central y tipo cuarto están enfocadas al mejoramiento del equipo en cuanto a su fabricación para lograr una adecuada eficiencia energética, permitiendo proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente.

## **2.2      NORMATIVIDAD SISTEMAS DE AIRE           ACONDICIONADO Y CALEFACCIÓN**

Para lograr el ahorro de energía en la climatización de edificios se encuentran publicadas otras dos normas de gran importancia para lograr el ahorro energético: la Norma Oficial Mexicana NOM-018-ENER-1997, Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba y la Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.

### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-018-ENER-1997, AISLANTES TÉRMICOS PARA EDIFICACIONES. CARACTERÍSTICAS, LÍMITES Y MÉTODOS DE PRUEBA<sup>22</sup>**

Esta Norma Oficial Mexicana tiene como objetivo establecer las características y métodos de prueba que deben cumplir los materiales, productos, componentes y elementos termoaislantes, para techos, plafones y muros de las edificaciones.

Esta Norma aplica a los materiales, productos, componentes y elementos termoaislantes, de fabricación nacional o de importación con propiedades de aislante térmico para techos, plafones y muros de las edificaciones, producidos y comercializados con ese fin. Se excluyen los aislantes térmicos para cimentaciones. Para el primer año de aplicación de esta NOM el ahorro será de 88 GW.<sup>23</sup>

### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-008-ENER-2001, EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES, ENVOLVENTE DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES.<sup>24</sup>**

El objetivo de esta Norma es limitar la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, con el objetivo de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento.

---

<sup>22</sup> Publicada el viernes 24 de octubre de 1997 en el Diario Oficial de la Federación.

<sup>23</sup> CFE, Desarrollo del mercado eléctrico 1986-2000 Conae, estudio costo-beneficio.

<sup>24</sup> Publicada el miércoles 25 de abril de 2001 en el Diario Oficial de la Federación.



---

Esta Norma aplica a todos los edificios nuevos y las ampliaciones de edificios existentes. Quedan excluidos edificios cuyo uso primordial sea industrial o habitacional. Si el uso de un edificio dentro del campo de aplicación de esta Norma constituye el 90 por ciento o más del área construida, esta Norma aplica a la totalidad del edificio.

En México, el mayor consumo de energía dentro de las edificaciones se da por el uso del aire acondicionado, por lo que la ganancia de calor es la fuente más importante a controlar, mismo que se logra con un diseño adecuado de la envolvente. Así esta norma trata de optimizar el diseño desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente, teniéndose de esta forma el ahorro de energía por la disminución en la capacidad de los equipos de enfriamiento y un mejor confort de los ocupantes; por lo que podemos decir de manera general que esta norma establece un límite de la ganancia de calor a través de la envolvente.

Es importante mencionar que aunados a las normas citadas se encuentran otras enfocadas al ahorro energético tales como:

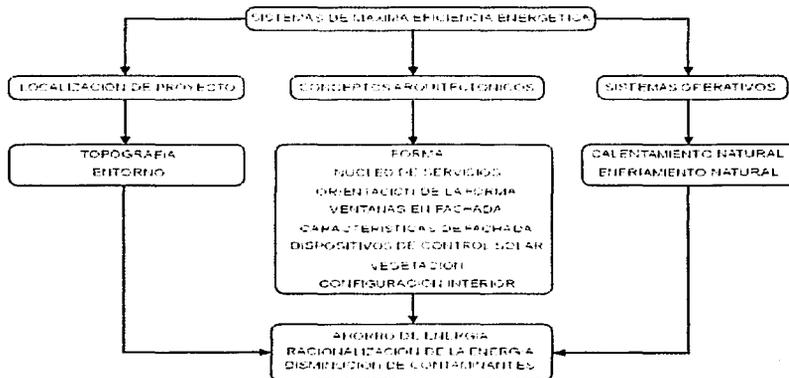
- NOM-017-ENER-1997 Eficiencia energética de lámparas fluorescentes compactas.
- NOM-003-ENER-1995 Eficiencia térmica de calentadores de agua para uso doméstico y comercial.
- NOM-013-ENER-1996 Eficiencia Energética en Sistemas de Alumbrado para Vialidades y Exteriores de Edificios.
- NOM-007-ENER-1995 Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales.

### **2.3 SISTEMAS DE MÁXIMA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Los sistemas de máxima eficiencia energética son aquellos que de manera natural contribuyen a enfriar o calentar un espacio definido. Dichos sistemas forman parte fundamental en la concepción del proyecto partiendo de la ubicación de este, conceptos arquitectónicos y sistemas operativos (natural, con apoyo mecánico y totalmente mecánico); los cuales nos conducirán a un ahorro y racionalización de la energía, así como a una disminución en la emisión de contaminantes a la atmósfera (Diagrama 2.1).

Partiendo de la utilización de sistemas de máxima eficiencia energética el objetivo de todo proyecto es optar por una forma arquitectónica y sistemas operativos que aprovechen al máximo los recursos ofrecidos por la ubicación del proyecto, de este modo se reducirán las demandas energéticas de los edificios con alta tecnología así como de otros tipos de edificios de gran escala.





### 2.3.1 LOCALIZACIÓN DE PROYECTO

Diagrama 2.1 Sistemas de Máxima Eficiencia Energética

Si bien en ocasiones la localización de un proyecto es impuesta al proyectista, en otras éste tendrá la oportunidad de ubicarlo, por lo que es necesario tener en cuenta lo siguiente:

#### 2.3.1.1 TOPOGRAFÍA 2.3.1.2 ENTORNO

##### 2.3.1.1 TOPOGRAFIA

La temperatura disminuye con la altura en la atmósfera; situación que puede aprovecharse sobre todo en zonas tropicales; el aire frío es más pesado que el aire caliente, en la noche debido a la ausencia de radiación se forma una capa de aire frío cerca de la capa del suelo, por ello las superficies cóncavas durante la noche se vuelven "lagunas" de aire frío (Fig. 2.1). Como resultado de esto, las temperaturas en las planicies serán frías, a nivel del suelo, muy frías en el fondo de los valles y se mantendrá templada en las pendientes o laderas.<sup>25</sup>

<sup>25</sup> OLGAY VÍCTOR, *Arquitectura y Clima* p.44  
Gustavo Gili, Barcelona





Fig.2.2 Topografía del sitio

Se tendrá que tomar en cuenta a la vez la orientación que se tenga, para permitir o no la radiación. También se verificara la dirección de los vientos dominantes, ubicando y orientando el proyecto de modo que se aprovechen los recursos del sitio.

### 2.3.1.2 ENTORNO

El entorno que rodea al proyecto puede ser natural o edificado; en cuanto al entorno natural estamos hablando de agua y vegetación. El agua actúa como regulador térmico principalmente en cantidades grandes de agua, es decir, modera las temperaturas extremas, elevando las mínimas en invierno y disminuyendo las máximas en verano. Así el agua de mar, tiene un calor específico mayor que el de la tierra, se encuentra normalmente más templado que ésta en invierno y más frío en verano (Fig. 2.2).<sup>26</sup>



Fig. 3.2 Entorno Natural

La vegetación evapora agua a través del proceso metabólico de la evapotranspiración; la transpiración del agua por parte de las plantas, como parte del proceso de fotosíntesis, ayuda a controlar y regular la humedad y la temperatura.<sup>27</sup>

El entorno edificado por el contrario de el entorno natural, este contribuye a elevar la temperatura originando el fenómeno denominado "isla de calor", debido a que la gran densidad de estructuras, la diversidad de materiales de construcción, así como los colores y texturas de éstas, absorben gran cantidad de radiación solar (energía de onda corta), que se transforma en energía de onda larga y es irradiada posteriormente al medio.<sup>28</sup> Además las

<sup>26</sup> OLGAY VÍCTOR, *Arquitectura y Clima* p.51  
Gustavo Gili Barcelona

<sup>27</sup> YEANG KEN, *El rascacielos ecológico* p. 237  
Gustavo Gili Barcelona 2001

<sup>28</sup> MORALES DIEGO, Valdés Mauro, et. al. *Estudio para el ahorro de energía de edificios para la ciudad de México* p. 34 UNAM



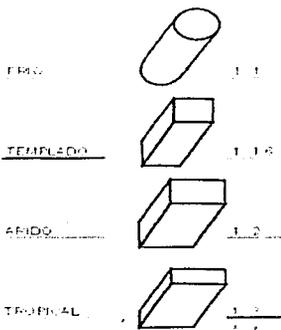


Fig. 2.3 Configuraciones dimensionales óptimas en edificios (Fuente: Yeang, K., Bioclimatic Skyscrapers, Ellipsis, 1994)

edificaciones originan menos viento teniéndose grados mas altos de contaminación.

## 2.3.2 CONCEPTOS ARQUITECTÓNICOS

Los conceptos arquitectónicos a los que se recurran o resulten del ingenio del proyectista tendrán repercusiones en el consumo de energía del edificio con alta tecnología; éstos conceptos deberán estar en relación directa con los recursos que la naturaleza ofrece, teniendo como base los siguientes:

- 2.3.2.1 FORMA
- 2.3.2.2 NUCLEO DE SERVICIOS
- 2.3.2.3 ORIENTACIÓN DE LA FORMA
- 2.3.2.4 VENTANAS EN FACHADA
- 2.3.2.5 CARACTERÍSTICAS DE FACHADA
- 2.3.2.6 DISPOSITIVOS DE CONTROL SOLAR
- 2.3.2.7 VEGETACIÓN
- 2.3.2.8 CONFIGURACIÓN INTERIOR

### 2.3.2.1 FORMA

La forma del edificio contribuye a la ganancia o pérdida de calor en relación a la superficie expuesta, esta debe hacerse en función de la energía del medio ambiente y condiciones climáticas del lugar. Observando las formas, las latitudes mas bajas (cercanas al Ecuador) requieren de una forma alargada para reducir la exposición al este y oeste, mientras que a medida que aumenta la latitud hacia el norte, la forma va evolucionando hacia una relación 1:1; donde la orientación de la superficie para aprovechar las ganancias solares ha de ser lo mayor posible. (Fig. 2.3)<sup>29</sup>

A medida que la forma adopta una relación 1:1, tenemos un edificio mas compacto y menor es el contacto con las condiciones exteriores. Esto por un lado significa menores posibilidades de captación y por otro menos posibilidades de pérdida de energía. Por lo que esta relación resulta favorable para climas extremosos ( muy cálidas, frías o ventosas), ya que el contacto con las condiciones exteriores es mínimo.<sup>30</sup> El criterio para determinar la forma optima será aquella que desprenda la mínima cantidad de energía en invierno y que absorbe el mínimo de energía en verano.

### 2.3.2.2 NUCLEO DE SERVICIOS

Al igual que la forma del edificio, también es factible configurar el núcleo de servicios en relación con el recorrido del sol con el objetivo de establecer amortiguadores solares que

<sup>29</sup> YEANG KEN, *El rascacielos ecológico* p. 203  
Gustavo Gill Barcelona 2001

<sup>30</sup> SERRA, R; *Arquitectura y energía natural* p. 243  
Edicions UPC Barcelona 1995





Fig. 2.4 Núcleos verticales y estructura (Fuente: Yeang, K., Bioclimatic Skyscrapers, Ellipsis, 1994)

disminuyan la incidencia del sol en el interior del edificio, o a retener el calor solar dentro de la forma edificada.

Una zona climática fría requerirá el mayor perímetro de superficie orientado hacia el sol, para fomentar la entrada de los rayos solares. Por lo tanto, el núcleo de servicios (núcleo vertical) se ubicará en el centro del edificio. En la zona templada los núcleos verticales se ubican en la cara norte, para permitir ganancias solares máximas en la fachada sur durante el invierno. En la zona árida los núcleos deben ubicarse en los lados este y oeste, aunque fundamentalmente en el lado sur. Para la zona tropical, los núcleos se ubican en las fachadas este y oeste del edificio, para que colaboren en la protección del edificio de los ángulos bajos del sol la mayor parte del día (Fig. 2.4).<sup>31</sup>

Algunas de las ventajas de disponer de una posición periférica del núcleo de servicios son: los vestíbulos de los ascensores pueden disponer de ventilación natural, vestíbulos y cubos de escaleras disponen de iluminación natural y se tienen además efectos favorables de amortiguación solar y/o eólica. Finalmente en términos generales, dependiendo de la forma y núcleo de servicios, se puede concluir que un edificio de gran altura distribuido longitudinalmente de norte a sur tendrá un consumo de aire acondicionado de 1.5 veces más que un edificio distribuido longitudinalmente de este a oeste, esto es sin aplicar ningún tratamiento especial en las fachadas.<sup>32</sup>

### 2.3.2.3 ORIENTACIÓN DE LA FORMA

La orientación de la forma del edificio comprende diversos factores tales como: la topografía, las exigencias de privacidad, las vistas, la disminución del ruido así como factores climáticos referentes al viento y a la radiación solar. En cuanto a la radiación solar, al igual que las estaciones se encuentran diferenciadas por la inclinación del eje terrestre, la orientación de un edificio determina la cantidad de radiación que incide en los lados de la forma del edificio. El calor proveniente del sol variará, según las regiones y las estaciones; así en condiciones frías la radiación solar es favorable, por lo que es preciso colocar el edificio en la orientación más conveniente para recibir la mayor radiación posible, mientras que en condiciones de calor excesivo, la orientación debe proporcionar una disminución de la radiación solar. De tal manera la orientación óptima en determinada región será aquella que proporcione la máxima radiación durante el período frío y la mínima durante el período cálido.<sup>33</sup>

<sup>31</sup> YEANG KEN, *El rascacielos ecológico* p. 204  
Gustavo Gili Barcelona 2001

<sup>32</sup> YEANG KEN, *El rascacielos ecológico* p. 207  
Gustavo Gili Barcelona 2001

<sup>33</sup> OLGYAY VÍCTOR, *Arquitectura y Clima* p.53  
Gustavo Gili Barcelona



Relacionando la forma del edificio en planta, su posición en el terreno y su orientación respecto al recorrido del sol y la dirección de los vientos dominantes, es posible determinar estrategias adecuadas para obtener el mayor ahorro energético. Así tenemos que aunque la geometría del terreno no corresponda con el recorrido del sol este - oeste, por ejemplo, en una zona tropical otros elementos del edificio como los núcleos de servicio, pueden adoptar la geometría del terreno para amortiguar la radiación.<sup>34</sup>

Partiendo de la eficiencia de la superficie de los cuerpos sólidos geométricos, una esfera incluye un volumen dado con la menor área de superficie. En este caso es el mas eficiente de los cuerpos sólidos; pero si tomamos la eficiencia de la superficie omitiendo su base, en este caso el hemisferio es la mejor inclusión.<sup>35</sup>

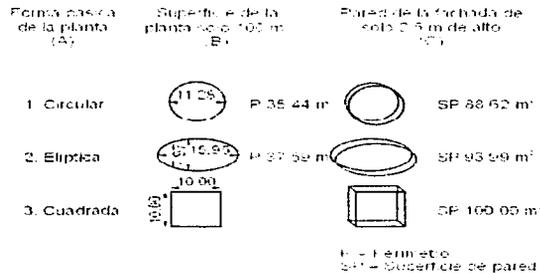


Fig. 2.5 Exposición de fachada para distintas formas de edificio (Fuente: Germany, 1983, adaptado)

La forma de casi todos los edificios esta determinada por limitaciones de programa, presupuesto y localización; de tal manera la mayoría de los edificios adoptan formas circulares, elípticas, y cuadradas en planta; dentro de estas formas la que incluye un determinado volumen con el mínimo de superficie es la circular (Fig. 2.5), con lo que se obtiene menos área de fachada (superficie). La orientación de estas formas estará en función de la ubicación del proyecto, así tenemos que una orientación longitudinal este - oeste es adecuada para climas cálidos, con el objetivo de disminuir el área de fachada en relación con la radiación solar.

### 2.3.2.4 VENTANAS EN FACHADA

El grado de permeabilidad de la envolvente del edificio a la luz, el calor y el aire, así como su transparencia visual, son factores que pueden ser controlados y modificados para que el edificio

<sup>34</sup> YEANG KEN, *El rascacielos ecológico* p. 207  
Gustavo Gill Barcelona 2001

<sup>35</sup> BLACKWELL WILLIAM, *La geometría en la arquitectura* p. 133  
Trillas México 1991



pueda reaccionar ante los cambios de las condiciones climáticas del exterior. La envolvente debe tener aberturas regulables que actúen como tamices y que permitan diversas opciones como la ventilación natural, vistas al exterior, protección solar adecuada, proteger del viento y de la lluvia, aislar térmicamente del frío y del calor, así como favorecer una relación más directa con el ambiente exterior.<sup>36</sup>

Las aberturas de un edificio nos da idea de la permeabilidad de su envolvente al paso del aire; las aberturas, no son una característica fija; ya que el uso del edificio, la forma y orientación puede hacer aconsejable variar el grado de aberturas. Así que, normalmente en invierno el grado de aberturas es menor que en verano. A mayor grado de aberturas de la envolvente, mayores son las posibilidades de iluminación al igual que prácticamente se tiende a igualar las condiciones exteriores con las interiores (Fig. 2.6), dependiendo ésta última característica de la hermeticidad que se tenga.<sup>37</sup>



Fig. 2.6 Grado de aberturas en un edificio (Fuente: Serra, R; 1995, adaptado)

Con respecto a la transparencia, ésta nos da idea del comportamiento del edificio frente a la radiación solar; un edificio con elevada transparencia es capaz de captar mucha energía radiante, por el contrario la pérdida de calor también es elevada; por lo tanto esto generará oscilaciones muy fuertes en la temperatura interior.<sup>38</sup>

### 2.3.2.5 CARACTERÍSTICAS DE FACHADA

La envolvente del edificio es como nuestra "tercer piel", después de la piel natural y la ropa; estas capas de protección que se tienen deben funcionar de manera natural y en armonía con nuestros cuerpos y el medio natural; por analogía, la fachada del edificio respira y funciona como un dispositivo regulador, protector e integrador con el medio natural.<sup>39</sup>

<sup>36</sup> YEANG KEN, *El rascacielos ecológico* p. 213

Gustavo Gili Barcelona 2001

<sup>37</sup> SERRA, R; *Arquitectura y energía natural* p. 254

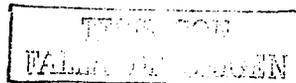
Edicions UPC Barcelona 1995

<sup>38</sup> SERRA, R; *Arquitectura y energía natural* p. 256

Edicions UPC Barcelona 1995

<sup>39</sup> YEANG KEN, *El rascacielos ecológico* p. 213

Gustavo Gili Barcelona 2001



Encontramos tres características básicas en una fachada, tersura, textura y color. Podemos entender como tersura de la envolvente de un edificio a las salientes y entrantes que se tengan respecto de la línea de fachada (Fig. 2.7); a mayor número de entrantes y salientes se tendrá un aumento de la superficie de fachada en contacto con el exterior, esto también generará sombras que pueden favorecer el comportamiento en verano frente a la radiación. La textura esta referida al tipo de acabado superficial (los grados de textura se establecen a partir de la medida de rugosidad), una envolvente poco rugosa favorece el intercambio por convección superficie – aire. Por lo que se refiere al color, esta cualidad de la envolvente define su comportamiento frente a la radiación superficial y por lo tanto, al paso de la energía procedente de la radiación; de manera general los colores claro son muy reflectores por lo que se tendrá poca captación de energía, por el contrario con colores oscuros se tendrá mucha absorción de la radiación solar.<sup>40</sup>



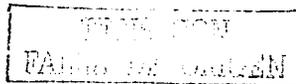
Fig. 2.7 Grado de tersura en un edificio (Fuente: Serra, R; 1995, adaptado)

### 2.3.2.6 DISPOSITIVOS DE CONTROL SOLAR

Tenemos dos tipos de mecanismos de control solar, los interiores y los exteriores. Los interiores interceptan la energía solar una vez que ya ha traspasado la superficie acristalada, puede eliminar sólo la porción de energía radiante que puede reflejarse y pasar a través del vidrio nuevamente, mientras la otra parte es absorbida y, por convección o irradiación, dirigida a los espacios interiores. Si se interceptara en la superficie acristalada, parte de la energía se refleja, parte será transmitida y otra parte absorbida; en éste último caso se transmitirá por convección y por irradiación tanto hacia el exterior como el interior del espacio. Los elementos externos de protección transmiten al aire exterior su porción de energía por convección y por reirradiación; estos mecanismos protectores pueden agruparse según sus perfiles de sombra en tres categorías principales: horizontales, verticales y modulares, mismos que pueden ser fijos o móviles.<sup>41</sup>

<sup>40</sup> SERRA, R; *Arquitectura y energía natural* p. 259 Edicions UPC Barcelona 1995

<sup>41</sup> OLGAY VÍCTOR, *Arquitectura y Clima* p.63 Gustavo Gili Barcelona



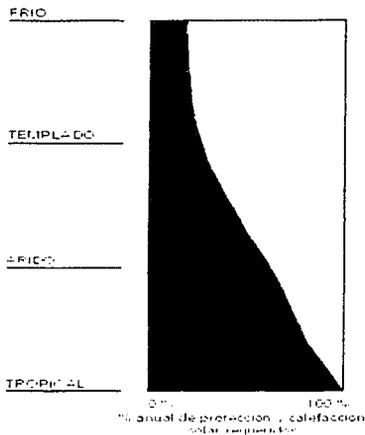


Fig. 2.8 Porcentaje anual de requerimientos de protección solar y calefacción solar (Fuente: Yeang, K., Bioclimatic Skyscrapers, Ellipsis, 1994)

El uso de dispositivos de protección solar aumenta al ir desplazándose desde el norte hacia el Ecuador, mientras que la necesidad de calefacción solar sigue el camino inverso (Fig. 2.8).

