

07



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO TERMICO DE  
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PARA TECHOS Y  
MUROS DE EDIFICACIONES DE USO  
HABITACIONAL HASTA TRES NIVELES.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

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

**MAURICIO ROA MADRIGAL**



MEXICO. D. F.

2000

281192



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-043/94

Señor  
**MAURICIO ROA MADRIGAL**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. ALEJANDRO RIVAS VIDAL**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO TERMICO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PARA TECHOS Y MUROS DE EDIFICACIONES DE USO HABITACIONAL HASTA TRES NIVELES"**

- I. INTRODUCCION
- II. OBJETIVO
- III. NORMAS RELATIVAS EXISTENTES
- IV. CONDICIONES CLIMATICAS DEL PAIS
- V. CLASIFICACION DE MATERIALES Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS
- VI. CARACTERISTICAS TERMICAS DE MATERIALES
- VII. RESISTENCIA TERMICA DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS
- VIII. COMPORTAMIENTO TERMICO DE EDIFICACIONES
- IX. SELECCION DE EQUIPOS PARA ACONDICIONAMIENTO
- X. ANALISIS COSTO-BENEFICIO
- XI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

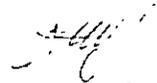
Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 4 de julio de 1994.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR\*nl

*Considero que el trabajo  
correspondiente a la presente tesis  
ya se encuentra terminado  
Atentamente,*

  
ING. ALEJANDRO RIVAS VIDAL

# Capítulos

## CAPITULOS:

1.- Introducción.

2.- Objetivo.

3.- Normas Relativas Existentes.

4.- Condiciones Climáticas del País.

5.- Clasificación de Materiales y Sistemas Constructivos.

6.- Características Térmicas de Materiales.

7.- Resistencia Térmica de Sistemas Constructivos.

8.- Comportamiento Térmico de Edificaciones.

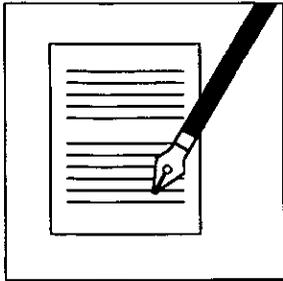
9.- Selección de Equipos de Acondicionamiento.

10.- Análisis Costo Beneficio.

11.- Conclusiones.

A Bibliografía





## **Introducción.**

---

El proceso proyectual para la adaptación del hombre al medio es un tema de investigación constante, la tecnología y los avances científicos buscan adecuar el medio para el mejor desenvolvimiento y desempeño del mismo. Dicho proceso integra una serie de aspectos relativos al diseño que desafortunadamente no han consistido una mejora sensible en el aprovechamiento de energéticos y del ambiente.

Normalmente empleamos energéticos con fines domésticos, industriales, locomotivos, etc. producto de recursos naturales, los cuales no constituyen una fuente infinita de abastecimiento; la demanda de estos recursos aumenta rápidamente reduciéndose la oferta, lo cual incrementa el costo de la generación de energía.

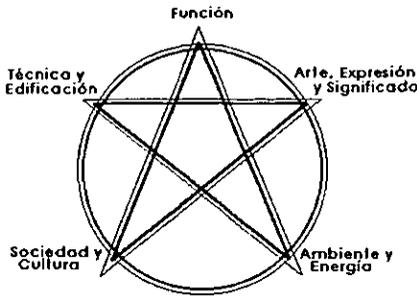
En los últimos años, las variaciones en los precios del petróleo centran la atención de la economía mundial en la buena administración de energéticos, pero esto no durará para siempre, algún día estos recursos se acabarán y aunque no impliquen un costo en si mismos, requieren de costosa tecnología para su extracción, la escasez de los mismos obliga a buscarlos en lugares cada vez mas remotos encareciendo su extracción.

Tras siglos de tecnología como una alternativa, surge la energía nuclear, pero a un alto costo sin considerar el peligro que conlleva. Debido a todo esto, la generación de energía eficaz es esencial para el desarrollo de la economía mundial.

Entre los grandes consumidores de energía se encuentra el hábitat; el acondicionamiento del mismo resulta frecuentemente en un consumo poco eficiente de energía; el hábitat acumula o disipa energía de acuerdo a diversos factores, entre los que observamos: constitución, localización, orientación, forma, tamaño, etc.

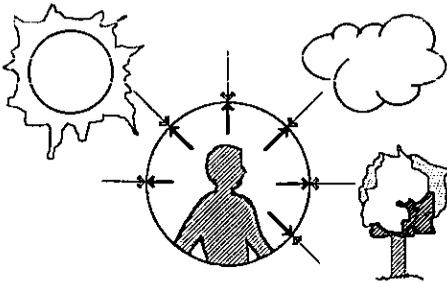
El hombre requiere de espacio donde protegerse del ambiente y desarrollar sus actividades, este espacio puede ser agresivo y provocar alteraciones en el comportamiento de las personas, al generar altas temperaturas por acumulación de calor o bajas por protección excesiva.

El concepto de diseño comprende la unión de diversos factores, los cuales son interdependientes y no adquieren significado por si mismos, sino que lo hacen en conjunto.



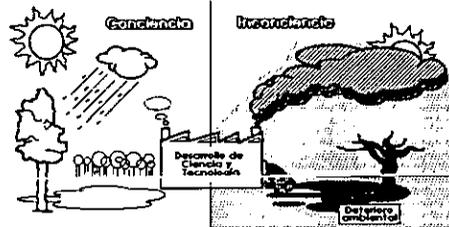
¿A qué se debe el interés en el ahorro energético?

El deterioro ambiental causado por la intervención del hombre escapa de su control, el despilfarro de energéticos convencionales en construcciones se justifica debido a un ambiente hostil en un hábitat agresivo, en contraste, cuando el hábitat no está diseñado adecuadamente se requerirán adecuaciones posteriores para alcanzar el bienestar humano.



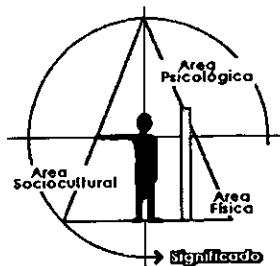
En relación al bienestar humano existe una relación de interdependencia con el medio que habita, cualquier transformación en uno, lo implica en el otro; en general todos los organismos interactúan con el medio en un intercambio de sustancias y energías vitales en un equilibrio perfecto, cuando se efectúan cambios rápidos en esta

relación se rompe el equilibrio, lo cual puede ocasionar la destrucción de vida; de esta manera la inconsciencia del hombre y la fuerza de la naturaleza pueden conducirlo a la destrucción de la existencia, paradójicamente, el desarrollo actual de la ciencia y tecnología de no ser utilizado a conciencia implica un deterioro del ambiente, es importante comprender que no es una fuente inagotable de recursos ni un pozo sin fondo para almacenar desechos, la inconsciencia en el cuidado del ambiente nos podría conducir a una catástrofe.



La permanencia del hombre en el planeta depende del equilibrio de los medios, pero así mismo requiere de ciertos niveles de bienestar, para tener un nivel adecuado requiere de climas artificiales que logra con la ayuda de energéticos; la creación de grandes climas artificiales afectan al ambiente generando desechos que degradan el medio en que habitamos, la construcción debe ser un proceso de integración del hombre al medio ambiente.

En el diseño, el hombre en relación con el medio presenta tres áreas: la física, la psicología y la socio cultural



El área física establece la relación básica del hombre con su medio y permite su existencia;

El área psicológica establece una relación con el medio y es percibida por los sentidos, permite estar consciente de su existencia y significado;

El área socio cultural permite conformar la identidad individual y la del grupo social al que pertenece, que a su vez se constituye en un hábitat único.

El bienestar térmico humano es parte imprescindible en su existencia y se define como el equilibrio térmico que logra el cuerpo en un ambiente dado que le permite desarrollar sin dificultad ni molestia cualquier actividad física o mental.

Fisiológicamente, cuando el cuerpo realiza sus funciones vitales produce calor, pero siempre mantiene una temperatura interna de 37° C a lo que se llama balance térmico; cuando el cuerpo se enfrenta a temperaturas mayores requiere disipar el calor que produce por medio de evaporación o transpiración, cuando se enfrenta al frío se produce una reducción del flujo sanguíneo por la producción metabólica insuficiente de calor; en general la humedad determina la cantidad de calor perdida por evaporación, si la humedad es baja se produce resequead

en la piel, labios y membranas mucosas; si es alta se dificulta la respiración y la evaporación, la manera mas común para regular estas diferencias de temperatura es el vestido, el cual se considera un microclima favorable.

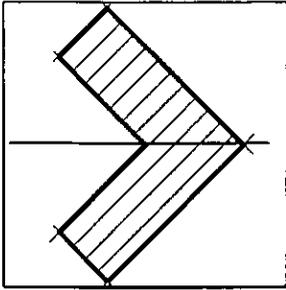
La adaptación del hombre a un ambiente hostil se da por varios factores:

- metabolismo
- mecanismos fisiológicos involuntarios
- vestido
- adaptación del hábitat

Las nuevas tecnologías y los sistemas de aire acondicionado en la construcción no proporcionan confort de manera natural, en forma contraria implican un derroche de energéticos y degradación del medio ambiente.

El camino al futuro es poco halagador, la falta de conciencia y la dependencia de los recursos naturales nos obligan a administrarlos de una forma eficaz.

Siendo el hábitat uno de los principales consumidores de energía, se centra el contenido en la forma de diseñar las construcciones eficientemente desde el punto de vista térmico para propiciar el ahorro de energía para acondicionamiento en relación al uso que se le da actualmente.



## Objetivo

El análisis y diseño de las edificaciones desde el punto de vista de la eficiencia energética no debe ser tomado a la ligera, si no concientizamos sobre el creciente costo que implica la generación de energía para el país y consecuentemente para nosotros mismos, pronto nos veremos restringidos en su consumo.

El objetivo es establecer un análisis de comportamiento térmico de materiales y de sistemas constructivos de edificaciones de acuerdo a las condiciones climáticas del país, y el análisis comparativo de costos contra beneficios obtenidos al eficientar el diseño constructivo reduciendo el impacto en la generación de energía del país.

El buscar la eficiencia energética de las edificaciones no implica que se desarrollen construcciones con una apariencia burda o desagradable que limite la comodidad de sus ocupantes o las funciones de la misma edificación

Así mismo, el objetivo es establecer los lineamientos para el diseño y construcción de la envolvente de edificaciones de uso residencial hasta tres niveles para lograr el uso eficiente de la energía, sin restringir las funciones de la edificación ni el confort y productividad de sus ocupantes.



## **Normas Relativas Existentes**

Debido al alto derroche de recursos naturales que implica la generación de energía, muchos países se han preocupado por normativizar e instaurar medidas que propicien el ahorro de energía, entre otras, se presenta un breve análisis de algunas normas relativas a la normatividad de la eficiencia energética:

**Norma Oficial Mexicana**  
**Secretaría de Energía**  
**Comisión Nacional para el Ahorro de**  
**Energía**  
**NOM-081-1994**  
**Eficiencia Energética Integral en Edificios**  
**no Residenciales**  
**Comité Consultivo Nacional de**  
**Normalización para la Preservación y Uso**  
**Racional de los Recursos Energéticos**  
**(CCNNPURRE)**

Establece los requerimientos mínimos de diseño y construcción de la envolvente de edificaciones nuevas, ampliaciones y/o remodelaciones de los ya existentes, ya sea de propiedad pública o privada, para lograr el uso eficiente de la energía, sin restringir

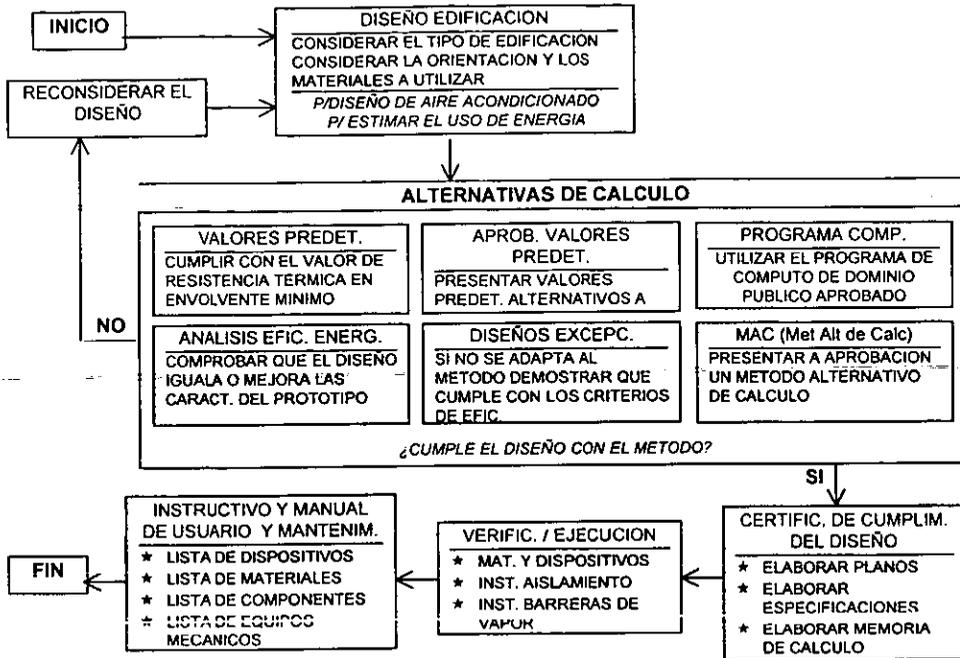
las funciones de la edificación ni el confort y productividad de sus ocupantes.

Esta está enfocada a edificaciones de uso no residencial y se complementa con la norma de eficiencia energética integral en edificios destinados a uso residencial, actualmente en trámite.

En el caso de los requerimientos de calidad de los materiales o productos manufacturados se referencia a las normas vigentes, los valores de conductividad térmica de los materiales que se muestran en la norma deben ser verificados y aprobados según las normas correspondientes.

Aunque la metodología para comprobar la eficiencia energética de la edificación está definida, admite que puede haber otras alternativas, esto se refiere al uso de programas de simulación, muestreo o alguna otra técnica que pruebe ser confiable.

El procedimiento para cumplir con la norma, es el siguiente:



Para su cumplimiento establece varias alternativas:

**Valores predeterminados**

Presenta en dos tablas los valores mínimos de resistencia térmica de los elementos de la envolvente en una tabla para el caso de condiciones de verano y otra para condiciones invernales y en función de la humedad relativa (HR) y una temperatura de diseño; establece el mínimo de coeficiente de sombreado (0.85), área (5% del área total) y resistencia (0.168 W/m<sup>2</sup> °C) en tragaluces y el caso en que se deberá instalar barreras de vapor (cuando HR= 50%)

Presenta forma para calcular el valor de la resistencia térmica que en general se calcula con la fórmula:

$$R = \frac{1}{f_i} + \frac{1}{f_e} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots$$

considerando una ponderación para capas homogéneas y para puentes térmicos como se verá en el capítulo 7 (Resistencia térmica de sistemas constructivos)

**Aprobación de valores predeterminados**  
 Puede solicitarse al organismo de certificación la aprobación de valores predeterminados, los cuales deben cumplirse para un número significativo

de nuevas edificaciones y cumplir con el procedimiento

Análisis de eficiencia energética de la envolvente

Presenta el procedimiento de análisis de eficiencia energética basado en la fórmula:

$$Q_{pe} = Q_{pc} + Q_{ps}$$

donde:

Q<sub>pe</sub>.- Ganancia de calor promedio

Q<sub>pc</sub>.- Ganancia por convección y conducción

Q<sub>ps</sub>.- Ganancia de calor por radiación

$$Q_{pc} = U_i \times A_i (t_e - t_i)$$

donde:

U.- Coeficiente de transmisión

A.- Superficie

t.- Temperatura

$$Q_{ps} = A_i \times C_{Si} \times FGCS_i \times FSE$$

donde:

A.- Superficie

C<sub>S</sub>.- Coeficiente de sombreado de ventana / domo

FGCS.- Factor de ganancia de calor promedio en ventanas / domo

FSE.- Factor de corrección por sombreado exterior

La ganancia de calor del diseño se compara con la ganancia de calor que resulta al incluir los valores para un prototipo, es decir, puede aprovecharse la orientación, el coeficiente de sombreado, etc. para optimizar el uso de recursos, al final debe cumplirse que la de diseño se menor o igual que la del prototipo.

$$Q_{pe_{diseño}} \leq Q_{pe_{prototipo}}$$

Diseños excepcionales

Se pueden aprobar diseños excepcionales si se comprueba que la modelación no se adapta al modelo de análisis de eficiencia energética aprobado y que el diseño cumple con los criterios de eficiencia energética y confort

Programas para computadora

Se pueden aprobar programas de dominio público

Métodos alternativos de cálculo (MAC)

Adicionalmente al análisis de eficiencia energética se pueden aprobar métodos alternativos de cálculo

**Norma Oficial de California**  
**California Code of Regulations**  
**Title 24, Part 2, Chapter 2-53**  
**Energy efficiency standards for new low-rise residential buildings**  
**Section 2-5350 to 2-5352**  
**Adopted May 15, 1991**  
**California Energy Commission**

Establece los requerimientos y métodos para cumplir con el programa de ahorro de energía, especifica los procedimientos constructivos y de instalación de materiales y equipo.

Presenta una estructura muy completa y fácil de seguir con referencias claras y una variedad de alternativas que facilitan el cumplimiento de la norma, evita muchos procesos tipificando cinco tipos de construcción en diversas zonas climáticas de California.

Se divide en dos partes, en la primera especifica las características generales

mínimas del proceso constructivo, donde establece:

- ☐ La resistencia mínima de los elementos de la envolvente, como son techos, muros, ventanas y pisos elevados sobre áreas no acondicionadas
- ☐ Las consideraciones para la instalación de chimeneas, estufas decorativas de gas y troncos artificiales de gas
- ☐ Las consideraciones para la instalación de barreras contra infiltración
- ☐ Las consideraciones para la instalación de barreras de vapor y los casos en su instalación es obligatoria
- ☐ Las consideraciones para el diseño e instalación de equipo para acondicionamiento de espacios

Establece que el diseño de pérdida y/o ganancia de calor debe ser de acuerdo a:

- a) ASHRAEE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers)
  - ★ Handbook and Product Directory

- ★ Equipment Volume
- ★ Systems and Applications Volume
- ★ Fundamentals Volume

b) SMANCA (Sheet Metal Air-Conditioning Contractors National Association)

- ★ Load Calculation Manual

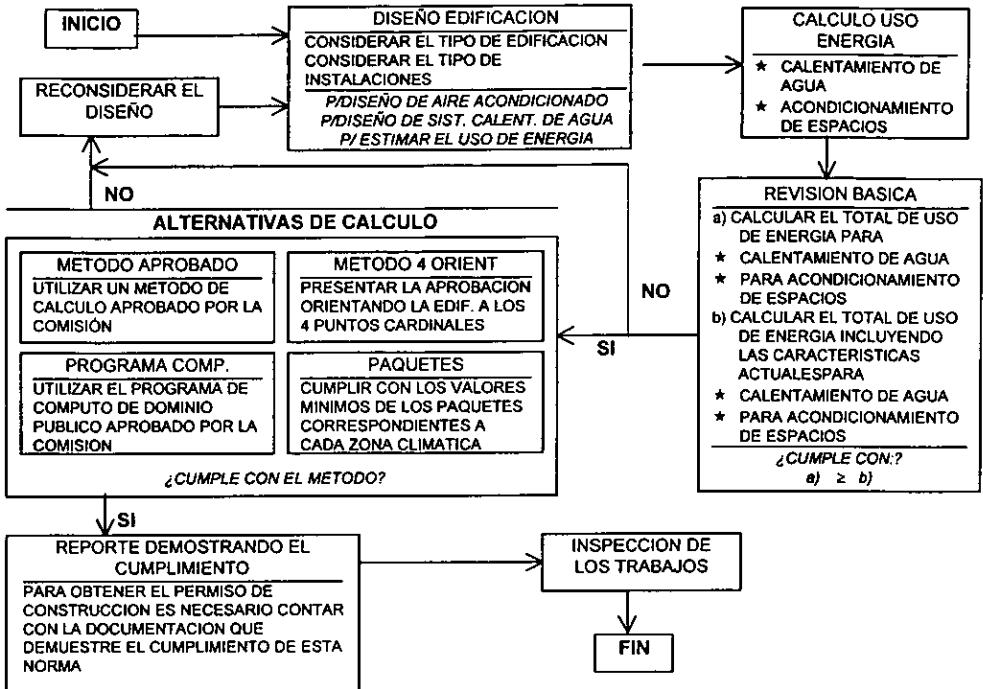
c) ACCA (Air-Conditioning Contractors of America)

- ★ Manual J.

Establece como temperatura interior para el calentamiento de espacios 70°F (21.1°C) y para enfriamiento 78°F (25.5°C)

- ☐ Los casos en que deben ser instalados termostatos automáticos
- ☐ Las consideraciones para el sistema de tuberías y tanques
- ☐ Las consideraciones para la instalación de ductos de aire acondicionado y ventiladores

La segunda parte se refiere a la forma de cumplir con la norma



El requerimiento básico para cumplir es el cálculo combinado del uso de energía para el calentamiento de agua y para el acondicionamiento de espacios, deben cumplir con el máximo permisible en uso de energía para calentamiento de agua y acondicionamiento de espacios:

**Calentamiento de agua:**

Se calcula el Presupuesto Anual para Calentamiento de Agua (AWB *Anual Water Heating Budget* ) mediante la siguiente fórmula

para hab. menores de 2500 ft<sup>2</sup>  
 $AWB=(1400)/CFA+4.85$

para hab. mayores de 2500 ft<sup>2</sup>

$$AWB=(26125)/CFA$$

donde CFA.- Area de piso acondicionado

**Acondicionamiento de espacios**

Deben cumplir con los requerimientos y paquetes correspondientes a cada zona climática (ver *alternativas de cumplimiento*)

**Métodos de cumplimiento:**

1.- Método de cálculo aprobado

Presenta una metodología para aprobar nuevos métodos de cálculo o presentar los ya aprobados por Comisión

2.- Programa de cómputo de dominio público aprobado por comisión

La Comisión pone a disposición pública un programa de cómputo para el diseño y la emisión de reportes

3.- Alternativa de orientación múltiple

Permite la aprobación cuando se demuestra que el modelo cumple con

la norma orientada hacia los 4 puntos cardinales

4.- Alternativa por paquetes

Divide el estado de California en 16 zonas climáticas y presenta una tabla por cada una con los valores mínimos que se deben cumplir dependiendo de 5 modelos constructivos, por ejemplo para la zona climática 1:

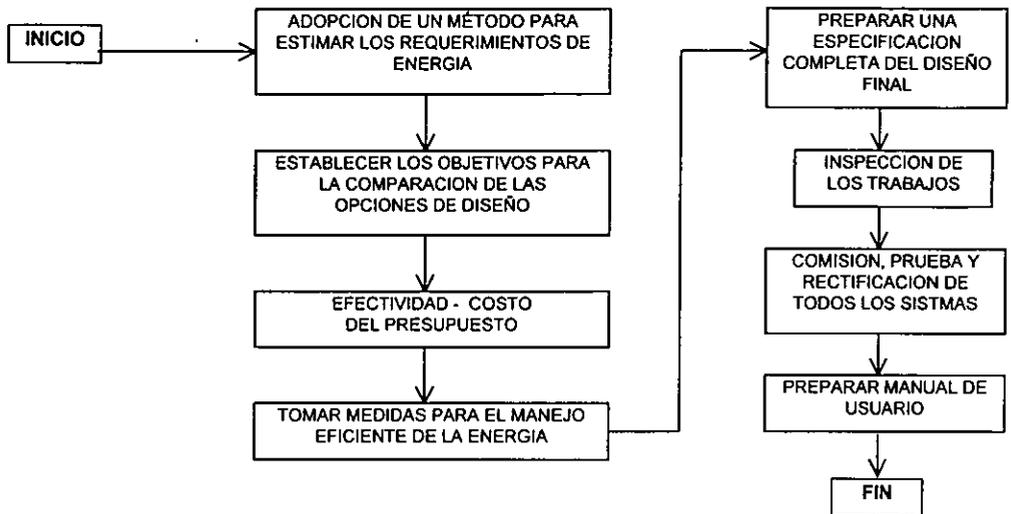
TABLA 2-53Z1  
PAQUETES ALTERNATIVOS  
PARA ZONA CLIMATICA 1

Componente	PAQUETE				
	A	B	C	D	E
<b>ENVOLVENTE</b>					
Aislamiento mínimo					
Techo	R30	R30	R49	R38	R38
Muro	R19	R19	R29	R21	R21
Muro masivo	(R8.5)	(R5.0)	NA	(R4.76)	(R4.76)
Muro ligero	(R8.5)	(R6.0)	NA	NA	NA
Perímetro de losa de cimentación	R7	R7	R7	NR	NR
Piso elevado	R19	R19	R30	R19	R19
<b>VENTANAS</b>					
Valor máximo U	0.65	0.65	0.40	0.65	0.65
Área total máxima	NR	16%	14%	16%	16%
Área máxima (muros que no den al sur)	9.6%	NR	NR	NR	NR
Área mínima al sur	6.4%	NR	NR	NR	NR
<b>COEFICIENTE DE SOMBREADO</b>					
Sur	NR	NR	0.66	0.66	0.66
Oeste	NR	NR	0.66	0.66	0.66
Este	NR	NR	0.66	0.66	0.66
Norte	NR	NR	0.66	0.66	0.66
<b>MASA TERMICA</b>	REQ	NR	REQ	20%	5%
<b>CONTROL DE INFILTRACION</b>					
Barrera continua	NR	REQ	NR	NR	NR
Intercambio de calor aire - aire	NR	REQ	NR	NR	NR
<b>SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE ESPACIOS</b>					
Resistencia eléctrica permitida	NO	NO	SI	NO	NO
Si gas, AFUE=	78%	78%	78%	78%	78%
Si bomba, sistema HSPF=	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
Sistema de paquete sencillo HSPF=	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
<b>SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE ESPACIOS</b>					
Si sistema A/C, SEER=	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Paquete sencillo A/C, SEER=	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
<b>TIPO DE CALENTADOR DE AGUA DOMESTICO</b>					
Sistema debe cumplir presupuesto	NO	NO	NO	NO	NO

NR=No se requiere; NA=No aplica; REQ=Requerido

**Norma Oficial Británica**  
**British Standard**  
**Energy efficiency in buildings**  
**BS 8207: 1985**  
**British Standard Institution**

Establece las lineamientos económicos para lograr el uso eficiente de los recursos energéticos en edificaciones, define el siguiente procedimiento:



Para el análisis, utiliza varios métodos que pueden ser utilizados dependiendo del tiempo en que se busca recuperar la inversión, es decir, a corto plazo o a largo plazo, estos últimos son análisis más complejos ya que consideran costos variables, flujos de caja, etc., propone el uso de los métodos de corto plazo cuando se trata de períodos cortos, es decir, de pocos años, donde los costos no varían constantemente, en general, supone para todos los métodos que se utilizarán los valores en el futuro transformados a valor presente.