Estos mecanismos en las llamadas "fachadas inteligentes" funcionan con un control automático del ángulo de los dispositivos, regulado por la radiación incidente y la temperatura exterior. De los mecanismos, el medio más eficaz de control solar consiste en colocar dispositivos exteriores de protección delante de la superficie vidriada, aunque también es factible ubicarlo parcialmente en el interior y parcialmente en el exterior, proporcionando un estante ligero que permite una penetración más profunda de la luz en el espacio interior. Se tendrá especial cuidado en el diseño de estos dispositivos ya que, se eliminan ciertas ganancias solares a expensas de la buena calidad y cantidad de luz natural.<sup>42</sup>

### 2.3.2.7 VEGETACIÓN

La vegetación contribuye a contrarrestar las características inorgánicas de las edificaciones. La superficie viscosa de las hojas de las plantas capturan el polvo y filtran el aire; asimismo, la vegetación asegura la privacidad visual y disminuye los efectos del deslumbramiento.

En verano, las superficies del césped y las hojas absorben la radiación, y su proceso de evaporación puede bajar la temperatura del aire; pero, fundamentalmente los árboles proporcionan grandes áreas sombreadas en la estación adecuada; si la primavera es demasiado fría, las hojas nacen más tarde, y si el verano es caluroso permanecen más tiempo en el árbol, dicha variación puede alcanzar hasta seis semanas.<sup>43</sup>

En un edificio, las cubiertas podrían revestirse de césped u algún otro tipo de vegetación, a su vez las fachadas podrían cubrirse con plantas trepadoras. (Fig. 2.9) El fenómeno de transpiración del agua de la vegetación ayuda a controlar y regular la humedad y temperatura; diversos estudios demuestran que la envoltura vegetal de las fachadas expuestas contribuye a mejorar la eficiencia energética de los muros en una proporción de hasta un 8%, esto es en parte a las bolsas de aire que se forman produciendo un efecto semejante al de una cámara de aire. En cuanto a estrategias básicas para incorporar vegetación en un edificio tenemos: yuxtaposición, entremezclada e integración.<sup>44</sup> (Fig. 2.10)

<sup>42</sup> YEANG KEN, *El rascacielos ecológico* p. 217  
Gustavo Gili Barcelona 2001

<sup>43</sup> OLGYAY VÍCTOR, *Arquitectura y Clima* p.74  
Gustavo Gili Barcelona

<sup>44</sup> YEANG KEN, *El rascacielos ecológico* p. 237  
Gustavo Gili Barcelona 2001



Fig. 2.9 Jardín vertical (Fuente: dibujo adaptado de Papanek, 1995)



Fig. 2.10 Plantación: yuxtaposición, entremezclada e integración (Fuente: Yeang)

La vegetación ofrece grandes ventajas al desarrollo de una arquitectura de máxima eficiencia energética, ésta ofrece ventajas estéticas, ecológicas y de conservación de la energía; esto es mediante su utilización para generar sombras a los espacios interiores y a las superficies de fachada. La presencia de vegetación también ayuda a reducir el deslumbramiento y la ganancia de calor en el interior de los espacios por lo que resulta ser un medio natural de enfriamiento.

Las hojas de las plantas pueden tener una temperatura inferior en 1 °C a la temperatura ambiente, lo que representa una reducción de los costos energéticos al utilizar la vegetación como medio natural de enfriamiento. Por otra parte la vegetación ayuda a eliminar contaminantes del medio ambiente ya que, no solo procesan el dióxido de carbono y liberan oxígeno, sino que también eliminan elementos como formaldehídos, bencenos y microbios del aire, contribuyendo a un mejor desarrollo del medio ambiente, otra característica de la utilización de la vegetación es su contribución a mejorar las condiciones climáticas de la ciudad, a través de la reducción de la absorción de calor.<sup>45</sup>

### 2.3.2.8 CONFIGURACIÓN INTERIOR

Uno de los factores principales a considerar es la existencia de pocos o muchos espacios en el interior, si se tiene poca división de espacios las condiciones interiores dependerán del contacto que se tenga con el exterior, mismo que se realiza a través de la envolvente del edificio; por ello en este caso el aislamiento que se

<sup>45</sup> YEANG KEN, *El rascacielos ecológico* p. 240  
Gustavo Gili Barcelona 2001

tenga o no de la envolvente con respecto a las condiciones exteriores es más importante. Las condiciones producidas en los interiores generalmente son más uniformes por todo el espacio y las posibles variaciones que se puedan tener en un sector repercuten más en el ambiente total del espacio (Fig. 2.11). En cuanto a iluminación se refiere, la existencia de pocos espacios ayuda a iluminar mejor las diferentes zonas con luz natural.<sup>46</sup>

Al igual que en la fachada, el color y textura también generan cambios en el interior de los espacios dependiendo de las características propias que posean el color y textura. La textura que se tenga producirá el intercambio de calor por convección entre superficie y aire, aunque solo se tendrá este resultado con una alta rugosidad. El color está ligado a la inercia térmica, así los colores oscuros favorecen la absorción de la radiación, por lo tanto si se quisiera favorecer la inercia térmica la mejor opción sería tener acabados oscuros (*op cit.*).

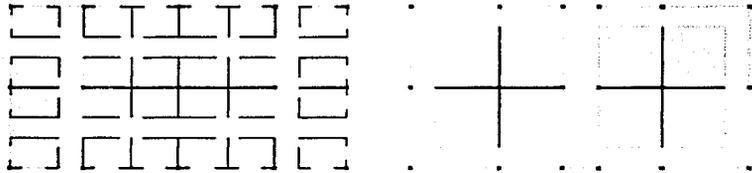
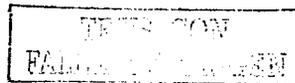


Fig. 2.11 Configuración interior en planta. Izquierda planta con marcada división de espacios. Derecha planta con poca división de espacios.

### 2.3.3 SISTEMAS OPERATIVOS DE MÁXIMA EFICIENCIA ENERGÉTICA

El sistema operativo a utilizar para obtener la máxima eficiencia energética es el natural (pasivo Fig. 2.12), el cual contribuirá a enfriar o calentar un espacio dependiendo de la ubicación del proyecto. Teniéndose los sistemas de calentamiento y de enfriamiento natural, cuyo objetivo es el de proveer condiciones dentro del rango de comodidad del humano.

<sup>46</sup> SERRA, R; *Arquitectura y energía natural* p. 264 Edicions UPC Barcelona 1995



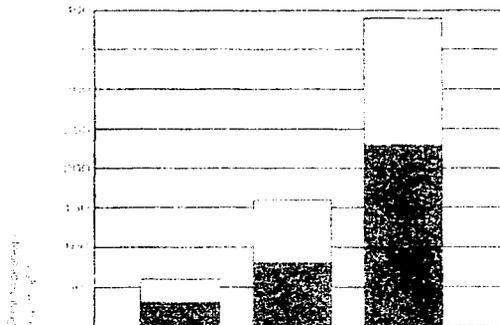


Fig. 2.12 Objetivos de consumos energéticos de varias modalidades de sistemas operativos (Fuente: Yeang)

### 2.3.3.1 CALENTAMIENTO NATURAL

El calentamiento natural se da a través de las siguientes condiciones<sup>47</sup>:

1. La ganancia interna no exceda ciertos límites.
2. El clima del lugar en el cual un edificio es construido genere espacios que requieran calefacción.
3. Radiación solar disponible

### PROCESO DE CALEFACCIÓN SOLAR

El proceso de calefacción solar requiere del siguiente procedimiento, el cual esta dividido en cuatro pasos captación, almacenamiento, conservación y distribución que se explican en los siguientes puntos.

#### 1. CAPTACIÓN

La captación de energía puede ser a través de las ventanas, domos, etc., de manera directa; atrios o espacios soleados que calientan el aire y por medio de la acumulación y deposito de calor en los muros (muro Trombe).

<sup>47</sup> GRATIA E., Delherde A., *Architecture et Climat Technology Module 2 Passive Solar Heating* p. 2 [http://erg.ucd.ie/mid\\_career/mid\\_career.html](http://erg.ucd.ie/mid_career/mid_career.html)

## VENTANAS

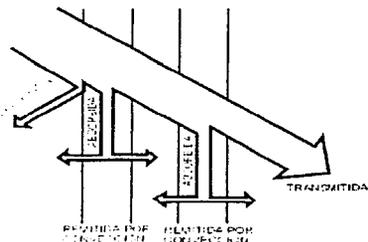


Fig. 2.13 Comportamiento del vidrio doble (Fuente: E. Gratia, A. Deherde, adaptado)

Cuando la radiación solar llega a un elemento transparente, esta es parcialmente reflejada y absorbida y a la vez parcialmente transmitida. La fracción absorbida es entonces reemitida por convección en forma de ondas largas de radiación hacia ambos lados de el vidrio. La suma de las fracciones directamente transmitidas y emitidas nuevamente hacia el interior constituye el total de la transmisión. La energía total de transmisión y por lo tanto la ganancia solar a través de un elemento transparente son el producto de el ángulo de incidencia de los rayos solares y de la orientación e inclinación de la ventana, además de las características del vidrio (Fig. 2.13). Las claves de parámetros de diseño para una máxima captación solar son<sup>48</sup>:

- Orientación e Inclinación de las ventanas.
- Transmitancia solar del vidrio.
- Dimensiones de el área de la ventana con relación al volumen de un espacio arquitectónico

## CALENTAMIENTO DEL AIRE PARA VENTILACIÓN

El aire para ventilación puede ser calentado si el aire es atrapado en espacios de almacenamiento como los atrios o espacios soleados, construidos para usarlos con este propósito (Fig. 2.14). Esto puede ser aplicado a edificios de oficinas de cualquier tipo, altura o tamaño, si se cuenta con una fachada sin sombra.<sup>49</sup>

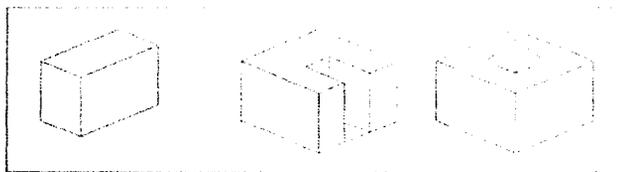


Fig. 2.14 Relación de atrios con el edificio (Fuente: E. Gratia, A. Deherde, adaptado)

La incorporación de un atrio a un edificio de oficinas puede ahorrar energía calentando el aire fresco. El atrio o espacio soleado, como concepto, puede ser considerado una evolución de un espacio abierto que provee luz y ventilación natural al edificio, además de poder tener una ganancia solar si éste esta orientado al sur. Si este espacio abierto es cubierto con vidrio para crear un atrio, se deberá tener especial cuidado en no perder sus funciones originales (ventilación cruzada, ventilación por un costado e

<sup>48</sup> GRATIA E., Delherde A., *Architecture et Climat Technology Module 2 Passive Solar Heating* p. 5 [http://erg.ucd.ie/mid\\_career/mid\\_career.html](http://erg.ucd.ie/mid_career/mid_career.html)

<sup>49</sup> GIVONI BARUCH, *Climate Considerations in Building and Urban Design* p. 181 Van Nostrand Reinhold United States of America 1998

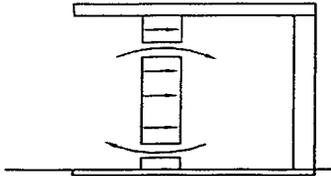


Fig. 2.15 Muro Trombe (Fuente: E. Gratita, A. Deherde, adaptado)

iluminación natural); las nuevas funciones de un atrio incluirán, permitir la iluminación natural en invierno y proteger de la lluvia en verano, calentar el aire fresco, reducir las pérdidas por conducción y proveer de un espacio utilizable<sup>50</sup>.

## MUROS

Cuando la radiación solar llega a un muro, parte de la energía incidente es absorbida mientras el resto es reflejada. Parte de la energía absorbida es difundida hacia el otro lado del muro después de cierto lapso de tiempo. La ganancia solar depende del producto de el ángulo de incidencia de los rayos solares, la orientación e inclinación del muro, así como de el color y aspecto de la superficie del material usado. Las superficies de colores oscuros con características rugosas absorben mas energía solar que las superficies de color claro con acabado pulido (*op cit.*).

## 2. ALMACENAMIENTO

El propósito de un deposito térmico es el de retener el calor excedente y liberarlo; si es requerido en necesidades posteriores se pueden utilizar depósitos de agua, entre otros, y liberar el calor cuando sea requerido. La radiación solar emitida a un material es parcialmente absorbida por éste, transformada en calor y almacenada en su masa. El material es entonces calentado progresivamente por conducción, mientras el calor es difundido (*op cit.*).

## SISTEMAS DE MURO

La masa de un muro ofrece 3 diferentes funciones simultáneamente<sup>51</sup>:

- La masa del muro capta energía, como un colector solar clásico, especialmente cuando esta bien orientado.
- La energía solar es absorbida por el muro y la temperatura de su superficie aumenta, de este modo también la temperatura del espacio entre vidrio y muro aumenta.
- El calor absorbido por el muro es conducido lentamente por el propio muro a los espacios del edificio. El aire puede ser transportado del espacio entre vidrio y muro a los espacios, pudiendo hacerse a través de circulación natural o por ventilación mecánica. El sistema más conocido es el llamado "muro Trombe" (Fig. 2.15), después de que el arquitecto Félix Trombe diseño y construyo el sistema por primera vez en la región sur de Francia.

<sup>50</sup> GRATIA E., Delherde A., *Architecture et Climat Technology Module 2 Passive Solar Heating* p. 18 [http://erg.ucd.ie/mid\\_career/mid\\_career.html](http://erg.ucd.ie/mid_career/mid_career.html)

<sup>51</sup> *Passive solar commercial and institutional buildings. A Sourcebook of Examples and Design Insights*, Ed. R. Hastings IEA Solar heating and cooling program task XI

---

## ALMACENAMIENTO TÉRMICO CON COLECTORES SOLARES

Estos sistemas combinan un sistema de almacenamiento térmico y colectores solares. La emisión del almacenamiento puede ser de forma natural o con el apoyo de algún elemento mecánico de bajo consumo. Como masas térmicas se pueden utilizar recipientes o bolsas de agua colocadas sobre el techo formando una cubierta estanco o de materiales sólidos de construcción de un alto peso específico. Se debe asegurar una buena transmisión del calor entre la masa acumuladora y el ambiente interior; es recomendable la utilización de un aislamiento móvil exterior para evitar las pérdidas nocturnas en invierno y las ganancias en el día en verano.<sup>52</sup>

### 3. CONSERVACIÓN

En climas fríos la pérdida de calor se transmite por conducción, convección y radiación así como la ventilación o las indeseables infiltraciones. La propiedad de un edificio para conservar el calor esta determinado principalmente por la forma y la naturaleza de la envolvente. Las pérdidas de calor son proporcionales al área de la superficie de la envolvente; así que entre mas compacto sea un edificio, las pérdidas de calor serán mucho menores.<sup>53</sup>

#### 1. Disposición y/o composición Arquitectónica

La organización de espacios debe hacerse de acuerdo a las necesidades de cada espacio, así los que requieran mayor energía pueden ubicarse hacia el sur, rodeando estos espacios de otros que requieran menos energía; es decir espacios que requieran energía similar deberán agruparse, espacios que requieran bajos niveles de energía deben usarse como zonas de amortiguamiento para proteger a las secciones que requieran mayor confort.

#### 2. Envolvente

La resistencia térmica de una masa es inversamente proporcional a la conductividad térmica de sus materiales que la forman e incrementa con su espesor; el método mas apropiado para mejorar la resistencia térmica de la envolvente de los edificios es a través de la aplicación de capas de aislante, lo cual reduciría considerablemente las pérdidas por conducción. Para conservar las cualidades de un buen aislamiento es necesario prever la penetración de agua (*op cit*)

---

<sup>52</sup> SERRA, R; *Arquitectura y energía natural* p. 309  
Edicions UPC Barcelona 1995

<sup>53</sup> GRATIA E., Delherde A., *Architecture et Climat Technology Module 2 Passive Solar Heating* p. 32 [http://era.upd.ie/mid\\_career/mid\\_career.html](http://era.upd.ie/mid_career/mid_career.html)

---

#### 4. DISTRIBUCIÓN

La distribución de la energía acumulada se da a través de la convección y radiación, termocirculación y por circulación mecánica a los espacios para obtener condiciones de confort.<sup>54</sup>

##### 2.3.3.2 ENFRIAMIENTO NATURAL

El enfriamiento natural es la transferencia de energía de un espacio, o de el aire suministrado a un espacio, con el objetivo de obtener una disminución de la temperatura y/o niveles de humedad de los que hay en el entorno natural. El desarrollo del enfriamiento ha pasado por varias fases, desde la aplicación intuitiva de técnicas de enfriamiento natural, como el sombreado, enfriamiento evaporativo y circulación del aire para obtener sensaciones de confort, a sistemas de enfriamiento mecánicos, y aire acondicionado basado en ciclos de refrigeración mecánica. Las técnicas de enfriamiento natural pueden ser usadas para reducir o modificar y, si no fuese suficiente mantener condiciones satisfactorias de confort es necesario remover el exceso de calor.<sup>55</sup>

El enfriamiento implica reducir las ganancias caloríficas del edificio y la penetración solar por las ventanas, proporcionando el bienestar necesario por medio de la ventilación natural y otras técnicas de máxima eficiencia energética. Los edificios pueden enfriarse a través de la utilización de colectores de calor natural, tales como el aire, la atmósfera superior, el agua y la capa inferior del terreno. Ken Yeang señala que los sistemas de enfriamiento de acuerdo con Givoni (1944) pueden dividirse en:<sup>56</sup>

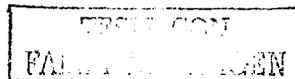
- Ventilación de bienestar: proporciona condiciones de confort a los ocupantes, especialmente en el día.
- Enfriamiento por ventilación nocturna: el objetivo es enfriar el interior del edificio durante la noche y cerrarlo durante el día, bajando de esta manera la temperatura interior durante el día.
- Enfriamiento radiante transfiriendo al interior del edificio, la energía fría generada durante la noche por la pérdida de calor de la cubierta.
- Enfriamiento por evaporación directa, en la cual el aire se enfría por evaporación y es introducido al edificio.
- Enfriamiento por evaporación indirecta, teniéndose que enfriar la cubierta por evaporación. El espacio interior resultara enfriado sin elevar el grado de humedad.
- Enfriamiento de los espacios exteriores como son los patios adyacentes al edificio

---

<sup>54</sup> GRATIA E., Delherde A., *Arquitectura et Climat Technology Module 2 Passive Solar Heating* p. 37 [http://erg.ucd.ie/mid\\_career/mid\\_career.html](http://erg.ucd.ie/mid_career/mid_career.html)

<sup>55</sup> CIENE., *Technology Module 3 Natural Cooling and Ventilation* p. 3 [http://erg.ucd.ie/mid\\_career/mid\\_career](http://erg.ucd.ie/mid_career/mid_career)

<sup>56</sup> YEANG KEN, *El rascacielos ecológico* p. 257  
Gustavo Gili-Barcelona 2001

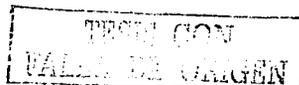


---

El enfriamiento mediante energía solar es la gran promesa, ya que es casi la única aplicación en la que la demanda máxima de energía coincide con la captación máxima de energía. Desde una superficie de alta emisividad puede disiparse mucho calor por radiación al cielo durante la noche. Con unos medios así puede enfriarse gran cantidad de agua durante la noche. Si ésta se hace circular por los serpentines de un convector-ventilador o serpentines empotrados en el techo, puede alcanzarse cierto grado de refrigeración de espacios grandes. El mismo sistema puede ser ampliado para la captación solar y para la calefacción de espacios, cuando sea necesario.<sup>57</sup>

---

<sup>57</sup> ZOKOLAY S. V. *Energía solar y edificación*  
Editorial Blume, Barcelona 1978.



---

## Capítulo III

### *Bioclima de la Ciudad de México y análisis del caso de estudio*

---

El análisis del bioclima de la ciudad de México, así como del edificio Torre Siglum, caso de estudio, tiene como objetivo evaluar el comportamiento energético de éste, estableciendo criterios de máxima eficiencia energética que disminuyan la facturación eléctrica y la emisión de contaminantes a la atmósfera.

### 3.1 EL CLIMA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

El clima tiene una gran influencia en la vegetación y la vida animal, incluyendo a los humanos; afecta directamente al confort del hombre, a sus condiciones de trabajo y de ocio. El clima es el resultado de la interacción entre la superficie terrestre y la atmósfera, determinada por el desigual reparto de la energía solar que recibe la tierra.<sup>58</sup>

"El clima que le corresponde a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), por su situación geográfica a los 19° 25' en promedio latitud norte (intertropical), se ve modificado básicamente por la altitud de ésta (2240 msnm) y su condición de cuenca cerrada, con altitudes mayores a 1000 m sobre el nivel de base local, en las sierras que le limitan al este, sur y oeste". "Existen básicamente dos tipos de climas en la ZMCM de acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificado para la República Mexicana por E. García, (1964): a) Templado Subhúmedo, con verano fresco largo y lluvias en verano (Cw); b) El segundo es un clima semiseco templado, con verano cálido, con lluvias en verano (Bs). Estos tipos de climas encontrados en la ZMCM, sufren de acuerdo a E. García, modificaciones ligeras por su régimen pluviométrico".<sup>59</sup>

Sin embargo, definir simplemente las condiciones meteorológicas más comunes de la ZMCM, como de un clima templado subhúmedo, con verano fresco largo y con lluvias en verano, no sería erróneo, pero si estaríamos alejados de la realidad, pues resulta necesario recordar que la ZMCM es la zona más poblada del mundo y una de las más grandes en extensión, lo que aunado a las características físicas, convierten a la climatología de la zona en algo mucho más complicado que un simple clima Cw o Bs. Aunque existen mapas climáticos de la ZMCM, no es posible utilizarlos como única fuente para regionalizar la ZMCM de acuerdo a su disponibilidad de energía. Es necesario contar con mediciones del régimen radiacional, tanto de onda corta como de onda larga, pues si bien es cierto que la clasificación climática nos ofrece la información del rango de temperaturas predominante o más comunes de la zona y la cantidad de precipitación no basta, pues dependiendo de la zona, de la cantidad de contaminantes, la cercanía y el tipo de estructuras, determinarían el nivel de confort (*op. cit.*).

---

<sup>58</sup> TUDELA FERNANDO. *Ecodiseño* p. 19

UAM, Unidad Xochimilco, México 1982

<sup>59</sup> MORALES DIEGO, Valdés Mauro, et. al. *Estudio para el ahorro de energía de edificios para la ciudad de México* p. 31 UNAM

Las características del clima de la ciudad de México esta determinada por las siguientes variables climatológicas, mismas que se encuentran en relación directa con los sistemas de máxima eficiencia energética:

- Temperatura
- Humedad Relativa
- Radiación solar
- Vientos
- Precipitación
- Nubosidad
- Insolación

### 3.1.1 TEMPERATURA

La temperatura de la ciudad de México esta representada en la siguiente Tabla 3.1 y Grafico 3.1. Se puede observar la relación entre las temperaturas promedio máxima, media y mínima, mensuales, así como sus temperaturas máxima extrema y mínima extrema de bulbo seco.

Para finales de invierno y principios de primavera, la oscilación entre las temperaturas extremas llega a ser de 25.5 °C, en el mes de marzo y disminuye en verano a 17.5 °C en agosto.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temp. Máx. Ext.	24.4	25.8	28.1	28.9	28.4	27.9	25.9	25.9	25.6	25.4	24.9	23.8	28.9
Temp. Máxima	20.8	22.3	24.6	25.4	25.5	24.1	22.9	22.9	22.2	22.0	21.6	20.7	22.9
Temp. Media	12.1	13.8	15.8	17.1	17.7	17.3	16.1	16.4	16.1	15.3	13.8	12.2	15.3
Temp. Mínima	3.6	4.7	6.4	8.5	10.1	11.8	11.2	10.9	11.4	9.3	6.4	4.5	8.2
Temp. Min. Ext.	-0.8	0.5	2.6	5.2	6.8	8.3	8.3	8.4	7.1	4.2	1.7	0.5	-0.8
Oscilación (Temp. Medias)	17.2	17.6	18.2	16.9	15.4	12.3	11.7	11.9	10.8	12.7	15.3	16.2	14.7
Oscilación (Temp. Extremas)	25.2	25.3	25.5	23.7	21.6	19.7	17.6	17.5	18.5	21.2	23.2	23.3	29.7

Tabla 3.1 Temperatura Ambiente Promedio Mensual y Oscilación en °C. Período de datos 1972-2001 (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

La oscilación entre temperaturas máxima, media y mínima refleja un comportamiento similar durante el invierno y verano, es decir la diferencia entre éstas en invierno es de apenas 1 °C, y en verano 0.9 °C. En invierno la diferencia alcanza 3.5 °C y en primavera se alcanza el valor máximo 4.6 °C. Del mismo modo, en relación a la oscilación entre las temperaturas extremas, éstas se comportan casi de la misma forma.



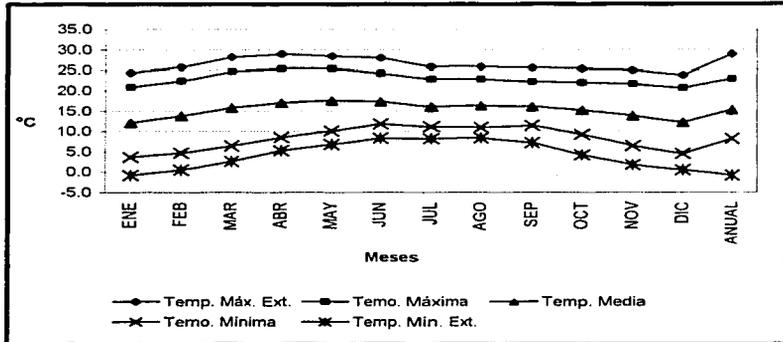


Gráfico 3.1 Temperatura Ambiente Promedio Mensual en °C. Período de datos 1972-2001 (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

Los datos en la temperatura media ubican al mes de enero como el mas frío, con una temperatura media de 12.1 °C y el mes mas cálido mayo con una temperatura media de 17.7 °C; entre estos meses, el mas frío y el mas cálido, podemos ubicar al mes de octubre con una temperatura media de 15.3 °C. Si tomamos la temperatura del mes mas cálido y el mes mas frío, encontramos una diferencia de 5.6 °C.

Considerando que el parámetro de confort anual para la ciudad de México va de 19.74 °C a 24.74 °C (Ver Tabla 3.9) y la temperatura máxima promedio mensual más alta es de 25.5 °C en el mes de mayo y la mínima promedio mensual es de 3.6 °C en el mes de enero; se considera un clima templado, en el cual es necesario emplear estrategias de enfriamiento en primavera y de calentamiento en otoño e invierno, por registrar una temperatura mínima promedio menor al requerido anual de 19.74 °C.

#### DATOS HORARIOS ANUALES DE TEMPERATURA

En la siguiente Tabla se pueden observar los datos referentes a la temperatura horaria de todo el año. Estos datos están registrados tomando los valores de la temperatura mínima, media y máxima de la temperatura media, sin considerar sus respectivos valores extremos de éstas.

Se puede observar que la temperatura mas elevada se da a las 15:00 horas en los meses de abril y mayo, mismas que se encuentra fuera de las condiciones de comodidad.

HORA	MES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
01:00	7.8	9.5	11.4	12.9	13.8	14.0	12.8	13.2	13.1	12.0	9.9	8.0
02:00	6.4	7.9	9.7	11.4	12.6	13.2	12.3	12.4	12.5	11.1	8.7	6.8
03:00	5.2	6.5	8.3	10.2	11.5	12.6	11.8	11.8	12.1	10.3	7.7	5.8
04:00	4.3	5.5	7.3	9.3	10.7	12.2	11.5	11.3	11.7	9.8	7.0	5.1
05:00	3.8	4.9	6.6	8.7	10.3	11.9	11.3	11.0	11.5	9.4	6.6	4.7
06:00	3.6	4.7	6.4	8.5	10.1	11.8	11.2	10.9	11.4	9.3	6.4	4.5
07:00	4.1	5.3	7.0	9.0	10.5	12.1	11.4	11.2	11.6	9.6	6.8	4.9
08:00	5.5	7.0	8.7	10.6	11.8	12.8	12.0	12.0	12.2	10.6	8.0	6.1
09:00	7.8	9.5	11.4	12.9	13.8	14.0	12.8	13.2	13.1	12.0	9.9	8.0
10:00	10.5	12.7	14.6	15.8	16.2	15.4	13.9	14.7	14.3	13.7	12.2	10.3
11:00	13.5	15.7	17.8	18.8	18.9	17.5	15.9	16.8	16.1	15.9	14.9	13.1
12:00	16.4	18.3	20.5	21.4	21.5	20.1	18.7	19.2	18.5	18.3	17.5	16.1
13:00	18.7	20.4	22.7	23.5	23.6	22.2	20.9	21.2	20.5	20.3	19.7	18.5
14:00	20.3	21.8	24.1	24.9	25.0	23.6	22.4	22.5	21.8	21.6	21.1	20.1
15:00	20.8	22.3	24.6	25.4	25.5	24.1	22.9	22.9	22.2	22.0	21.6	20.7
16:00	20.6	22.1	24.4	25.2	25.3	23.9	22.7	22.7	22.0	21.8	21.4	20.5
17:00	20.0	21.6	23.9	24.7	24.8	23.4	22.2	22.3	21.6	21.4	20.9	19.9
18:00	19.1	20.8	23.0	23.9	24.0	22.6	21.3	21.5	20.8	20.6	20.0	18.9
19:00	17.9	19.7	21.9	22.7	22.9	21.5	20.1	20.5	19.8	19.6	18.9	17.7
20:00	16.4	18.3	20.5	21.4	21.5	20.1	18.7	19.2	18.5	18.3	17.5	16.1
21:00	14.7	16.8	18.9	19.8	20.0	18.6	17.0	17.8	17.1	16.9	16.0	14.3
22:00	12.9	15.2	17.2	18.2	18.4	17.0	15.3	16.3	15.6	15.4	14.3	12.5
23:00	11.1	13.3	15.3	16.4	16.7	15.7	14.1	15.0	14.5	14.1	12.7	10.8
00:00	9.4	11.4	13.3	14.6	15.2	14.8	13.4	14.1	13.8	13.0	11.3	9.3

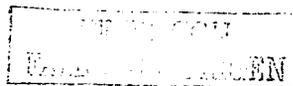
Tabla 3.2 Datos Horarios Anuales de Temperatura en °C. Periodo de datos 1972-2001 (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

### 3.1.2 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa en la ciudad de México, esta dada por los siguientes valores registrados mensualmente.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
H.R. Máxima	76.4	71.6	73.0	73.2	77.7	85.0	86.2	84.5	84.7	82.5	77.1	79.5	79.3
H.R. Media	56.0	52.2	48.7	50.8	56.1	64.1	69.0	68.6	69.1	64.5	59.9	59.4	59.9
H.R. Mínima	39.4	35.2	32.7	33.0	36.3	42.6	51.9	53.1	51.2	45.6	43.4	42.4	42.2
Oscilación (H.R. Máx. y Min.)	37.0	36.4	40.3	40.3	41.4	42.4	34.3	31.4	33.5	37.0	33.7	37.1	37.1

Tabla 3.3 Humedad Relativa Promedio Mensual en %. Periodo de datos 1971-1999. (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)



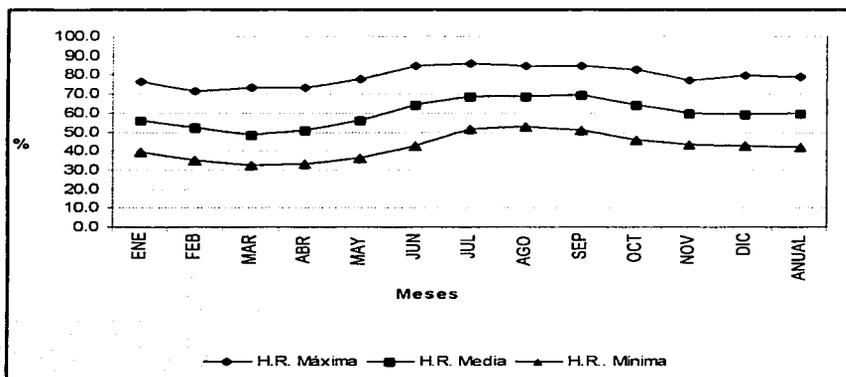


Gráfico 3.2 Humedad Relativa Promedio Mensual en %, Período de datos 1971-1999. (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

La oscilación entre la humedad relativa máxima y mínima se comporta de manera constante llegando a tener una diferencia de 11 % entre los meses de junio (42.4 %) y agosto (31.4 %). Presentándose mas grande en primavera, menor en verano y en otoño e invierno comportándose de manera casi constante.

De acuerdo a la Asociación Americana de Ingenieros en Aire Acondicionado y Calefacción (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ASHRAE, el rango de humedad relativa para estar en condiciones de comodidad en la zona intertropical es del 30% al 70%. Se puede observar que la mayor parte del año se encuentran condiciones optimas de comodidad.

El nivel mínimo de comodidad del 30% se encuentra por debajo de la humedad relativa mínima, sin embargo el nivel máximo de comodidad del 70% se observa rebasado por la humedad relativa máxima, sobre todo en el mes de julio con 86.2% y con un promedio anual de 79.3%.

#### DATOS HORARIOS ANUALES DE HUMEDAD RELATIVA

En la siguiente Tabla se pueden observar los datos referentes a la humedad relativa horaria de todo el año. Estos datos están registrados tomando los valores de la humedad relativa mínima y máxima.

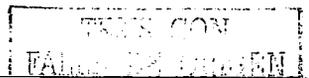
HORA	MES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
01:00	67.1	62.5	62.9	63.1	67.3	74.4	77.6	76.6	76.3	73.3	68.7	70.2
02:00	70.3	65.6	66.3	66.5	70.8	78.0	80.5	79.3	79.2	76.4	71.5	73.4
03:00	72.9	68.1	69.1	69.4	73.7	80.9	82.9	81.5	81.5	79.0	73.9	76.0
04:00	74.8	70.0	71.3	71.5	75.9	83.2	84.7	83.1	83.3	80.9	75.6	77.9
05:00	76.0	71.2	72.6	72.8	77.2	84.5	85.8	84.2	84.3	82.1	76.7	79.1
06:00	76.4	71.6	73.0	73.2	77.7	85.0	86.2	84.5	84.7	82.5	77.1	79.5
07:00	75.3	70.5	71.8	72.0	76.5	83.7	85.2	83.6	83.7	81.4	76.1	78.4
08:00	72.1	67.3	68.3	68.5	72.9	80.0	82.2	80.8	80.8	78.2	73.2	75.2
09:00	67.2	62.5	62.9	63.2	67.4	74.4	77.6	76.7	76.3	73.3	68.7	70.2
10:00	61.1	56.6	56.4	56.6	60.6	67.4	72.0	71.5	70.9	67.3	63.2	64.2
11:00	54.7	50.2	49.4	49.6	53.4	60.1	66.1	66.1	65.0	60.9	57.3	57.7
12:00	48.7	44.3	42.8	43.1	46.7	53.1	60.5	61.0	59.6	54.8	51.8	51.7
13:00	43.7	39.5	37.4	37.7	41.1	47.5	55.9	56.8	55.1	49.9	47.3	46.7
14:00	40.5	36.3	33.9	34.2	37.6	43.8	52.9	54.0	52.2	46.7	44.4	43.5
15:00	39.4	35.2	32.7	33.0	36.3	42.5	51.9	53.1	51.2	45.6	43.4	42.4
16:00	39.8	35.6	33.1	33.4	36.8	43.0	52.3	53.4	51.6	46.0	43.8	42.8
17:00	41.0	36.8	34.4	34.7	38.1	44.3	53.4	54.5	52.6	47.2	44.9	44.0
18:00	42.9	38.7	36.5	36.8	40.3	46.6	55.2	56.1	54.4	49.1	46.6	45.9
19:00	45.5	41.2	39.4	39.6	43.1	49.5	57.6	58.3	56.7	51.7	49.0	48.5
20:00	48.6	44.3	42.8	43.0	46.6	53.1	60.5	60.9	59.6	54.8	51.8	51.7
21:00	52.2	47.8	46.6	46.9	50.6	57.2	63.7	63.9	62.8	58.3	55.0	55.2
22:00	56.0	51.5	50.7	51.0	54.8	61.5	67.3	67.2	66.2	62.1	58.5	59.0
23:00	59.8	55.3	55.0	55.2	59.2	66.0	70.8	70.4	69.7	66.0	62.0	62.9
00:00	63.6	59.0	59.1	59.3	63.4	70.3	74.3	73.6	73.1	69.7	65.5	66.7

Tabla 3.4 Datos Horarios Anuales de Humedad Relativa en %. Período de datos 1971-1999 (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

El porcentaje de humedad relativa mayor al 70%, se observa durante la noche y parte de la mañana de 23:00 a 10:00 horas, durante todo el año; de 11:00 de la mañana a 22:00 de la noche, la humedad relativa se encuentra dentro de la zona de comodidad durante todo el año.