Describe a grandes rasgos cuáles son los métodos para el análisis, pero no presenta alguna metodología para desarrollar dichos análisis ni tampoco muestra el procedimiento para traer a valor presente los costos.

Los métodos para el análisis son los siguientes:

A corto plazo

- ⇒ Período de retorno.- Es el capital invertido entre los ahorros anuales estimados

⇒ Punto de equilibrio.- Es el punto donde coinciden los cumulativos de dos alternativas

#### A largo plazo

⇒ Valor presente y valor presente neto.- Integra al análisis flujos de caja, costo inicial, costos asociados, impuestos, etc.

⇒ Valor presente dividido entre capital inicial.- Eficiente cuando el capital disponible es limitado y consiste en dividir los valores presentes entre el capital inicial requerido

⇒ Valor equivalente anual.- Cuando el financiamiento se recupera a base de pagos periódicos tales como rentas, es recomendable evaluar valores anuales iguales y se calcula directamente dividiendo el valor presente neto entre la duración del proyecto

⇒ Tasa interna de retorno.- En ocasiones se requiere comparar la viabilidad de la inversión en eficiencia energética con otras opciones de inversión, por ejemplo, tasas de

interés bancarias. Para un período de tiempo, la tasa de

crecimiento o que resulta del valor presente neto igual a cero, es la tasa interna de retorno

Anexo presenta una lista de todos los factores a considerar durante el diseño y constituyen una serie de recomendaciones en un plan ordenado de diseño, esta lista de revisión es tan solo un ejemplo de todos los factores a considerar para el diseño, pero representan una serie de recomendaciones que no limitan el diseño.

#### **British Standard**

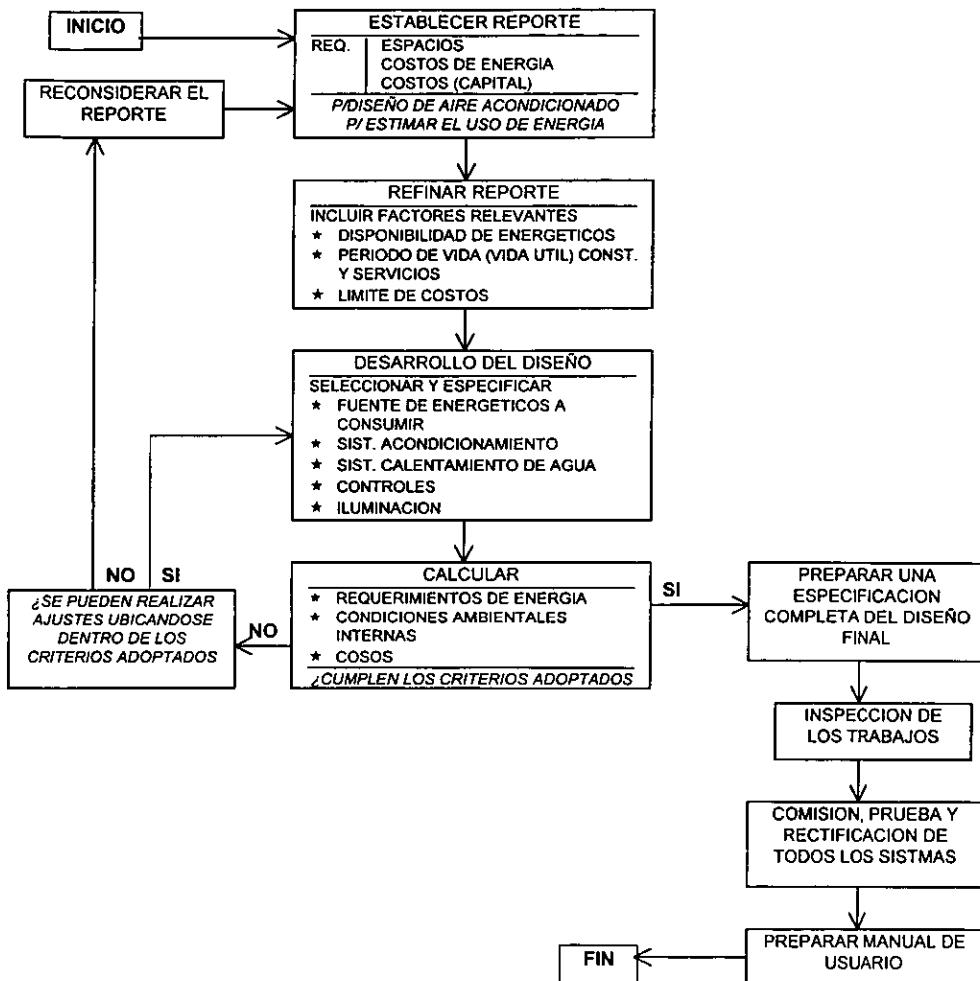
#### **Energy efficiency in housing**

#### **Part 1. Code of practice for energy efficient refurbishment of housing**

#### **BS 8211: PART 1 1988**

#### **British Standard Institution**

Establece la siguiente metodología para cumplir con la norma:



Establece una serie de parámetros sobre los cuales debe buscarse cumplir con la norma, se basa en métodos de análisis económico, los cuales están comprendidos en la norma BS 8207: 1985, entre ellos, la tasa interna de retorno o el mejor retorno de capitales,

acepta cualquier otro criterio de comparación, .

Establece un método de cálculo para el uso de energía muy sencillo, pero deja al criterio del proyectista muchas consideraciones

recomendando su ética profesional, concluye con el cálculo del costo de los energéticos a utilizar (combustibles, energía eléctrica, gas, etc.) sin aplicar algún método para equiparar el costo del consumo de energía contra el beneficio que implica su ahorro.

El procedimiento se basa en el cálculo corregido por un factor de las ganancias por radiación y por conducción; en el caso de ganancias por radiación proporciona valores del flujo solar para cada orientación (norte, sur, este y oeste) multiplicadas por el área de ventana correspondientes y le aplica un factor regional

$$\text{Ganancia solar} = \Sigma (A_n \times \text{flujo solar}_n) \times \text{factor regional}$$

En el caso de ganancias internas, enlista los factores a considerar, como son el metabolismo del cuerpo humano, la luz interior y aparatos eléctricos, aparatos de cocina, etc., pero el cálculo se deja a consideración del proyectista.

Define la pérdida de calor (L) como la suma total de las áreas de las superficies de la envolvente multiplicadas por la conductividad correspondiente a cada una mas la pérdida por ventilación

$$L = \Sigma (U_i \times A_i) + \text{Vent}$$

Donde las pérdidas por ventilación equivalen a un factor de conversión de unidades multiplicado por el total de intercambio de aire (Tasa de ventilación) por el volumen total de la edificación

$$\text{Vent} = 0.33 \times \text{Tasa de vent.} \times \text{Volumen tot. edif.}$$

Introduce el concepto de días grado (degree-days), que resulta de la multiplicación de un factor (basado en la temperatura interna de confort) por el diferencial entre la temperatura interna de calor y la proporción que resulta de la división de las ganancias totales (ganancias internas y por radiación) entre la pérdida de calor (L)

Para calcular el volumen de acondicionamiento por metro cuadrado multiplica la pérdida de calor (L) por los días grado y el consumo de energéticos multiplicando por el volumen de la edificación dividido entre la eficiencia el sistema de calefacción.

El procedimiento concluye asignando costos al consumo de energía obtenido; para el análisis financiero no provee ningún procedimiento, dejando a criterio del proyectista el método a utilizar.

Aunque simplifica mucho el cálculo, deja muchos valores a criterio del proyectista, sin dar algún parámetro o lineamiento, lo cual puede llevar a confusión o falta de información sobre que valores se pueden utilizar, tampoco incluye el cálculo de las pérdidas por transmisión

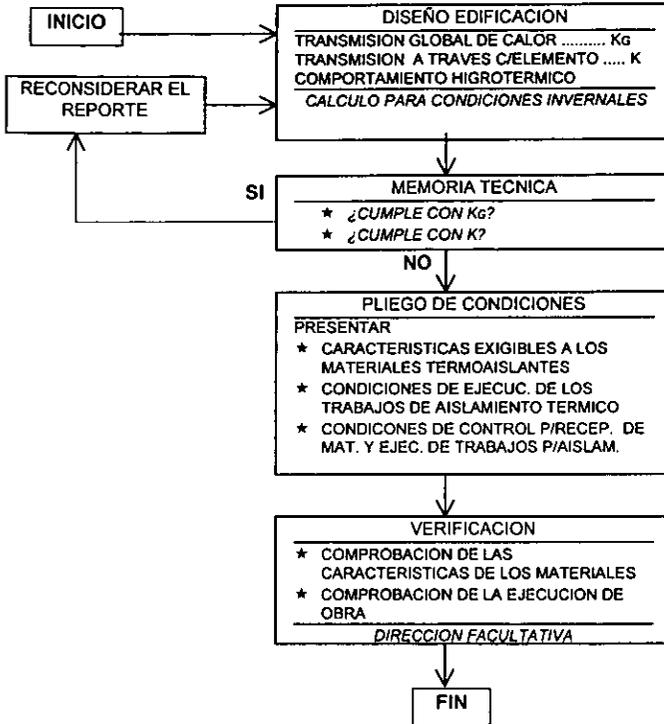
**Norma Oficial Española**  
**Norma Básica de la Edificación**  
**Condiciones térmicas en los edificios**  
**NBE-CT-78**  
**Dirección General de Arquitectura y Vivienda**  
**Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo**

Establece los requerimientos de eficiencia energética en edificaciones para condiciones invernales, considera la definición térmica de los edificios basada en:

- Transmisión global de calor a través de la envolvente (KG)
- Transmisión de calor a través de cada elemento de la envolvente (K)
- Comportamiento higrotérmico de la envolvente

- Permeabilidad al aire de la envolvente

El cumplimiento de la norma se da de la siguiente forma:



Establece los valores máximos de K y KG que deben cumplir los elementos de la envolvente, en tablas en función de cinco zonas climáticas, presenta dos mapas de España con la zonificación climática, los cuales se definen en función de los grados día base 15-15 el primero y en función de las temperaturas mínimas de enero el segundo, adicionalmente presenta una tabla indicando en una lista de todas las ciudades

la zonificación correspondiente a ambos mapas, el uso de uno u otro mapa es indistinto.

Establece que no deberá existir humedad por condensación y que la temperatura ambiente interior para uso habitacional sea de 18°C, la humedad relativa (HR) no será mayor del 75% de la saturación.

Para el cálculo de el valor de K presenta varias alternativas, para sistemas constructivos con:

una capa homogénea

$$\frac{1}{K} = \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$$

varias capas homogéneas

$$\frac{1}{K} = \sum \frac{L}{\lambda} + \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right)$$

varias capas no homogéneas

$$\frac{1}{K} = \sum R_u + \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right)$$

donde:

K.- coeficiente de transmisión térmica de calor

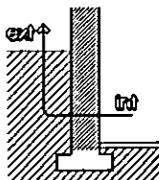
$\lambda$ .- coeficiente de conductividad térmica

L.- espesor del material

$h_i, h_e$ .- coeficiente superficial de transmisión de calor, exterior e interior

$R_u$ .- resistencia térmica total útil

En el caso de soleras y muros en contacto con el terreno



$$K = \frac{k \cdot L}{S}$$

donde:

L.- long. perímetro de la envolvente

S.- sup. solera o muro

k.- coef. de transmisión térmica lineal

para lo cual define varios casos variando la fórmula para soleras en contacto con el terreno, muros semienterrados, muros totalmente enterrados y soleras se sótanos enterradas

Para el cálculo de KG introduce la siguiente fórmula

$$K_G = \frac{\sum K_e S_e + 0.5 K_n S_n + 0.8 K_o S_o + 0.5 \sum K_s S_s}{\sum S_e + \sum S_n + \sum S_o + \sum S_s}$$

donde K es el coeficiente de transmisión térmica de calor del elemento identificado por el subíndice y S es de igual forma la superficie del elemento correspondiente

subíndices:

E.- Elementos en contacto con el exterior

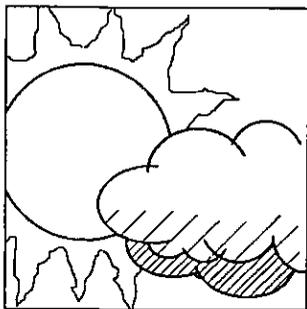
N.- Elementos de separación con otros edificios o con locales sin calefacción

O.- Elementos de techo o cubierta

S.- Elementos de separación con el terreno

para el cálculo de la temperatura y las condensaciones en los elementos de la envolvente presenta una serie de fórmulas auxiliadas por tablas, pero no calcula expresamente la ganancia de calor de toda la edificación, se limita a determinar los valores mínimos de resistencia de los elementos de la envolvente y como se muestra en la última fórmula un valor de resistencia promedio de toda la edificación.



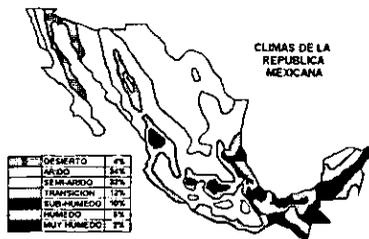


## Condiciones Climáticas del País

### CLIMA

El clima es un conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan durante un largo período el estado medio de la atmósfera, estos fenómenos varían en períodos de un año, pero se mantienen relativamente iguales año con año. El clima de una región resulta de la combinación de las propiedades de la atmósfera (humedad, temperatura, viento, presión barométrica, etc.).

Los climas latitudinales caracterizan vastas regiones correspondientes a las grandes zonas de circulación general planetaria, tal es el caso del clima ecuatorial y el tropical; los climas regionales caracterizan a ciertas zonas...



### TEMPERATURA

La temperatura del aire es una magnitud que mide el estado térmico de un sistema termodinámico en equilibrio, en este caso, el aire; el estado térmico del aire está dado por el movimiento de sus partículas.

Los instrumentos que comúnmente se utilizan para medir la temperatura del aire son los termómetros, basados en la expansión del volumen de ciertos materiales en función de la variación de temperatura, así pues, si tomamos como sistema de referencia una columna de mercurio, la altura que esta alcanza dentro del tubo proporciona una medida del estado térmico del aire que se encuentra en contacto con el tubo de mercurio.

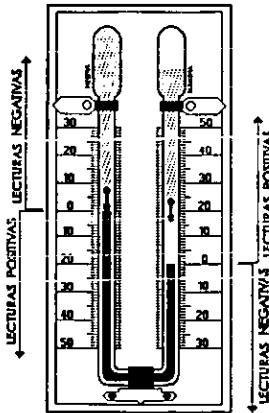
Todos los sistemas que están en equilibrio entre sí poseen la misma temperatura, en el caso del aire, donde existen corrientes cálidas o frías, existe una variación en la temperatura, por esta razón, para que indiquen aproximadamente la temperatura real del aire se colocan en el interior de una caja de madera con persianas, llamado abrigo meteorológico.



Para establecer escalas de temperatura es preciso escoger algunos puntos fijos. En las escalas mas conocidas, estos son los puntos de fusión y de ebullición del agua a la presión de 1 atmósfera. Las escalas centígrada y Fahrenheit, asignan los valores 0 y 32 respectivamente al punto de fusión y 100 y 212 al punto de ebullición.

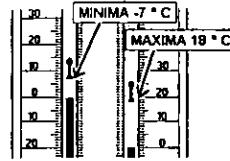
**TERMOMETRO AMBIENTE:**

Sirve para medir la temperatura que tiene el aire en el momento de la observación y está graduado en Grados Celsius {°C}.



**TERMOMETRO DE MAXIMA Y MINIMA (SIX):**

Sirve para medir la variación de temperatura que sufre el aire durante el día (máximo y mínimo) {°C}.



**OSCILACION**

La oscilación es la variación máxima entre la temperatura máxima y la mínima, se obtiene de restar la temperatura mínima del día anterior a la temperatura máxima obtenida el día de la observación; la oscilación es muy ilustrativa acerca de las características climáticas de un lugar determinado, la magnitud de la oscilación depende, bien de las diferencias estacionales determinadas por la latitud o bien de otros factores, en especial del carácter marítimo o continental del lugar.

**HUMEDAD**

La humedad es el vapor de agua que existe en la atmósfera procedente de la evaporación en los mares, lagos, rios, nieves y vegetales. Para su evaluación se utiliza entre otros la humedad relativa.

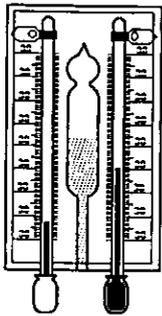
**HUMEDAD RELATIVA**

Es el tanto por ciento de la relación entre la masa (m) de vapor acuoso existente en la atmósfera y la que habría (M), si el aire estuviera saturado, siendo esta relación igual a la de presiones atmosféricas correspondientes a ambas condiciones (p y P)

$$\frac{p}{P} = \frac{m}{M}$$

Los aparatos empleados para medir la humedad relativa son los psicrómetros,

basados en la presión del vapor a la temperatura correspondiente y los higrómetros, que son mas sencillos, basados en la absorción de vapor de agua atmosférico.

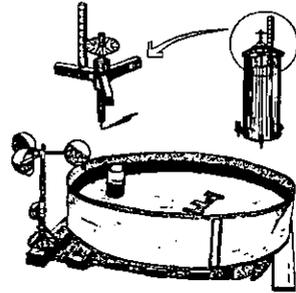


## EVAPORACION

La evaporación es el paso de un líquido al estado de vapor por debajo de su punto de ebullición; la evaporación se produce a causa de que ciertas moléculas del líquido, dotadas de suficiente energía cinética, logran escapar de aquel, superando la energía potencial de atracción intermolecular.

La energía cinética, y por tanto la evaporación, son función de la temperatura; el calor necesario para la transformación del líquido en vapor lo suministra el mismo líquido, y, en consecuencia, la temperatura disminuye durante la evaporación.

La evaporación se mide observando el descenso del nivel de una superficie de agua expuesta al aire libre en un tanque cilíndrico llamado *tanque evaporímetro*, con la ayuda de un *micrómetro* con la ayuda de un *cilindro de reposo* que sirve para mantener el agua en reposo.



La cantidad de agua evaporada en un día se mide en milímetros y centésimas de milímetro.

## PRECIPITACION

La precipitación es el elemento meteorológico del clima, de gran importancia geográfica, que condiciona la humedad de una región; su conocimiento supone dos datos esenciales:

- a) Cantidad de agua caída por año normal que permite clasificar los climas en lluviosos (medias superiores a 1,000 mm anuales) y secos (medias inferiores a 500 mm anuales).
- b) Régimen pluviométrico o distribución de lluvias a lo largo del año, que permite distinguir un clima húmedo de otro árido. Todas las áreas en donde la evaporación es superior o igual a las precipitaciones son áridas, en tanto que son húmedas las áreas en que la atmósfera vierte mas agua de la que evapora.

Para medir la precipitación se utiliza el pluviómetro:

## PLUVIOMETRO

Instrumento para medir la cantidad de lluvia, consiste en un recipiente con el cual se

podrá medir con una regla la precipitación {mm}.

**PRESION**

La presión es la debida al peso del aire que gravita sobre una superficie horizontal determinada; depende, por consiguiente, de la altura sobre la superficie terrestre de tal superficie, cuanto mayor sea esta, menor será el peso del aire situado encima y menor también la presión; depende asimismo, para un nivel determinado, de las perturbaciones

meteorológicas, que pueden modificar la masa del aire.

**VISIBILIDAD**

**NORMALES CLIMATOLOGICAS**

El observatorio meteorológico presenta las normales climatológicas de cada localidad, que son un promedio de 30 años de mediciones, a continuación reproducimos la que corresponde al observatorio ubicado en Monterrey, Nuevo León:

**NORMALES CLIMATOLOGICAS**

LATITUD LONGITUD	25-41 100-18	MONTERREY, N.L. ALTITUD 512 MSNM												OBS SINOPTICO ORG. DGERES-SNM	
		AÑOS	ENE	FEB	MZO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>-----TEMPERATURAS-----</b>															
MAXIMA EXTREMA	30	34.7	37.0	40.8	43.5	43.1	42.1	41.2	39.6	38.7	36.0	36.5	35.2	43.5	
-FECHA (DIA/AÑO)		06/69	09/60	30/54	10/63	26/73	28/57	02/80	17/78	01/52	12/79	15/51	05/77	10/46/53	
PROMEDIO DE MAXIMA	30	20.3	22.6	26.3	29.8	31.3	34.1	33.7	30.7	26.9	22.7	20.6	27.7		
MEDIA	30	14.9	16.7	20.3	23.9	25.9	27.5	28.1	27.8	25.7	22.2	17.8	15.3	22.2	
PROMEDIO DE MINIMA	30	8.9	10.7	13.9	17.8	20.3	22.0	22.3	20.9	17.3	12.7	9.9	16.6		
MINIMA EXTREMA	30	-6.0	-2.5	2	7.0	11.7	13.5	16.0	18.0	10.2	7.4	-5	-2.5	-6.0	
-FECHA (DIA/AÑO)		11/62	09/73	02/80	10/73	02/60	01/55	VS/52	19/51	VS/70	29/80	24/57	24/53	11/46/52	
MINIMA A LA INTEMPERIE	6	-7.0	-2.1	-1.4	4.2	10.2	10.8	16.6	15.5	10.7	5.2	-2.8	-5.0	-7.0	
-FECHA (DIA/AÑO)		03/78	06/79	01/80	14/80	05/79	04/72	01/72	24/79	24/79	24/79	10/78	03/01/79		
OSCILACION	30	11.4	11.9	12.4	12.0	11.0	11.1	11.8	11.4	9.8	9.6	10.0	10.7	11.1	
TOTAL HORAS DE INSOLACION	28	120.6	130.0	147.8	137.6	155.7	186.8	203.3	183.8	150.4	125.4	127.8	110.3	1779.5	
<b>-----HUMEDAD-----</b>															
TEMPERATURA BULBO HUMEDO	30	10.9	12.2	14.8	18.1	20.9	22.2	22.2	22.2	21.1	18.4	14.1	11.6	17.4	
HUMEDAD RELATIVA MEDIA	30	63	61	58	61	65	64	62	63	68	69	67	65	64	
EVAPORACION	6	68.0	112.9	171.6	190.0	199.3	248.1	245.0	218.4	142.4	107.0	79.8	63.1	1845.6	
TENSION MEDIA DEL VAPOR	30	10.8	11.5	13.5	17.3	20.6	22.9	22.7	22.9	21.9	18.5	13.9	11.3	17.3	
<b>-----PRECIPITACION-----</b>															
MEDIA	29	10.1	17.7	13.9	21.1	35.6	49.5	49.5	94.4	154.4	82.2	24.8	10.5	991.3	
MAXIMA	29	42.1	108.4	48.8	74.6	146.3	440.8	321.3	578.9	425.1	363.5	103.6	60.7	578.9	
-FECHA (AÑO)		66	70	51	76	66	73	76	67	67	58	76	79	08/67	
MAXIMA DEL MES EN 24 HRS	29	13.0	63.8	45.7	43.3	56.0	134.4	92.1	110.8	169.8	112.9	40.4	27.8	183.8	
-FECHA (DIA/AÑO)		09/67	08/70	26/63	14/66	02/66	23/73	09/76	24/67	12/64	06/54	16/76	03/79	12/09/64	
MAXIMA EN 1 HORA	18	8.5	12.9	38.0	26.0	42.3	46.9	28.1	100.0	55.4	77.0	23.0	7.5	100.0	
-FECHA (DIA/AÑO)		28/54	21/66	23/61	21/77	26/80	20/62	07/76	23/67	04/60	12/58	07/71	08/53	23/08/67	
MINIMA	29	5	1.2	5	1.2	1.9	4	2	3.8	11.9	1.4	.1	.2	.1	
-FECHA (DIA/AÑO)		56	76	71	55	61	55	66	52	54	52	77	54	11/77	
<b>-----PRESION-----</b>															
MEDIA DE LA ESTACION	20	950.7	959.6	956.8	955.5	955.4	955.7	956.7	956.5	956.5	959.3	960.0	959.9	957.7	
<b>-----VISIBILIDAD-----</b>															
DOMINANTE	29	8	8	8	4	8	8	8	8	8	8	4	8	8	
<b>FRECUENCIA DE ELEMENTOS Y FENOMENOS ESPECIALES</b>															
NUM. DIAS CON LLUVIA APREC.	29	5.34	4.48	3.56	5.10	6.26	5.90	4.7	8.06	9.43	7.51	5.42	4.10	69.86	
NUM. DIAS CON LLUVIA INAP.	29	1.58	1.41	2.36	2.93	3.16	2.00	2.2	2.23	2.36	2.34	1.75	2.6	26.92	
NUM. DIAS DESPEJADOS	29	10.20	10.72	9.27	7.60	6.03	5.76	6.63	7.16	5.93	8.41	10.5	10.5	98.64	
NUM. DIAS MEDIO NUBLADOS	29	10.24	8.06	12.13	11.70	12.36	14.83	17.18	14.63	11.83	10.93	9.00	9.00	141.87	
NUM. DIAS NUBLADO CERRADO	29	10.51	9.48	9.86	10.70	12.60	9.40	7.1	9.20	12.23	11.65	10.50	11.39	124.42	
NUM. DIAS CON RIZADO	6	3.93	3.51	4.10	2.73	1.43	1.43	1.4	1.73	3.60	7.52	7.82	5.50	44.80	
NUM. DIAS CON GRANIZO	29	.00	.00	.16	.26	.26	.06	.00	.00	.00	.03	.03	.00	.83	
NUM. DIAS CON ELADA	29	2.00	1.37	.37	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.78	1.64	6.16	
NUM. DIAS CON TORM. ELEC.	29	.19	.10	.36	.63	1.20	.86	.93	1.20	.96	.41	.07	.03	6.85	
NUM. DIAS CON NIEBLA	29	7.65	6.27	6.06	7.10	9.34	6.56	7.31	4.34	8.56	6.68	8.42	6.71	87.00	
NUM. DIAS CON NEVADA	29	.03	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03	

UNIDADES: TEMPERATURA (°C), HUMEDAD RELATIVA (%), EVAPORACION, PRECIPITACION (MM) y PRESION (HP)

Basado en las normales climatológicas se obtienen la siguiente tabla de temperaturas de diseño.