### 3.1.3 RADIACION SOLAR

La radiación solar global horaria durante todo el año se observa en la siguiente grafica. La mayor radiación se tiene entre las 11:00 y 13:00 horas durante los meses de febrero a mayo con un valor de 833.33 w/m<sup>2</sup> (3.0 MJ/m<sup>2</sup>/hr). Los meses en los cuales se tiene mayor tiempo de radiación son abril, mayo y junio, por el contrario el menor tiempo de radiación se tiene en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero (Gráfico 3.3).



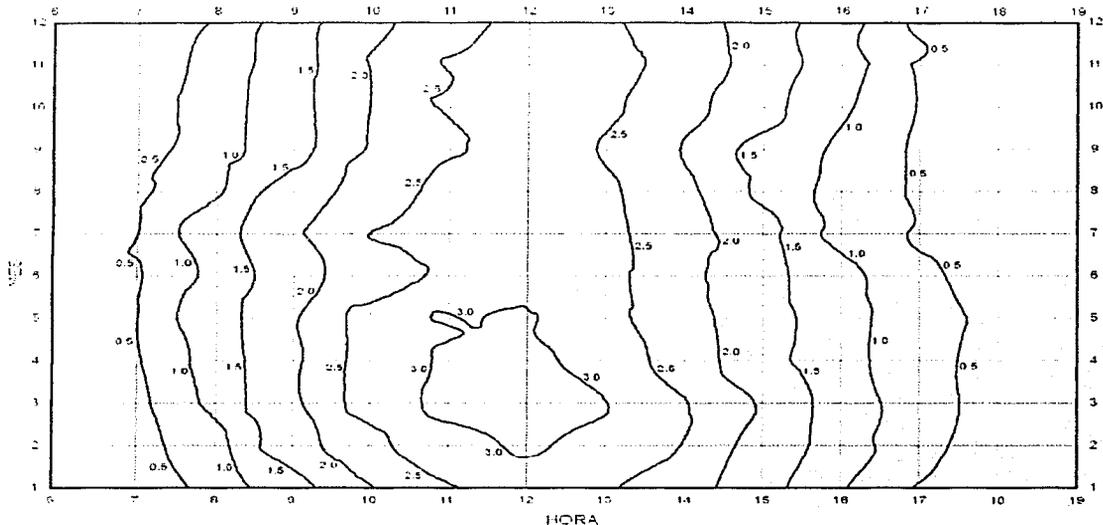


Gráfico 3.3 Radiación Solar Global (C.U.)  $w/m^2$  (Fuente: Morales Diego, Valdés Mauro, et. al. *Estudio para el ahorro de energía de edificios para la ciudad de México* p. 46 UNAM, Adaptado)

### 3.1.4 VIENTOS

En la siguiente Tabla 3.5 se observa la velocidad y dirección de los vientos dominantes en la ciudad de México. El viento tiene una dirección dominante anual SE, abril tiene la velocidad promedio mayor con 2.68 m/s y noviembre la velocidad promedio menor con 1.66 m/s.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Viento Dominante	SE	SE	SE	SE Y NE	NO Y SE	SE	N	SE	SE	NO Y NE	SE	SE	SE
Velocidad (m/s)	1.96	1.96	2.22	2.68	2.33	1.72	2.60	1.77	1.81	1.70	1.66	1.82	2.02

Tabla 3.5 Dirección y velocidad de los vientos. (Fuente: Morales Diego, Valdés Mauro, et. al. *Estudio para el ahorro de energía de edificios para la ciudad de México* p. 47 UNAM)

En el Gráfico 3.4 se observa además de la dirección y velocidad del viento, la frecuencia mensual de éste.

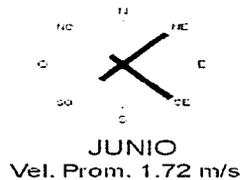
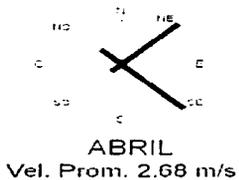
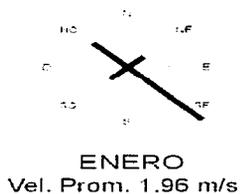


Gráfico 3.4 Vientos dominantes para días tipo. (Fuente Morales Diego, Valdés Mauro, et. al. *Estudio para el ahorro de energía de edificios para la ciudad de México* p. 47 UNAM)

TRABAJO CON FALLA DE ORIGEN

### 3.1.5 PRECIPITACIÓN

En la Tabla 3.6 y Grafico 3.5 se observa la precipitación pluvial en la ciudad de México, es marcada la diferencia de los meses con mayor precipitación pluvial, de junio a septiembre (finales de primavera y todo el verano) en relación con el resto del año. La mayor precipitación pluvial se tiene en el mes de julio y por el contrario la menor en el mes de febrero.

El periodo de mayor precipitación se origina después del mes mas cálido, para la ciudad de México el mes mas cálido es mayo, por lo que las mayores precipitaciones se dan a partir de junio (Gráfico 3.5). Por el contrario se observa que las menores precipitaciones se dan después del mes mas frío, en este caso el mes mas frío enero y como ya se menciono antes, febrero el mes con menor precipitación.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P.P. Máxima	58.2	18.1	53.8	85.2	115.0	340.0	290.7	247.1	379.9	176.6	68.9	29.4	379.9
P.P. Mínima	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	60.5	94.0	67.6	33.7	0.0	0.0	0.0	0.0
P.P. Total	9.5	3.9	9.0	24.8	60.6	166.9	178.7	162.3	154.0	65.4	9.7	5.5	850.4

Tabla 3.6 Precipitación Pluvial Mensual en mm. Periodo de datos 1972-2001. (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

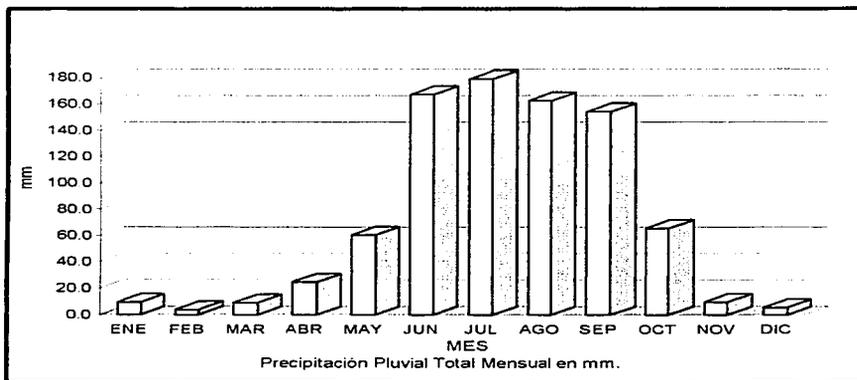


Gráfico 3.5 Precipitación Pluvial Total Mensual en mm. Periodo de datos 1972-2001. (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

### 3.1.6 NUBOSIDAD

En la Tabla 3.7 y Gráfico 3.6, se puede observar el comportamiento de la nubosidad mensual a través de todo el año. En el Gráfico 3.6 es mas apreciable el comportamiento de los días, así tenemos que en la mayor parte del año se tienen días medio nublados (63.21 %), seguidos de días despejados (22.74 %) y finalmente los días nublados (14.11 %).

DÍAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Nublados	3.2	1.3	1.3	1.6	3.2	6.9	6.0	5.4	8.2	6.0	3.5	5.0	51.5
Medio Nublados	18.8	15.2	16.6	18.9	20.4	17.6	22.3	23.4	19.1	18.4	19.2	20.6	230.7
Despejados	9.0	11.6	13.1	9.4	7.4	5.5	2.7	2.2	2.7	6.9	7.3	5.3	83.0

Tabla 3.7 Nubosidad Mensual en número de días. Periodo de datos 1970-1999. (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

Los meses en los cuales se tiene mayor nivel lumínico son febrero y marzo, por el contrario de los meses de menor nivel lumínico son junio, julio, agosto y septiembre, mismos que corresponden a los meses en que se registran los niveles máximos de precipitación pluvial.

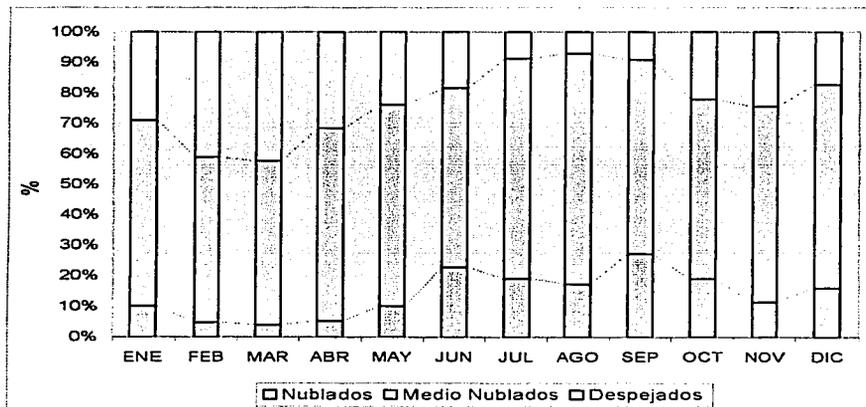


Gráfico 3.6 Nubosidad Mensual. Periodo de datos 1970-1999. (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

### 3.1.7 INSOLACIÓN

El comportamiento de la insolación se observa en la siguiente Tabla 3.8 y Gráfico 3.7. El nivel máximo de insolación total se tiene en los meses de febrero y marzo, acentuándose un poco mas en este último con 7.33 horas en promedio total; por otro lado el nivel mínimo de insolación se da en los meses de junio, julio, agosto y septiembre; mismos que están en relación directa con el comportamiento de la nubosidad y de la precipitación pluvial si se comparan sus gráficos respectivos.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Ins. Máxima	9.21	10.15	10.31	10.36	10.29	10.31	8.48	8.43	8.54	9.38	9.10	8.53	10.36
Ins. Mínima	0.48	1.33	1.57	1.35	0.59	0.10	0.16	0.18	0.05	0.19	0.52	0.31	0.05
Insolación Total	6.08	7.04	7.33	6.35	5.47	4.51	4.25	4.23	3.56	5.25	6.00	5.34	65.41

Tabla 3.8 Insolación Mensual en número de horas. (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

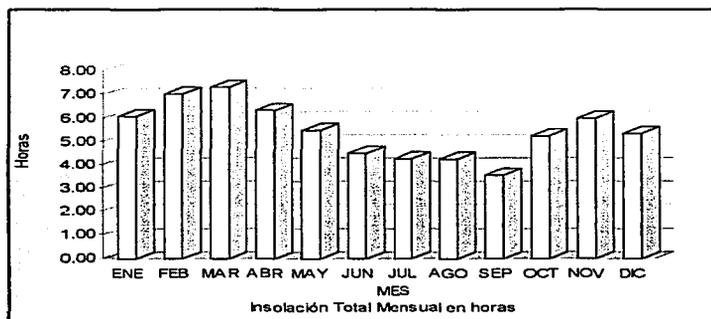


Gráfico 3.7 Insolación Mensual en número de horas. (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

El nivel de insolación mínima total la registra el mes de septiembre con 3.56 horas y el máximo marzo con 7.33 horas, cuya diferencia entre estas es de 3.77 horas.

### 3.2 BIOCLIMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Una vez conocidas las características climáticas de la ciudad de México, es necesario efectuar un análisis bioclimático para determinar como influirán los componentes del clima, dentro de los parámetros de comodidad del humano, para el desarrollo óptimo de sus actividades.

### 3.2.1 COMODIDAD TERMICA

La comodidad térmica se define como aquel estado mental en que se expresa satisfacción con el ambiente térmico. El humano, al ser un animal de sangre caliente, esta produciendo calor continuamente como reacción secundaria de sus procesos metabólicos, y necesita desprender dicho calor al medio que le rodea a una determinada rapidez que fija el metabolismo de la persona, para mantener una temperatura interior constante entre 36.5 y 37.5 °C, sin que tenga que desarrollar un esfuerzo importante, para que pueda efectuar un trabajo fisiológico en optimas condiciones.<sup>60</sup>

Las condiciones de clima en el interior de un espacio arquitectónico, en las que los usuarios se sientan cómodos, pueden variar dependiendo de una serie de factores como son: la edad de los usuarios, su estado de salud, su sexo, la aclimatación, su estado nervioso, su actividad, etc.. sin embargo de acuerdo a la Asociación Americana de Ingenieros en Aire Acondicionado y Calefacción (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ASHRAE, el rango de temperaturas y humedad relativa en los que la mayoría de las personas que vivimos en la zona intertropical, estamos en condiciones de comodidad entre 22 y 28 °C y 30 a 70 % de humedad relativa. Este rango puede variar tomando en cuenta las características climáticas de la Ciudad de México, ya que aunque está en una zona intertropical, debido a la altitud en la que está ubicada, la variación de la temperatura y humedad es muy diferente a la de la costa (*op cit*).

Una vez conocidas las características climáticas de la ciudad de México, es factible verificar las condiciones de temperatura y humedad principalmente en relación con las condiciones requeridas de comodidad para el humano.

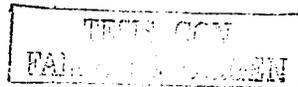
### 3.2.2 CONFORT MENSUAL DE LA TEMPERATURA

Con base en las variaciones descritas, el arquitecto Steve Szokolay y Aluciemś, plantearon una ecuación en la que a partir de la temperatura media de un clima específico, establece el rango en el que la mayor parte de los habitantes de una determinada región, por la aclimatación a su ambiente, están en condiciones de comodidad, dicha ecuación es la siguiente:

$$T_n = [ 17.6 + 0.31 T_e ] + 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde:  $T_n$  es la temperatura de comodidad humana  
y  $T_e$  es la temperatura media promedio mensual. Aplicando la ecuación tenemos la siguiente Tabla 3.9 y Gráfico 3.8.

<sup>60</sup> MORALES DIEGO, Valdés Mauro, et. al. *Estudio para el ahorro de energia de edificios para la ciudad de México* p. 39 UNAM



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Rango Máximo	23.75	24.28	24.90	25.30	25.47	25.36	25.00	25.08	24.99	24.73	24.29	23.78	24.74
Rango Mínimo	18.75	19.28	19.90	20.30	20.47	20.36	20.00	20.08	19.99	19.73	19.29	18.78	19.74
Temp. Máxima	20.8	22.3	24.6	25.4	25.5	24.1	22.9	22.9	22.2	22.0	21.6	20.7	22.92
Temp. Media	12.1	13.8	15.8	17.1	17.7	17.3	16.1	16.4	16.1	15.3	13.8	12.2	15.30
Temp. Mínima	3.6	4.7	6.4	8.5	10.1	11.8	11.2	10.9	11.4	9.3	6.4	4.5	8.23

Tabla 3.9 Rango de Temperaturas de Comodidad en °C. Período de datos 1972-2001. (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

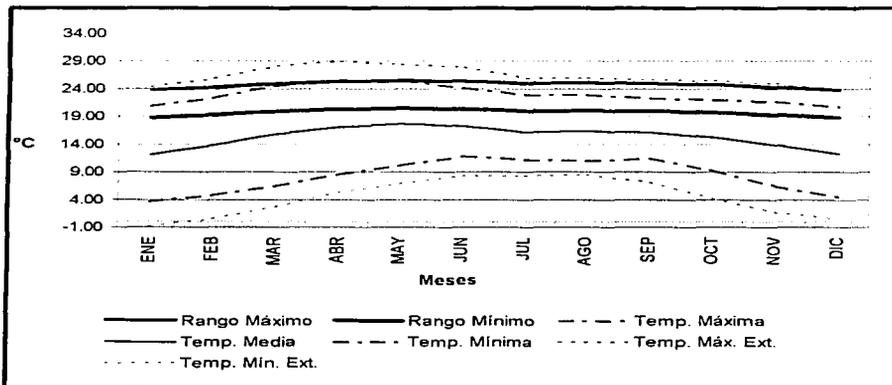


Gráfico 3.8 Rango de Temperaturas de Comodidad en °C. Período de datos 1972-2001. (Fuente: Datos del Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM, 2002)

### 3.3 ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO

El edificio Torre Siglum, caso de estudio de este documento presenta las siguientes características<sup>61</sup>, mismas que servirán de referencia para la descripción de su comportamiento energético.

- Descripción del proyecto
- Dimensiones
- Descripción de planta tipo
- Fachadas
- Jardinería
- Automatización y control de sistemas
- Instalación eléctrica
- Aire acondicionado
- Ventilación y extracción de aire

<sup>61</sup> GDU, Memora Descriptiva Torre Siglum Departamento de mercadotecnia Febrero de 2000

### 3.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El edificio se encuentra ubicada en Av. Insurgentes Sur No. 1898, Col. Florida de la ciudad de México, ubicado sobre la cabecera de manzana que conforman las calles de Encanto y Tecoyotilla (Fig. 3.1); edificio contemporáneo concebido bajo el concepto de "Edificio Inteligente" que ofrece todas las ventajas que los Sistemas de Tecnología de Punta proporcionan hoy en día.

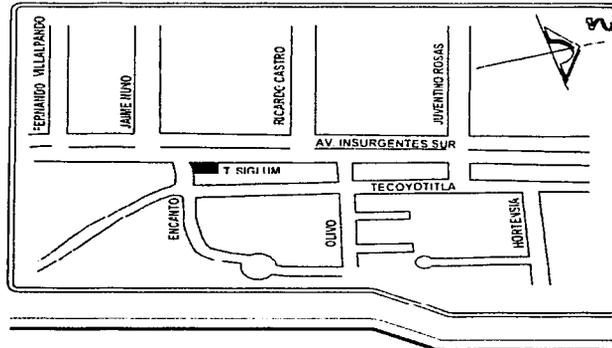


Fig. 3.1 Localización edificio Torre Siglum

El edificio se desarrolla en un terreno de 2,126.73 m<sup>2</sup>, se tienen 21 niveles. Cuenta con 19,257 m<sup>2</sup> de área rentable distribuida en 19 niveles de oficinas, un Salón para Usos Múltiples en el 1er Nivel y un Local Comercial y Auditorio ubicados en Planta Baja. En el acceso se tiene como remate a través del cristal, un muro del cual baja una cascada que se deposita en un espejo de agua. En el Lobby Principal se tiene una altura que abarca 4 niveles (14.40 mts.) y por lo que respecta al estacionamiento, éste se encuentra ubicado en 8 niveles de sótanos.

### 3.3.2 DIMENSIONES

Para el análisis se tomara la planta tipo, la cual tiene una superficie rentable de 981.85 m<sup>2</sup> formada por una elipse, las alturas de entresijos son las siguientes:

Nivel	Piso a Piso	Piso a Techo	Piso a Plafón
Pent-Office	5.30 mts.	5.186 mts.	4.20 mts.
01 al 19	3.60 mts.	3.486 mts.	2.70 mts.
Salón de Usos M.	3.16 mts.	2.96 mts.	2.70 mts.
Planta Baja	7.20 mts.	4.086 mts.	Variable

Tabla 3.10 Alturas de entresijos. (Fuente: GDU, Memoria Descriptiva Torre Siglum Departamento de mercadotecnia Febrero de 2000)

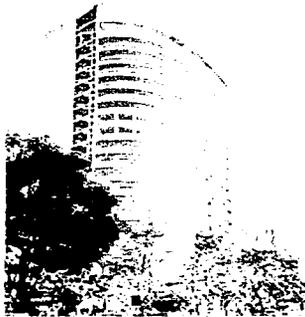


Fig. 3.3 Fachada Oeste Edificio Torre Siglum (Fuente: Paúl Czitrom, Obras No. 338 Febrero 2001)

### 3.3.3 DESCRIPCIÓN DE PLANTA TIPO

El 2° y 3er nivel son de menor superficie a la planta tipo debido al remetimiento que forma la gran altura del Lobby Principal. Los niveles subsequentes (4° al 19°) corresponden a las plantas tipo (Fig. 3.2) y en el último nivel (20°) se ubica el Pent-Office con un área de terraza jardinada.

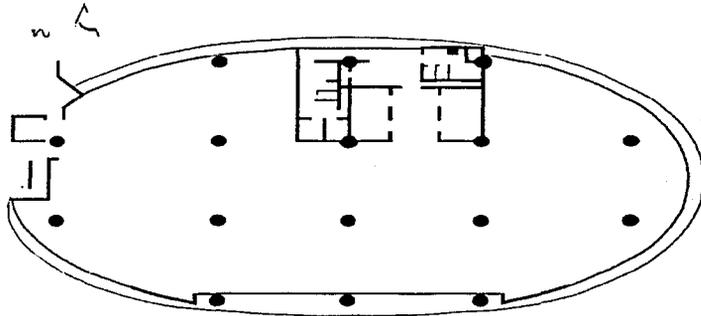


Fig. 3.2 Planta Tipo (Fuente GDU, *Memoria Descriptiva Torre Siglum* Departamento de mercadotecnia Febrero de 2000)

Todas las plantas de oficinas cuentan con un núcleo principal de servicios con cuatro elevadores, escaleras, sanitarios para hombres y mujeres con servicio a minusválidos, en el costado izquierdo se ubica el 5° elevador exclusivo para mensajería y servicios, escalera contra incendio y un cuarto para las manejadoras de aire acondicionado. Cada planta se entrega con firme de concreto con acabado pulido, Cristal Planilux Verde Plus de 6 mm. Y Alucobon para recubrir las traveses que dan hacia toda la fachada y las tres columnas que dan hacia la fachada principal.

### 3.3.4 FACHADAS

Debido a la forma elíptica de las plantas, las fachadas se diseñaron con la intención de otorgar una vista panorámica desde cualquier nivel y para tal efecto se utilizaron cristales Planilux Verde Plus de 6 mm. de piso a plafón y en forma continua reforzadas en las juntas con costillas del mismo cristal esto con la finalidad de que no tuviera obstrucciones visuales en ningún sentido, en la parte central de la fachada principal se crea un juego de luz y sombras que se hacen con el remetimiento enmarcado por dos elementos como ornamento, y tres columnas, mismas que están recubiertas de Alucobon de 4 mm. de espesor color champagne.

La memoria descriptiva indica también que los materiales utilizados en este edificio permitirán:

- 
- a) Ganancias Térmicas hacia el interior
  - b) Mayor iluminación y Confort para el usuario y por lo mismo
  - c) Ahorro de Energía Eléctrica.

### **3.3.5 JARDINERIA**

Para la forestación y jardinería del edificio, se diseño perimetralmente una barrera continua de árboles (Jacaranda y Liquidambar), así como un seto a base de Boj (arrayan) de follaje siempre verde intenso, que servirá de separación entre el peatón y la vialidad vehicular, en la colindancia norte, donde se ubica la entrada al estacionamiento se hizo una jardinería con macizo de Bambú, y un macizo arbustivo a base de Verónica en la Planta Baja, sobre el remetimiento de la calle Tecoyotilla se localiza una zona de jardinerías a base de hiedra Cissus Antártica.

### **3.3.6 AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE SISTEMAS**

El sistema de automatización y control de sistemas, es el cerebro central y es el encargado de monitorear todas las instalaciones y está diseñado para llevar a cabo las funciones de Supervisión y Estrategias de Control y Ahorro de Energía que integran las instalaciones de Aire Acondicionado monitoreando la planta generadora de agua, Sistema Eléctrico, Sistema de Iluminación, Sistema Hidrosanitario, Elevadores y Monitoreo del Sistema de Bombeo para protección contra Incendio, Sistema de Seguridad Integral, cumpliendo con los lineamientos y bases de diseño en lo concerniente a automatización, modularidad y autonomía del concepto "inteligente".

Este sistema deberá conducir la instalación ordenando un arranque y paro de equipos, presentando en forma clara las incidencias, comprimiendo y racionalizando los costos de pérdidas de tiempo, permitiendo el control de todas las instalaciones en ausencia de personal especializado. Para cubrir las necesidades de funcionamiento, administración control, supervisión y manejo de energía del sistema a instalar estará constituido por los siguientes elementos:

- a) Estaciones de trabajo para cuarto de control
- b) Unidades remotas de control (RC's)
- c) Controladores de aplicación específica (CAE's)
- d) Interfaces a unidades especiales de control y
- e) Terminal de trabajo portátil.

### 3.3.7 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Para satisfacer la demanda de los servicios propios del edificio se cuenta con una Subestación Eléctrica receptora que recibirá por parte de la Compañía suministradora de Energía Eléctrica una acometida de tipo compacta con capacidad de 400 KVA-23 KV-220/127V., ubicada en el nivel sótano 2 y está integrada por 6 secciones: acometida, medición, cuchillas de paso, interruptor general y dos interruptores derivados. Posteriormente se requerirá que la Cía. de Luz y Fuerza suministre los servicios de energía eléctrica en baja tensión para cada nivel de oficinas. Las cargas contempladas en el edificio son:

NIVEL	WATTS
Planta Baja	57,000
Nivel 1	12,670
Nivel 2	41,190
Nivel 3	41,190
Nivel 4 al 19 (Plantas Tipo)	51,120 c/u
Nivel 20	43,505

Tabla 3.11 Cargas de Instalación eléctrica. (Fuente: GDU, *Memoria Descriptiva Torre Siglum* Departamento de mercadotecnia Febrero de 2000)

### 3.3.8 AIRE ACONDICIONADO

El sistema de aire acondicionado contará con variadores de frecuencia, los cuales permiten un ahorro de energía muy significativo ya que únicamente se inyectara aire necesario dependiendo de la temperatura ambiental requerida. Los sistemas con los que cuenta el edificio son:

- Plantas Bajas (acceso) y Área Comercial: acondicionamiento de aire, mediante el Sistema de Volumen Variable.
- Planta Auditorio: acondicionamiento de aire con Sistema de Volumen Constante con equipo tipo autocontenido.
- Plantas Tipo: Sistema de Volumen Variable de Aire; extracción mecánica en sanitarios.
- Planta Azotea. Ubicación de equipos centrales de acondicionamiento de aire para el cuarto de máquina de elevadores.
- Sótanos: extracción mecánica (reposición de aire de manera natural).

Así mismo, en las plantas tipo de contará con los siguientes sistemas, (únicamente en caso de conato de incendio): extracción mecánica de humos por nivel; presurización en pisos y escaleras centrales.

### 3.3.9 VENTILACIÓN Y EXTRACCIÓN DE AIRE

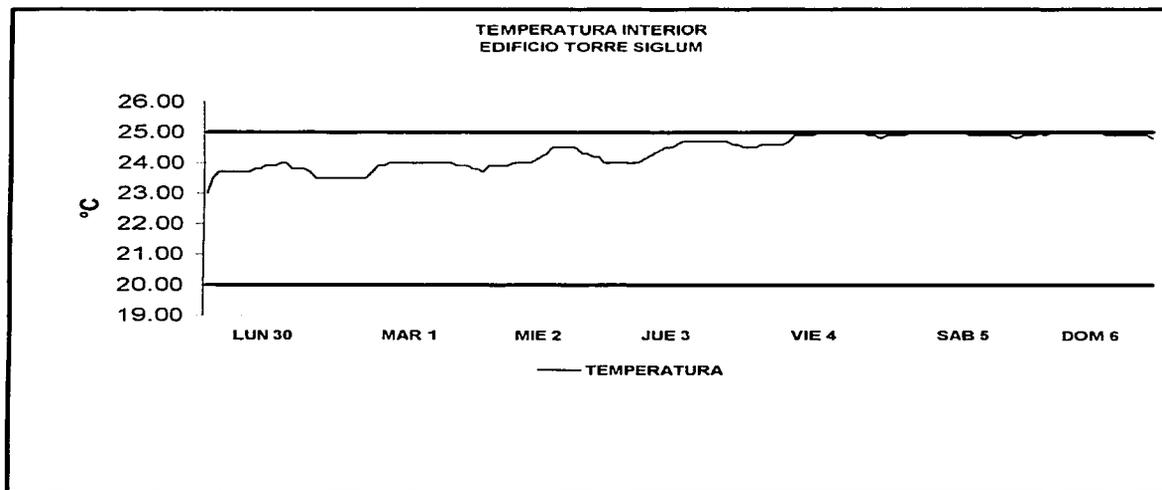
La ventilación de los estacionamientos combina la entrada del aire del exterior con la succión mecánica del aire viciado y su descarga al exterior por medio de 30 ventiladores ubicados 4 por cada nivel, los cuales descargan a ductos verticales de extracción, los cuales desfogan en las calles perimetrales.

La extracción de aire de los sanitarios se realizará por medio de un ducto vertical que los desfogará al exterior de la azotea a través de un ventilador mecánico.

### 3.3.10 TEMPERATURA Y HUMEDAD TORRE SIGLUM

El caso de estudio planteado en este trabajo de investigación es el del antes mencionado edificio Torre Siglum, en el cual se han tomado la temperatura y humedad relativa de este por dos semanas las cuales se muestran a continuación con el objetivo de compararlos con el cálculo térmico tomando en cuenta estos datos y los proporcionados por la estación meteorológica del colegio de Geografía de la UNAM.

En las graficas mostradas podrá observarse que se muestran las condiciones de comodidad para el humano en la Ciudad de México tanto en temperatura como en humedad relativa.



Grafica 3.9. Temperatura interior del lunes 30 al domingo 6 de octubre de 2002

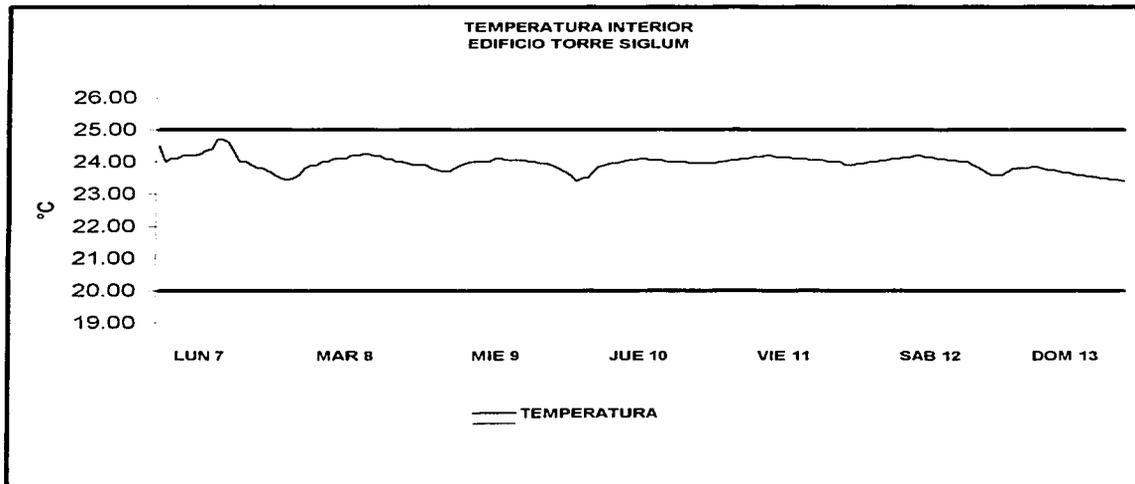


Grafico 3.10. Temperatura interior del lunes 7 al domingo 13 de octubre de 2002

Las graficas 3.9 y 3.10 nos muestran que las temperaturas registradas en este periodo de dos semanas se encuentran dentro de las zonas de confort de 20 °C a 25 °C, correspondiente al periodo de septiembre a noviembre.

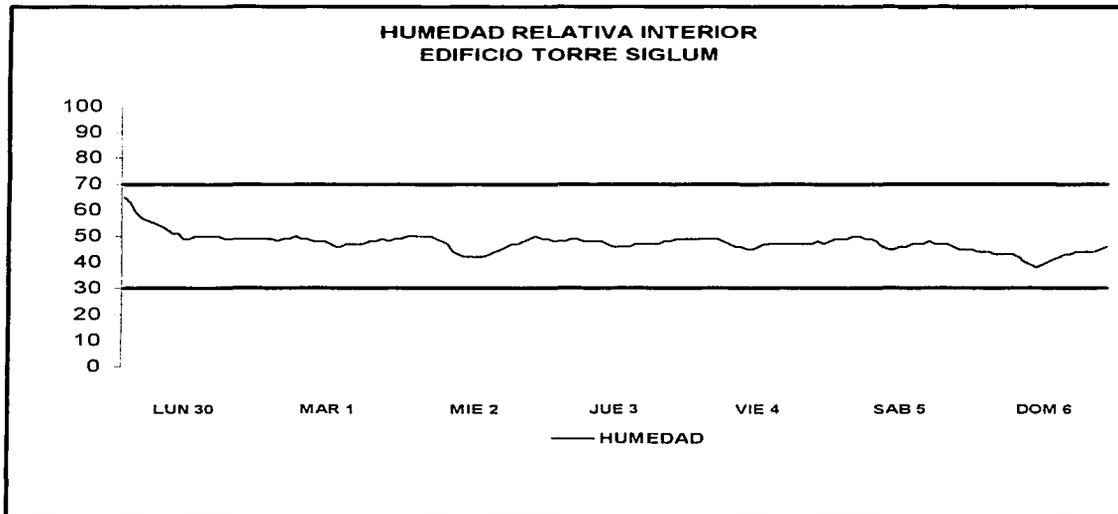


Grafico 3.11 Humedad Relativa interior del lunes 30 al domingo 6 de octubre de 2002

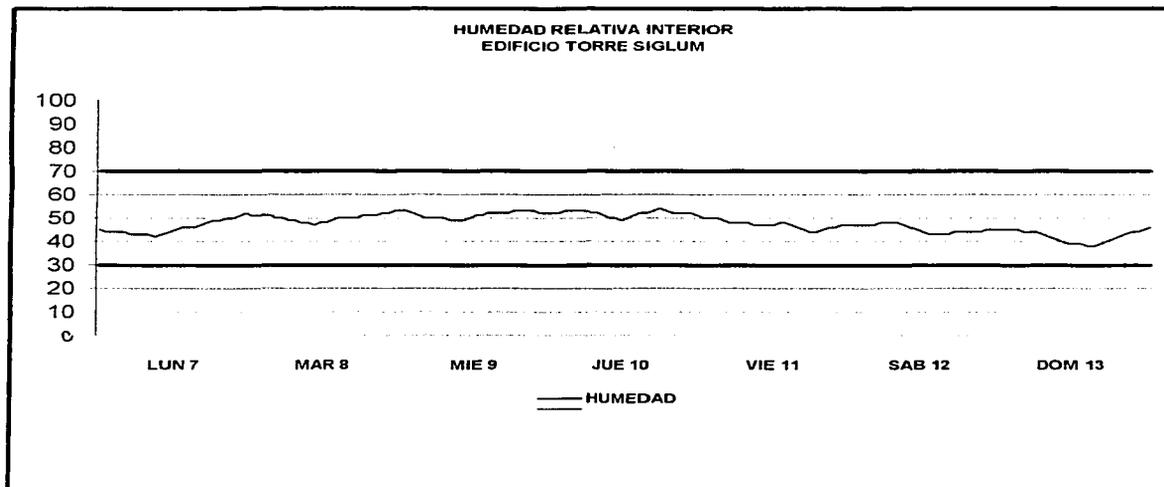


Grafico 3.12 Humedad relativa interior del lunes 7 al domingo 13 de octubre de 2002.

Por lo referente a la humedad relativa esta se encuentra a su vez también dentro de la zona de confort que va de un 30 % a un 70 % para la ciudad de México (Grafico 3.11 y 3.12)

---

## **Capítulo IV**

### *Estrategias para el ahorro de energía en la climatización de edificios*

---

En esta investigación se plantea la aplicación de los sistemas de máxima eficiencia energética apoyados por los sistemas de alta tecnología en una edificación, esto es, se pretende dar una solución alternativa de confort dentro de este espacio aplicando dichos sistemas de máxima eficiencia energética pero, apoyados con sistemas de alta tecnología (como lo son los sensores de temperatura y movimiento).

Una vez que tenemos los parámetros climáticos dentro de los cuales se tienen condiciones de comodidad en la Ciudad de México y por otra parte se tienen ubicadas las condiciones del clima en cuanto a temperatura y humedad a lo largo del año, planteamos la estrategia de diseño térmico adecuada para el edificio caso de estudio, es este caso el edificio Torre Siglum.

#### **4.1 ESTRATEGIAS DE CLIMATIZACIÓN PARA EDIFICIOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO**

El horario de ocupación de un edificio de oficinas, es de 8:00 a 20:00 horas en promedio. Horario que debe considerarse dentro de los parámetros de comodidad, para que los ocupantes tengan un mejor rendimiento en su trabajo.

Tomando de referencia la Tabla 3.2 Datos horarios anuales de temperatura y la Tabla 3.4 Datos horarios anuales de humedad relativa, se observa que el mayor número de horas se encuentra dentro de los parámetros de comodidad, sin embargo es necesario el calentamiento en la mañana y en menor grado las últimas dos horas del horario en estudio, exceptuando en primavera. El enfriamiento es requerido en la tarde en primavera principalmente a las 15:00 horas. Es necesario tomar en cuenta que estos datos son del medio ambiente y que dentro de un espacio definido por piso, muros y techo, los datos tendrán variaciones ya que no se está en relación directa con la radiación y viento entre otras, que afectan la temperatura disminuyéndola o incrementándola generalmente por una mala selección de los materiales de la envolvente del edificio.

Para la ciudad de México se pueden seguir las siguientes estrategias de sistemas de máxima eficiencia energética en cuanto a:

- Ubicación
- Forma y Orientación
- Características de Fachada
- Dispositivos de control solar
- Vegetación
- Ventilación

##### **4.1.1 UBICACIÓN**

La ubicación, en este caso por tratarse de la ciudad de México, está en relación principalmente con el entorno edificado de

la ciudad; en las ciudades se observan variaciones en el clima por el fenómeno denominado "isla de calor" básicamente por la alteración de los balances de calor e hídrico (Fig. 4.1.). Esto se debe a la sustitución del suelo natural por superficies de pavimento, piedra, concreto, tabique o metal, por las cuales el agua de lluvia escurre rápidamente disminuyendo el porcentaje de humedad. Además, la ciudad tiene una cantidad creciente de fuentes de calor y contaminación debidas a la industria y a los motores de combustión interna de los vehículos.<sup>62</sup>

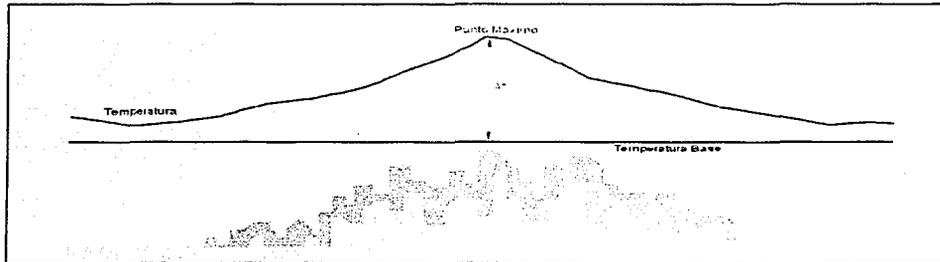


Fig. 4.1 Efecto de isla urbana de calor (Fuente: Vivienne Brophy, Crea O' Dowd, et. al. Sustainable Urban Design. Energy Research Group, University College Dublin)

En la ciudad de México, por situarse en una cuenca cerrada, los vientos durante el día son de la cuenca a la montaña y de manera inversa durante la noche, dichos vientos que deberían dispersar la energía calorífica acumulada en el centro de la ciudad y dispersar los contaminantes acumulados, al encontrarse con la topografía creada por las estructuras urbanas, provoca turbulencias en donde los vientos disminuyen considerablemente en intensidad. Los vientos en la noche por ser de la montaña a la cuenca de la ciudad concentran nuevamente los contaminantes sobre la ciudad; agravándose el problema si se tienen vientos débiles durante el día.<sup>63</sup>

En la ciudad de México el equipamiento en edificios se da básicamente por instalaciones de aire acondicionado, ya que la calefacción carece de importancia debido a lo benigno del clima invernal en la ciudad.<sup>64</sup> Debido a ello y al fenómeno "isla de calor" es necesario el enfriamiento de los edificios.