Tabla 4.A  
CARACTERÍSTICAS CLIMATICAS Y CONDICIONES DE DISEÑO DE ALGUNAS CIUDADES DE MEXICO

Estado	Ciudad	TEMPERATURA						Humedad Relativa Diseño %	Latitud °N	Longitud °W	Mes más caluroso
		Máxima Extrema Anual °C	Promedio Máxima Anual °C	Diseño Máxima °C	Mínima Extrema Anual °C	Promedio Mínima Anual °C	Diseño Mínima °C				
AGUASCALIENT. BAJA CALIF.	Aguascalientes	36.0	26.3	31.2	-7.0	9.7	1.4	46	21.87	102.3	MAY
	Ensenada	43.5	22.3	32.9	-0.5	10.8	5.2	83	31.82	116.62	SEP
BAJA CALIF.SUR	Mexicali	49.6	31.1	40.4	-7.0	17.5	5.3		32.48	115.5	JUL
	Tecate	43.5	23.9	33.7	-9.0	16.3	3.7		32.00	116.0	JUL
	La Paz	43.4	30.7	37.1	1.9	16.4	9.2	56	24.17	110.42	JUL
	Los Cabos	42.0	29.4	35.7	2.0	17.6	9.8		23.03	109.4	AGO
CAMPECHE	Puerto Cortes	39.0	26.2	32.6	1.0	16.7	8.9	81	24.43	111.87	SEP
	Campeche	44.0	31.1	37.6	6.0	21.3	13.7	71	19.85	90.48	MAY
CHIAPAS	El Carmen	41.0	31.2	36.1	18.0	22.4	20.2		18.39	91.5	MAY
	Arriaga	41.2	33.4	37.3	0.6	18.7	9.7	63	16.23	93.9	ABR
	Comitán	33.7	24.8	29.3	1.2	12.2	6.7	74	16.25	92.13	ABR
	San Cristóbal	31.4	21.7	26.6	-6.1	7.6	0.8	76	16.75	92.63	ABR
CHIHUAHUA	Tapachula	39.1	32.9	36.0	10.0	18.7	14.4	67	14.92	92.27	ABR
	Tuxtla Gutiérrez	45.0	32.5	38.8	1.5	13.8	7.7	71	16.75	93.12	ABR
	Chihuahua	47.0	25.8	36.4	-12.8	10.7	-1.1	37	28.65	106.07	JUN
	Hidalgo d Parral	42.0	25.6	33.8	-14.0	9.4	-2.3		26.56	105.40	JUN
	Juárez (Cd. Jrz.)	49.0	25.6	37.3	-23.0	8.5	-7.3		31.44	106.29	JUN
	Nvo Casas Gdes	41.0	25.1	33.1	-12.8	8.3	-2.3	46	30.42	107.93	JUN
COAHUILA	Temosachic	42.0	24.2	33.1	-18.0	2.1	-8.0	57	28.95	107.85	JUN
	Monclova	45.5	29.0	37.3	-8.2	15.3	3.6	56	26.88	101.43	JUN
	Piedras Negras	44.1	28.4	36.3	-13.6	15.5	1.0	60	28.68	100.57	JUL
COLIMA	Saltillo	39.0	24.4	31.7	-14.0	11.8	-1.1	59	25.42	100.98	JUL
	Torreón	47.0	30.9	39.0	-10.5	11.1	0.3	46	25.53	103.45	JUN
	Colima	39.8	32.3	36.1	7.8	18.3	13.1	59	19.23	103.73	MAY
	Manzanillo	38.2	30.7	34.5	12.5	22.5	17.5	75	19.05	104.33	AGO
D.F.	México	33.0	23.4	28.2	-4.4	9.6	2.6	47	19.40	99.20	ABR
DURANGO	Ciudad Lerdo	40.4	28.8	34.6	-10.5	12.6	1.1	42	25.53	103.52	JUN
	Durango	38.4	24.5	31.5	-10.0	10.4	0.2	49	24.03	104.67	JUN
GUANAJUATO	Guanajuato	35.0	24.4	29.7	-2.0	11.6	4.8	43	21.02	101.25	MAY
	Celaya	42.4	26.5	34.5	-5.0	10.1	2.6		20.32	100.49	MAY
	Irapuato	39.9	28.5	34.2	-2.5	15.7	6.6		20.00	101.00	MAY
GUERRERO	León (preparat)	38.5	27.1	32.8	-2.5	12.0	4.8	55	21.12	101.68	MAY
	Acapulco Juárez	40.5	31.8	36.2	15.5	23.4	19.5	78	16.83	99.93	AGO
	Chilpancingo	36.0	28.6	32.3	2.0	15.7	8.9	73	17.55	99.50	ABR
	Taxco d Alarcón	41.0	26.7	33.9	6.0	15.7	10.9		18.33	99.36	ABR
HIDALGO	Pachuca	34.1	20.2	27.2	-6.0	8.7	1.4	52	20.13	98.73	ABR
	Tulancingo	35.4	23.0	29.2	-13.8	5.8	-4.0	63	20.08	98.37	ABR
JALISCO	Ocotlán	39.8	28.5	34.2	-5.6	9.6	-2.0	39	22.12	103.27	MAY
	Guadalajara	39.0	27.0	33.0	-5.5	11.8	3.2	43	20.68	103.38	MAY
	Huejuar	55.0	26.3	40.7	-7.0	10.4	1.7	48	22.37	103.22	MAY
	Lagos Moreno	36.5	26.2	31.4	-6.3	10.3	2.0	51	21.35	101.92	MAY
MEXICO	Puerto Vallarta	45.0	31.5	38.3	10.0	20.8	15.4		20.37	105.15	AGO
	Chapingo, Texc.	34.3	24.3	29.3	-11.5	5.9	-2.8	55	19.48	98.88	ABR
	Toluca	28.8	18.7	23.8	-10.0	5.9	-2.1	55	19.30	99.67	ABR
	Valle de Bravo	42.0	26.4	34.2	-3.0	9.4	3.2		19.13	100.07	MAY
MICHOACAN	Morelia	39.8	24.0	31.9	-1.8	11.2	4.7	53	19.70	101.20	MAY
	Apatzingán	46.5	35.7	41.1	10.0	21.8	15.9		19.05	102.16	MAY
	Pátzcuaro	36.0	23.5	29.8	0.0	8.9	4.5		19.32	101.32	MAY
	Uruapan	34.5	25.6	30.1	-0.5	10.5	5.0		19.25	102.04	MAY
	Zamora	42.3	30.9	36.6	-3.2	12.1	4.5		20.00	102.17	MAY

Tabla 4.A  
CARACTERISTICAS CLIMATICAS Y CONDICIONES DE DISEÑO DE ALGUNAS CIUDADES DE MEXICO

Estado	Ciudad	TEMPERATURA						Humedad Relativa Diseño %	Latitud °N	Longitud °W	Mes más caluroso
		Máxima Extrema Anual °C	Promedio Máxima Anual °C	Diseño Máxima °C	Mínima Extrema Anual °C	Promedio Mínima Anual °C	Diseño Mínima °C				
MORELOS	Cuatla	46.0	31.1	38.6	3.5	15.5	9.5	18.49	98.58	ABR	
	Cuernavaca	44.2	27.3	35.8	3.0	15.0	9.0	18.55	99.15	ABR	
NAYARIT	Tepic	38.2	28.5	33.4	0.2	13.3	6.8	70	21.52	104.90	
	Monterrey	43.5	27.7	35.6	-6.0	16.6	5.3	62	25.68	100.30	
NUEVO LEON	Linares	44.0	29.5	36.8	-5.0	15.1	5.1	62	24.52	99.34	
	Oaxaca d Juárez	39.8	29.1	34.5	-2.1	12.5	5.2	42	17.07	96.72	
OAXACA	Salina Cruz	40.2	33.0	36.6	11.8	22.4	17.1	67	16.17	95.18	
	Puebla	37.8	24.0	30.9	-5.0	-9.8	-2.4	50	19.03	98.20	
PUEBLA	Tehuacán	36.0	26.0	31.0	-4.0	9.9	3.0	50	18.24	97.23	
	Querétaro	36.9	26.5	31.7	-2.8	10.9	4.1	47	20.60	100.38	
QUERETARO	Chetumal	39.0	30.7	34.9	7.8	21.2	14.5	87	18.50	88.30	
	Cozumel	39.2	31.0	35.1	9.2	22.0	15.6	80	20.52	86.95	
QUINTANA ROO	San Luis P.	50.0	30.4	40.2	-2.0	19.1	8.6	64	21.59	99.01	
	Río Verde	45.1	28.8	36.9	-5.0	14.5	4.8	64	21.93	99.98	
SAN LUIS P.	San Luis Potosí	36.1	25.5	30.8	-6.5	10.3	1.9	51	22.15	100.98	
	Culiacán	43.0	32.8	37.9	1.6	18.2	9.9	62	24.80	107.40	
SINALOA	Mazatlán	39.6	27.7	33.7	4.5	20.5	12.5	78	23.22	106.42	
	Cd. Obregón	44.5	30.9	37.7	-4.2	15.2	5.5	71	27.48	109.93	
SONORA	Guaymas	42.0	30.0	36.0	2.5	20.4	11.5	64	27.92	110.90	
	Hemosillo	47.5	32.2	39.9	-1.2	16.8	7.8	34	29.07	110.97	
TABASCO	Novojoa	47.0	30.0	36.0	-5.5	12.5	3.7	50	27.28	109.40	
	San Luis Río C.	52.0	31.0	41.5	-4.0	14.9	5.5	32.29	114.48	JUL	
TABASCO	Cárdenas	41.5	31.8	36.7	9.5	20.9	15.2	18.00	93.23	MAY	
	Villahermosa	44.5	34.6	39.6	11.0	12.9	12.0	17.00	92.00	MAY	
TAMAULIPAS	Comalcalco	44.2	31.9	38.1	9.9	21.4	15.7	18.16	93.13	MAY	
	Paraiso	41.5	31.5	36.5	11.0	21.5	16.3	18.24	93.12	MAY	
TAMAULIPAS	Soto la Marina	48.3	31.4	39.9	-7.7	15.8	4.1	75	23.46	98.22	
	Cd. Mante	46.0	31.1	38.6	-1.5	17.9	8.2	75	22.44	98.59	
TAMAULIPAS	Nuevo Laredo	43.5	28.2	35.9	-7.9	17.1	4.6	79	27.30	99.30	
	Tampico	42.7	27.9	35.3	0.0	19.4	9.7	79	22.23	97.85	
TLAXCALA	Cd. Victoria	48.0	30.2	39.1	-5.0	17.3	6.2	79	23.45	99.08	
	Tlaxcala	33.0	22.2	27.6	-2.0	9.2	3.6	50	19.32	98.23	
TLAXCALA	Apizaco	32.0	22.4	27.2	-8.0	4.5	-1.8	50	19.24	98.08	
	Calpulpan	30.0	20.7	25.4	-2.0	6.7	2.4	50	19.33	98.34	
VERACRUZ	Coatzacoalcos	41.9	29.2	35.6	0.6	21.3	11.0	73	18.13	94.42	
	Córdoba	41.0	26.2	33.6	0.0	14.5	7.3	75	18.90	96.93	
VERACRUZ	Jalapa	35.0	23.0	29.0	2.0	14.2	8.1	72	19.53	96.92	
	Martínez de la T	42.0	29.1	35.6	2.0	18.8	10.4	72	20.04	97.03	
VERACRUZ	Minatitlán	42.0	30.5	36.3	4.0	21.2	12.6	71	17.59	94.33	
	Orizaba	38.5	24.5	31.5	-2.0	13.6	5.8	71	18.85	97.10	
VERACRUZ	Poza Roca	45.5	29.4	37.5	0.5	19.3	9.9	71	20.33	97.28	
	Tuxpan Rguez.	39.6	28.2	33.9	4.0	19.7	11.9	83	20.95	97.40	
YUCATAN	Veracruz	39.5	28.4	34.0	8.7	22.0	15.4	78	19.20	96.13	
	Mérida	44.1	31.7	37.9	5.0	20.5	12.8	65	20.93	89.63	
YUCATAN	Izmal	43.0	33.1	38.1	6.5	19.8	13.2	65	20.57	89.02	
	Progreso	39.2	28.4	33.8	9.2	22.9	16.1	75	21.28	89.65	
ZACATECAS	Valladolid	40.5	31.8	36.2	3.6	18.8	11.2	70	20.68	88.22	
	Zacatecas	28.8	17.5	23.2	-9.2	9.7	0.3	40	22.78	102.58	

1 La temperatura de diseño máxima está determinada en base al promedio de la máxima extrema anual y la promedio máxima anual.

2 La temperatura de diseño mínima está determinada en base al promedio de la mínima extrema anual y la promedio mínima anual.

3 La Humedad Relativa de Diseño está determinada como la humedad relativa promedio mensual durante el mes más caluroso

Fuente Normales Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional

Basado en las normales climatológicas, mediante la modelación de la variación típica de la temperatura durante el día, Joe Huang, científico del Lawrence Berkeley National Laboratory, presenta los valores de temperatura sol – aire promedio para el cálculo de la ganancia de calor a través del techo y fachadas de una edificación.

**Tabla 4.B**  
**VALORES DE TEMPERATURA SOL-AIRE PROMEDIO PARA CALCULO DE GANANCIA DE CALOR A TRAVES DEL TECHO Y LAS FACHADAS**  
(te) EN °C

ESTADO	Ciudad	Techo	Muro masivo				Muro Ligero				Ventanas				
			N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W	Hor
AGUASCALIENTES	Aguascalientes	35	24	26	25	25	28	31	30	30	23	23	23	24	21
BAJA CALIF. SUR	La Paz	40	28	31	29	29	31	35	34	35	26	27	28	28	25
	Puerto Cortés	37	25	28	27	27	29	32	32	32	24	25	25	25	23
BAJA CALIFORNIA	Ensenada	33	22	24	23	23	27	29	29	29	21	22	22	22	20
	Mexicali	43	30	33	31	31	33	37	35	37	28	29	30	30	27
CAMPECHE	Campeche	41	29	32	30	30	32	36	35	36	27	28	29	29	26
COAHUILA	Monclova	40	28	31	29	29	31	35	34	35	26	27	28	28	25
	Piedras Negras	40	28	31	30	30	31	35	34	35	27	28	28	28	25
	Saltillo	35	24	26	25	25	28	31	30	31	23	24	24	24	22
	Torreón	40	27	30	29	29	31	34	33	34	26	27	27	27	25
COLIMA	Colima	39	27	30	29	28	31	34	33	34	26	27	27	27	24
	Manzanillo	41	28	31	30	30	32	35	34	35	27	28	28	28	25
CHIAPAS	Arriaga	42	29	32	31	31	32	36	35	36	28	29	29	29	26
	Comitán	33	23	25	24	23	27	29	29	29	22	22	22	22	20
	San Cristóbal	30	20	22	21	21	25	27	27	27	19	20	20	20	18
	Tapachula	40	28	31	29	29	31	35	34	35	26	27	28	28	25
	Tuxtla Gutiérrez	39	27	30	29	28	31	34	33	34	26	27	27	27	24
CHIHUAHUA	Casas Grandes	36	25	27	26	26	29	32	31	31	24	24	24	25	22
	Chihuahua	37	25	28	27	27	29	32	32	32	24	25	25	25	23
	Temosachic	32	22	24	23	23	27	29	29	29	21	21	22	22	20
D.F.	México	31	21	23	22	22	26	28	28	28	20	21	21	21	19
DURANGO	Durango	35	24	26	25	25	28	31	30	30	23	23	23	24	21
	Lerdo	39	27	30	28	28	31	34	33	34	26	27	27	27	24
GUANAJUATO	Guanajuato	34	23	25	24	24	27	30	29	30	22	22	23	23	21
	León	35	24	27	26	25	29	31	31	31	23	24	24	24	22
GUERRERO	Acapulco	42	29	32	31	31	32	36	35	36	27	29	29	29	26
	Chilpancingo	36	25	27	26	26	29	32	31	31	23	24	24	25	22
HIDALGO	Pachuca	30	20	21	21	21	25	27	27	26	19	19	19	20	18
	Tulancingo	30	21	22	22	21	26	27	27	27	20	20	20	20	18
JALISCO	Guadalajara	35	24	26	26	25	28	31	31	31	23	24	24	24	22
	Huejucar	35	24	26	25	25	28	31	30	31	23	24	24	24	22
	Lag. de Moreno	35	24	26	25	24	28	30	30	30	22	23	23	23	21

**Tabla 4.B**  
**VALORES DE TEMPERATURA SOL-AIRE PROMEDIO PARA CALCULO DE GANANCIA DE CALOR A TRAVES**  
**DEL TECHO Y LAS FACHADAS**

(te) EN °C

ESTADO	Ciudad	Techo	Muro masivo				Muro Ligero				Ventanas				
			N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W	Hor
	Ocotlán	35	24	26	25	25	28	31	30	31	23	24	24	24	22
MEXICO	Chapingo, Texc	31	21	23	22	22	26	28	28	28	20	20	21	21	19
	Toluca	28	19	20	20	19	24	26	26	25	18	18	18	19	17
MICHOACAN	Morelia	33	23	25	24	24	27	30	29	29	22	22	22	23	20
NAYARIT	Tepic	36	25	27	26	26	29	32	31	32	24	25	25	25	22
NUEVO LEON	Monterrey	40	28	30	29	29	31	34	33	34	26	27	27	27	25
OAXACA	Oaxaca	35	24	26	26	25	28	31	31	31	23	24	24	24	22
	Salina Cruz	42	29	33	31	31	32	36	35	36	28	29	29	29	28
PUEBLA	Puebla	32	22	24	23	23	27	29	28	28	21	21	21	22	20
QUERETARO	Querétaro	35	24	26	25	25	28	31	30	30	23	23	23	24	21
QUINTANA ROO	Cozumel	40	28	31	30	29	31	35	34	35	27	28	28	28	25
	Chetumal	41	29	32	30	30	32	35	34	35	27	28	28	28	26
SAN LUIS POTOSI	Río Verde	37	26	28	27	27	30	33	32	33	24	25	25	26	23
	San Luis Potosí	34	23	25	25	24	28	30	30	30	22	23	23	23	21
SINALOA	Culiacán	42	29	32	31	31	32	36	35	36	27	29	29	29	26
	Mazatlán	40	28	31	29	29	31	35	34	35	26	27	28	28	25
SONORA	Guaymas	42	29	33	31	31	32	36	35	36	28	29	29	29	26
	Hermosillo	43	30	33	31	32	33	37	36	37	28	29	30	30	27
	Obregón	40	28	31	30	30	31	35	34	35	27	28	28	28	25
TAMAULIPAS	Soto La Marina	40	28	31	29	29	31	35	34	35	26	27	28	28	25
	Tampico	40	28	31	30	30	31	35	34	35	27	28	28	28	25
TLAXCALA	Tlaxcala	32	22	23	23	22	26	28	28	28	21	21	21	21	19
VERACRUZ	Coatzacoalcos	41	29	32	30	30	32	35	34	35	27	28	28	28	26
	Córdoba	36	25	27	28	28	29	32	31	31	24	24	24	25	22
	Jalapa	34	23	25	24	24	27	30	30	30	22	23	23	23	21
	Orizaba	35	24	26	25	25	28	31	30	30	23	23	23	24	21
	Tuxpan	40	28	31	29	29	31	35	34	34	26	27	27	27	25
	Veracruz	41	28	31	30	30	32	35	34	35	27	28	28	28	25
YUCATAN	Mérida	41	28	31	30	30	32	35	34	35	27	28	28	28	25
	Progreso	41	28	31	30	30	31	35	34	35	27	28	28	28	25
	Valladolid	40	28	31	29	29	31	35	34	35	26	27	28	28	25
ZACATECAS	Zacatecas	30	20	21	21	21	25	27	27	26	19	19	20	20	18

De la misma forma, nos presenta los valores de ganancia de calor solar promedio a través de ventanas y tragaluces.

Este tipo de ganancia es debido a la radiación.

**Tabla 4.C**  
**VALORES DE GANANCIA DE CALOR SOLAR PROMEDIO**  
**A TRAVÉS DE VENTANAS Y TRAGALUCES**  
**fg (W/m<sup>2</sup>)**

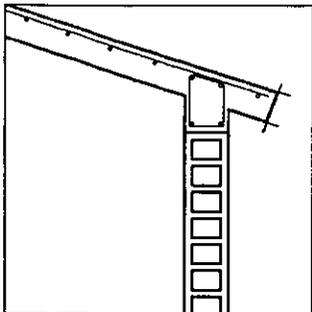
LOCALIZACIÓN	N	E	S	W	Promedio	Horizontal
GRUPO UNO	70.3	159.3	131.1	163.7	131.1	322.0
GRUPO DOS	91.2	137.3	117.9	145.9	123.1	274.0
GRUPO TRES	95.2	151.5	118.8	132.7	122.8	283.5
GRUPO CUATRO	102.1	139.9	113.8	133.7	122.4	272.3

GRUPO UNO		GRUPO DOS		GRUPO TRES		GRUPO CUATRO	
Estado	Ciudad	Estado	Ciudad	Estado	Ciudad	Estado	Ciudad
Baja Calif.	Ensenada	Coahuila	Monclova	Campeche	Campeche	Aguascalientes	Aguascalientes
	Mexicali		Piedras Negras	Chiapas	Arriaga	Colima	Colima
Baja Calif. Sur	La Paz		Saltillo		Comitán		Manzanillo
	Puerto Cortés		Torreón		San Cristóbal	D.F.	México
Sinaloa	Culiacán	Chihuahua	Casas Grand.		Tapachula	Guanajuato	Guanajuato
	Mazatlán		Temosachic		Tuxtla		León
Sonora	Cd. Obregón	Durango	Durango	Oaxaca	Salina Cruz	Guerrero	Acapulco
	Guaymas		Ciudad Lerdo	Quintana Roo	Cozumel		Chipancingo
	Hermosillo	Jalisco	Huejucar		Chetumal	Hidalgo	Pachuca
		Nuevo León	Monterrey	Veracruz	Coatzacoalcos		Tulancingo
		Tamaulipas	Soto la Marina	Yucatán	Mérida	Jalisco	Guadalajara
		Zacatecas	Tampico		Progreso		Lagos de Mor
			Zacatecas		Valladolid	México	Ocotlán
							Chapingo
							Toluca
						Michoacán	Morelia
						Nayarit	Tepic
						Oaxaca	Oaxaca
						Puebla	Puebla
						Querétaro	Querétaro
						San Luis Pot.	Río Verde
							San Luis Pot.
						Tlaxcala	Tlaxcala
						Veracruz	Córdoba
							Jalapa
							Orizaba
							Tuxpan
							Veracruz

Del ASHRAEE se considera el siguiente factor de corrección de sombreado exterior.

<b>FACTOR DE CORRECCION DE SOMBREADO EXTERIOR</b>			
<b>H/V</b>	<b>Norte</b>	<b>Este y Oeste</b>	<b>Sur</b>
0.00	1.00	1.00	1.00
0.05	0.98	0.95	0.94
0.10	0.96	0.91	0.88
0.15	0.94	0.87	0.83
0.20	0.93	0.83	0.78
0.25	0.91	0.79	0.74
0.30	0.90	0.76	0.69
0.35	0.88	0.72	0.65
0.40	0.87	0.69	0.62
0.45	0.86	0.66	0.58
0.50	0.85	0.63	0.56
0.55	0.84	0.60	0.53
0.60	0.83	0.57	0.51
0.65	0.82	0.55	0.49
0.70	0.81	0.53	0.47
0.75	0.80	0.51	0.46
0.80	0.80	0.49	0.45
0.85	0.79	0.47	0.44
0.90	0.79	0.46	0.44
0.95	0.79	0.44	0.44
1.00	0.79	0.43	0.44
1.05	0.79	0.43	0.44
1.10	0.79	0.43	0.44
1.15	0.79	0.43	0.44
1.20	0.79	0.43	0.44
1.25	0.79	0.43	0.44





## Clasificación de Materiales y Sistemas Constructivos

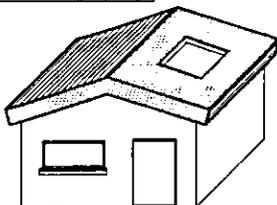
La envolvente de las edificaciones que se relacionan con la presente investigación se compone de los siguientes elementos, los cuales se incluyen en esta sección para su identificación y mayor entendimiento:

- A. Sistemas de techo
- B. Sistemas de muros
- C. Sistemas de ventanas y tragaluces
- D. Puertas

La presente investigación no incluye especificaciones sobre los distintos tipos de ventanas, sus materiales y componentes como son el vidrio y sus marcos, tragaluces y puertas, por lo que no se identifican sus tipos o componentes.

### A.- Sistemas de techo

En los sistemas de techo, se identifican los siguientes elementos:



### A.1.-Material resistente:

Se considera como *material resistente* aquel elemento que forma parte del sistema del techo y que es capaz de resistir los esfuerzos y deformaciones para las que se diseñó tomando en cuenta el límite de seguridad y de servicio que establecen los Reglamentos de Construcción vigentes para cada ciudad del País.

En los sistemas de techo se debe identificar y especificar el *material resistente* que cumpla con la condición anterior. Se debe tomar en cuenta en su diseño todas las cargas que en forma permanente o accidental puedan aplicarse durante el proceso de construcción y posteriormente debido a los materiales complementarios que se coloquen tanto en la parte superior (exterior) como en la parte inferior (interior) y que conformarán el sistema de techo. Se deberá además tomar en cuenta las cargas por viento, por acumulación

de agua o granizo que en forma accidental puedan presentarse.

El *material resistente* debe ser diseñado para soportar el equipo para acondicionamiento de aire o ventilación ya sea que éste se instale durante la etapa de construcción o posteriormente por el usuario o propietario de la edificación.

Cuando el *material resistente* del sistema de techo lo conforman dos o más componentes, se debe especificar en los planos y en la memoria de cálculo cuál es la función de cada uno y su comportamiento en su conjunto.

Se consideran como *materiales resistentes* los siguientes:

- Concreto armado coiado en el lugar (sólido)
- Concreto armado en el lugar (aligerado)
- Concreto armado prefabricado
- Concreto presforzado
- Tablero aglomerado sobre vigas o largueros
- Lámina acanalada de acero galvanizado
- Lámina galvanizada tipo sandwich con espuma intermedia
- Vigueta y bovedilla de arena-cemento
- Vigueta y bovedilla de espuma de poliestireno
- Sistema de losa reticular y cualquier otro que cumpla con las normas de calidad que garanticen su comportamiento estructural.