Si bien la mejor ubicación de los edificios es el límite de la cuenca por tenerse menos obstáculos para el viento conservando éste su velocidad. El edificio debe implementar recursos para

<sup>62</sup> JÁUREGUI ERNESTO, *Mesomicroclima de la Ciudad de México* p. 8

UNAM, Instituto de Geografía, México 1971

<sup>63</sup> MORALES DIEGO, Valdés Mauro, et. al. *Estudio para el ahorro de energía de edificios para la ciudad de México* p. 37 UNAM

<sup>64</sup> JÁUREGUI ERNESTO, *Mesomicroclima de la Ciudad de México* p. 8

UNAM, Instituto de Geografía, México 1971

aminorar el efecto de isla de calor, así como el de aminorar emisiones contaminantes a la atmósfera.

#### 4.1.2 FORMA Y ORIENTACIÓN

La forma optima del edificio dependerá de la ubicación geográfica de éste, de tal manera que dicha forma desprenda la mínima cantidad de energía en invierno y que absorba el mínimo en verano, proporcionando condiciones de comodidad para el humano.

La ciudad de México con una latitud cercana al Ecuador requiere de una forma alargada para reducir la exposición del este y sobretodo del oeste. Como ya se menciono, se requiere calentamiento principalmente en las primeras horas de la mañana por lo que la forma optima al este es la de planta circular; con lo que podemos tener un primer concepto de diseño en cuanto a la forma, siendo éste una combinación de dichas formas. Teniendo al este una forma circular, asumiendo cuidado especial en el tratamiento de esta orientación y no caer en un sobrecalentamiento del edificio, y al oeste la forma rectangular (Fig. 4.2)



Fig. 4.2 Configuración dimensional óptima en la ciudad de México.

Es importante ubicar los núcleos de servicios de manera tal que actúen como amortiguador solar, así en la ciudad de México el núcleo de servicios es factible colocarlo al este y principalmente al oeste, para que actúen en la protección de los ángulos bajos del sol en la mayor parte del día. (Fig. 4.3)

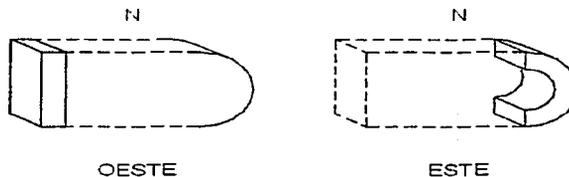


Fig. 4.3 Ubicación de núcleos de servicios en edificios de la ciudad de México.

### 4.1.3 CARACTERÍSTICAS DE FACHADA

La fachada en edificios en la ciudad de México deberá cumplir con características que le permitan el mínimo de ganancia de calor con el objetivo de disminuir la carga térmica. Así el grado de tersura deberá ser amplio en las fachadas este y principalmente al oeste y sur con el objetivo de tener el mayor número de área sombreada (Fig. 4.4).



Fig. 4.4 Características de Fachada. TERSURA, PERMEABILIDAD, TERSURA Y PERMEABILIDAD.

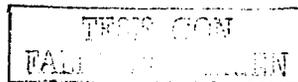
El grado de permeabilidad en una fachada corresponde a las aberturas del edificio, en la ciudad de México como estrategia es posible tener un alto grado de permeabilidad junto con un alto grado de tersura con el objetivo de disminuir la ganancia de calor por radiación solar.

En cuanto al acabado superficial del edificio es conveniente tener poca rugosidad, para de esta forma favorecer el intercambio por convección superficie - aire. Es conveniente la utilización de colores claros, ya que son reflectores, lo cual quiere decir que se tendrá menor cantidad de energía calorífica en comparación de los colores oscuros.

#### 4.1.3.1 FACHADAS ENERGETIZADAS

La fachada, como tercera piel del humano, de los edificios con alta tecnología, proveen de grandes beneficios, si tomamos en cuenta la incorporación de sistemas de alta resolución en la fachada de éstos. Dichos sistemas si bien resultan tener un elevado costo y actualmente tiene un mayor uso en Europa, pronto nuevos avances en la tecnología y porque no el desarrollo de una tecnología nacional, pueden bajar los costos de estos, con lo que sería mas factible su utilización en México.

El acristalamiento continua siendo un predominante elemento de forma y expresión en la arquitectura; nuevas tecnologías y mejores estrategias de integración, proporcionan el ímpetu para continuar cambiando la percepción de fachadas de



---

vidrio de "perdedores de energía", a "administradores de energía" y últimamente a "proveedores de energía".<sup>65</sup>

En la fachada de pueden utilizar vidrios con células de silicio policristalino, absorbentes y convertidores de energía solar en electricidad, vidrios de autolimpieza que impiden por medios electrostáticos la adherencia del polvo, de colorido variable durante el día y de transparencia total en la noche, vidrios curvos templados, blindados, inclusive vidrios que funcionen como pantallas o monitores de sistemas de computo, realidad virtual, red de lectura electrónica y telerrobótica en el "océano" digital; vidrios de inigualable diseño celosial, con acabados esmerilados para protección solar; aprovechando el surgimiento de las nanotecnologías.<sup>66</sup>

#### 4.1.4 DISPOSITIVOS DE CONTROL SOLAR

Los dispositivos de control solar permiten sombrear los vanos del edificio, de manera tal que se tenga menos ganancia térmica para el edificio. Los dispositivos se clasifican en dos tipos aleros y partesoles. Es recomendable en este tipo de edificio realizar el cálculo de éstos con base en la orientación definida para cada proyecto, debido al enorme volumen que se tiene en comparación de una casa habitación.<sup>67</sup>

Las ventanas como dispositivo de control solar son la clave para el diseño de baja energía, estas son elementos multifuncionales, las cuales tienen que:

- Proveer de luz natural al interior del edificio, sin causar deslumbramiento.
- Impedir el paso de exceso de calor solar
- Permitir contacto visual con el exterior
- Impedir el paso del ruido excesivo
- Proveer de un buen aislamiento
- Garantizar seguridad
- Permitir ventilación controlable del aire dentro del edificio

El diseño de ventana exitoso necesita encontrar el balance óptimo entre estas demandas. Esto puede ser difícil porque muchas de las demandas están directamente en contradicción con otras. Por ejemplo:

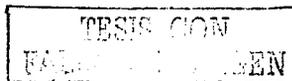
- Una ventana con una área grande será en general de beneficio en términos de penetración de luz natural y calor solar, pero un problema en términos de pérdida de calor, sobrecalentamiento y deslumbramiento.

---

<sup>65</sup> SELKOWITS E. STEPHEN. Integrating advanced facades into high performance buildings. *Building Technologies Department*. University of California, USA 2001 <http://eetd.lbl.gov/btp/papers/47948.pdf>

<sup>66</sup> Instituto Mexicano del Edificio Inteligente A. C., *Edificios Inteligentes I*, Fundación Casa del Arquitecto, A. C. México, D.F. p.58

<sup>67</sup> Ver 2.2.5 Dispositivos de control solar



- 
- Un valor alto de aislamiento del cristal reducirá la pérdida de calor en invierno, pero puede incrementar el sobrecalentamiento en verano, dependiendo de la temperatura exterior.
  - Un vidrio oscuro impide el paso de luz natural y de ganancia solar, por consiguiendo una reducción del sobrecalentamiento, pero al mismo tiempo será necesario utilizar la luz artificial por un periodo largo en el día, incrementando la ganancia térmica y el consumo de energía eléctrica.
  - Un mal diseño de las áreas acristaladas causara deslumbramientos, forzando a los ocupantes a usar dispositivos de sombreado; esto puede llevar a incrementar el uso de la iluminación artificial y consecuentemente ganancia térmica.

Por lo que respecta a las características del acristalamiento, dependerá del tipo de cristal en la hoja, el espesor del cristal, el número de hojas de cristal utilizadas, el espesor de la cámara entre las hojas de cristal y el tipo de gas en la cámara. Se utilizan tres valores clave para caracterizar el tipo de cristal.

El coeficiente de transmisión, también llamado el valor U, que expresa la pérdida de calor por  $m^2$  de acristalamiento por la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior ( $w/m^2k$ ).

La transmisión de luz, que expresa la fracción visible de luz natural transmitida a través del acristalamiento (%) en incidencia normal.

La transmitancia del calor solar, que expresa la fracción de calor solar transmitida por el acristalamiento (%) en incidencia normal.

En el caso de la ciudad de México, para reducir la penetración solar sin afectar tanto a las vistas como el vidrio de color, puede emplearse el vidrio reflectante. Sin embargo hay que tener en cuenta que esta solución reduce la transmisión de onda corta (calor) y la de onda larga. Es factible también la utilización del vidrio de baja emisión, ya que reduce la ganancia calorífica directa, transmitiendo una proporción mayor de luz que de calor; reduce las pérdidas caloríficas por reflexión del calor al propio espacio y tiene un aspecto similar al vidrio transparente, por lo tanto es útil en condiciones en que se requiera luz natural, bajando la ganancia solar. Los nuevos sistemas de vidrio "inteligente", mismos que solucionan los problemas derivados de los diferentes requerimientos del invierno y verano, se encuentran aún en fase de investigación, si bien algunos ya se encuentran en el mercado, estos resultan sumamente caros.

Actualmente el planteamiento sensible al medio ambiente tiende a fomentar el uso de vidrio transparente o de baja emisión, y siempre que sea posible en sus modalidades de alta calidad de vidrio doble o triple y con su adecuada protección solar por el sistema de parasoles.

#### 4.1.5 VEGETACIÓN

La vegetación dentro y fuera del edificio contribuye a disminuir no solo la carga térmica de este, sino que proporciona un ambiente más agradable de trabajo al proporcionar oxígeno y eliminar ciertos contaminantes de la atmósfera contribuyendo a un medio ambiente más saludable (Tabla 4.1).

PLANTA	FORMAL-DEHÍDO	BENZOL	TRICLORO-ETILENO
Plátano	89	-	-
Cáñamo	-	53	13
Crisantemo	61	54	41
<i>Dracoena deremensis</i> (Janet-Craig)	-	78	18
<i>Dracoena deremensis</i> (Warneckii)	50	70	20
<i>Dracoena deremensis</i> (massangeana)	70	-	13
<i>Dracoena deremensis</i> (amarilla jaspeada)	-	79	13
Aloe Vera	90	-	-
Hiedra	-	90	11
Hiedra del diablo	67	73	9
Espata	-	80	23
Lechetrezna	67	-	-
<i>Ficus benjamina</i>	-	-	11
Gerbera	50	68	35
Lirio verde	86	81	-
<i>Aglaonema</i>	-	48	-
<i>Philodendron domesticum</i>	86	-	-
<i>Philodendron oxycardium</i>	71	-	-
<i>Philodendron selloum</i>	76	-	-

Tabla 4.1 Filtros vegetales: porcentaje de absorción de contaminantes en 24 horas. (Fuente: Daniels, 1995)

La vegetación en fachada puede utilizarse como estrategia de enfriamiento, ya que puede rebajar la temperatura ambiente (en verano y en latitudes de clima templado como el de la ciudad de México). A su vez, las pérdidas de energía calorífica en el invierno pueden reducirse hasta en un 30 %. La vegetación en fachada de los edificios obstruye, absorbe y refleja un alto porcentaje de la radiación solar (Fig. 4.5).

La vegetación integrada al edificio puede hacerse de muy diversas maneras en el área de fachada, ya sea mediante jardineras ubicadas en los distintos niveles de la edificación o con zonas de vegetación continuas, logrando una contigüidad física entre las masas de vegetación (Fig. 4.6). Las jardineras tienen el inconveniente de necesitar de mayor mantenimiento. Es indispensable para un mejor desempeño de la vegetación el uso de la vegetación autóctona, que por ser originaria de la zona se obtiene un mejor desarrollo de ésta, necesitando menos mantenimiento y mejor rendimiento.

La vegetación en el área de azotea de los edificios, si bien solo cubre el área del último nivel, contribuye a disminuir la carga térmica del edificio y por lo tanto el efecto de isla de calor en las

ciudades. Además de tener menos caudales de agua destinados a los drenajes.

La vegetación en el interior de los edificios requieren de un área que les proporcione la energía solar requerida para su mejor desarrollo, por lo que se les ubica en las zonas acristaladas de las ventanas o si el edificio cuenta con un atrio pueden ubicarse dentro de esta zona.

#### 4.1.6 VENTILACIÓN

La ventilación natural en los edificios de la ciudad de México esta fundamentalmente en relación al grado de contaminación que se tiene, es sabido el alto índice de contaminación que se tiene y la tendencia a aumentar día a día, sin embargo el uso de sistemas de máxima eficiencia energética contribuye a disminuir la contaminación, específicamente la implementación de vegetación para eliminar ciertos contaminantes, con lo cual es posible el uso de la ventilación natural como estrategia para el enfriamiento del edificio.

De acuerdo a la dirección y velocidad de los vientos dominantes en la ciudad de México en los meses en que se requiere enfriamiento (primavera) la mayor captación se tiene del sureste. Como ya se menciona anteriormente debido a la ubicación y topografía de la ciudad de México, los vientos tienden a disminuir su velocidad por lo que es conveniente utilizar alternativas que aumenten la velocidad de este y tener un resultado mas favorable en el enfriamiento por ventilación natural, teniendo especial cuidado en no exceder la velocidad del viento y tener como consecuencia velocidades que afecten la comodidad de los ocupantes del edificio (Tabla 4.2).

VELOCIDAD EN m/s	EFECTO
Hasta 0.25	No se percibe
0.25 - 0.50	Comienza apenas a sentirse
0.50 - 1.0	Movimiento de aire muy suave, efectivo y agradable en tiempo cálido y húmedo
1.65	Máxima velocidad agradable sin efectos indeseables en trabajos de oficina
1.65 - 3.30	Puede comenzar a resultar molesto: los papeles comienzan a volar (3.30 m/s marca el tope deseable de velocidad en espacios interiores)
3.30 - 5.0	Brisa
5.00 - 10.00	Viento moderado
10.00 - 15.00	Vendaval

Tabla 4.2 Correlaciones entre magnitudes físicas y efectos sensibles. (Fuente: Tudela Fernando, Ecodiseño, México UAM 1982 p. 35)

El efecto del viento en los edificios dependerá de la forma geométrica del edificio, así como de la ventana y estos son

---

independientes de la velocidad del viento. Para un funcionamiento correcto del efecto de enfriamiento es recomendable considerar las observaciones estudiadas por Olgay (Fig. 4.7 a 4.12):

A. Planta

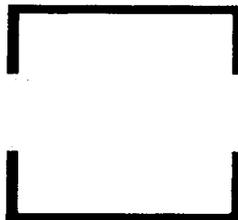


Fig. 4.7 El máximo flujo de aire se produce cuando se tienen aberturas de igual tamaño en muros opuestos (Fuente Olgay Víctor, Arquitectura y Clima p. 105)

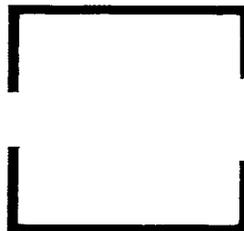


Fig. 4.8 Para tener una velocidad mayor en el viento es recomendable combinar una entrada de aire pequeña y una salida mas grande (Fuente Olgay Víctor, Arquitectura y Clima p. 105)

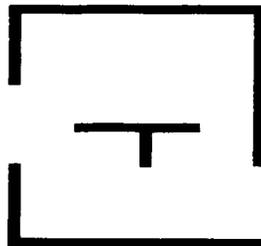


Fig. 4.9 Las divisiones paralelas al viento dividen el recorrido, pero mantienen una velocidad adecuada; efecto contrario al de las divisiones perpendiculares que alteran el flujo (Fuente Olgay Víctor, Arquitectura y Clima p. 107)

---

B. Alzado

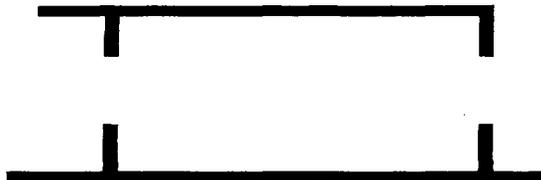


Fig. 4.10 Para incrementar el flujo del aire es recomendable implementar un volado que recoja corrientes de aire que de otra forma escaparían (Fuente Olgay Victor, Arquitectura y Clima p. 110)



Fig. 4.11 Si se sitúa un volado directamente sobre la ventana se tendrá un efecto desfavorable ya que el viento se dirigirá hacia arriba. Si a este volado o alero se le agrega una abertura para equilibrar las presiones externas, se tendrá un flujo de aire agradable (Fuente Olgay Victor, Arquitectura y Clima p. 111)



Fig. 4.12 Al tener una ventana pivotante dirigida hacia abajo, se tendrá un efecto refrescante ya que lo dirigirá hacia la zona de estar (Fuente Olgay Victor, Arquitectura y Clima p. 111)

Si a los modelos anteriores se les agrega humedad, a través de vegetación o agua se lograrán efectos refrescantes de mejor desempeño.

## 4.2 CASO DE ESTUDIO TORRE SIGLUM

El edificio Torre Siglum, caso de estudio, fue monitoreado registrándose la temperatura y humedad relativa de éste por dos semanas del 30 de septiembre al 13 de octubre, se compararon los resultados de este con el cálculo térmico realizado.

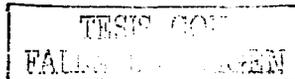
### 4.2.1 DIAGNÓSTICO TÉRMICO

Para efectuar el diagnostico térmico se tomaron tres días tipo, iniciando éste el día 4 de octubre (punto medio entre el mes mas frío y el más cálido), así como el 21 de mayo y 21 de enero (mes más cálido y más frío respectivamente); mismos que por medio del cálculo (Metodología de Cálculo Térmico de Dr. Sámano, Dr. Vázquez y Dr. Morales) arrojaron los resultados descritos en las siguientes tablas.

En el mes de octubre, (Tabla 4.3) se puede observar que la mayor parte del día se encuentra fuera de los rangos de comodidad para este mes, por lo cual es necesario plantear estrategias de enfriamiento para obtener mejores condiciones de comodidad.

HORA	TEMP. AMB. ° C	TEMP. INT. ° C	HUMEDAD EN %	RADIACIÓN W/M <sup>2</sup>
08:00	14.00	19.50	92.00%	142.59
09:00	15.00	27.44	77.00%	409.83
10:00	17.00	26.85	69.00%	470.21
11:00	19.50	24.95	51.00%	480.16
12:00	20.50	23.88	48.00%	601.65
13:00	23.00	25.13	42.00%	801.18
14:00	24.50	26.65	35.00%	557.55
15:00	26.00	28.74	32.00%	299.99
16:00	25.50	28.39	33.00%	79.01
17:00	24.00	28.62	34.00%	116.76
18:00	23.50	26.27	44.00%	19.87
19:00	22.50	24.58	75.00%	0
20:00	22.00	23.36	86.00%	0
21:00	21.00	22.32	87.00%	0
22:00	20.50	21.44	85.00%	0
23:00	19.00	20.37	86.00%	0
00:00	18.50	19.48	86.00%	0
01:00	18.00	18.81	85.00%	0
02:00	17.50	18.30	84.00%	0
03:00	17.00	17.74	87.00%	0
04:00	16.00	16.89	91.00%	0
05:00	15.00	16.24	91.00%	0
06:00	15.00	15.81	91.00%	0
07:00	14.50	15.82	90.00%	20.50
08:00	14.00	18.80	92.00%	142.59

Tabla 4.3 Cálculo de la temperatura interior del edificio Torre Siglum el día 4 de octubre.