## A.2. Material de recubrimiento:

Se considera como *material de recubrimiento* el que se aplica al *material resistente* en la parte inferior con la finalidad de aplanarla dándole acabados, texturas y vistas diferentes y en la parte superior como elemento protector del *material resistente* contra la filtración del agua pluvial o como elemento protector de materiales de impermeabilización o de aislamiento que se agreguen al *material resistente*.

Se considera como *material de recubrimiento* los siguientes:

### Interior:

- Aplanado de yeso
- Aplanado con mortero de cemento
- Plafón con placa de yeso
- Duela
- Ladrillo

### Exterior:

- Enladrillado
- Aplanado con mortero de cemento
- Teja de barro
- Teja de asbesto
- Relleno para dar pendientes
- Aplanado con pastas (sintéticos o cementicios)
- Paneles prefabricados adosados a la estructura



### A.3.- Material de aislamiento (termoaislantes):

Se considera como *material de aislamiento* el que se adiciona al material resistente para mejorar las características térmicas del sistema de techo y/o muro.

Se consideran *materiales de aislamiento* los siguientes

- Placa de poliestireno
- Fibra de vidrio
- Fibra mineral
- Espuma de poliuretano
- y cualquier otro que por sus características físicas pueda ser integrado al sistema de techo



### A.4.- Membranas e Impermeabilizantes:

Se considera como *membranas e impermeabilizantes* a los materiales que se adicionan como capa protectora de los *materiales de recubrimiento exterior* o de *aislamiento* cuyas características no sean adecuadas para evitar el paso del agua a través del sistema de techo o muro al interior de la edificación. Estos materiales se podrán aplicar en frío o en caliente sobre la superficie a impermeabilizar y no deberán dañar o alterar las características ni dimensiones de los materiales aislantes especificados en los sistemas de techos o muros sobre los que se aplique.

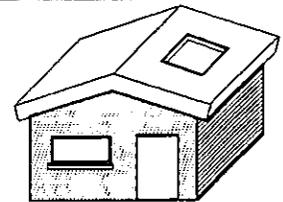
Por ser estas *membranas o impermeabilizantes* por lo general los que reciben el efecto directo del sol, viento y lluvia, su vida útil se ve afectada por el tiempo, por lo que deberá quedar claramente establecido por el colocador de dichas membranas, las garantías y los requerimientos para su mantenimiento preventivo y reparación.

Se considera los siguientes sistemas:

- Sistemas a base de capas de asfalto y fieltros, cartones o fibras de refuerzo para las acciones físicas y tensiones por temperatura.
- Membranas y pinturas con propiedades impermeables y flexibles.

## B.- Sistemas de muros

En los sistemas de muros, se identifican los siguientes elementos:



### B.1.-Material resistente:

En los sistemas de muros, el *material resistente* es aquel cuya función es la de transmitir esfuerzos de compresión, tensión o cortante, contribuyendo a la rigidez de la edificación y formando parte del sistema estructural resistente de la misma.

Se debe diferenciar el caso en que el *material resistente* del sistema de muros estructurales lo conforman dos o mas componentes.

Se consideran como *materiales resistentes* los siguientes:

- Concreto armado colado en el lugar
- Concreto armado prefabricado
- Tabique rojo recocido sólido
- Block de barro o cerámica extruido
- Block hueco de concreto
- Block de concreto ligero (tabicón)
- Block hueco de material silico-calcáreo
- Sistema de losa reticular

y cualquier otro que cumpla con las normas de calidad que garanticen su comportamiento estructural.



### B.2. Material de recubrimiento:

Se considera como *material de recubrimiento* el que se aplica o adiciona al *material resistente* en la cara interior o exterior con la finalidad de aplanarla dándole acabados, texturas y vistas diferentes. los recubrimientos en la cara exterior además protegen al *material resistente* o al material aislante contra la filtración del agua y el intemperismo.

Se considera como *material de recubrimiento* los siguientes:

#### Interior:

- *Tableros decorativos*
- *Aplanado de yeso*
- *Aplanado con mortero de cemento*
- *Placas de yeso*
- *Lambrines de madera*
- *Pinturas, pasta o tiroles*
- *Pastas*
- *Mosaicos, acabados cerámicos y barro*
- *Azulejos*
- *Papel tapiz*
- *Plásticos y acrílicos*

#### Exterior:

- *Aplanados con mortero cemento*
- *Aplanados con pasta*
- *Recubrimientos de piedra*
- *Recubrimientos de ladrillo o tabique de barro*
- *Recubrimientos cerámicos o vidriados*
- *Recubrimientos de lámina de acero*
- *Muros de choque o impacto*

y cualquier otro que por sus características físicas pueda ser integrado al sistema de muros.



### B.3.- Material de aislamiento (termoaislantes):

Se considera como *material de aislamiento* el que se adiciona al *material resistente* para mejorar las características térmicas del sistema de techo y/o muro.

Se consideran *materiales de aislamiento* los siguientes

- Placa de poliestireno
- Fibra de vidrio
- Fibra mineral
- Espuma de poliuretano
- y cualquier otro que por sus características físicas pueda ser integrado al sistema de techo



#### **B.4.- Membranas e Impermeabilizantes:**

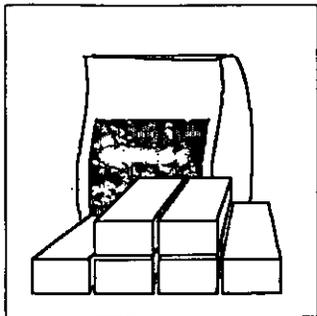
Se considera como *membranas e impermeabilizantes* a los materiales que se adicionan como capa protectora de los *materiales de recubrimiento exterior* o de *aislamiento* cuyas características no sean adecuadas para evitar el paso del agua a través del sistema de techo o muro al interior de la edificación. Estos materiales se podrán aplicar en frío o en caliente sobre la superficie a impermeabilizar y no deberán dañar o alterar las características ni dimensiones de los materiales aislantes especificados en los sistemas de techos o muros sobre los que se aplique.

Por ser estas *membranas o impermeabilizantes* por lo general los que reciben el efecto directo del sol, viento y lluvia, su vida útil se ve afectada por el tiempo, por lo que deberá quedar claramente establecido por el colocador de dichas membranas, las garantías y los requerimientos para su

mantenimiento preventivo y reparación.

Se considera los siguientes sistemas:

- Sistemas a base de capas de asfalto y fieltros, cartones o fibras de refuerzo para las acciones físicas y tensiones por temperatura.
- Membranas y pinturas con propiedades impermeables y flexibles.



## Características Térmicas de Materiales

El proceso de diseño se debe basar en el manejo adecuado de la energía solar, de los materiales constructivos y de los sistemas constructivos, los cuales son puntos básicos en la climatización natural.

El flujo de energía de una estructura o espacio se rige por los principios de termodinámica; la termodinámica estudia las transformaciones de las diferentes formas de energía de calor a trabajo y viceversa.

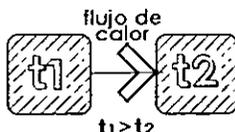
### 1er ley de la termodinámica

La primera ley establece que la energía no se crea ni se destruye, tan sólo se transforma.



### 2a ley de la termodinámica

La segunda ley establece que la energía calorífica siempre viaja de un cuerpo con mayor temperatura a otro con menor temperatura.



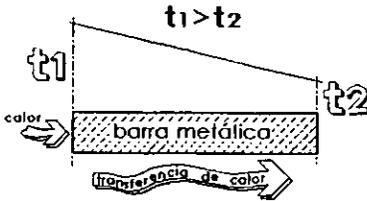
Se presentan 3 mecanismos para la transferencia de calor:

- Conducción
- Convección
- Radiación

### 1. Conducción:

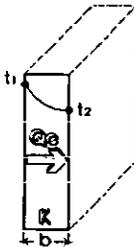
La transferencia de calor por conducción se realiza por la actividad molecular de los materiales y ocurre básicamente en materia sólida.

El calentamiento de la primeras moléculas propicia una transferencia de energía a las moléculas adyacentes debido al diferencial de temperatura; cuando se aplica calor al extremo de una barra metálica, aumenta la actividad molecular elevándose la temperatura en el material, por la segunda ley de la termodinámica, se transmite la energía por las partículas al otro extremo de la barra, en el extremo inicial de la barra se ubica la mayor temperatura y esta va disminuyendo progresivamente,



pero a su vez, el extremo final de la barra alcanzará la misma temperatura que el extremo inicial y la transferencia de calor será nula; en general, el grado de transferencia depende de la diferencia entre las temperaturas.

Entre los materiales existen buenos conductores como son el aluminio y el cobre y otros que son malos conductores como es el caso de la madera.

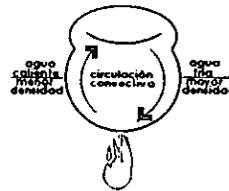


- Qc.- flujo de calor por conducción
- k.- conductividad térmica del material
- t1, t2.-temperaturas
- b.- espesor del material

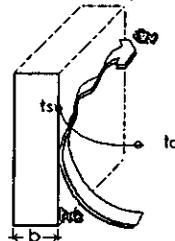
**2.- Convección:**

La transferencia de calor por convección se realiza entre líquidos y gases siendo el resultado del movimiento del fluido, la transferencia por convección se realiza mas rápidamente que la transferencia por conducción.

Por ejemplo, cuando se aplica calor a un recipiente con agua, el agua del fondo se calienta por conducción, al calentarse se expande y se vuelve menos densa que la que se encuentra en la parte superior, al ser menos densa, tiende a subir, en cambio, el agua fría de la parte superior con mayor densidad se desplaza a la parte inferior calentándose a su vez y así sucesivamente en un proceso de circulación convectiva.



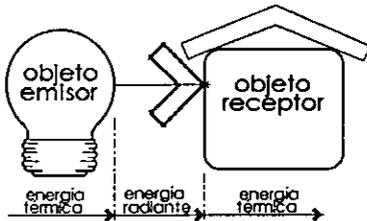
Al final del proceso el calor en toda el agua es uniforme, lo que implica un mezclado del fluido; en general la magnitud del flujo se encuentra en función del diferencial de temperatura; este fenómeno se presenta en el agua, en el aire o en cualquier otro fluido.



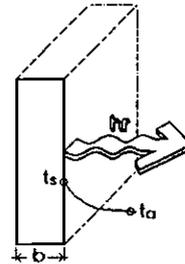
- ts.- temperatura superficial
- ta.- temperatura del aire
- hc.- coeficiente de convección superficial
- Qv.- flujo de calor por convección superficial

3.- Radiación:

La transferencia de energía por radiación se efectúa por medio de ondas electromagnéticas, a diferencia de la convección y la conducción no requiere de materia para su transporte de energía térmica a energía radiante.



La energía radiante se mantiene como tal hasta el momento de ser absorbida por el objeto receptor en el cual se transforma en energía térmica.



- b.- espesor del material
- ts.- temperatura superficial
- ta.- temperatura del aire
- hr.- coeficiente de radiación superficial

Como vimos anteriormente, el grado de transferencia por conducción está en función del coeficiente de conductividad térmica del material (k). La conductividad térmica es la propiedad del material de permitir el paso de calor.

verificación de valores de k (Pruebas de laboratorio)

Tabla 6.A  
SISTEMA DE TECHOS Y MUROS  
VALORES DE COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE DIVERSOS MATERIALES

	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Conductividad d (k) W/m°C	Resistencia Térmica (Ri) m <sup>2</sup> °C/W
<b>B.1 MATERIAL RESISTENTE</b>			
Ladrillo al exterior	-----	0.872	-----
Ladrillo al exterior, recubrimiento impermeable por fuera	-----	0.768	-----
Ladrillo interiores	-----	0.698	-----
Tabique de barro extruido sólido vidriado, p/acabado ext.	2,050	1.282	-----
Block hueco vert. (60 a 67% sólido)	2,050	0.998	-----
Block hueco vert. rell. vermiculita	2,050	0.575	-----
Tabique ligero con recubrimiento impermeable por fuera			
densidad 1600	1,600	0.698	-----
densidad 1400	1,400	0.582	-----
densidad 1200	1,200	0.523	-----
densidad 1000	1,000	0.407	-----

**Tabla 6.A**  
**SISTEMA DE TECHOS Y MUROS**  
**VALORES DE COMPORTAMIENTO TERMICO DE DIVERSOS MATERIALES**

	<i>Densidad Kg/m3</i>	<i>Conductivida d (k) W/m°C</i>	<i>Resistencia Térmica (Ri) m2°C/W</i>
Tabique ligero al exterior	1,600	0.814	-----
Siporex al exterior recubrimiento impermeable por fuera			
densidad 660	660	0.209	-----
densidad 510	510	0.163	-----
densidad 410	410	0.140	-----
Siporex al interior en espacio seco			
densidad 660	660	0.186	-----
densidad 510	510	0.151	-----
densidad 410	410	0.128	-----
Concreto armado	2,300	1.740	-----
Concreto pobre al exterior	2,200	1.280	-----
Concreto ligero al exterior	1,250	0.698	-----
Concreto ligero al interior	1,250	0.582	-----
Concreto ligero al exterior	800	0.465	-----
Concreto ligero al interior	800	0.349	-----
Mortero cemento (alta densidad)	2,173	1.514	-----
Mortero cemento (baja densidad)	1,890	0.721	-----
Plasto-cemento arena	1,387	0.721	-----
Fibrocemento (cemento portland con madera)	435	0.076	-----
Asbesto	577	0.170	-----
Placas de asbesto cemento	1,800	0.582	-----
Pamacon	390	0.066	-----
Block de tepetate o arenisca calcárea al exterior	-----	1.047	-----
Block de tepetate o arenisca calcárea al interior	-----	0.930	-----
Block de adobe al exterior	-----	0.930	-----
Block de adobe al interior	-----	0.582	-----
Embarro (con paja y carrizo)	-----	0.465	-----
Granito, basalto	2,700	3.490	-----
Piedra de cal, mármol	2,600	2.442	-----
Piedras porosas como arenisca y caliza blanda o arenosa	2,400	2.326	-----
Adobe	-----	0.930	-----
Vidrio	2,600	0.814	-----
Acero y fierro	7,800	52.335	-----
Cobre	8,900	372.160	-----
Aluminio	2,700	204.000	-----
Madera de encino, seco 90° de la fibra	700	0.163	-----
Madera de pino blanco, seco 90° de la fibra	500	0.140	-----
Madera de pino blanco, expuesto a lluvia, asfalto p/fundir	2,100	0.814	-----

**Tabla 6.A**  
**SISTEMA DE TECHOS Y MUROS**  
**VALORES DE COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE DIVERSOS MATERIALES**

	<i>Densidad Kg/m<sup>3</sup></i>	<i>Conductivida d (k) W/m<sup>2</sup>C</i>	<i>Resistencia Térmica (Ri) m<sup>2</sup>C/W</i>
<b>B.2 MATERIAL DE RECUBRIMIENTO</b>			
Tablero asbesto cemento	1,932	0.577	-----
Espesor de 0.31 cm	1,932	-----	0.005
Espesor de 0.84 cm	1,932	-----	0.011
Triplay y paneles de madera de 1.90 cm	-----	-----	0.165
Tablero de yeso			
espesor de 0.96 cm	805	-----	0.057
espesor de 1.27 cm	805	-----	0.083
espesor de 1.69 cm	805	-----	0.110
Triplay	547	0.115	-----
Espesor de 0.64 cm	-----	-----	0.055
Espesor de 0.96 cm	-----	-----	0.083
Espesor de 1.27 cm	-----	-----	0.110
Espesor de 1.60 cm	-----	-----	0.137
Tablero de fibra vegetal			
Cartón de yeso, densidad regular 1.27 cm	290	-----	0.232
Cartón de yeso, densidad regular 2.00 cm	290	-----	0.359
Cartón de yeso, densidad intermedia 1.27 cm	354	-----	0.191
Teja de madera de 0.95 cm de espesor	290	-----	0.166
Teja de madera de 0.80 cm de espesor	290	-----	0.138
Tablero aislante al ruido de 1.27 cm	241	-----	0.238
Páneles apilados y entretrejidos sencillos o acústicos	290	0.058	-----
sencillos o acústicos de 1.27 cm	290	-----	0.220
sencillos o acústicos de 1.90 cm	290	-----	0.332
Tableros de papel laminado	483	0.072	-----
Tableros endurecidos			
densidad media	805	0.105	-----
alta densidad, templado de servicio	885	0.118	-----
alta densidad, templado estándar	1,014	0.144	-----
Tablero de partículas			
densidad baja	596	0.102	-----
densidad media	805	0.136	-----
densidad alta	1,006	0.170	-----
Tezontle como relleno o terrado seco	-----	0.186	-----
Relleno de tierra, arena o grava expuestos a la lluvia	-----	2.326	-----
Relleno de terrado secos, en azoteas	-----	0.582	-----
Arena seca, limpia	1,700	0.407	-----
Sénica de carbón, seco	700	0.233	-----
Siporex despedazado, seco	400	0.151	-----
Escoria, seco	150	0.093	-----
Grafito, sólido	1,500	12.548	-----
Mica	-----	0.049	-----



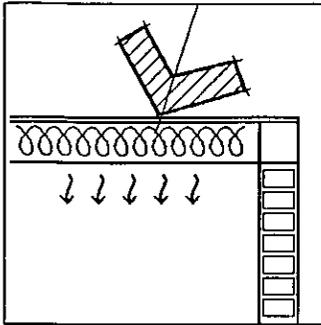
Tabla 6.A  
**SISTEMA DE TECHOS Y MUROS**  
**VALORES DE COMPORTAMIENTO TERMICO DE DIVERSOS MATERIALES**

	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Conductivida d (k) W/m <sup>2</sup> C	Resistencia Térmica (Ri) m <sup>2</sup> C/W
<b>B.3 MATERIAL DE AISLAMIENTO</b>			
Poliuretano	28	0.020	-----
Fibra mineral	32	0.035	-----
Fibra de vidrio			
densidad 11	11	0.047	-----
densidad 104	104	0.032	-----
densidad 136	136	0.032	-----
Poliestireno (espuma rígida)			
densidad 32	32	0.020	-----
densidad 24	24	0.032	-----
densidad 16	16	0.039	-----
densidad 11	11	0.044	-----
Concreto con perlita			
densidad 360	360	0.068	-----
densidad 430	430	0.075	-----
densidad 500	500	0.086	-----
Plástico celular de poliestireno			
densidad 17	17	0.034	-----
densidad 11	11	0.044	-----
Silicato de calcio	-----	0.050	-----
Lana de escoria	35-200	0.046	-----
Lana mineral	193-225	0.034	-----
Perlita expandida			
densidad 66	66	0.046	-----
densidad 119	119	0.045	-----
densidad 117	177	0.052	-----
Algodón seco	-----	0.046	-----
Lana pura seca	-----	0.046	-----
Cáscara de semilla de algodón, suelta, seca	-----	0.058	-----
Espacio de aire de 2.0 cm	1	-----	0.132
Espacio de aire de 3.0 cm	1	-----	0.134
Espacio de aire de 4.5 cm	1	-----	0.137
Espacio de aire de 9.0 cm	1	-----	0.141
Agua	1,000	0.582	-----

**Tabla 6.A**  
**SISTEMA DE TECHOS Y MUROS**  
**VALORES DE COMPORTAMIENTO TERMICO DE DIVERSOS MATERIALES**

	<i>Densidad Kg/m<sup>3</sup></i>	<i>Conductivida d (k) W/m<sup>2</sup>C</i>	<i>Resistencia Térmica (Rl) m<sup>2</sup>C/W</i>
<b>B.4 MEMBRANAS E IMPERMEABILIZANTES</b>			
Membranas asfaltadas	1,127	0.170	-----
Asfalto bituminoso	1,050	0.174	-----
Filtro de papel permeable	-----	-----	0.011
Valores de k obtenidos a 24°C			
Estos valores son sólo de referencia y deben ser certificados por el fabricante			





# 7

## Resistencia Térmica de Sistemas Constructivos

Como vimos anteriormente, la Resistencia Térmica de los materiales se define en función de la transmisión térmica por conducción, por convección y por radiación; en realidad la resistencia térmica es una característica propia del material y por consiguiente del sistema constructivo.

Se define un sistema como el conjunto de elementos ordenados relacionados entre sí. Entendemos por sistema constructivo el conjunto de materiales integrados para formar un elemento único, cuya función es contribuir con la estructura del edificio.

### RESISTENCIA TERMICA TOTAL (R) DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

#### ○ Resistencia Térmica por CONDUCCION

Cuando hablamos de transmisión térmica por conducción, es imprescindible considerar la conductividad del material, denotada con la letra "k"; el inverso de la conductividad representa la resistencia del material para dicho concepto.

En el capítulo 6, tabla 6.A "Características Térmicas de

Materiales", se presentan los valores de comportamiento térmico de diversos materiales, por ejemplo, se presenta a continuación los valores algunos materiales:

- *Concreto armado*  $k = 1.74$   
*Resistencia por metro de espesor*  $(1/k) = 0.5747$
- *Aluminio*  $k = 204.000$   
*Resistencia por metro de espesor*  $(1/k) = 0.0049$
- *Panel madera 1.90 cm*  $k = 6.06$   
*Resistencia 1.9cm de espesor*  $(1/k) = 0.1650$
- *Yeso*  $k = 0.372$   
*Resistencia por metro de espesor*  $(1/k) = 2.6881$
- *Poliuretano*  $k = 0.020$   
*Resistencia por metro de espesor*  $(1/k) = 50.00$
- *Asfalto bituminoso*  $k = 0.174$   
*Resistencia por metro de espesor*  $(1/k) = 5.747$

Como podemos ver en los ejemplos, el material que ofrece mas resistencia es el aislante, y el que menor resistencia presenta es el metálico, también es importante observar que la Resistencia Térmica está dada en función del espesor del material, y en el caso del pánel de madera, la resistencia corresponde a un pánel de 1.90 cm de espesor, mientras que en los demás materiales, corresponde a bloque de un metro de espesor.

Por ejemplo, la resistencia térmica por convección de un techo será:

$$R = 1/hc1 + 1/hce$$

$$R = 1/3.0 + 1/19.74$$

$$R = 0.384 \text{ m}^2\text{°C} / \text{W}$$

para un muro, cuando se trate de pérdida de calor

$$R = 1/hci + 1/hce$$

$$R = 1/1.5 + 1/19.74$$

$$R = 0.717 \text{ m}^2\text{°C} / \text{W}$$

○ Resistencia Térmica por CONVECCION

La convección comprende la transmisión por el movimiento de un fluido, en este caso, el aire; en general el coeficiente de convección entre aire y las superficies constructivas es:

para un muro, cuando se trate de ganancia de calor

$$R = 1/hci + 1/hce$$

$$R = 1/4.3 + 1/19.74$$

$$R = 0.283 \text{ m}^2\text{°C} / \text{W}$$

○ Resistencia Térmica por RADIACION

Superficie interior:

hci =3.0 W/m <sup>2</sup> °C	superficies verticales	
hci =4.3 W/m <sup>2</sup> °C	superficies horizontales con intercambio hacia arriba (temp ext. < temp. int.)	
hci =1.5 W/m <sup>2</sup> °C	superficies horizontales con intercambio hacia arriba (temp. ext. > temp int.)	

hr =5.7ε W/m <sup>2</sup> °C	temp. superficial de 20°°C	ε = 0.9 para materiales comunes
hr =4.6ε W/m <sup>2</sup> °C	temp. superficial de 0°°C	ε = 0.2 para aluminio opaco ε = 0.05 para aluminio pulido

Por ejemplo, el coeficiente de radiación cuando se trate de materiales comunes para una temperatura superficial de 20°°C, (ganancia de calor) será:

$$hr = 5.7 \epsilon$$

$$hr = 5.7 \times 0.9$$

$$hr = 5.13$$

....y la resistencia térmica por radiación será:

$$R = 1/hr$$

$$R = 1/5.13$$

$$R = 0.195 \text{ m}^2\text{°C} / \text{W}$$

Superficies expuestas al viento:

$$hce = 5.8 + 4.1v$$

(v = velocidad del viento en m/s)  
según ASHRAEE v = 3.4 m/s  
por tanto:

Cuando se trate de temperatura superficial de 0°°C, (pérdida de calor) el coeficiente será:

hce =19.74 W/m <sup>2</sup> °C	superficies verticales y horizontales	
-----------------------------------	---------------------------------------	---

$$hr = 4.1 \text{ } \epsilon$$

$$hr = 4.1 \times 0.9$$

$$hr = 3.69$$

....y la resistencia térmica por radiación será:

$$R = 1/hr$$

$$R = 1/3.69$$

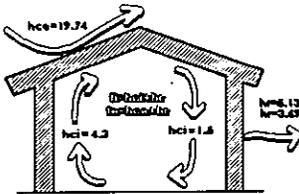
$$R = 0.271 \text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$$

**RESISTENCIA TERMICA TOTAL ( R )  
DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS  
FORMADOS POR:  
CAPAS HOMOGENEAS**

Al analizar la transferencia de calor del aire a un cuerpo o viceversa, podemos integrar el coeficiente de conductancia superficial

$$fi = hci + hr$$

$$fe = hce + hr$$



En general podemos decir que al utilizar materiales de construcción comunes, podemos simplificar el cálculo en dos casos, temperatura externa mayor o menor de 10°C:

*Utilizando los valores de los ejemplos anteriores tenemos que para temperaturas externas mayores de 10°C en techos:*

interior	exterior
$fi = hci + hr$	$fe = hce + hr$
$fi = 1.5 + 5.13$	$fe = 19.74 + 5.13$
$fi = 6.63 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$	$fe = 24.87 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$

para el caso en que las temperaturas externas sean menores de 10°C, tendremos:

interior	exterior
$fi = hci + hr$	$fe = hce + hr$
$fi = 4.3 + 3.69$	$fe = 19.74 + 3.69$
$fi = 7.99 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$	$fe = 23.43 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$

Para el caso de muros tenemos que para temperaturas externas mayores de 10°C en techos:

interior	exterior
$fi = hci + hr$	$fe = hce + hr$
$fi = 3.0 + 5.13$	$fe = 19.74 + 5.13$
$fi = 8.13 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$	$fe = 24.87 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$

para el caso en que las temperaturas externas sean menores de 10°C, tendremos:

interior	exterior
$fi = hci + hr$	$fe = hce + hr$
$fi = 3.0 + 3.69$	$fe = 19.74 + 3.69$
$fi = 6.69 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$	$fe = 23.43 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$

En resumen, podemos considerar que en el caso en que se utilicen materiales comunes para construcción, tendremos:

	fi		fe
	techo	muro	
Temperatura externa > 10°C	6.63	8.13	24.87
Temperatura externa < 10°C	7.99	6.69	23.43

El recíproco de la conductancia superficial equivale a la resistencia superficial, por lo tanto, la Resistencia Térmica total queda como sigue:

**RESISTENCIA TERMICA TOTAL (Valor R)**

El resultado de todas las resistencias anteriormente vistas es la Resistencia Térmica Total.

La resistencia térmica total ( R ) de sistemas constructivos formados por elementos planos con capas térmicamente homogéneas perpendiculares al flujo de calor, deben calcularse con la siguiente expresión:

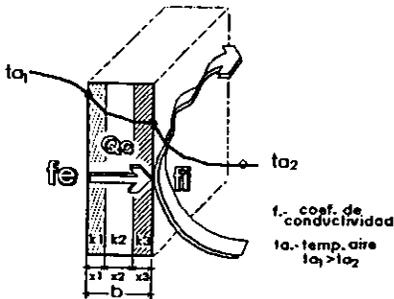
$$R = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{f_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{x_n}{k_n}$$

Expresada en unidades de:  
 $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$

**CONDUCTIVIDAD TERMICA TOTAL (Valor U)**

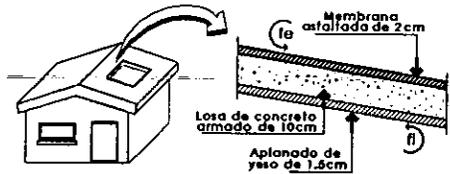
La conductividad térmica total ( U ) equivale al inverso de la resistencia térmica del elemento o sistema constructivo, esto quiere decir que la conductividad es la capacidad de los cuerpos de transmitir la energía, en este caso calorífera.

$$U = \frac{1}{R}$$



Por ejemplo, tenemos a continuación el cálculo de la Resistencia Térmica (valor R) para los siguientes elementos de la envolvente, para la conductancia superficial, consideraremos que se trata del caso de ganancia de calor :

7.1.- Inicialmente consideraremos una estructura sencilla a base de losa de concreto en techos



Lista de componentes	Espesor X [m]	Coef. Cond. Térm. K [W m/m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C / W]
Convección Ext. (1 / fe)	1	24.87	0.040
Convección int. (1 / fi)	1	6.63	0.151
Membrana asfaltada	0.02	0.170	0.118
Concreto armado	0.10	1.740	0.057
Aplanado de Yeso	0.015	0.372	0.040
		Valor de R	0.406

El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

$$U = 1/R$$

$$U = 1/0.406$$

$$U = 2.463 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

si en el ejemplo aumentamos al sistema constructivo aislamiento térmico, por ejemplo, 2" de poliestireno

Valor de R sin aislamiento	---	---	0.406
Poliestireno 2" dens. 16	0.051	0.039	1.308
		Valor de R	1.714

Como podemos ver en el ejemplo, materiales aislantes, como son el poliuretano y el poliestireno, aumentan considerablemente la Resistencia Térmica del elemento.

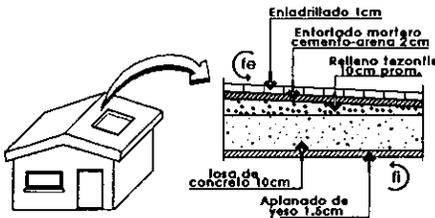
El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

$$U = 1/R$$

$$U = 1/1.714$$

$$U = 0.583 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

7.2.- Ahora supongamos que se trata de una losa de concreto armado, pero en este caso, se considera un relleno para dar pendientes:



Lista de componentes	Espesor x [m]	Coef. Cnd. Térm. K [W m/m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C / W]
Convección Ext. (1 / fe)	1	24.87	0.040
Convección Int (1 / fi)	1	6.63	0.151
Enladrillado	0.01	0.872	0.011
Entortado	0.02	0.721	0.028

Lista de componentes	Espesor x [m]	Coef. Cnd. Térm. K [W m/m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C / W]
mort cem-ar			
Relleno de tezonille	0.10	0.186	0.538
Losa concreto armado	0.10	1.740	0.057
Aplanado de yeso	0.015	0.372	0.040
		Valor de R	0.865

El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

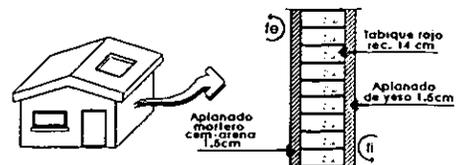
$$U = 1/R$$

$$U = 1/0.865$$

$$U = 1.156 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

En este ejemplo podemos observar que materiales como el tezonille, mejoran la Resistencia del elemento, de esto podemos determinar la importancia de la correcta selección de materiales, entre menor sea el coeficiente de conductividad del material, mayor Resistencia tendrá al flujo de energía calorifera, eficientando nuestro consumo energético.

7.3.- En este nuevo ejemplo consideraremos un muro de tabique rojo recocido común:



Lista de componentes	Espe-sor x [m]	Coef. Cond. Térm. K [W m/m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C / W]
Convección Ext. (1 / fe)	1	24.87	0.040
Convección Int (1 / fi)	1	8.13	0.123
Aplanado mort cem-arena	0.015	0.721	0.021
Tabique rojo recocido	0.14	0.872	0.161
Aplanado de yeso	0.015	0.372	0.040
		<b>Valor de R</b>	<b>0.385</b>

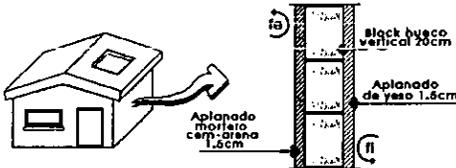
El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

$$U = 1/R$$

$$U = 1/0.385$$

$$U = 2.597 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

7.4.- Ahora tenemos un muro de Block hueco vertical:



Lista de componentes	Espe-sor x [m]	Coef. Cond. Térm. K [W m/m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C / W]
Convección Ext. (1 / fe)	1	24.87	0.040
Convección Int (1 / fi)	1	8.13	0.123
Aplanado de mortero cemento arena	0.015	0.721	0.021

Lista de componentes	Espe-sor x [m]	Coef. Cond. Térm. K [W m/m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C / W]
Block hueco vertical	0.20	0.998	0.200
Aplanado de yeso	0.015	0.372	0.040
		<b>Valor de R</b>	<b>0.424</b>

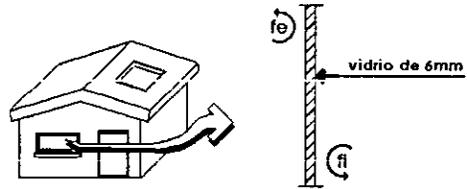
El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

$$U = 1/R$$

$$U = 1/0.424$$

$$U = 2.358 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

7.5.- El siguiente ejemplo es de una ventana instalada de manera continua, es decir, sin marco:



Lista de componentes	Espe-sor x [m]	Coef. Cond. Térm. K [W m/m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C / W]
Convección Ext. (1 / fe)	1	24.87	0.040
Convección Int (1 / fi)	1	8.13	0.123
Vidrio 6 mm	0.006	0.814	0.007
		<b>Valor de R</b>	<b>0.170</b>

El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

$$U = 1/R$$

$$U = 1/0.170$$

$$U = 5.882 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

7.6.- En otros países como en los estados unidos, se acostumbra mejorar la resistencia de las ventanas con vidrios dobles, encerrando algún tipo de gas, considerando tan solo aire en lugar de gas y suponiendo que se ha instalado de manera continua, tenemos:

Lista de componentes	Espesor x [m]	Coef. Cond. Térm. K [W m/m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C/W]
Convección Ext. (1 / fe)	1	24.87	0.040
Convección Int (1 / fi)	1	8.13	0.123
Vidrio 6 mm	0.006	0.814	0.007
Espacio de aire 2 cm	—	—	0.132
Vidrio 6 mm	0.006	0.814	0.007
		<b>Valor de R</b>	<b>0.309</b>

El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

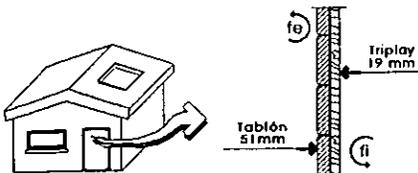
$$U = 1/R$$

$$U = 1/0.309$$

$$U = 3.236 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Como observamos en estos dos últimos ejemplos, el gas, en este caso tan sólo aire, contribuye grandemente con la resistencia térmica del material.

7.7.- A continuación presentamos el ejemplo de una puerta de madera



Lista de componentes	Espesor x [m]	Coef. Cond. Térm. K [W m/m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C/W]
Convección Ext. (1 / fe)	1	24.87	0.040
Convección Int (1 / fi)	1	8.13	0.123
Vidrio 6 mm	0.070	0.140	0.500
		<b>Valor de R</b>	<b>0.663</b>

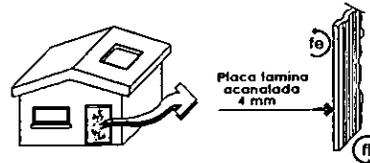
El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

$$U = 1/R$$

$$U = 1/0.663$$

$$U = 1.508 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

7.8.- En el caso de una puerta de lámina acanalada tenemos lo siguiente



Lista de componentes	Espesor x [m]	Coef. Cond. Térm. K [W m/m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C/W]
Convección Ext. (1 / fe)	1	24.87	0.040
Convección Int (1 / fi)	1	8.13	0.123
Placa lámina corrugada	0.070	52.335	0.0001
		<b>Valor de R</b>	<b>0.163</b>

Como podemos observar, la resistencia de la lámina es muy baja y tan sólo adquiere su resistencia en base a la convección interior y exterior que provoca, la conductividad Térmica del sistema será:

$$U = 1/R$$

$$U = 1/0.163$$

$$U = 6.135 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

**RESISTENCIA TERMICA TOTAL ( R ) DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS FORMADOS POR: CAPAS NO HOMOGENEAS**

Quando se trata de sistemas constructivos formados por capas no homogéneas, es decir, el material que los conforma no es uniforme en su plano transversal, es necesario ajustar el valor de la conductividad térmica en función de las áreas ponderadas correspondientes:

En este caso la Resistencia Térmica Total para sistemas constructivo, equivale a:

$$R = \frac{1}{U_t}$$

Donde:

$$U_t = \left\{ \left( \frac{1}{R_a} \right) \times \left( \frac{L_a}{L} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{R_b} \right) \times \left( \frac{L_b}{L} \right) \right\}$$

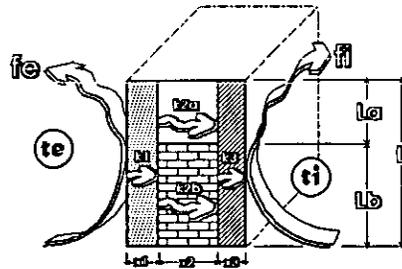
Donde:

- Ut.- Valor ponderado de la conductancia total del sistema constructivo (W/m<sup>2</sup>°C)
- L.- Ancho de la sección total, perpendicular a la superficie del sistema y que incluye secciones con capas homogéneas distintas (m)

- La.- Ancho de la sección formada con capas térmicamente homogéneas distintas a la sección b {L = La + Lb} (m)
- Lb.- Ancho de la sección formada con capas térmicamente homogéneas distintas a la sección a (m)
- Ra.- Valor de la Resistencia Térmica total del sistema constructivo en la sección a (m<sup>2</sup>°C/W)
- Rb.- Valor de la Resistencia Térmica total del sistema constructivo en la sección b (m<sup>2</sup>°C/W)

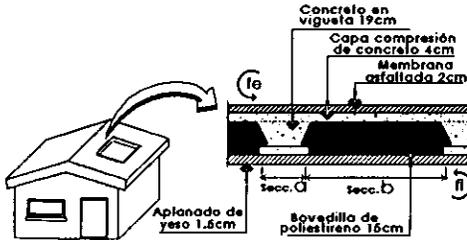
$$R_a = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{f_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}$$

$$R_b = \frac{1}{f'_e} + \frac{1}{f'_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}$$



Por ejemplo, tenemos a continuación el cálculo de la Resistencia Térmica (valor R) para los siguientes elementos de la envolvente, para la conductancia superficial, consideraremos que se trata del caso de ganancia de calor :

7.9.- Consideraremos el caso de sistema de techo a base de Vigueta y bovedilla



$$U_t = \left\{ \left( \frac{1}{0.458} \right) \times \left( \frac{0.12}{0.75} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{3.781} \right) \times \left( \frac{0.63}{0.75} \right) \right\}$$

$$U_t = 0.3493 + 0.2221$$

$$U_t = 0.571 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

y el valor de la Resistencia Térmica Total será:

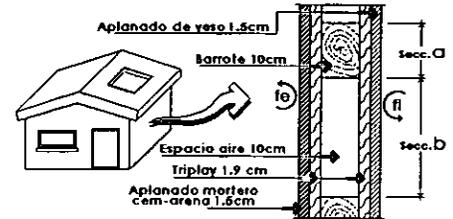
$$R = 1/U_t$$

$$R = 1/0.571$$

$$R = 1.751 \text{ m}^2\text{°C/W}$$

En este caso se calcula la Resistencia Térmica individualmente para cada sección (secc. a y secc. b) como para sistemas formados por capas homogéneas

Lista de componen	Espesor x [m]	Coef. Cond. Térm. k [W m /m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C / W]	
			Secc. a	Secc. b
Conv Ext. (1 / fe)	1	24.87	0.040	0.040
Conv Int (1 / fi)	1	6.63	0.151	0.151
Membrana asfaltada	0.02	0.170	0.118	0.118
Capa compr de concreto	0.04	1.740	0.023	0.023
Concreto en Vigueta	0.15	1.740	0.086	---
Bovedilla de poliestireno de 11 Kg/m <sup>3</sup>	0.15	0.044	-----	3.409
Aplanado de Yeso	0.015	0.372	0.040	0.040
		Valor parcial R	0.458	3.781



Lista de componen	Espesor x [m]	Coef. Cond. Térm. k [W m /m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C / W]	
			Secc. a	Secc. b
Conv Ext. (1 / fe)	1	24.87	0.040	0.040
Conv Int (1 / fi)	1	8.13	0.123	0.123
Apl mortero cem-arena	0.015	0.721	0.021	0.021
Triplay	0.019	0.140	0.136	0.136
Barrote	0.10	0.140	0.714	-----
Espacio de aire	---	---	-----	0.141
Triplay	0.019	0.140	0.136	0.136
Aplanado de Yeso	0.015	0.372	0.040	0.040
		Valor parcial R	1.210	0.637

El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

$$U_t = \left\{ \left( \frac{1}{R_a} \right) \times \left( \frac{L_a}{L} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{R_b} \right) \times \left( \frac{L_b}{L} \right) \right\}$$

El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

$$U_t = \left\{ \left( \frac{1}{R_a} \right) \times \left( \frac{L_a}{L} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{R_b} \right) \times \left( \frac{L_b}{L} \right) \right\}$$

$$U_t = \left\{ \left( \frac{1}{1.210} \right) \times \left( \frac{0.28}{0.33} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{0.637} \right) \times \left( \frac{0.05}{0.33} \right) \right\}$$

$$U_t = 0.7012 + 0.2379$$

$$U_t = 0.939 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

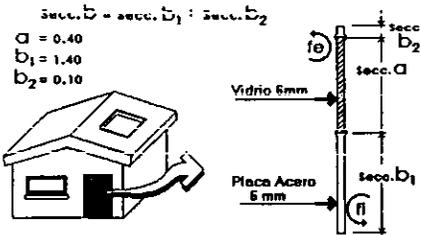
y el valor de la Resistencia Térmica Total será:

$$R = 1/U_t$$

$$R = 1/0.939$$

$$R = 1.065 \text{ m}^2\text{°C/W}$$

7.11.- En el caso de una puerta de acero con ventana de vidrio tenemos lo siguiente



El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

$$U_t = \left\{ \left( \frac{1}{R_a} \right) \times \left( \frac{L_a}{L} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{R_b} \right) \times \left( \frac{L_b}{L} \right) \right\}$$

$$U_t = \left\{ \left( \frac{1}{0.170} \right) \times \left( \frac{0.40}{1.90} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{0.163} \right) \times \left( \frac{1.50}{1.90} \right) \right\}$$

$$U_t = 1.238 + 4.843$$

$$U_t = 6.081 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

y el valor de la Resistencia Térmica Total será:

$$R = 1/U_t$$

$$R = 1/6.081$$

$$R = 0.164 \text{ m}^2\text{°C/W}$$

**RESISTENCIA TERMICA TOTAL ( R ) DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS FORMADOS POR:**

**CAPAS NO HOMOGENEAS EN DOS SENTIDOS**

Cuando se trata de sistemas constructivos formados por capas no homogéneas en dos sentidos, es decir, homogéneas en el sentido paralelo al flujo de calor (transversal) y no homogéneas en los sentidos perpendiculares al flujo de calor, es necesario ajustar el valor de la conductividad térmica en función de las áreas ponderadas correspondientes:

En este caso la Resistencia Térmica Total para sistemas constructivos, equivale a:

$$R = \frac{1}{U_t}$$

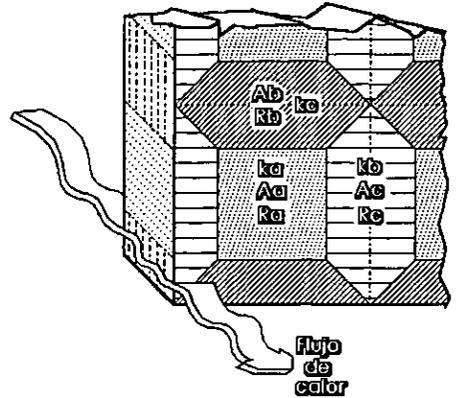
Donde:

$$U_t = \left\{ \left( \frac{1}{R_a} \right) \times \left( \frac{A_a}{A_t} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{R_b} \right) \times \left( \frac{A_b}{A_t} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{R_c} \right) \times \left( \frac{A_c}{A_t} \right) \right\}$$

Lista de componen	Espesor x [m]	Coef. Cond. Térm. k [W m /m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C / W]	
			Secc.a	Secc.b
Conv Ext. (1 / fe)	1	24.87	0.040	0.040
Conv Int (1 / fi)	1	8.13	0.123	0.123
Placa de Acero	0.006	52.335	—	0.0001
Vidrio Sencillo	0.006	0.814	.007	—
	<b>Valor parcial R</b>		<b>0.170</b>	<b>0.163</b>

Donde:

- Ut.- Valor ponderado de la conductancia total del sistema constructivo ( $W/m^2\text{°C}$ )
- At.- Area total de la sección perpendicular a la superficie del sistema, formada por secciones de capas homogéneas distintas  $\{At=Aa+Ab+Ac\}$  ( $m^2$ )
- Aa.-Area de la sección formada con capas térmicamente homogéneas distintas al Area b y c ( $m^2$ )
- Ab.-Area de la sección formada con capas térmicamente homogéneas distintas al Area a y c ( $m^2$ )
- Ac.-Area de la sección formada con capas térmicamente homogéneas distintas al Area a y b ( $m^2$ )
- Ra.- Valor de la Resistencia Térmica total del sistema constructivo en la sección a ( $m^2\text{°C/W}$ )
- Rb.- Valor de la Resistencia Térmica total del sistema constructivo en la sección b ( $m^2\text{°C/W}$ )
- Rc.-Valor de la Resistencia Térmica total del sistema constructivo en la sección c ( $m^2\text{°C/W}$ )



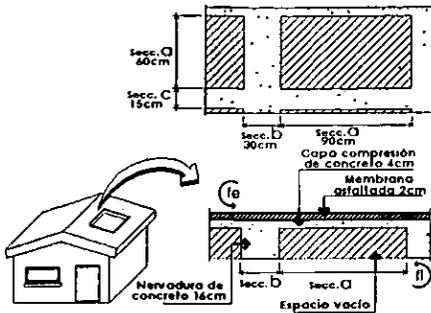
$$R_a = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{f_i} + \frac{x_1}{k_{a1}} + \frac{x_2}{k_{a2}} + \dots + \frac{x_n}{k_{an}}$$

$$R_b = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{f_i} + \frac{x_1}{k_{b1}} + \frac{x_2}{k_{b2}} + \dots + \frac{x_n}{k_{bn}}$$

$$R_c = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{f_i} + \frac{x_1}{k_{c1}} + \frac{x_2}{k_{c2}} + \dots + \frac{x_n}{k_{cn}}$$

Por ejemplo, tenemos a continuación el cálculo de la Resistencia Térmica (valor  $R$ ) para los siguientes elementos de la envolvente, para la conductancia superficial, consideraremos que se trata del caso de ganancia de calor :

7.12.- Consideraremos el caso de sistema de techo a base de losa reticular, como podemos ver, la sección no es constante en ambos sentidos:



En este caso, en el espacio vacío no se considera el espacio de aire, ya que no está contenido dentro del sistema de techo, en cambio, si se coloca plafón, el aire se encontraría contenido y contribuiría a la Resistencia Térmica del elemento.

Lista de compon	Espesor [m]	Coef. Cond. térm. k [W/m °C]	Valor R [m²°C / W]		
			Secc .a	Secc .b	Secc c
Conv Ext. (1 / fa)	1	24.67	0.040	0.040	0.040
Conv Int (1 / fi)	1	6.63	0.151	0.151	0.151
Membrana asfaltada	0.02	0.170	0.118	0.118	0.118
Capa comp concreto	0.04	1.740	0.023	0.023	0.023
Nervadura concreto	0.16	1.740	—	0.092	0.092
Valor parcial R			0.332	0.424	0.424

Las áreas correspondientes serán:

$$Aa = 0.90 \times 0.60$$

$$Aa = 0.540 \text{ m}^2$$

$$Ab = 0.30 \times (0.60 + 0.15)$$

$$Ab = 0.225 \text{ m}^2$$

$$Ac = 0.15 \times (0.90 + 0.30)$$

$$Ac = 0.180 \text{ m}^2$$

$$At = 0.540 + 0.225 + 0.180$$

$$At = 0.945 \text{ m}^2$$

El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

$$U_t = \left\{ \left( \frac{1}{R_a} \right) \times \left( \frac{A_a}{A_t} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{R_b} \right) \times \left( \frac{A_b}{A_t} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{R_c} \right) \times \left( \frac{A_c}{A_t} \right) \right\}$$

$$U_t = \left\{ \left( \frac{1}{0.332} \right) \times \left( \frac{0.540}{0.945} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{0.424} \right) \times \left( \frac{0.225}{0.945} \right) \right\}$$

$$+ \left\{ \left( \frac{1}{0.424} \right) \times \left( \frac{0.180}{0.945} \right) \right\}$$

$$U_t = 1.7212 + 0.5615 + 0.4492$$

$$U_t = 2.732 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

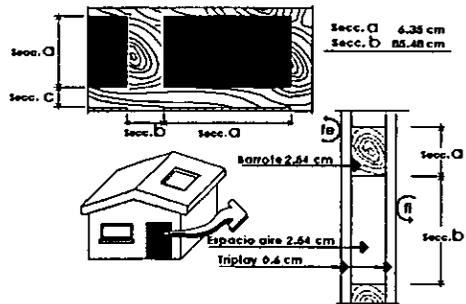
y el valor de la Resistencia Térmica Total será:

$$R = 1/U_t$$

$$R = 1/2.732$$

$$R = 0.366 \text{ m}^2\text{°C / W}$$

7.13.- Para el caso de una puerta de tambor, que consiste en hojas de triplay sobre un bastidor de madera



como se trata de un bastidor de madera, hacemos el cálculo del tablero completo

Lista de compon	Es-pe-sor x [m]	Coef. Cond. Térm. k [W m /m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C / W]		
			Secc .a	Secc .b	Secc c
Conv Ext. (1 / fe)	1	24.87	0.040	0.040	0.040
Conv Int (1 / fi)	1	8.13	0.123	0.123	0.123
Triplay 6mm	0.012	0.140	0.118	0.118	0.118
Bastidor madera	0.0254	0.140	0.023	0.023	0.023
Espacio de aire	-----	-----	0.133	---	---
<b>Valor parcial R</b>			<b>0.437</b>	<b>0.304</b>	<b>0.304</b>

Las áreas correspondientes serán:

$$Aa = 0.865 \times 0.865 \times 2$$

$$Aa = 1.496 \text{ m}^2$$

$$Ab = 0.064 \times 1.92 \times 2$$

$$Ab = 0.246 \text{ m}^2$$

$$Ac = 0.064 \times 0.865 \times 3$$

$$Ac = 0.166 \text{ m}^2$$

$$At = 1.496 + 0.246 + 0.166$$

$$At = 1.908 \text{ m}^2$$

El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

$$U_t = \left\{ \left( \frac{1}{R_a} \right) \times \left( \frac{A_a}{A_t} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{R_b} \right) \times \left( \frac{A_b}{A_t} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{R_c} \right) \times \left( \frac{A_c}{A_t} \right) \right\}$$

$$U_t = \left\{ \left( \frac{1}{0.437} \right) \times \left( \frac{1.496}{1.908} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{0.304} \right) \times \left( \frac{0.246}{1.908} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{1}{0.304} \right) \times \left( \frac{0.166}{1.908} \right) \right\}$$

$$U_t = 1.7942 + 0.4241 + 0.2862$$

$$U_t = 2.505 \text{ W /m}^2\text{°C}$$

y el valor de la Resistencia Térmica Total será:

$$R = 1/U_t$$

$$R = 1/2.505$$

$$R = 0.399 \text{ m}^2\text{°C / W}$$



RESISTENCIA TERMICA TOTAL ( R ) DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS FORMADOS POR:

**CAPAS HOMOGENEAS Y NO HOMOGENEAS COMPUESTAS POR ELEMENTOS METALICOS (PUENTES TÉRMICOS)**

Cuando se trata de sistemas constructivos que incluyen en su composición elemento metálicos, se debe considerar el puente térmico que forma el material de alta conductividad, el método para calcularlo se basa en el "método de zonas" propuesto por ASHRAE:

En este caso la Resistencia Térmica Total para sistemas constructivos debido a puentes térmicos, se basa en el análisis de la zona de influencia del puente térmico, que se calcula con la siguiente expresión:

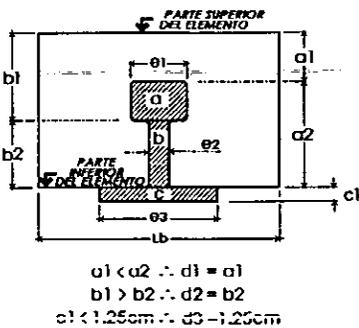
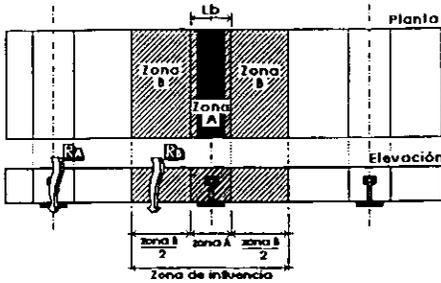
$$L_b = e + 2d$$

Donde:

Lb.-Ancho de la zona de influencia del elemento metálico

e.- Ancho o diámetro del elemento conductor (m)

d.- Distancia entre la superficie del elemento conductor y la más cercana del sistema constructivo (ó 0.0125 m, el que sea mayor)



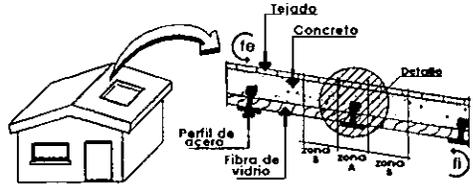
Como podemos ver en la gráfica, los valores de  $a_1$  y  $b_2$  resultan menores, siendo los que se consideran para el valor "d", en el caso de  $c_1$ , resulta ser menor que 1.25 cm, por lo que se toman los 1.25 cm; como resultado se obtendrán tres valores de  $L_b$ , de los cuales se toma el mas alto; en función del ancho de la zona de influencia, se obtiene el valor de R de la siguiente expresión.

$$U = \frac{\sum UIA_i}{At}$$

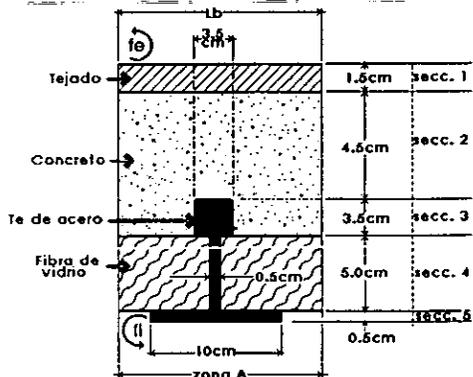
Donde el área corresponde a la proyección perpendicular al flujo calorífero.