En la siguiente tabla (Tabla 4.4) se observan las diferencias entre el cálculo realizado y las registradas por el termohidrógrafo en una planta tipo del edificio Torre Siglum. La mayor diferencia esta en 3.95 y la mínima en 0.15 °C. Se puede observar en ambas que el mayor numero de horas se requiere enfriamiento.

HORA	TEMP. CALCULO	TEMP. REGISTRADA	DIFERENCIA
08:00	19.50	23.45	3.95
09:00		24.60	2.84
10:00		24.70	2.15
11:00			0.15
12:00	23.88		1.02
13:00			0.23
14:00			1.75
15:00			3.84
16:00			3.39
17:00			3.62
18:00			1.27
19:00	24.58		0.52
20:00	23.36		1.64

Tabla 4.4 Diferencia de temperaturas entre el cálculo térmico y las registradas en el edificio Torre Siglum el día 4 de octubre.

El cálculo térmico de éste edificio en el mes más cálido (mayo), arroja los siguientes resultados (Tabla 4.5).

HORA	TEMP. AMB. ° C	TEMP. INT. ° C	HUMEDAD EN %	RADIACIÓN W/M <sup>2</sup>
08:00	11.84	21.14	72.86%	260.12
09:00	13.81	21.14	67.35%	414.76
10:00	16.23	21.14	60.60%	558.77
11:00	18.91	21.14	53.41%	670.74
12:00	21.51	25.41	46.65%	732.86
13:00	23.63	25.41	41.15%	734.93
14:00	25.02	25.41	37.55%	676.59
15:00	25.50	25.41	36.30%	567.46
16:00	25.33	25.41	36.75%	424.93
17:00	24.81	25.41	38.09%	270.33
18:00	23.98	25.41	40.25%	124.37
19:00	22.86	25.41	43.15%	2.96
20:00	21.51	25.41	46.65%	0
21:00	19.99	24.09	50.60%	0
22:00	18.36	21.97	54.83%	0
23:00	16.75	20.01	59.16%	0
00:00	15.23	18.19	63.39%	0
01:00	13.81	16.60	67.35%	0
02:00	12.56	15.21	70.85%	0

03:00	11.52	13.89	73.74%	0
04:00	10.74	12.59	75.91%	0
05:00	10.26	11.80	77.25%	0
06:00	10.10	11.23	77.70%	0
07:00	10.55	13.94	76.45%	115.37
08:00	11.84	19.86	72.86%	260.12

Tabla 4.5 Temperatura de cálculo térmico en el edificio Torre Siglum el día 21 de mayo en °C (mes mas cálido).

El cálculo térmico de este edificio en el mes mas frío (enero), arroja los siguientes resultados (Tabla 4.6).

HORA	TEMP. AMB. ° C	TEMP. INT. ° C	HUMEDAD EN %	RADIACIÓN W/M2
08:00	5.55	8.44	72.07%	95.00
09:00	7.76	14.18	67.15%	250.17
10:00	10.48	16.73	61.12%	409.38
11:00	13.46	17.75	54.69%	544.90
12:00	16.36	18.61	48.65%	631.53
13:00	18.72	20.12	43.73%	652.62
14:00	20.26	22.27	40.52%	604.06
15:00	20.80	25.50	39.40%	495.28
16:00	20.61	28.52	39.80%	346.97
17:00	20.03	28.33	41.00%	186.13
18:00	19.11	24.55	42.93%	39.67
19:00	17.86	21.93	45.52%	0
20:00	16.36	19.76	48.65%	0
21:00	14.67	17.84	52.18%	0
22:00	12.85	15.96	55.96%	0
23:00	11.06	14.10	59.83%	0
00:00	9.35	12.29	63.61%	0
01:00	7.76	10.65	67.15%	0
02:00	6.36	9.19	70.28%	0
03:00	5.19	7.77	72.86%	0
04:00	4.32	6.37	74.80%	0
05:00	3.78	5.50	75.99%	0
06:00	3.60	4.86	76.40%	0
07:00	4.10	4.55	75.29%	0.00
08:00	5.55	7.34	72.07%	95.00

Tabla 4.6 Temperatura de cálculo térmico en el edificio Torre Siglum el día 21 de enero en °C (mes mas frío):

#### 4.2.2 ADECUACIÓN TÉRMICA CON ESTRATEGIAS DE MÁXIMA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Los resultados obtenidos del cálculo energético sugieren estrategias de enfriamiento, mismas que no propicien pérdidas energéticas en invierno, principalmente en el mes de enero.

Un diseño adecuado en la ciudad de México, no requiere aire acondicionado debido al clima templado que se tiene, en el caso de estudio, al emplear solamente la ventilación natural se observa (Metodología de Cálculo Térmico de Dr. Sámano, Dr. Vázquez y Dr. Morales), que solo es necesario el enfriamiento con equipo electromecánico durante una hora (15:00 horas) en el mes más cálido(mayo) e intermedio(octubre).

En la siguiente tabla (Tabla 4.7) observamos la temperatura del día 4 de octubre (octubre mes con temperatura media entre el mes mas frío y el mas cálido) del edificio Torre Siglum en comparación si este tuviese ventilación natural con una área máxima de 13 m2 de ventila de los 238.060 m2 de área vidriada que este tiene, así como su respectiva diferencia en °C.

HORA	TEMP. CÁLCULO	TEMP. VENT. NATURAL	DIFERENCIA
08:00	19.50	19.50	0.00
09:00	27.44	23.45	3.99
10:00	26.85	22.09	4.77
11:00	24.95	21.48	3.47
12:00	23.88	22.05	1.83
13:00	25.13	24.45	0.69
14:00	26.65	24.71	1.94
15:00	28.74	27.97	0.77
16:00	28.39	23.22	5.16
17:00	28.62	22.95	5.66
18:00	26.27	23.27	2.99
19:00	24.58	22.54	2.04
20:00	23.36	21.97	1.39

Tabla 4.7 Diferencia de temperaturas entre el cálculo térmico con y sin ventilación natural, edificio Torre Siglum el día 4 de octubre en °C. (Ver 3.2.1 Confort mensual de la temperatura)

En el mes mas cálido, tomando como día de cálculo el 21 de mayo se observa que es necesario ampliar el área máxima de ventila a 15 m2 como máximo (Tabla 4.8)

HORA	TEMP. CÁLCULO	TEMP. VENT. NATURAL	DIFERENCIA
08:00	20.70	20.70	0.00
09:00	27.11	22.51	4.60
10:00	27.23	22.42	4.81

11:00	25.76	24.05	1.72
12:00	25.05	24.43	0.62
13:00	25.78	25.19	0.58
14:00	27.62	24.60	3.01
15:00	31.01	29.92	1.09
16:00	34.74	25.22	9.53
17:00	35.45	25.34	10.11
18:00	32.45	24.74	7.71
19:00	28.80	23.69	5.11
20:00	25.96	22.56	3.39

Tabla 4.8 Diferencia de temperaturas entre el cálculo térmico con y sin ventilación natural, edificio Torre Siglum el día 21 de mayo en °C. (Ver 3.2.1 Confort mensual de la temperatura)

En el mes mas frío, tomando como día de cálculo el 21 de enero se observa que es necesario reducir el área de ventila a solo 4 m2 como máximo (Tabla 4.9)

HORA	TEMP. CÁLCULO	TEMP. REGISTRADA	DIFERENCIA
08:00	8.33	8.33	0.00
09:00	14.14	14.14	0.00
10:00	16.66	16.66	0.00
11:00	17.68	17.68	0.00
12:00	18.56	18.56	0.00
13:00	20.10	20.10	0.00
14:00	22.27	22.27	0.00
15:00	25.49	23.60	1.88
16:00	28.46	23.67	4.80
17:00	28.20	24.78	3.42
18:00	24.37	22.60	1.77
19:00	21.76	20.57	1.19
20:00	19.60	18.80	0.80

Tabla 4.9 Diferencia de temperaturas entre el cálculo térmico con y sin ventilación natural, edificio Torre Siglum el día 21 de enero en °C. (Ver 3.2.1 Confort mensual de la temperatura)

El área máxima requerida de ventilación es de 15 m2 en el mes de mayo, el mas cálido, de 238,060 m2 de área vidriada de este edificio. La altura de piso a plafond con la que cuenta este edificio es de 2.70 m, lo que se requiere es tomar 0.18 m para área de ventila en todo su perimetro de área vidriada (Fig. 4.13) con lo que lograríamos alcanzar las temperaturas que muestran las anteriores tablas (Tablas 4.7 a 4.9).

El argumento en contra de la ventilación natural es que se produce la entrada de aire contaminado y de ruido al interior del edificio, factores que podrían anular la posibilidad de la ventilación natural, con lo que habría que plantear otro tipo de estrategias tales

Fig. 4.13 Alzado de planta tipo del edificio Torre Siglum, proponiendo ventilación natural en la parte superior del area acristalada con una ventana pivotante hacia abajo para lograr un efecto agradable.

como el uso de dispositivos de control solar y una adecuada selección de los materiales a utilizar en el edificio.

### 4.3 COSTO BENEFICIO

El análisis costo beneficio de un edificio que cuenta con sistemas de máxima eficiencia energética, es sin duda una alternativa que lleva a un ahorro de energía y por consecuencia disminución de contaminación a la atmósfera.

La planta tipo del edificio Torre Siglum en el día tipo del mes más cálido tiene un exceso de 43.14 KW, lo cual requiere un equipo de aire acondicionado de 13 Toneladas de refrigeración (43.14/3.517), sin tomar en cuenta la inversión del equipo y mantenimiento de éste, el costo de operación del equipo es el siguiente en base al cálculo de la potencia<sup>68</sup> de este.

$$\text{Pot} = \text{c.t.} / \text{c.e.m.} \times \text{c.f.}$$

Donde

Pot = Potencia del equipo en KW

c.t. = Suma de las cargas térmicas del día

c.e.m. = Coeficiente de eficiencia de la maquina (0.4)

c.f. = Coeficiente de diseño, teórico típico (6)

Con lo que tenemos una Potencia de: 75 KW, que multiplicado por la tarifa eléctrica de la zona de la ciudad de México, se tendría un costo mensual de operación de:

	Carga KW	Precio Unitario	Precio Total
Costo Total Diario	75	\$0.5194	\$38.955
Costo Total Mensual			\$1,168.65
Costo por 16 Plantas Tipo			\$18,698.40

Tabla 4.10 Costo Mensual por consumo de energía eléctrica en aire acondicionado por planta tipo.

Aplicando ventilación natural se tiene un exceso de 25.55 KW, por lo que se requiere un equipo que cubra 7 Toneladas de refrigeración (25.55 KW / 3.517). Con lo que tenemos una potencia de 54 KW. Multiplicando este resultado por la tarifa eléctrica de la ciudad de México tenemos:

	Carga KW	Precio Unitario	Precio Total
Costo Total Diario	25	\$0.5194	\$12.985
Costo Total Mensual			\$389.55
Costo por 16 Plantas Tipo			\$6,232.80

Tabla 4.11 Costo Mensual por consumo de energía eléctrica en aire acondicionado por planta tipo con sistemas de máxima eficiencia energética.

<sup>68</sup> Morales Ramírez, José Diego, Climatización Natural de Edificios en Clima Cálido. Tesis UNAM, Facultad de Arquitectura 1989

La diferencia entre pagar \$18,698.40 y \$6,232.80 por 16 plantas tipo del edificio, esta en dejar de pagar el 66.66 % del total mensual(Gráfico 4.1).

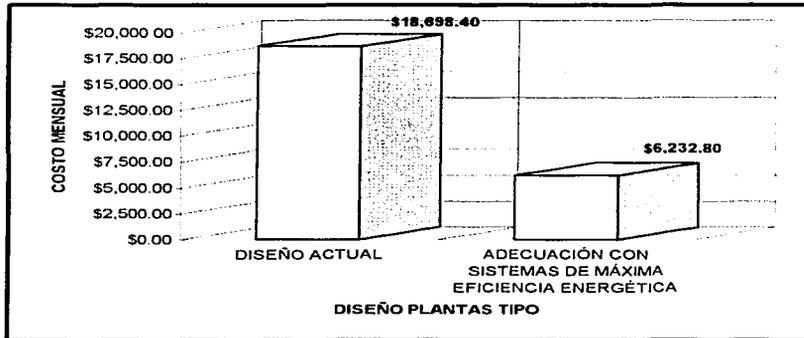


Gráfico 4.1 Costo Mensual de consumo de energía eléctrica de equipo de aire acondicionado.

Si consideramos que la memoria de diseño del edificio considera un consumo de 51.12 KW por planta tipo y en aire acondicionado ocupamos 43.14 KW, observamos que se ocupa un 84 % de esta energía básicamente en el enfriamiento por aire acondicionado (Gráfico 4.2).

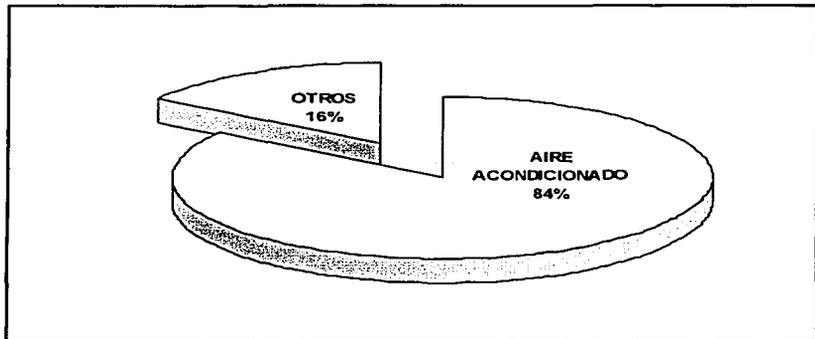


Gráfico 4.2 Porcentaje de carga utilizada por aire acondicionado en planta tipo del edificio Torre Siglum.

---

Si se desea saber cuanto dinero se ahorrara en un periodo de tiempo más amplio, es conveniente emplear el criterio de valor presente (VP), el cual será la diferencia entre los ingresos y los egresos que se tengan en valor presente, es decir el beneficio será la diferencia entre ingresos y egresos.<sup>69</sup>

Si se ahorran mensualmente \$ 12,465.60, podemos estimar cuanto se puede dejar de cubrir en uno, cinco o diez años; si consideramos que el costo de la energía eléctrica tiene una tasa de crecimiento del 1.6 % mensual. Entonces se tiene la siguiente fórmula:

$$VP = A \cdot \frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i}$$

donde:

VP es el valor presente.  
A es la cantidad que se ahorra mensualmente (\$12,465.60).  
i es la tasa de crecimiento del costo de la energía (0.016).  
n es el periodo de tiempo en meses.

De tal forma que en un periodo de un año el valor presente es de 134,784.30 lo cual quiere decir que se dejaría de pagar en un año lo que actualmente sería \$134,784.30. en un periodo de cinco años se dejaría de pagar lo que ahora equivaldría a \$478,367.40; y en 10 años \$663,014.10 .

---

<sup>69</sup> LOPEZ J., Morillón David, et. al. Costo - Beneficio del Ahorro de Energía en los Diseños Bioclimáticos. *Energía racional, Revista informativa del ahorro de energía eléctrica*. FIDE. Año 10, Numero 39, México, D.F. p.5

---

## ***Conclusiones***

---

En el desarrollo de este trabajo de investigación, tomando como punto base los sistemas de máxima eficiencia energética aplicados a los edificios con alta tecnología, se planteó como estrategia para reducir el consumo de energía eléctrica el uso de la ventilación natural como estrategia de enfriamiento en el caso de estudio el edificio Torre Siglum, y en el cual se puede obtener un ahorro de hasta el 66.66 % de energía eléctrica.

El uso de la ventilación natural en la ciudad de México tiene como principal desventaja la contaminación que se tiene. Sin embargo, no podemos tomar como solución absoluta el uso de los sistemas de aire acondicionado dentro de los espacios arquitectónicos ya que no nos encontramos todo el tiempo dentro de estos, además de que la mayor parte de la población no cuenta con dicho sistema. El desplazarse de un lugar a otro implica estar en relación directa con el medio ambiente así como el uso de los espacios exteriores de una edificación y de la ciudad misma. Por lo cual es necesario voltear hacia los sistemas de máxima eficiencia energética a través de los cual pudiéramos rescatar la calidad del aire y con ello disminuir la facturación de energía eléctrica. Un ejemplo claro es el uso de la vegetación que no solo contribuye a disminuir la carga térmica de una edificación y producir oxígeno. También puede absorber ciertos contaminantes de la atmósfera como el formaldehído.

El medio ambiente de las ciudades, en especial el de la ciudad de México por ser una de las que posee el mayor índice de población y de contaminación, cada vez registra mayores alteraciones que agravan las condiciones de salud para sus habitantes, por lo que la implementación de sistemas de máxima eficiencia energética es uno de los caminos viables para lograr un freno a la degradación del medio no solo de las ciudades, sino de los depósitos no renovables y renovables de energía que la naturaleza nos ofrece.

Las estrategias de ahorro energético parten desde la etapa de diseño, mismas que dependerán de la agudeza del equipo de diseño tomando conceptos básicos de los sistemas de máxima eficiencia energética, mismos que evolucionarán con el estudio de las condiciones climáticas del emplazamiento de proyecto apoyados por la constante evolución tecnológica de los sistemas aplicables a la arquitectura.

El desarrollo de las estrategias forma parte integral de las relaciones con el medio ambiente, por lo que el arquitecto debe tener conciencia del impacto que se genera en el medio, contribuyendo a disminuir el índice de contaminación, no solo en la fase constructiva y operativa del edificio, sino desde la incorporación misma de los materiales que utilizan un gasto considerable de energía en la fabricación y transportación de éstos.

El edificio con alta tecnología es una alternativa arquitectónica con un gran futuro por sus bases de diseño y conceptualización de éste al hacer una integración global de sus

---

componentes para de esta forma tener una maximización de sus recursos.

El ahorro de energía no solo es fundamental para la conservación de nuestras fuentes de energía y disminuir la contaminación emitida a la atmósfera, también lo es para la inversión dentro del sector constructivo al disminuir al mínimo el equipo requerido de aire acondicionado.

Los conceptos de diseño juegan un papel fundamental dentro del ahorro energético, ya que a partir de éstos empieza la racionalización de energía, dichos conceptos tendrán en cuenta los materiales a emplear y de esta forma contribuir a mejorar la calidad del medio ambiente.

La hipótesis planteada al inicio de este trabajo de investigación establece que *a través del uso de sistemas de máxima eficiencia energética en los edificios con alta tecnología de la ciudad de México se puede racionalizar el uso de la energía, teniendo como consecuencia disminución en el consumo de ésta y en emisiones contaminantes a la atmósfera, además del ahorro económico en la facturación eléctrica.*

La hipótesis planteada se cumple ya que con el uso de los sistemas de máxima eficiencia energética, se reduce el uso de los sistemas electromecánicos en el enfriamiento de edificios y se mantienen las condiciones de comodidad para el humano que labora en este tipo de edificios. En el análisis costo beneficio se observa que es una alternativa viable para disminuir la facturación eléctrica así como las emisiones contaminantes a la atmósfera y como valor agregado es posible que mediante estos sistemas sean eliminados ciertos contaminantes.

El objetivo general de esta tesis de investigación se cumple, al ofrecer bases sobre conceptos de diseño como sistemas de máxima eficiencia energética y que al ser aplicados en este caso al edificio Torre Siglum observamos la efectividad de dichos sistemas, en el caso de estudio, es posible ahorrar 2/3 (66.66 %) partes de la energía consumida por este en aire acondicionado.