Por ejemplo, tenemos a continuación el cálculo de la Resistencia Térmica (valor R) considerando una estructura semejante a la de la gráfica :

7.14.- Se trata de una losa de concreto, con un perfil ahogado en el concreto:



Detalle



Determinamos el ancho de la zona de influencia debido a puentes térmicos por la inclusión del perfil de acero, como se forma de secciones distintas, analizaremos en tres partes:

superior

$$L_b = e + 2d$$

$$L_b = 3.5 + 2 \times 6.0$$

$$L_b = 15.5 \text{ cm}$$

intermedia

$$L_b = 0.5 + 2 \times 5.0$$

$$L_b = 10.5 \text{ cm}$$

inferior

$$L_b = 10.0 + 2 \times 1.25$$

$$L_b = 12.50 \text{ cm}$$

Seleccionamos el primero, ya que la zona de influencia es mayor, así, las áreas quedan como sigue:

**Zona A**

$$Aa = 0.155 \times 1.0 \text{ m (esp. unitario)}$$

$$Aa = 0.155 \text{ m}^2$$

**Zona B (considerando ejes @ 60 cm)**

$$Ab = (0.60 - 0.155) \times 1.0 \text{ m}$$

$$Ab = 0.445 \text{ m}^2$$

Area básica

$$At = Aa + Ab$$

$$At = 0.155 + 0.445$$

$$At = 0.60 \text{ m}^2$$

Como podemos observar, cuando hablamos del área, hablamos de la proyección perpendicular al flujo calorífero

**Zona A**

En este caso se calcula la Resistencia Térmica (valor R) de la zona B considerando que en esta zona se trata de capas térmicamente homogéneas.

	Espe- sor	Coef. Cond. Térm.	
Lista de comp	x [m]	k [W m/m <sup>2</sup> °C]	Valor R [m <sup>2</sup> °C / W]
Convección Exterior (1/fe)	1	24.87	0.040
Convección Interior (1/fi)	1	6.63	0.151
Tejado de asbesto cemento	—	—	0.037
Losa de concreto	0.08	1.740	0.046
Fibra de vidrio	0.05	0.032	1.563
		Valor de R	1.837

El valor de la Conductividad Térmica del sistema será:

$$U = 1/R$$

$$U = 1/1.837$$

$$U = 0.544 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$UAb = 0.544 \times 0.445$$

$$UAb = 0.242 \text{ W/m}^2\text{°C} \times \text{m}^2$$

**Zona B**

No.	Lista comp	Area	Esp x [m]	Coef. Cond. Térm. k [W m/m <sup>2</sup> °C]	Valor Ri [m <sup>2</sup> °C / W]	Ai / Ri	Sum parcial Ai / Ri	Ri/Ai
	Conv Ext. (1/fe)	0.155	1	24.87	0.040	3.875	3.875	0.258
	Conv Int. (1/fi)	0.155	1	6.63	0.151	1.026	1.026	0.975
1	Tejado	0.155	-----	-----	0.037	4.189	4.189	0.239
2	Concreto	0.155	0.060	1.740	0.035	4.429	4.429	0.226
3	Concreto	0.120	0.035	1.740	0.020	6.000		
-	Acero	0.035	0.035	52.335	0.001	35.000	41.000	0.024
4	Fibra de vidrio	0.150	0.050	0.032	1.563	0.096		
-	Acero	0.005	0.050	52.335	0.001	5.000	5.096	0.196
5	Acero	0.100	0.005	52.335	0.0001	1000.000	1000.000	0.001
							Valor de Ri / Ai	1.919

$$UAa = Ai / Ri$$

$$UAa = 1 / 1.919$$

$$UAa = 0.521 \text{ W/m}^2\text{°C} \times \text{m}^2$$

El valor de la Resistencia Total del sistema constructivo será:

$$U = \frac{\sum UIAi}{At}$$

$$U = \frac{UAa + UA b}{At}$$

$$U = \frac{0.521 + 0.242}{0.600}$$

$$U = 1.272 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

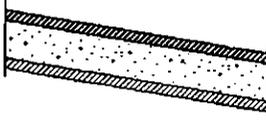
$$R = 1/U$$

$$R = 1/1.272$$

$$R = 0.786 \text{ m}^2\text{°C} / \text{W}$$

En este ejemplo, a pesar del puente térmico, la Resistencia Térmica no es muy baja debido a la Fibra de Vidrio que trabaja como aislante.

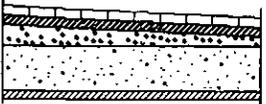
Ej. 7.1 Losa de concreto



$$R = 0.406 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 2.463 \text{ W/m}^2\text{C}$$

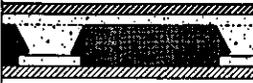
Ej. 7.2 Losa de concreto con relleno (tezonite)



$$R = 0.865 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 1.156 \text{ W/m}^2\text{C}$$

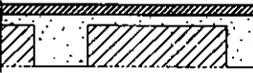
Ej. 7.9 Vigüeta y bovedilla de poliestireno



$$R = 1.751 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 0.571 \text{ W/m}^2\text{C}$$

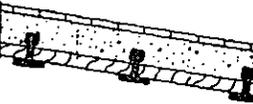
Ej. 7.12 Losa aligerada de concreto



$$R = 0.366 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 2.732 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Ej. 7.14 Losa de concreto con refuerzo perfil de acero



$$R = 0.786 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 1.272 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Ej. 7.5 Vidrio sencillo



$$R = 0.170 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 5.882 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Ej. 7.6 Vidrio doble



$$R = 0.309 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 3.236 \text{ W/m}^2\text{C}$$

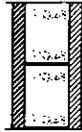
Ej. 7.3 Muro de tabique rojo recocido común



$$R = 0.385 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 2.597 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Ej. 7.4 Muro de Block hueco vertical



$$R = 0.424 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 2.358 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Ej. 7.10 Muro a base de tablero de madera



$$R = 1.065 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 1.001 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Ej. 7.7 Puerta de madera



$$R = 0.663 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 1.508 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Ej. 7.8 Puerta lámina acanalada



$$R = 0.163 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 6.135 \text{ W/m}^2\text{C}$$

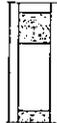
Ej. 7.11 Puerta acero/vidrio



$$R = 0.164 \text{ m}^2\text{C/W}$$

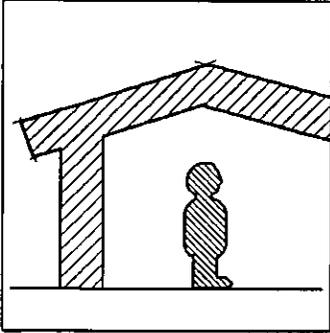
$$U = 6.081 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Ej. 7.13 Puerta tambor



$$R = 0.399 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$U = 2.505 \text{ W/m}^2\text{C}$$



## Comportamiento Térmico de Edificaciones

La ganancia de calor de un sistema depende principalmente del flujo de calor a través de los elementos de la envolvente, como vimos anteriormente existen tres tipos de flujo de calor: transmisión, radiación y convección; en general, la ganancia de calor de una edificación se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$Q = Q_t + Q_r + Q_c$$

Donde:

$Q_t$  = Ganancia de calor por transmisión

$Q_r$  = Ganancia de calor por radiación

$Q_c$  = Otro tipo de ganancias, como por ejemplo, la debida a la respiración, aparatos electrodomésticos que generen calor como focos, estufas, etc.

### GANANCIA DE CALOR POR TRANSMISION

La ganancia de calor por transmisión se encuentra en función de la Resistencia Térmica del material que forma la envolvente del sistema, así tenemos que:

$$Q_t = U \cdot A \cdot (t_e - t_i)$$

donde:

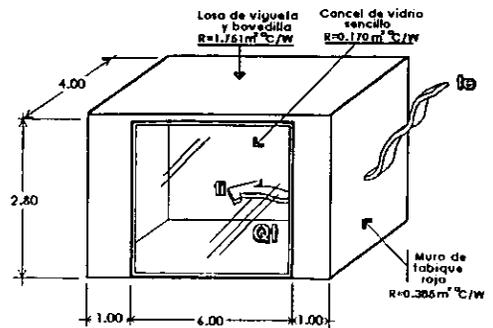
U.- Coeficiente de transmisión térmica del sistema constructivo ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

A.- Area del sistema ( $m^2$ )

$t_e$ .- Temperatura (ver tabla 4.B) ( $^\circ C$ )

$t_i$ .- Temperatura interior de confort ( $^\circ C$ )

*Por ejemplo, supongamos una habitación en contacto con el exterior, situada en Monterrey, Nuevo León:*



*La temperatura de diseño, tomada de la tabla 4B es*

Ciudad Estado	Techo	Muro Masivo				Ventana
		N	E	S	W	S
Monterrey Nvo. León	40	28	30	29	29	27

El cálculo de áreas y diferencial de temperaturas es el siguiente:

Muro de tabique  $A_N = 8.00 \times 2.80$   
 $A_N = 22.4 \text{ m}^2$   
 $(t_e - t_i) = 28 - 25$   
 $(t_e - t_i) = 3^\circ\text{C}$

$A_E = 4.00 \times 2.80$   
 $A_E = 11.2 \text{ m}^2$   
 $(t_e - t_i) = 30 - 25$   
 $(t_e - t_i) = 5^\circ\text{C}$

$A_S = 2.00 \times 2.80$   
 $A_S = 5.6 \text{ m}^2$   
 $(t_e - t_i) = 29 - 25$   
 $(t_e - t_i) = 4^\circ\text{C}$

$A_W = 4.00 \times 2.80$   
 $A_W = 11.2 \text{ m}^2$   
 $(t_e - t_i) = 29 - 25$   
 $(t_e - t_i) = 4^\circ\text{C}$

Cancel de vidrio  $A_S = 6.00 \times 2.80$   
 $A_S = 16.8 \text{ m}^2$   
 $(t_e - t_i) = 27 - 25$   
 $(t_e - t_i) = 2^\circ\text{C}$

Losa vig. y bovedilla  $A = 4.00 \times 8.00$   
 $A = 32.0 \text{ m}^2$   
 $(t_e - t_i) = 40 - 25$   
 $(t_e - t_i) = 15^\circ\text{C}$

Dado que el valor de  $R=1/U$ , tenemos que:

		R m <sup>2</sup> °C/W	A m <sup>2</sup>	(t <sub>e</sub> -t <sub>i</sub> ) °C	Q=1/R x A x (t <sub>e</sub> -t <sub>i</sub> ) W
Muro de tabique	N	0.385	22.4	3	174.54
	E	0.385	11.2	5	145.45
	S	0.385	5.6	4	58.18
	W	0.385	11.2	4	116.36
Cancel vidrio	S	0.170	16.8	2	197.64
Losa Vig. y Boved.		1.751	32.0	15	274.13
					966.32



### GANANCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

La ganancia de calor por radiación se encuentra en función de la cantidad de calor que pasa a través de elementos traslúcidos de la envolvente, como es el caso de ventanas y tragaluces.

La energía del sol es la principal fuente de calor y luz en la tierra, en su núcleo, en condiciones extremas de temperatura y presión, ocurren grandes reacciones de fusión termonuclear, las cuales se disipan en enormes torrentes de energía hacia el espacio infinito en forma de radiación electromagnética, a lo cual llamamos radiación solar; por otra parte, la tierra presenta principalmente dos tipos de movimiento, el de rotación y el de traslación, debido a lo cual, la incidencia de la radiación solar sobre la superficie de la tierra varía.

El valor de la ganancia de calor por radiación es el siguiente:

$$Q_r = A \times CS \times fg \times f_s$$

donde:

A.- Área del sistema (m<sup>2</sup>)

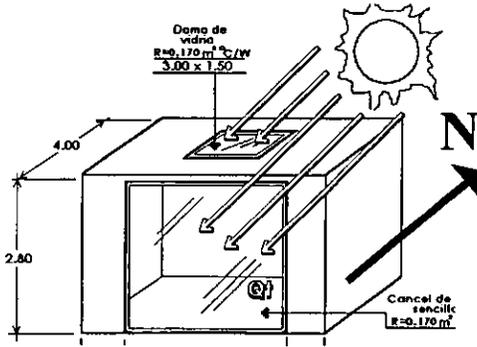
CS.- Coeficiente de sombreado de ventana (Propuesto por el

fabricante y se refiere a la reducción de la ganancia debida a la película o entintado del vidrio.

fg.- Factor de ganancia de calor solar promedio en ventanas (W/m<sup>2</sup>)

fs.- Factor de corrección por sombreado exterior

Por ejemplo, supongamos la misma habitación en contacto con el exterior, situada también en Monterrey, Nuevo León:



La temperatura de diseño, tomada de la tabla 4.C es

Ciudad	Estado	Grupo	Vertical				Horiz
			N	E	S	W	S
Monterrey	Nuevo León	DOS	91.2	137.3	117.9	145.9	274.0

El cálculo de áreas y diferencial de temperaturas es el siguiente:

Cancel de vidrio  $A_s = 6.00 \times 2.80$   
 $A_s = 16.8 \text{ m}^2$   
 $(t_e - t_i) = 27-25$   
 $(t_e - t_i) = 2^\circ\text{C}$

Domo

$A = 3.00 \times 1.50$   
 $A = 4.5 \text{ m}^2$   
 $(t_e - t_i) = 25-25$   
 $(t_e - t_i) = 0^\circ\text{C}$

Dado que el valor de  $R=1/U$ , tenemos que:

	A	CS	fg	fs	Qr=A x CS x fg x fs
Cancel vidrio	16.8	1.0	117.9	1	1,980.72
Domo	4.5	1.0	274.0	1	1,233.00
					3,213.72

**OTRO TIPO DE GANANCIAS DE CALOR**

Adicionalmente a la ganancia de calor por transmisión y por radiación, existen diversas formas de ganancia o pérdida de calor, como la debida al funcionamiento de aparatos electrodomésticos, el calor que aportan los ocupantes dependiendo del grado de actividad metabólica, etc.

El metabolismo es un proceso químico - biológico por medio del cual el cuerpo genera su energía y mantiene el funcionamiento de sus sistemas vitales. El desprendimiento de calor que se produce por metabolismo puede ser de dos tipos:

1. Metabolismo Basal.- Es por la energía mínima que se requiere para mantener la temperatura del cuerpo en estado de absoluto reposo.
2. Metabolismo Muscular.- Es el desprendimiento de calor por actividad muscular al desarrollar un trabajo.

A continuación presentamos la tasas metabólicas promedio para hombres adultos:

Actividad	Basal	Muscular	Total
Sueño profundo	70	-	70
Acostado	88	-	88
Sentado en descanso	92	23	115
Actividad ligera	92	58	150
Caminar lento	92	68	160
Trabajo de escritorio	93	142	235
Trabajo medio	93	172	265
Trabajo pesado (8 hr.)	94	346	440
Trabajo pesado (max.0.5 hr)	94	1404	1498

Para los aparatos electrodomésticos e iluminación, la cantidad de calor que aportan depende de la eficiencia con que cumplen su función y que parte de esa energía se convierte en calor.

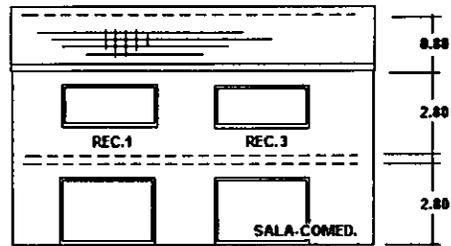
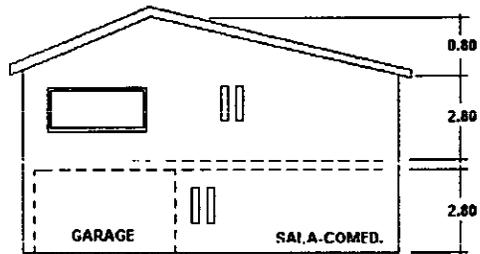
Dispositivo	Calor Disipado Durante el funcionam. W
Luz Eléctrica y aparatos eléctricos por kW instalado.	1000
Motores con carga aplicada en el mismo cuarto de 1/8 a 1/2 HP	1248
de 1/2 a 3 HP	1085
de 3 a 20 HP	865
Cafetera eléctrica (3 galones)	1084
Cafetera eléctrica (5 galones)	1670
Calentador de agua	2051
Estufa de gas	1907
Horno doméstico de gas	3546
Cafetera de gas (3 gal)	1466
Cafetera de gas (5 gal)	2286

Por ejemplo, para la misma habitación, supongamos que se habita por dos personas en trabajo ligero, iluminadas por un foco de 100 W con una eficiencia del 20%:

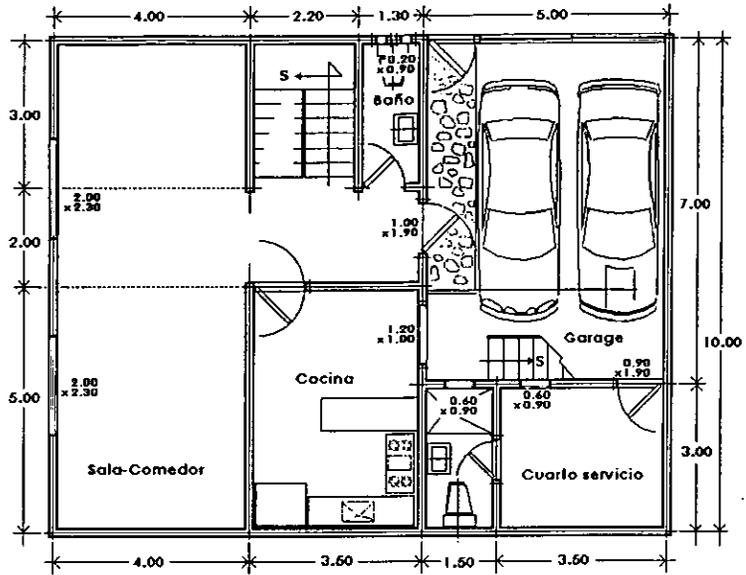
2 personas en actividad ligera	$150 \times 2 = 300 \text{ W}$
1 foco de 100W	$100 \times 0.80 = 80 \text{ W}$
<b>TOTAL Qc</b>	<b>380 W</b>

### COMPORTAMIENTO TERMICO DE EDIFICACIONES

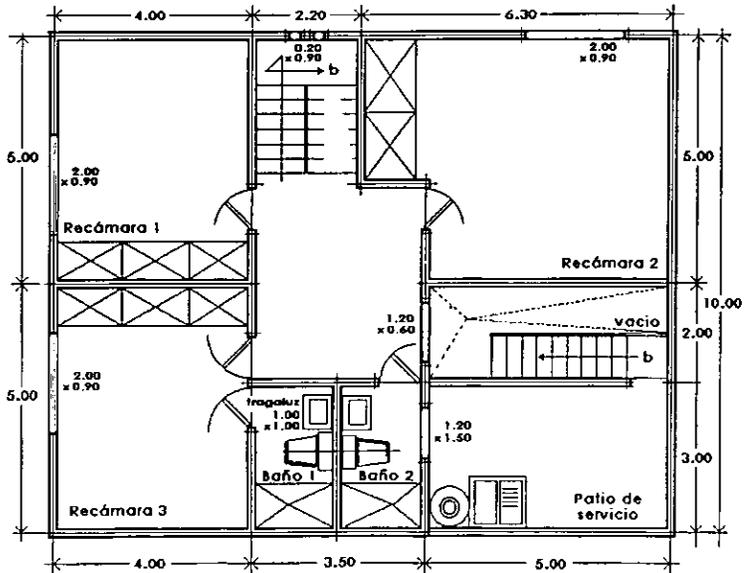
El buen funcionamiento de una edificación, depende de la orientación, de la distribución de ventanas, etc. utilizaremos el siguiente prototipo de dos niveles, para el análisis del comportamiento térmico de edificaciones



Elevación

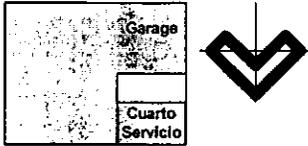


Planta Baja



Planta Alta

8.1.- Consideraremos inicialmente que se ubica en Mexicali, Baja California, orientada la entrada principal (garage) hacia el sur.



El cálculo de áreas y diferencial de temperaturas es el siguiente:

**Domo**

$$A_{hor} = 1.00 \times 1.00$$

$$A_{hor} = 1.00 \text{ m}^2$$

**Ventanas**

$$A_N = 0 \text{ m}^2$$

$$A_E = 2.00 \times 0.90 \times 2 + 2.00 \times 2.30 \times 2$$

$$A_E = 12.8 \text{ m}^2$$

$$A_S = 2.00 \times 0.90 + 0.20 \times 0.90 \times 4$$

$$A_S = 2.52 \text{ m}^2$$

$$A_W = 1.20 \times 0.60 + 1.20 \times 1.50$$

$$+ 1.20 \times 1.00$$

$$A_W = 3.72 \text{ m}^2$$

**Puertas**

$$A_W = 1.00 \times 1.90$$

$$A_W = 1.90 \text{ m}^2$$

**Muro de tabique**

$$A_N = 7.50 \times 2.80 \times 2$$

$$+ 12.50 \times 0.80 / 2$$

$$A_N = 47.00 \text{ m}^2$$

$$A_E = 10.00 \times 2.80 \times 2$$

$$- 12.8 \text{ m}^2 \text{ (ventanas)}$$

$$A_E = 43.2 \text{ m}^2$$

$$A_S = 7.50 \times 2.80 + 12.5 \times 2.80$$

$$+ 12.5 \times 0.80 / 2$$

$$- 2.52 \text{ m}^2 \text{ (ventanas)}$$

$$A_S = 58.48 \text{ m}^2$$

$$A_W = 7.00 \times 2.80 + 10.00 \times 2.8$$

$$- 3.72 \text{ m}^2 \text{ (ventanas)}$$

$$- 1.90 \text{ m}^2 \text{ (puerta)}$$

$$A_W = 41.98 \text{ m}^2$$

**Muro colindante**

$$A_W = 3.00 \times 2.80$$

$$A_W = 8.4 \text{ m}^2$$

**Losa**

$$A = 12.60 \times 10.00$$

$$- 1.00 \text{ m}^2 \text{ (domo)}$$

(\*debido a la inclinación del techo)

$$A = 125.0 \text{ m}^2$$

**Ganancia por transmisión**

Temperaturas transmisión (ver tabla 4.B)

Ciudad Estado	Techo	VENTANA				Domo
		N	E	S	W	Horiz.
Mexicali Baja Cal	43	28	29	30	30	27
Dif. Temp. (te - ti)	18	3	4	5	5	2
AREAS	125.0	0	12.8	2.5	3.7	1.0
temperatura de confort, ti=25°C y muro colindante al Oeste de 8.4 m² la temp. en colindancia = 28°C						

Ciudad Estado	Muro Masivo				Puer
	N	E	S	W	W
Mexicali Baja Cal	30	33	31	31	37
Dif. Temp. (te - ti)	5	8	6	6	12
AREAS	47.0	43.2	58.5	42.0	1.9
temperatura de confort, ti=25°C y muro colindante al Oeste de 8.4 m² la temp. en colindancia = 28°C					

		R m²°C/W	A m²	(te-ti) °C	Q=1/R x A x (te-ti) W
Muro de tabique	N	0.385	47.0	5	610.39
	E	0.385	43.2	8	897.66
	S	0.385	58.5	6	911.69
	W	0.385	42.0	6	654.55
Muro colind		0.385	8.4	28-25=3	65.45
Techo		0.406	125.0	18	5,541.87
Ventana	N	0.170	0	3	0.00
	E	0.170	12.8	4	301.18
	S	0.170	2.5	5	73.53
	W	0.170	3.7	5	108.82
Domo		0.170	1.0	2	11.76
Puerta	E	0.399	1.9	12	57.14
					9,234.04

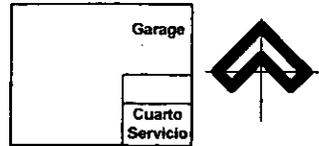
**Ganancia TOTAL**

$Q = Q_t + Q_r + Q_c$

$Q = 9,234.04 + 3,236.52 + 1,240.00$

$Q = 13,710.56 W$

8.2.- Ahora consideraremos que se encuentra orientada la entrada principal (garage) hacia el norte.



**Ganancia por Radiación**

Val. Ganancia de Calor Solar Prom. a Través de Vent y Tragaluces (ver tabla 4.C)

Ciudad	Grpo	Vertical				Horiz
		N	E	S	W	
Mexicali Baja C	UNO	70.3	159.3	131.1	163.7	322

**Ganancia por transmisión**

Temperaturas transmisión (ver tabla 4.B)

Ciudad	Techo	VENTANA				Domo
		N	E	S	W	
Mexicali Baja Cal	43	28	29	30	30	27
Dif. Tmp. (te - ti)	18	3	4	5	5	2
AREAS	125.0	2.5	3.7	0	12.8	1.0

Temperatura de confort, ti=25°C y muro colindante al Oeste de 8.4 m² la temp. en colindancia = 28°C

		A m²	CS	fg W/m²	fs	Qr=AxCs xfgxfs W
Vent	N	0.0	1.0	70.3	1	0.00
	E	12.8	1.0	159.3	1	2,039.04
	S	2.5	1.0	131.1	1	327.75
	W	3.7	1.0	163.7	1	605.69
Domo		1.0	0.82	322	1	264.04
						3,236.52

Ciudad	Muro Masivo				Puer
	N	E	S	W	
Mexicali Baja Cal	30	33	31	31	37
Dif. Tmp. (te - ti)	5	8	6	6	12
AREAS	58.5	42.0	47.0	43.2	1.9

temperatura de confort, ti=25°C y muro colindante al Oeste de 8.4 m² la temp. en colindancia = 28°C

**Otro tipo de ganancias**

Ver tabla 8A y 8B

5 personas, trabajo ligero	5 x 150 = 750 W
4 focos 75W, efic. 80%	4 x 75 x 0.80 = 240 W
televisor 250 W	250 W
<b>TOTAL Qc</b>	<b>1,240 W</b>

		R m²°C/W	A m²	(te-ti) °C	Q=1/R x A x (te-ti) W
Muro de tabique	N	0.385	58.5	5	759.74
	E	0.385	42.0	8	872.73
	S	0.385	47.0	6	732.47

		R m <sup>2</sup> °C/W	A m <sup>2</sup>	(te-ti) °C	Q=1/R x A x (te-ti) W
	W	0.385	43.2	6	673.25
Muro colind		0.385	8.4	28-25=3	65.45
Techo		0.406	125.0	18	5,541.87
Ventana	N	0.170	2.5	3	44.12
	E	0.170	3.7	4	87.06
	S	0.170	0	5	0.00
	W	0.170	12.8	5	376.47
Domo		0.170	1.0	2	11.76
Puerta	E	0.399	1.9	12	57.14
					9,222.06

**Ganancia por Radiación**

Val. Ganancia de Calor Solar Prom. a Través de Vent y Tragaluces (ver tabla 4.C)

Ciudad Estad	Grpo	Vertical				Horiz
		N	E	S	W	
Mexicali Baja C	UNO	70.3	159.3	131.1	163.7	322

		A m <sup>2</sup>	CS	fg W/m <sup>2</sup>	fs	Qr=AxCs xfgxfs W
Vent	N	2.5	1.0	70.3	1	175.75
	E	3.7	1.0	159.3	1	589.41
	S	0.0	1.0	131.1	1	0.00
	W	12.8	1.0	163.7	1	2,095.33
Domo		1.0	0.82	322	1	264.04
						3,124.53

**Otro tipo de ganancias**

En este caso se consideran los mismos valores

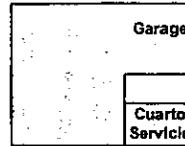
**Ganancia TOTAL**

Q = Qt + Qr + Qc

Q = 9,222.06 + 3,124.53 + 1,240.00

Q = 13,586.59 W

8.3.- A continuación consideraremos que se encuentra orientada la entrada principal (garage) hacia el este.



**Ganancia por transmisión**

Temperaturas transmisión (ver tabla 4.B)

Ciudad Estado	Techo	VENTANA			Domo	
		N	E	S		W
Mexicali Baja Cal	43	28	29	30	30	27
Dif. Temp. (te - ti)	18	3	4	5	5	2
AREAS	125.0	12.8	2.5	3.7	0	1.0
Temperatura de confort, ti=25°C y muro colindante al Oeste de 8.4 m <sup>2</sup> la temp. en colindancia = 28°C						

Ciudad Estado	Muro Masivo				Puer W
	N	E	S	W	
Mexicali Baja Cal	30	33	31	31	35
Dif. Temp. (te - ti)	5	8	6	6	10
AREAS	43.2	58.5	42.0	47.0	1.9
Temperatura de confort, ti=25°C y muro colindante al Oeste de 8.4 m <sup>2</sup> la temp. en colindancia = 28°C					

		R m <sup>2</sup> °C/W	A m <sup>2</sup>	(te-ti) °C	Q=1/R x A x (te-ti) W
Muro de tabique	N	0.385	43.2	5	561.04
	E	0.385	58.5	8	1,215.58
	S	0.385	42.0	6	654.55
	W	0.385	47.0	6	732.47
Muro colind		0.385	8.4	28-25=3	65.45
Techo		0.406	125.0	18	5,541.87
Ventana	N	0.170	12.8	3	225.88
	E	0.170	2.5	4	58.85
	S	0.170	3.7	5	108.82
	W	0.170	0.0	5	0.00

		R m <sup>2</sup> °C/W	A m <sup>2</sup>	(te-ti) °C	Q=1/R x A x (te-ti) W
Domo		0.170	1.0	2	11.76
Puerta	E	0.399	1.9	10	47.62
					9,223.89

**Ganancia por Radiación**

Val. Ganancia de Calor Solar Prom. a Tráves de Vent y Tragaluces (ver tabla 4.C)

Ciud Estad	Grpo	Vertical				Ho- riz
		N	E	S	W	
Mexicali Baja C	UNO	70.3	159.3	131.1	163.7	322

		A m <sup>2</sup>	CS	fg W/m <sup>2</sup>	fs	Qr=AxCs xfgxfs W
Vent	N	12.8	1.0	70.3	1	899.84
	E	2.5	1.0	159.3	1	398.25
	S	3.7	1.0	131.1	1	485.07
	W	0.0	1.0	163.7	1	0.00
Domo		1.0	0.82	322	1	264.04
						2,047.20

**Otro tipo de ganancias**

En este caso se consideran los mismos valores

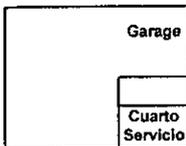
**Ganancia TOTAL**

$$Q = Q_t + Q_r + Q_c$$

$$Q = 9,223.89 + 2,047.20 + 1,240.00$$

$$Q = 12,511.09 \text{ W}$$

8.4.- Por último consideraremos que se encuentra orientada la entrada principal (garage) hacia el oeste.



**Ganancia por transmisión**

Temperaturas transmisión (ver tabla 4.B)

Ciud Estdo	Te- cho	VENTANA				Domo Horiz.
		N	E	S	W	
Mexicali Baja Cal	43	28	29	30	30	27
Dif. Tmp. (te - ti)	18	3	4	5	5	2
AREAS	125.0	3.7	0	12.8	2.5	1.9

Temperatura de confort, ti=25°C y muro colindante al Oeste de 8.4 m<sup>2</sup> la temp. en colindancia = 28°C

Ciud Estdo	Muro Masivo				Puer W
	N	E	S	W	
Mexicali Baja Cal	30	33	31	31	33
Dif. Tmp. (te - ti)	5	8	6	6	8
AREAS	42.0	47.0	43.2	58.5	1.9

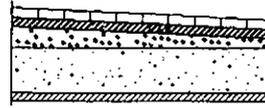
Temperatura de confort, ti=25°C y muro colindante al Oeste de 8.4 m<sup>2</sup> la temp. en colindancia = 28°C

		R m <sup>2</sup> °C/W	A m <sup>2</sup>	(te-ti) °C	Q=1/R x A x (te-ti) W
Muro de tabique	N	0.385	42.0	5	545.45
	E	0.385	47.0	8	976.62
	S	0.385	43.2	6	673.25
	W	0.385	58.5	6	911.69
Muro colind		0.385	8.4	28- 25=3	65.45
Techo		0.406	125.0	18	5,541.87
Ventana	N	0.170	3.7	3	65.29
	E	0.170	0.0	4	0.00
	S	0.170	12.8	5	376.47
	W	0.170	2.5	5	73.53
Domo		0.170	1.0	2	11.76
Puerta	E	0.399	1.9	8	38.09
					9,279.47

**Ganancia por Radiación**

Val. Ganancia de Calor Solar Prom. a Tráves de Vent y Tragaluces (ver tabla 4.C)

Ciudad	Estado	Grupo	Vertical				Horiz
			N	E	S	W	
Mexicali	Baja C	UNO	70.3	159.3	131.1	163.7	322



	A	CS	fg	fs	Qr=AxCs xfgxfs	
	m <sup>2</sup>		W/m <sup>2</sup>		W	
Vent	N	3.7	1.0	70.3	1	260.11
	E	0.0	1.0	159.3	1	0.00
	S	12.8	1.0	131.1	1	1,678.08
	W	2.5	1.0	163.7	1	409.25
Domo	1.0	0.82	322	1	264.04	
					2,611.48	

		R	A	(te-ti)	Q=1/R x A x
		m <sup>2</sup> °C/W	m <sup>2</sup>	°C	(te-ti)
					W
Muro de tabique	N	0.385	47.0	5	610.39
	E	0.385	43.2	8	897.66
	S	0.385	58.5	6	911.69
	W	0.385	42.0	6	654.55
Muro colind		0.385	8.4	28-25=3	65.45
Techo		0.865	125.0	18	2,601.16
Ventana	N	0.170	0.0	3	0.00
	E	0.170	12.8	4	301.18
	S	0.170	2.5	5	73.53
	W	0.170	3.7	5	108.82
Domo		0.170	1.0	2	11.76
Puerta	E	0.399	1.9	12	57.14
					6,293.33

**Otro tipo de ganancias**

Se consideran los mismos valores

**Ganancia TOTAL**

$$Q = Q_t + Q_r + Q_c$$

$$Q = 9,279.47 + 2,611.48 + 1,240.00$$

$$Q = 13,130.95 \text{ W}$$

Como podemos observar en los casos anteriores, el techo es el elemento que permite mayor flujo de calor

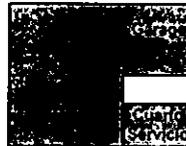
**Ganancia TOTAL**

$$Q = Q_r + Q_r + Q_c$$

$$Q = 6,293.33 + 2,611.48 + 1,240.00$$

$$Q = 10,144.81 \text{ W}$$

8.5.- Ahora, Con las mismas consideraciones iniciales, pero cambiando idealmente a un sistema de losa de concreto con relleno



		R m <sup>2</sup> °C/W	A m <sup>2</sup>	(t <sub>e</sub> -t <sub>i</sub> ) °C	Q=1/R x A x (t <sub>e</sub> -t <sub>i</sub> ) W
Muro de tabique	N	0.385	47.0	5	610.39
	E	0.385	43.2	8	897.66
	S	0.385	58.5	6	911.69
	W	0.385	42.0	6	654.55
Muro colind		0.385	8.4	28-25=3	65.45
Techo		1.751	125.0	18	1,284.98
Ventana	N	0.170	0.0	3	0.00
	E	0.170	12.8	4	301.18
	S	0.170	2.5	5	73.53
	W	0.170	3.7	5	108.82
Domo		0.170	1.0	2	11.76
Puerta	E	0.399	1.9	12	57.14
					4,977.15

**Otro tipo de ganancias**

Se consideran los mismos valores

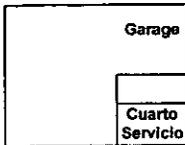
**Ganancia TOTAL**

$$Q = Q_t + Q_r + Q_c$$

$$Q = 4,977.15 + 2,611.48 + 1,240.00$$

$$Q = 8,828.63 \text{ W}$$

8.7.- Volviendo a las consideraciones iniciales, si aplicamos alguna protección a los vidrios con alguna película que reduzca el paso de la radiación.



		A m <sup>2</sup>	CS	fg W/m <sup>2</sup>	fs	Q <sub>r</sub> =AxCS xfgxfs W
Vent	N	0.0	0.82	70.3	1	0.00
	E	12.8	0.82	159.3	1	1,672.01
	S	2.5	0.82	131.1	1	268.76
	W	3.7	0.82	163.7	1	496.67
Domo		1.0	0.62	322	1	199.64
						2,637.08

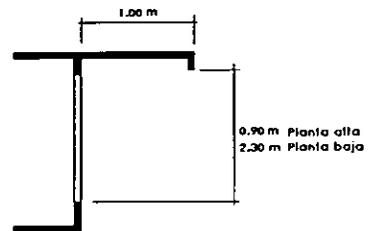
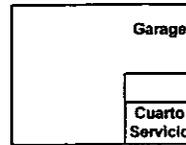
**Ganancia TOTAL**

$$Q = Q_t + Q_r + Q_c$$

$$Q = 9,234.04 + 2,637.08 + 1,240.00$$

$$Q = 13,111.12 \text{ W}$$

8.8.- Si al mismo prototipo, en lugar de sombreado colocamos un volado en las ventanas que dan al este, que es donde más ganancia se presenta, tenemos lo siguiente:



**Ventanas planta baja**

$$A_E = 2.00 \times 2.30 \times 2$$

$$H/V = 1.00 / 2.30$$

$$A_E = 9.20 \text{ m}^2$$

$$H/V = 0.43; \quad fs = 0.67$$

Ventanas planta alta

$$A_E = 2.00 \times 0.90 \times 2$$

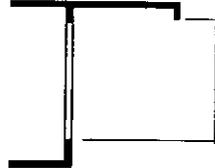
$$H/V = 1.00 / 0.90$$

$$A_E = 3.60 \text{ m}^2$$

$$H/V = 1.11; fs = 0.43$$



1.00 m



0.90 m Planta alta  
2.30 m Planta baja

**Ganancia por Radiación**

Factor de Corrección de Sombreado Exterior  
(ver tabla 4.D)

		A m <sup>2</sup>	CS	fg W/m <sup>2</sup>	fs	Qr=AxCs xfgxfs W
Vent	N	0.0	1.0	70.3	1	0.00
Pi alta	E	9.2	-1.0	-159.3	0.67	981.92
Pi baja	E	3.6	1.0	159.3	0.43	246.6
	S	2.5	1.0	131.1	1	327.75
	W	3.7	1.0	163.7	1	605.59
Domo		1.0	0.82	322	1	264.04
						2,426.00

**Ganancia por transmisión**

		R m <sup>2</sup> °C/W	A m <sup>2</sup>	(te-ti) °C	Qt=1/R x A x (te-ti) W
Muro de tabique	N	0.385	43.2	5	561.04
	E	0.385	58.5	8	1,215.58
	S	0.385	42.0	6	654.55
	W	0.385	47.0	6	732.47
Muro colind		0.385	8.4	28-25-3	65.45
Techo		1.751	125.0	18	1,284.98
Ventana	N	0.170	12.8	3	225.88
	E	0.170	2.5	4	58.85
	S	0.170	3.7	5	108.82
	W	0.170	0.0	5	0.00
Domo		0.170	1.0	2	11.76
Puerta	E	0.399	1.9	10	47.62
					4,967.00

**Ganancia TOTAL**

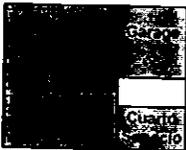
$$Q = Qt + Qr + Qc$$

$$Q = 9,234.04 + 2,426.00 + 1,240.00$$

$$Q = 12,900.04 \text{ W}$$

Como podemos observar en los ejemplos anteriores, algunas consideraciones presentan mejoras mayores en la ganancia de energía, veamos que sucede combinando estas mejoras:

8.9.- Si en el prototipo orientado al este, utilizamos techo a base de vigueta y bovedilla, sombreado en ventanas y volado en ventanas que dan al norte, tenemos lo siguiente.



		A M <sup>2</sup>	CS	fg W/m <sup>2</sup>	fs	Qr=AxCs xfgxfs W
Vent	N	9.2	0.82	70.3	0.67	355.33
Pi baja	N	3.6	0.82	70.3	0.43	89.24
Pi alta	E	2.5	0.82	159.3	1	326.57
	S	3.7	0.82	131.1	1	397.76
	W	0.0	0.82	163.7	1	0.00
Domo		1.0	0.63	322	1	202.86
						1,371.76

**Otro tipo de ganancias**

Se consideran los mismos valores

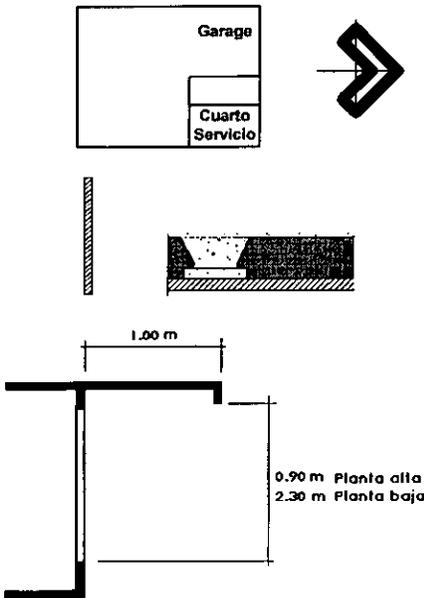
**Ganancia TOTAL**

$$Q = Q_t + Q_r + Q_c$$

$$Q = 4,967.00 + 1,371.76 + 1,240.00$$

$$Q = 7,578.76 W$$

8.10.- Si ahora, tomamos las mismas consideraciones pero con el frente orientado al oeste y volado al sur en ventanas



**Ganancia por transmisión**

		R m <sup>2</sup> °C/W	A m <sup>2</sup>	(te-ti) °C	Q=1/R x A x (te-ti) W
Muro de tabique	N	0.385	42.0	5	545.45
	E	0.385	47.0	8	976.62
	S	0.385	43.2	6	673.25
	W	0.385	58.5	6	911.69
Muro colind		0.385	8.4	28-25=3	65.45
Techo		1.751	125.0	18	1,284.98
Ventana	N	0.170	3.7	3	65.29
	E	0.170	0.0	4	0.00
	S	0.170	12.8	5	376.47
	W	0.170	2.5	5	73.53
Domo		0.170	1.0	2	11.76
Puerta	E	0.399	1.9	8	38.09
					5,022.58

**Ganancia por Radiación**

		A m <sup>2</sup>	CS	fg W/m <sup>2</sup>	fs	Qr=AxCs xfgxfs W
Vent	N	3.7	0.82	70.3	1	213.29
	E	0.0	0.82	159.3	1	0.00
Pl baja	S	9.2	0.82	131.1	0.60	593.41
	Pl alta	S	3.6	0.82	131.1	0.44
		W	2.5	0.82	163.7	1
Domo		1.0	0.63	322	1	202.86
						1,515.42

**Otro tipo de ganancias**

Se consideran los mismos valores

**Ganancia TOTAL**

$$Q = Q_t + Q_r + Q_c$$

$$Q = 5,022.58 + 1,515.42 + 1,240.00$$

$$Q = 7,778.00 W$$

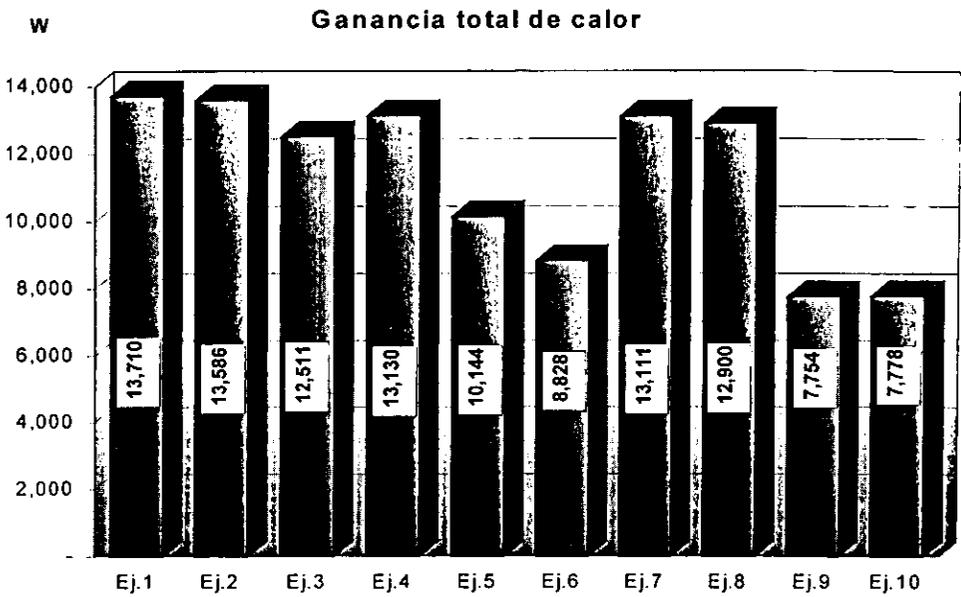
ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

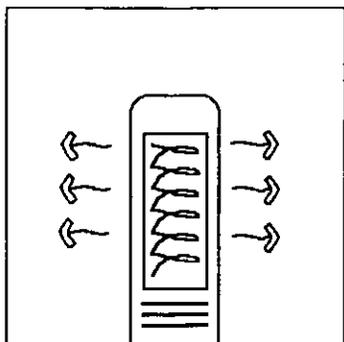
✓ **EN RESUMEN**  
Tenemos que:

<p>Ej. 8.1 Orient. Sur</p>  <p>Q = 13,710.56 W</p>	<p>Ej. 8.2 Orient. Nte.</p>  <p>Q = 13,586.59 W</p>	<p>Ej. 8.3 Orient Este</p>  <p>Q = 12,511.09 W</p>
<p>Ej. 8.4 Orient. Oeste</p>  <p>Q = 13,130.95 W</p>	<p>Ej. 8.5 O. Sur / techo c/rell</p>  <p>Q = 10,144.81 W</p>	<p>Ej. 8.6 O. Sur / vigueta y bovedilla</p>  <p>Q = 8,828.63 W</p>
<p>Ej. 8.7 O. Sur / Sombreado ventanas</p>  <p>Q = 13,111.12 W</p>	<p>Ej. 8.8 O. Sur / volado en ventanas</p>  <p>Q = 12,900.04 W</p>	<p>Ej. 8.9 O. Este / combinación anteriores</p>  <p>Q = 7,754.24 W</p>
<p>Ej. 8.10 O. Oeste / combinac. Anteriores</p>  <p>Q = 7,778.00 W</p>		

Gráficamente podemos observar las ventajas que obtenemos al buscar un mejor diseño de la edificación

Gráfica 8.1





## Selección de Equipos de Acondicionamiento

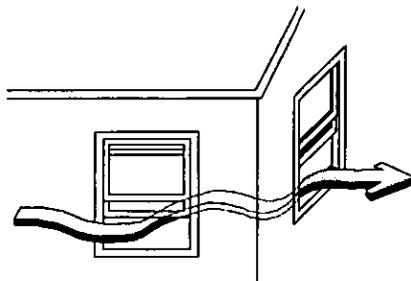
La calidad del aire en un ambiente cerrado varía dependiendo de diversos factores, como es la temperatura del aire, la humedad del aire, la propia respiración, procesos de combustión como son los que se producen en la cocina, la parte de energía de los focos que se transforma en calor, el humo, todos estos procesos enrarecen el ambiente provocando incomodidad en sus habitantes e incluso pueden provocar problemas en la salud.

La función principal del acondicionamiento de aire es mantener, dentro de un espacio determinado, condiciones de confort y salud. Para conseguirlo, es necesario hacer un estudio detallado de las características de la edificación, para poder determinar el requerimiento de acondicionamiento de espacios.

### RENOVACION NATURAL

La renovación del aire frecuentemente se hace de manera natural, como es abriendo puertas o ventanas; este tipo de renovación depende del movimiento del aire en el exterior, ya que si no hay viento, no hay intercambio de masas de aire del interior al exterior y por tanto, no es

suficiente el intercambio de aire o incluso el aire viciado se estaciona y no se logra la remoción del aire viciado. En las épocas de lluvia o de bajas temperaturas nos vemos obligados a cerrar puertas y ventanas, necesidad que se repite en las ciudades que sufren por la contaminación del ambiente y el ruido, confinando nuevamente el espacio que se está habitando.



En las ciudades con clima cálido seco y cálido húmedo cuyas temperaturas y humedad en épocas de verano y/o invierno exceden las condiciones de confort, se hace indispensable considerar sistemas mecánicos para renovar el aire viciado y controlar la temperatura y humedad dentro de los espacios habitables.

## SISTEMAS MECANICOS DE ACONDICIONAMIENTO DEL AMBIENTE

En la ciudad de México no se acostumbraba el uso del aire acondicionado, pero actualmente se requiere de un estudio detallado de las condiciones de confort y de acondicionamiento de aire por los factores mencionados.

Estos sistemas buscan mantener la temperatura y humedad dentro de los rangos que proporcionan bienestar y confort a sus ocupantes independientemente de las condiciones externas de temperatura, humedad, velocidad del viento y grado de contaminación.

Por medios mecánicos se puede lograr la renovación del aire sin cambiar sus condiciones de temperatura y humedad, lo que se conoce como ventilación, o bien, mantener condiciones preestablecidas de temperatura y humedad a lo largo del día, que es lo que conocemos como aire acondicionado.

## VENTILACION

Existen normas que establecen condiciones mínimas de ventilación y que son consideradas en los Reglamentos como obligatorias, por ejemplo, el Reglamento de Construcción del Distrito Federal establece un mínimo de 6 cambios del volumen por hora, según esto, si consideramos una habitación de 30 m<sup>3</sup>, significa que deberemos desplazar el volumen total de 180 m<sup>3</sup>/hr

En el caso de sistemas de ventilación, los equipos y sistemas de conducción del aire dependerán del volumen de aire a manejar en función del espacio a ventilar y de las necesidades de cambio de aire por hora.

Con estos sistemas se puede lograr una reducción de la temperatura del aire del exterior al interior de 2 ó 3 grados centígrados y por consiguiente, la temperatura en el interior variará en función de las variaciones de temperatura durante el día.

Los elementos que componen un sistema de ventilación son:

Unidad manejadora de aire

- ventilador
- sistema de filtrado con posibilidad de añadirle una cortina de agua para incrementar la humedad del aire.

Para conducir el aire se utilizan ductos de lámina galvanizada con la sección necesaria para manejar el flujo y la velocidad del aire de diseño, estos ductos no requieren aislamiento.