Los sistemas de máxima eficiencia energética; localización de proyecto, conceptos de diseño arquitectónico y sistemas operativos o de climatización pasiva; están en relación directa con los recursos que la naturaleza nos ofrece, mismos que debemos conservar para no rebasar la flexibilidad que el medio ambiente nos ofrece.

El beneficio obtenido, además de darse en la facturación eléctrica, también se refleja en la conservación y racionalización de la energía, así como en la disminución de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Los sistemas de máxima eficiencia energética son sin duda el horizonte más cercano para preservar el medio ambiente y con ello llegar a una arquitectura sustentable, en la que se incorpore el

---

mínimo consumo de energía, desde la selección de materiales, mismos que deben incorporar el mínimo de energía para su fabricación y transportación.

A partir de este trabajo de investigación, es posible desarrollar otros, o bien que den continuidad a la presente; el campo de acción es amplio ya que los edificios, en especial los de gran altura resultan ser menos estudiados en relación a las construcciones ligeras (casa - habitación).

Los trabajos de investigación desarrollados en esta área pueden contribuir a elaborar la normatividad o bien a revisar la existente, con el propósito de mejorarlas.

El cuidado del medio ambiente es una responsabilidad que debemos asumir todos los habitantes, en especial quienes tengan poder de decisión en el destino de los recursos que nos ofrece la naturaleza, tal es el caso de todos los que nos encontramos involucrados en la creación y/o construcción de espacios. Debemos elegir los sistemas constructivos y materiales que mantengan una relación tolerable con el medio ambiente, es decir, no rebasar la flexibilidad que este nos ofrece.

El uso eficiente de la energía esta en función de la racionalización que se tenga de ésta. El problema del ahorro de energía requiere del esfuerzo de las autoridades públicas, privadas y sociales, así como de toda la población para tener resultados que nos lleven a preservar el medio ambiente y con ello lograr tener una mejor calidad de vida.

El resultado obtenido del análisis costo beneficio en un clima como el de la ciudad de México, implementando no solo la ventilación natural (ahorro de hasta el 66.66 %) como estrategia de enfriamiento, puede llegar a tener un ahorro de hasta el 100 % debido a las condiciones climáticas de la ciudad de México. Si comparamos estos valores con un clima extremo como el de la ciudad de Monterrey, en el cual se puede llegar a tener un ahorro energético de hasta el 85 %<sup>70</sup> empleando diversas estrategias de enfriamiento en una casa habitación, en este caso debido a las condiciones extremas de la ciudad de Monterrey no es tarea fácil llegar a considerar un ahorro energético del 100 %.

Sin duda en el caso de la ciudad de México se pueden llegar a alcanzar grandes cantidades de ahorro energético, si el proyectista emplea adecuadamente los sistemas de máxima eficiencia energética; este ahorro no solo es factible obtenerlo en edificios con alta tecnología, ya que es posible implementarlo en otros géneros de edificios.

La ciudad de México nos ofrece un rango de comodidad, en cuanto a temperatura se refiere de entre los 19.74 °C y 24.74 °C.

---

<sup>70</sup> NEGRETE M. ANABEL, *Estrategias de acondicionamiento natural para el ahorro de energía en el sector residencial, caso Monterrey, N. L.* Tesis de maestría en arquitectura; México, D.F. Programa de maestría y doctorado en arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 1999, p. 97

---

éstos parámetros pueden ser cubiertos con sistemas de máxima eficiencia energética, debido a las bondades del clima en la zona de la ciudad de México; por lo que se refiere a la humedad relativa, se esta en condiciones de comodidad entre el 30% y 70%, en la ciudad de México la mayor parte del día durante todo el año se encuentra dentro de estos parámetros; por lo que la humidificación del aire es factible utilizarla para disminuir la temperatura en los meses más cálidos (abril, mayo y junio), mismos que se encuentran dentro de los meses con mayor tiempo de radiación y mayor radiación (la mayor radiación se tiene en le mes más cálido que corresponde al mes de mayo).

La mayor precipitación pluvial en la ciudad de México se tiene de junio a septiembre (finales de primavera y todo el verano), después del mes más cálido (mayo). En estos meses disminuye la velocidad del viento con un promedio mensual de 1.98 m/s, respecto del mes de mayo que tiene una velocidad de 2.33 m/s. El mayor índice de días nublados se registra durante la temporada de lluvias con un promedio mensual de 6.63 días. Al estar en relación directa la insolación, ésta registra sus datos mínimos en temporada de lluvias.

El bioclima de la ciudad de México, nos ofrece enormes posibilidades de ahorro energético; si aunado a esto consideramos las ventajas que la tecnología ofrece, podemos lograr interesantes soluciones en respuesta a las necesidades que debe cubrir un edificio con alta tecnología. Éstas soluciones deberán tener sus bases en los sistemas de máxima eficiencia energética para preservar el medio ambiente de la ubicación del proyecto así como de las fuentes de energía que actualmente utilizamos.

Sin duda el quehacer de investigación es grande en éste campo de la arquitectura, por lo que será necesario que el arquitecto trabaje cada vez más en esta área, realizando trabajos de investigación que lo lleven a soluciones cada vez mas armónicas con el medio ambiente

---

## ***Bibliografía***

---

American, Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. **ASHRAE Handbook**  
1985 Fundamentals

**BERNARDINE, John The design of intelligent buildings.**

**BLACKWELL, William. La geometría en la arquitectura.** Ed.  
Trillas. México. 1991

**COMPAGNO, Andrea Inteligent glasfassaden**  
Basel, Switzerland: Birkhauser, 1996  
Biblioteca Facultad de Arquitectura UNAM  
NA 2840 C6618

**CROSSON, Frederick James Inteligencia humana e inteligencia artificial**  
Fondo de cultura económica, 1975, México  
Biblioteca Facultad de Arquitectura UNAM  
BD 450 C75

**D. A. Samano. Sistemas Pasivos** (Edificios Confortables de Máxima Eficiencia Energética), Notas del Curso de Actualización en Energía Solar, IIM-UNAM-LES, Temixco, Morelos, abril de 1988.

**GIVONI, Baruch. Climate Considerations in Building and Urban Design.** Van Nostrand Reinhold Unites States of America. 1998

**H. TAPPAN, Coppel, Mortimer Edificios Inteligentes**  
México: UNAM, 1995, 192p.

Instituto Mexicano del Edificio Inteligente A. C., **Edificio inteligente: una guía para lograrlo.**  
México. 20 p.

Instituto Mexicano del Edificio Inteligente A. C., **Edificios Inteligentes I**  
Fundación Casa del Arquitecto, A. C.  
México, D.F. Marzo 2000

**JÁUREGUI, Ernesto. Mesomicroclima de la ciudad de México.**  
UNAM. Instituto de Geografía, México 1971.

**KING, Delia., Acondicionamiento bioclimático**  
Universidad Autónoma Metropolitana, México 1995

**LORENTE, Santiago La casa inteligente: hacia un hogar interactivo y automático**  
Madrid, España: Fundesco. 164 p.

Microsoft, **Enciclopedia Encarta 99.** 1993-1998 Microsoft Corporation.

**MORALES, José Diego Climatización de edificios en clima cálido**  
México, 1989  
Biblioteca Posgrado de Arquitectura UNAM

---

MORALES, Diego, Valdés Mauro, et. al. **Estudio para el ahorro de energía de edificios para la Ciudad de México.** UNAM

OLGAY, Víctor. **Arquitectura y Clima**, Ed. Gustavo Gili, Barcelona.

Passive solar commercial and institutional buildings. **A Sourcebook of Examples and Design Insights.** Ed. R. Hastings IEA Solar heating and cooling program task XI.

RIEWOLDT, Otto **Intelligent spaces**  
London: Laurence King, 1997  
Biblioteca Facultad de Arquitectura UNAM  
TH 6012 R54

RUDOFKY, Bernard. **Constructores Prodigiosos.** México, Ed. Concepto, S. A., 1988

SANABRIA, Atilano Enrique, **Necesidades arquitectónicas en la construcción del edificio inteligente**  
México, p. 4-7.

SERRA, R., **Clima Lugar y Arquitectura**  
Ciemat, España 1989

SERRA, Rafael., **Arquitectura y energía natural**  
Universidad Politécnica de Cataluña

TLATELPA, Verónica Elizabeth **Modulación en edificios que implementan alta tecnología**  
México, 1999  
Biblioteca Posgrado de Arquitectura UNAM

TUDELA, Fernando. **Ecodiseño.** UAM. Xochimilco, México. 1982.

VAZQUEZ, Alejandro **Oficinas Inteligentes**  
México, D.F. 1997  
Biblioteca Posgrado de Arquitectura UNAM

YEANG, Ken., **The skyscraper bioclimatically considered**  
Academy Editions, Malaysia 1996

YEANG, Ken., **El rascacielos ecológico**  
Editorial Gustavo Gili, S.A.  
España 2001

ZOKOLAY S. V. **Energía solar y edificación.** Editorial Blume. Barcelona 1978

---

## REVISTAS

FRIEDMAN Rafael. Eficiencia energética y reforma al sector eléctrico mexicano. **Energía racional**, Revista informativa del ahorro de energía eléctrica, FIDE. Año 10, Numero 39, México, D.F.

LOPEZ J., Morillón David, et. al. Costo – Beneficio del Ahorro de Energía en los Diseños Bioclimáticos. **Energía racional**, Revista informativa del ahorro de energía eléctrica, FIDE. Año 10, Numero 39, México, D.F.

GARCIA, Muriel Ignacio. El aire acondicionado y el plástico. Instalaciones, **Revista de Ingeniería** Editorial Albatros Año 4, Numero 48, México, D.F.

LEÓN, Márquez Mauricio. LG una solución a los retos de mantenimiento en el mercado hotelero. Instalaciones, **Revista de Ingeniería**, Editorial Albatros Año 4, Numero 48, México, D.F.

ORTEGA S, Zarco N, y López F., **Obras** Grupo Editorial Expansión Año XXVIII / No 338 / Febrero 2001

R. Zmeureanu and L. Pasqualetto: Selection of energy conservation measures in a large office building using decision models under uncertainty. **Architectural Science Review** 43.2, June 2000, p. 61-65

## SITIOS DE INTERNET

<http://www.imei.org>  
<http://www.conae.gob.mx>  
<http://www.fide.org.mx>  
<http://www.nova.es/%7emromero/domotica/domotica.htm>  
<http://www.domotique-news.com/>  
<http://www.domointel.com/>  
<http://www.edificios-inteligentes.com/>  
<http://www.thi.com.ar/sensores.html>  
<http://www.architecture.about.com>  
<http://www.construction.about.com>  
<http://www.arttech.about.com>  
<http://www.architectureweek.com>  
<http://www.aiaonline.com>  
<http://www.dgbiblio.unam.mx>  
<http://www.sciam.com>  
<http://www.nln.com>  
<http://www.ies-def.upm.es/ies/esp/links/>  
<http://www.censolar.es/menu10.htm>  
<http://www.erg.ucd.ie>

---

## ***Glosario De Términos***

---

**Alta tecnología:** Referente a los edificios que incorporan la maximización de sus recursos naturales y artificiales a través de la racionalización para obtener su mejor eficiencia energética.

**Alta resolución:** Equipo que incorpora la tecnología mas avanzada hasta el momento para obtener un comportamiento cada vez mas optimo dentro de determinado sistema.

**Absortancia:** Es una propiedad óptica superficial y se refiere al porcentaje de la radiación que absorbe dicha superficie.

**Calor especifico:** Cantidad de calor requerido para elevar un grado la temperatura de una masa dada de cualquier sustancia, en relación a la cantidad de calor requerido para elevar un grado a la temperatura de una masa equivalente de una sustancia prototipo (usualmente el agua a 15 °C).

**Conductancia térmica:** Velocidad de un flujo de calor a través de un cuerpo (frecuentemente por unidad de área) desde una de sus superficies, ligada a otra por una diferencia de temperatura unitaria entre las dos superficies, bajo un régimen permanente.

**Conductividad térmica:** Velocidad de flujo de calor a través de una unidad de área y unidad de espesor de un material homogéneo bajo un régimen permanente. Cuando un gradiente de temperatura unitario se mantiene en dirección perpendicular al área. Un material se considera homogéneo cuando el valor de la conductividad térmica no se ve afectado por la variación de espesor, o en el tamaño de las muestras que se usan comúnmente en la construcción.

**Convección de calor:** La convección es un fenómeno combinado de transporte de calor por difusión aumentada por el movimiento de partículas en un fluido.

**Convección natural de calor:** Se da cuando el movimiento convectivo es debido a las diferencias de temperatura en el fluido.

**Densidad:** Relación de la masa de una muestra de material de una sustancia con el volumen de dicha muestra, la masa por la unidad de volumen de la sustancia (peso por unidad de volumen).

**Emitancia:** Es una propiedad óptica superficial y se refiere al porcentaje de calor que emite por radiación un cuerpo comparado con el cuerpo negro que es el radiador ideal.

---

**Insolación:** Término aplicado específicamente a la radiación de la energía solar.

**Irradiación:** Energía solar incidente en una superficie, por unidad de área, encontrada al integrar la irradiancia en un periodo de tiempo.

**Irradiancia:** Energía solar incidente en una superficie por unidad de área y por unidad de tiempo.

**Masa:** La cantidad de materia en un cuerpo.

**Radiación:** Es la energía electromagnética emitida, transferida o recibida.

**Radiación solar :** Término genérico para la energía del sol.

**Sistema:** Conjunto de cosas o partes coordinadas según una ley, o que, ordenadamente relacionadas entre sí, contribuyen a determinado objeto o función

**Transmitancia:** Es una propiedad óptica y se refiere al porcentaje de radiación que atraviesa un material con respecto a la que incide sobre su superficie.

---

## ***Apéndice***

---

## Metodología de Cálculo Térmico de Dr. Sámano, Dr. Vázquez y Dr. Morales

El método de cálculo se basa en:

- Datos de latitud, longitud y altitud.
- Características climatológicas como: temperatura, humedad relativa, radiación y vientos.
- Características físicas de los materiales como: espesor, conductividad térmica, absorción y emitanza.

La metodología de cálculo se desarrolla de la siguiente forma:

Se inicia el proceso del cálculo para conocer la ganancia total de calor cada hora del día de cálculo, empleando la siguiente expresión:

$$\Sigma Q_{LOAD} = Q_{COND} + Q_{SHG} + Q_{INF} + Q_{VENT} + Q_{MET} + Q_{LIGHT}$$

Donde:

$\Sigma Q_{LOAD}$  es la carga de Calor Total.

$Q_{COND}$  es la ganancia de Calor por Convección.

$Q_{SHG}$  es la ganancia de Calor por Radiación Solar Directa.

$Q_{INF}$  es la ganancia de Calor por Infiltración.

$Q_{VENT}$  es la ganancia de Calor por Ventilación.

$Q_{MET}$  es la ganancia de Calor por Persona.

$Q_{LIGHT}$  es la ganancia de Calor por Equipo Eléctrico.

La descripción de cada una de estas variables empleadas en la anterior expresión es la siguiente:

- a) La ganancia de Calor por Convección ( $Q_{COND}$ ) se obtiene de la siguiente manera:

Para superficies expuestas al Sol se utiliza la expresión:

$$Q_{COND} = U \cdot \text{Área} \cdot (t_{sol/aire} - t_{interior})$$

Para superficies sombreadas se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_{COND} = U \cdot \text{Área} \cdot (t_{ambiente} - t_{interior})$$

donde:

$U$  es el Coeficiente Global de Transferencia

$t_{sol/aire}$  es la temperatura sol / aire.

Para obtener el Coeficiente Global de Transferencia se utiliza la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{hc} + \frac{1}{h_i}}$$

Donde:

U es el Coeficiente Global de Transferencia.  
e es el espesor del material.  
hc es el Coeficiente del Aire Interior entre dos muros.  
he es el Coeficiente de Convección del aire exterior.  
hi es el Coeficiente de Convección del aire interior.  
k es la Conductividad Térmica del material.

La temperatura sol / aire se define en la siguiente expresión:

$$T_{\text{sol/aire}} = t_{\text{ambiente}} + \left( \frac{Ht \cdot \alpha}{h_o} \right) - \left( \frac{Dr \cdot \varepsilon}{h_o} \right)$$

donde:

Ht es la Radiación Solar Global.  
 $\alpha$  es la absorptancia de la superficie.  
 $\varepsilon$  es la emitancia de la superficie.  
ho es el coeficiente de convección mas un coeficiente de radiación.  
Dr es la diferencia entre la radiación de onda larga incidente sobre la superficie que proviene del cielo y medio ambiente, y la radiación emitida por un cuerpo negro a la temperatura del aire exterior.

- b) La ganancia de Calor por Radiación Solar Directa ( $Q_{\text{SHG}}$ ) se obtiene de la siguiente manera:

$$Q_{\text{SHG}} = A_v \cdot F_c \cdot Ht$$

donde:

$A_v$  es el área de la ventana.  
 $F_c$  es la fracción de la radiación solar que pasa por la ventana.

- c) La ganancia de Calor por Infiltración ( $Q_{\text{INF}}$ ) se obtiene de la siguiente manera:

Para el Calor por Infiltración Sensible:

$$Q_{\text{INFS}} = 0.278 \cdot \text{CAMB} \cdot \text{Vol} \cdot \rho \cdot \text{Cpa} \cdot (t_{\text{amb}} - t_{\text{int}})$$

y por Calor por Infiltración Latente:

$$Q_{\text{INFL}} = 0.278 \cdot \text{CAMB} \cdot \text{Vol} \cdot \rho \cdot H_{\text{vap}} \cdot (w_{\text{amb}} - w_{\text{int}})$$

donde:

CAMB son los cambios de aire.  
Vol es el volumen del espacio.  
 $\rho$  es la densidad del aire.  
Cpa es el calor específico del aire.  
 $t_{\text{amb}}$  es la temperatura ambiente.

---

$t_{int}$  es la temperatura interior.  
 $H_{vap}$  es el calor latente de vaporización.  
 $W_{amb}$  es la humedad ambiente.  
 $W_{int}$  es la humedad interior.

- d) La ganancia de Calor por Ventilación ( $Q_{VENT}$ ) se obtiene de la siguiente manera:

Para el Calor por Ventilación Sensible:

$$Q_{VENTS} = 0.278 * \rho * C_{pa} * G * (t_{amb} - t_{int})$$

y por Calor por Ventilación Latente:

$$Q_{VENTL} = 0.278 * \rho * H_{vap} * G * (W_{amb} - W_{int})$$

donde:

$G$  es el flujo de aire.

- e) La ganancia de Calor por Persona ( $Q_{MET}$ ) se obtiene de la siguiente manera:

Para el Calor por Persona Sensible:

$$Q_{METS} = \text{watts / persona} * \text{No. de personas}$$

y por Calor por Persona Latente:

$$Q_{METL} = \text{watts / persona} * \text{No. de personas}$$

- f) La ganancia de Calor por Equipo Eléctrico ( $Q_{LIGHT}$ ) se obtiene de la siguiente manera:

$$Q_{LIGHT} = \text{watts / equipo}$$

El siguiente paso es calcular la temperatura de la hora siguiente con la siguiente expresión:

$$t_{cuarto} = t_{cuarto(anterior)} + \frac{Q_{LOAD}}{CAPAC}$$

donde:

$CAPAC$  es la Capacitancia.

Para conocer la Capacitancia de los elementos que componen a la edificación, se emplea la siguiente fórmula:

$$CAPAC = \text{Masa} * \text{Calor Especifico}$$

Donde se requieren datos de cada material referente a volumen y peso volumétrico.

Una vez terminado el proceso de esta hora, se procede a continuar con el resto de las horas del día.