## AIRE ACONDICIONADO

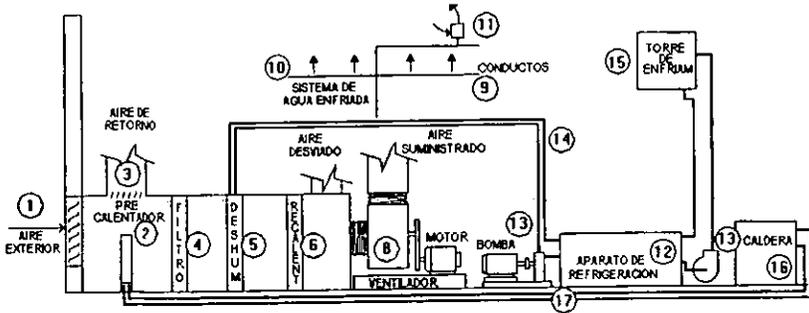
En el caso de aire acondicionado, los equipos y sistemas de conducción se diseñan para mantener niveles de temperatura y humedad del aire constantes durante el día, admitiendo una variación de uno o dos grados centígrados en relación a la temperatura de confort.

Esta temperatura puede variar entre 22 y 25 °C dependiendo de las condiciones climáticas de la zona geográfica.

□ **COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO**

Los componentes de un sistema de acondicionamiento son los siguientes:

COMPONENTES DEL SISTEMA	FUNCION QUE REALIZA
<b>Circuito de aire</b>	
1.- Toma de aire exterior ( <i>persianas, compuertas</i> )	Aire para ventilación y refrigeración en las estaciones intermedias.
2.- Batería de precalentamiento	Calentamiento de aire
3.- Toma de aire de retorno	Entrada del aire de retorno o recirculado
4.- Filtro	Elimina la suciedad del aire
5.- Batería de enfriamiento ( <i>lavador por pulverización ó batería de frío por expansión directa, agua, salmuera con o sin pulverizadores</i> )	Enfría y seca el aire ( <i>lavado del aire con pulverizadores</i> )
6.- Batería de calefacción	Calienta en invierno y produce un caldeo del aire a efectos de regulación de humedad
7.- Humectador	Humedece el aire
8.- Ventilador	Propulsión del aire
9.- Conductos	Distribución del aire a las distintas zonas
10.- Rejillas	Distribución del aire dentro de cada espacio acondicionado
11.- Unidad terminal	Unidad de impulsión de aire que puede tener cámara de mezcla, serpentín enfriador y/o batería de caldeo, tratamiento acústico y boca de impulsión.
<b>Circuito de refrigerante</b>	
12.- Aparato de refrigeración ( <i>compresor, condensador, enfriador y tuberías</i> )	Elemento enfriador
<b>Circuito de agua</b>	
13.- Bomba	Propulsión de agua o salmuera
14.- Tubería de agua o salmuera	Circulación del agua o salmuera entre los intercambiadores
15.- Torre de enfriamiento	Enfriamiento del agua del condensador
<b>Circuito de calefacción</b>	
16.- Caldera y accesorios	Produce vapor o agua caliente
17.- Tuberías	Circulación de vapor o agua caliente



□ **ESPACIO NECESARIO PARA EL EQUIPO Y SISTEMA**

El equipo de acondicionamiento y los elementos auxiliares necesitan espacio para su instalación, dependiendo del espacio del que se dispone para la instalación del equipo, tenemos:

□ **UNIDADES AUTONOMAS**

En ocasiones, estas condiciones de espacio pueden ser muy pequeñas, pudiendo resolver el problema con un aparato de ventana o de alguna unidad autónoma que pueda colocarse dentro del espacio acondicionado.

Estos sistemas son una miniaturización de la central de acondicionamiento con una capacidad pequeña.

□ **UNIDADES CENTRALES**

Si se requiere instalar un sistema grande, se debe disponer del espacio suficiente para alojar el equipo.

□ **SELECCION DEL SISTEMA**

Economía:

Es preciso hacer un análisis de los aspectos que pueden influir en la correcta elección de un sistema, como son:

- 1.- Necesidades en función de la zona a acondicionar y a los usuarios
- 2.- Consecución de unas condiciones ambientales en relación con la orientación y generación de cargas de calor internas, componentes de la envolvente de la edificación
- 3.- Limitaciones en cuanto a la conformación de la estructura de la edificación.
- 4.- Flexibilidad de los controles.
- 5.- Idea en cuanto a la inversión



**SISTEMAS DE EXPANSION DIRECTA**

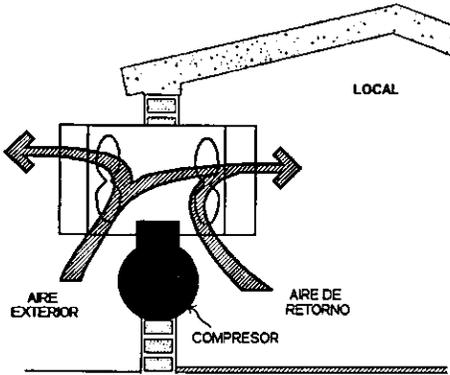
El Sistema de acondicionamiento mas elemental es una unidad de expansión directa.

Incluye los elementos:

Para enfriamiento

- 1.- Toma de aire exterior
  - 3.- Toma de aire de retorno
  - 4.- Filtro
  - 8.- Ventilador
  - 10.- Rejillas
  - 12.- Aparato de refrigeración
- ...adicionalmente si es para calefacción
- 6.- Bateria de calefacción

- ...y si es de mayor capacidad
- 2.- Batería de precalentamiento
  - 9.- Conductos (ductería)

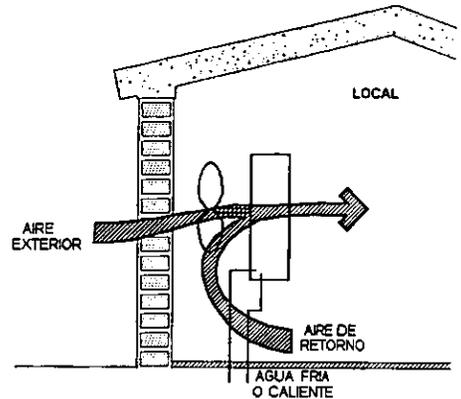


El control de estas unidades es del tipo todo o nada, en el caso de unidades mayores el control es escalonado y se conocen comúnmente en el mercado como unidades de ventana.

Sus aplicaciones son:

- Habitaciones (ya sea pequeñas o grandes)
- Zonas segregadas
  - Residencias
  - Oficinas
  - Establecimientos comerciales
  - Grupos de oficinas (como zonas individuales)

- 1.- Toma de aire exterior
- 3.- Toma de aire de retorno
- 4.- Filtro
- 5.- Batería de enfriamiento
- 8.- Ventilador
- 10.- Rejilla
- 12.- Aparato de refrigeración



La temperatura de la habitación se controla por medio de una válvula de agua situada en la batería de la unidad.

Sus aplicaciones son:

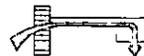
- Edificios de muchas habitaciones
  - Moteles
  - Oficinas de fábrica
  - Pequeños centros médicos



### SISTEMAS TODO AGUA

El sistema todo agua es similar al acondicionador individual, pero se acerca mucho al sistema central (todo aire)

Incluye los elementos:



### SISTEMAS TODO AIRE

Las condiciones del espacio acondicionado se mantienen por medio de distintas combinaciones para las variaciones de carga.

### Control de afluencia

Para compensar las variaciones de carga, se regula la afluencia de aire frío.

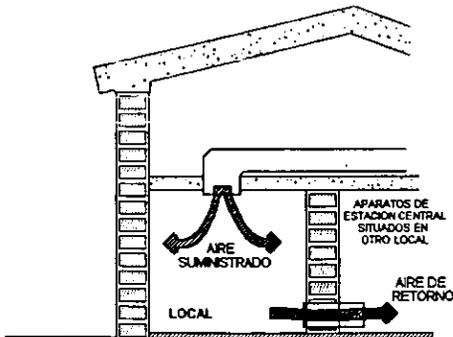
Este sistema está limitado a una variación de la afluencia de aire del 20%, ya que mayor caudal produce malestar en los habitantes.

### Control mediante by-pass

Para compensar las variaciones de carga se reduce la cantidad de aire enfriado incluyendo aire recirculado, manteniendo constante el caudal de aire que se suministra al local.

### Control del recalentamiento

Para la reducción de la carga puede emplearse el recalentamiento del caudal en el acondicionador o en la mitad terminal.



Este sistema es muy variable y tiene muchas aplicaciones.

- Edificios de varios pisos
- Edificios destinados a un sólo objetivo
- Habitaciones de un sólo ocupante

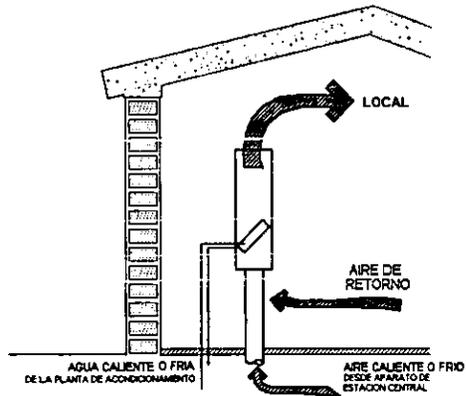


### SISTEMAS AIRE – AGUA

Los sistemas Aire-Agua son muy prácticos donde no se dispone de espacio para colocar las unidades terminales de tratamiento de aire.

La mayor parte de la carga se equilibra por medio de un serpentín de agua en la unidad terminal; los conductos del sistema todo aire se sustituyen por pequeñas tuberías y conductos de gran velocidad.

Este sistema es mas barato tanto en precio como en gastos de explotación.

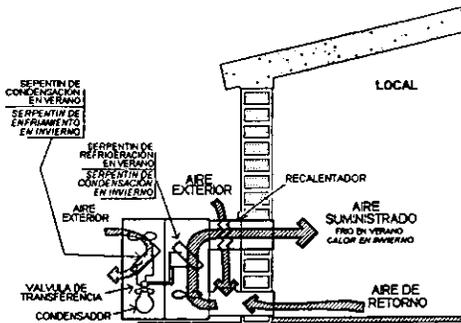


### BOMBAS DE CALOR

Las bombas de calor desplazan la energía calorífica del interior al exterior o viceversa, es decir, como refrigeración ó como calefacción.

Estas son la solución natural en un sistema para todo el año en edificaciones donde la carga de calefacción y de refrigeración son semejantes.

Se trata de un modo de funcionamiento de la planta de refrigeración que transforma un sistema de acondicionamiento en una unidad autónoma capaz de producir frío o calor sin necesidad de añadirle una caldera.



Las bombas de calor son económicas en aquellos lugares en que la energía eléctrica resulta ventajosa con respecto a los combustibles naturales.

### CRITERIOS DE SELECCION DE SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO

Para la adecuada selección de sistemas de acondicionamiento del ambiente se debe tomar en cuenta lo siguiente:

1.- Identificación de las necesidades en función de:

- Uso específico del local
- Determinación de los siguientes parámetros
  - Flujo de calor al interior a través de la envolvente de la edificación (techo, muros, ventanas, domos) en función de la variación de temperatura diaria (CONDUCCION, RADIACION)
  - Condiciones de humedad del aire

- Ganancias internas por (Personal ocupante y tipo de actividad, combustibles, alumbrado, equipos eléctricos y electrónicos) (CONVECCION)
- Requerimientos de ventilación.

2.- Determinación de las condiciones críticas o de diseño para definir la capacidad de los equipos.

3.- Análisis del costo del sistema:

El análisis del costo del sistema de acondicionamiento propuesto debe contemplar:

Inversión inicial.- Que incluye el costo de todos los equipos principales, ductería, instalación eléctrica, de agua y sistema de instrumentación y control, así como el costo de la mano de obra de instalación.

Costo de Operación.- Que incluye fundamentalmente el consumo de energía eléctrica.

Costo del Mantenimiento.- Que consiste en el costo destinado a mantener en buenas condiciones el sistema de acondicionamiento

### ANALISIS COSTO BENEFICIO

Debido a que los costos del sistema de acondicionamiento lo componen una inversión inicial y un gasto a lo largo del tiempo y el cual depende fundamentalmente del consumo de energía eléctrica, deberá evaluarse el Costo - Beneficio llevando a valor presente los gastos de operación, tomando en cuenta el costo de la energía eléctrica y el costo del

dinero en un período de operación que pudiera considerarse de 10 años.

El resultado de este análisis podría orientar al diseñador de la edificación y del sistema de acondicionamiento a considerar distintos materiales de la envolvente ó a mejorar sus condiciones termodinámicas para reducir los flujos de energía calorífica al interior, reduciendo con ello la capacidad requerida del equipo de acondicionamiento.

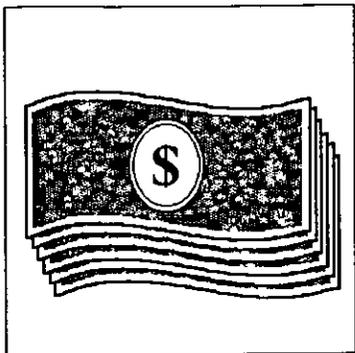
El resultado podría también orientar a buscar otro sistema de acondicionamiento que se adapte en forma mas precisa a las necesidades reales de operación, por ejemplo, que se ajuste a los distintos horarios de trabajo u ocupación de las edificaciones, introduciendo sistemas de control más ó menos sofisticados.

## CONCLUSION

Dentro del diseño Arquitectónico es necesario tomar en cuenta todas las condiciones de la envolvente, ya que esto reducirá o incluso podría evitar la necesidad de sistemas mecánicos de acondicionamiento de espacios.

Es esencial una buena selección de los materiales que se utilicen en la construcción, así como dimensionamiento de los elementos de la envolvente y orientación de la construcción, para reducir las ganancias de calor (o pérdidas) al interior, todo esto reducirá el consumo de energía empleada en el acondicionamiento de espacios.





# 10

## Análisis Costo Beneficio

En el Análisis Costo Beneficio podemos encontrar la justificación del esfuerzo para el ahorro de energía mediante diseños mas adecuados.

Para conocer la inversión inicial, debemos determinar la capacidad de los equipos de acondicionamiento.

Para el dimensionamiento de los equipos se debe considerar la carga máxima para la cual se diseñarán los equipos.

La temperatura de diseño no debe ser la máxima extrema que pudiera presentarse una vez cada 5 o 6 años, ya que se instalarían equipos que rara vez se ocuparan a su capacidad máxima, incrementando el costo de la inversión inicial y dependiendo de las características de operación también incrementaría dicho costo, como es el caso de los sistemas todo o nada. Dado esto y tras haber analizado la información estadística de varias ciudades con clima extremo, se propone como criterio de diseño la que resulta de promediar la temperatura máxima extrema reportada en el período de medición en un

año y la temperatura promedio de máxima anual en el mismo período (tabla 4A).

Para el cálculo de la ganancia por radiación solar debe considerarse el momento crítico de radiación solar, esto es considerando las 4:00 de la tarde del mes mas caluroso del año.

Para determinar la ganancia por radiación solar tenemos que:

$$Q_r = A \times CS \times G \times fs$$

Donde:

Q<sub>r</sub>.- Ganancia por radiación solar

A.- Area del sistema (m<sup>2</sup>)

G.- Intensidad de radiación solar (W/m<sup>2</sup>)

fs.- Factor de corrección por sombreado exterior

El valor de la Intensidad de radiación solar (G) se calcula mediante:

$$G = I \times \sqrt{\sin(h)} \times \cos \Theta$$

donde:

I.- Radiación Teórica Directa a Nivel del Piso (W/m<sup>2</sup>)

sen (h).- Altura Solar  
 cos Θ.- Angulo de Incidencia

C.- Angulo entre la la proyección horizontal del azimut (Z) y la normal a la superficie  
 S.- Inclincación de la superficie con respecto al plano horizontal

	No. día del año (n)	I
21 enero	21	1067
21 febrero	52	1051
21 marzo	80	1015
21 abril	111	948
21 mayo	141	907
21 junio	172	886
21 julio	202	882
21 agosto	233	905
21 septiem	264	964
21 octubre	294	1016
21 noviem	325	1052
21 diciem	355	1070

El valor del Azimut se calcula con:  
 Sen Z= cos (D) x sen (T) / cos (h)

En la tabla 4.B se presentan las temperaturas de diseño tanto para flujo de calor al interior como para flujo de calor al exterior.

10.1.- Con las mismas consideraciones que para el ej. No. 8.1 del prototipo utilizado en el capítulo 8 el cual no se considera ninguna mejora en el diseño, tenemos:



El valor de la Altura Solar es:  
 sen (h) = cos (L) x cos (D) x cos (T)  
 + sen (L) x sen (D)

donde:  
 L.- Latitud del lugar  
 (ver tabla 4.A)  
 D.- Declinación solar  
 T.- Angulo horario (-60°)

El valor del ángulo horario corresponde al de las 4:00 de la tarde.

El valor de la declinación solar se calcula mediante:

$$D = 23.45 \text{ sen } [360 (284 + n) / 365]$$

Donde:  
 n.- No. del día del año

El valor del Angulo de Incidencia es:  
 cos Θ = cos (h) x cos (C) x sen (S)  
 + sen (h) x cos (S)  
 donde:

El cálculo de áreas es el mismo calculado para el ejemplo 8.1, mientras que el diferencial de temperaturas en este caso debe considerar la capacidad máxima requerida del equipo:

**Ganancia por transmisión**  
**Temperaturas transmisión (ver tabla 4.A)**

$$\text{Dif. Temp (te-ti)} = 40.4 - 25 = 15.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Dif Temp (tc-ti)} = 32 - 25 = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

		R m <sup>2</sup> °C/W	A m <sup>2</sup>	(te-ti) °C	Q=1/R x A x (te-ti) W
Muro de tabique	N	0.385	47.0	15.4	1,880.00
	E	0.385	43.2	15.4	1,728.00
	S	0.385	58.5	15.4	2,340.00
	W	0.385	42.0	15.4	1,680.00
Muro colind		0.385	8.4	7	152.73
Techo		0.406	125.0	15.4	4,741.38
Ventana	N	0.170	0	15.4	0.00
	E	0.170	12.8	15.4	1,159.53
	S	0.170	2.5	15.4	226.47
	W	0.170	3.7	15.4	335.18
Domo		0.170	1.0	15.4	90.59
Puerta	E	0.399	1.9	15.4	73.33
					14,407.21

**Ganancia por Radiación**

De la tabla 4.A para Mexicali, el mes mas caluroso es julio y la latitud (L) es 32.48°N

El valor de la declinación solar es:

$$D = 23.45 \text{ sen } [360 (284 + 202)/365]$$

$$D = 20.44$$

El valor de la altura solar es:

$$\begin{aligned} \text{sen}(h) &= \cos(L) \times \cos(D) \times \cos(T) \\ &\quad + \text{sen}(L) \times \text{sen}(D) \\ &= \cos(32.48) \times \cos(20.44) \times \cos(-60) \\ &\quad + \text{sen}(32.48) \times \text{sen}(20.44) \\ &= 0.8436 \times 0.9370 \times 0.500 \\ &\quad + 0.5370 \times 0.3492 \\ &= 0.5827 \end{aligned}$$

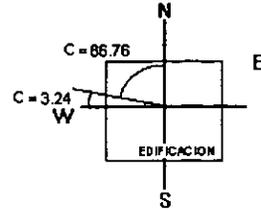
$$\begin{aligned} h &= \text{sen}^{-1}(0.5827) \\ &= 35.64 \end{aligned}$$

El valor del Azimut es:

$$\begin{aligned} \text{sen } Z &= \cos(D) \times \text{sen}(T) / \cos(h) \\ &= \cos(20.44) \times \text{sen}(-60) / \cos(35.64) \\ &= 0.9370 \times -0.8660 / 0.8127 \\ &= -0.9984 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= \text{sen}^{-1}(-0.9984) \\ &= -86.76 \end{aligned}$$

En este caso, la orientación de las fachadas es 0° al Norte y 0° al Oeste, es decir, 90° a partir del Norte.



**Ganancia en Domo**

El valor del Angulo de Incidencia en caso de elementos horizontales es igual a 1, por lo que:

$$\text{Cos } \theta = 1$$

El valor de la Densidad de la Energia Solar es:

$$G = I \sqrt{\text{sen}(h)} \times \text{cos } \theta$$

$$G = 882 \sqrt{0.5827} \times 1$$

$$G = 736.68$$

**Ganancia en Ventana Norte**

El valor del Angulo de Incidencia es caso de elementos horizontales es:

$$\begin{aligned} \text{Cos } \theta &= \cos(h) \times \cos(C) \times \text{sen}(S) \\ &\quad + \text{sen}(h) \times \cos(S) \\ &= \cos(36.64) \times \cos(86.76) \times \text{sen}(90) \\ &\quad + \text{sen}(36.64) \times \cos(90) \\ &= 0.8024 \times 0.0565 \times 1 + 0.5968 \times 0 \\ &= 0.0453 \end{aligned}$$

El valor de la Densidad de la Energia Solar es:

$$G = I \sqrt{\text{sen}(h)} \times \text{cos } \theta$$

$$G = 882 \sqrt{0.5827} \times 0.0453$$

$$G = 33.37$$

**Ganancia en Ventana Oeste**

El valor del Angulo de Incidencia es caso de elementos horizontales es:

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \cos (h) \times \cos (C) \times \sin (S) \\ &\quad + \sin (h) \times \cos (S) \\ &= \cos (36.64) \times \cos (3.24) \times \sin (90) \\ &\quad + \sin (36.64) \times \cos (90) \\ &= 0.8024 \times 0.9984 \times 1 + 0.5968 \times 1 \\ &= 0.8011 \end{aligned}$$

El valor de la Densidad de la Energía Solar es:

$$\begin{aligned} G &= I \sqrt{\sin (h) \times \cos \theta} \\ G &= 882 \sqrt{0.5827 \times 0.8011} \\ G &= 590.16 \end{aligned}$$

**Ganancia TOTAL**

$$\begin{aligned} Q &= Ql + Qr + Qc \\ Q &= 14,407.21 + 2,787.83 + 9,583.00 \\ Q &= 26,778.04 \text{ W} \end{aligned}$$

La capacidad del equipo de refrigeración para esta demanda máxima, considerando que el factor de conversión de la demanda instantánea máxima a toneladas de refrigeración es de 3200, será de:

$$\begin{aligned} \text{Cap. eq.} &= 26,778.04 / 3200 \\ \text{Cap. eq.} &= 8.37 \text{ ton de refrigeración} \end{aligned}$$

		A m <sup>2</sup>	CS	G	Fs	Qr=A x CSxG x fs W
Vent	N	0.0	1	33.4	1	0.00
	W	3.7	1	590.2	1	2,183.74
Dom		1.0	0.82	736.7	1	604.09
						2,787.83

10.2.- Considerando el ejemplo 8.9 del capítulo 8, donde encontramos que las mejoras al diseño disminuyen eficientemente el consumo, tenemos:

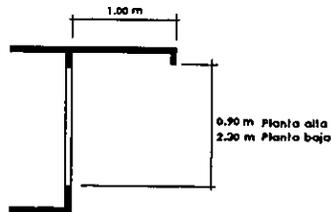
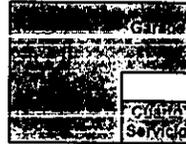
**Otro tipo de ganancias**

En este caso, debemos considerar la ocupación para la capacidad máxima del equipo, no debemos sobrediseñar el equipo para condiciones que ocurran una vez cada varios años, sino que se debe tener en cuenta la ocupación promedio máxima de la edificación.

Supongamos una reunión familiar de 12 personas, 4 se encuentran en movimiento, 4 se encuentran sentadas, 2 personas se encuentran en la cocina y 2 personas en la planta alta, en total son 12 personas.

Se debe considerar la tabla 8B considerando una capacidad máxima instalada de 5000W.

6 personas, sentadas desc	6 x 115 = 690 W
4 personas, caminando lent	4 x 160 = 640 W
2 personas, actividad ligera	2 x 150 = 300 W
1000W / kW inst. (5kW)	2,500 W
Estufa	1,907 W
Horno doméstico	3,546 W
<b>TOTAL Qc</b>	<b>9,583 W</b>



**Ganancia por transmisión**

		R m <sup>2</sup> °C/W	A m <sup>2</sup>	(t <sub>e</sub> -t <sub>i</sub> ) °C	Q=1/R x A x (t <sub>e</sub> -t <sub>i</sub> ) W
Muro de tabique	N	0.385	43.2	15.4	1,728.00
	E	0.385	58.5	15.4	2,340.00
	S	0.385	42.0	15.4	1,680.00
	W	0.385	47.0	15.4	1,880.00
Muro colind		0.385	8.4	7	152.73
Techo		1.751	125.0	15.4	1,099.37
Ventana	N	0.170	12.8	15.4	1,159.53
	E	0.170	2.5	15.4	226.47
	S	0.170	3.7	15.4	335.18
	W	0.170	0.0	15.4	0.00
Domo		0.170	1.0	15.4	90.59
Puerta	E	0.399	1.9	15.4	73.33
					10,765.20

**Ganancia por Radiación**

Debido a que la orientación tan sólo se giró 90°, el valor de la intensidad de radiación es el mismo para las orientaciones correspondientes, por lo que tenemos que:

		A m <sup>2</sup>	CS	G	F <sub>s</sub>	Q <sub>r</sub> =AxCS xGxfs W
Ventana Pl baja Pl alta	N	9.2	0.82	33.4	1	251.97
	N	3.6	0.82	33.4	0.67	66.06
	W	0.0	0.82	590.2	1	0.00
Dom		1.0	0.63	736.7	1	464.12
						782.15

**Otro tipo de ganancias**

Debido a que la orientación es independiente de las condiciones internas tenemos:  
 $Q_r = 9,583.00$

**Ganancia TOTAL**

$$Q = Q_t + Q_r + Q_c$$

$$Q = 10,765.20 + 782.15 + 9,583.00$$

$$Q = 21,130.35 W$$

La capacidad del equipo de refrigeración para esta demanda máxima será:

$$\text{Cap. eq.} = 21,130.35 / 3200$$

$$\text{Cap. eq.} = 6.60 \text{ ton de refrigeración}$$

**COSTOS DEL SISTEMA**

**Inversión Inicial**

Para el cálculo de la inversión inicial debemos tomar en cuenta todos los aspectos que intervienen, en este caso, consideraremos la adquisición de un sistema de ventana, así como los costos originados por las mejoras.

**Mejoras en la construcción:**

Para el cálculo de las mejoras se tienen los siguientes precios.

**LOSAS**

+ LOSA DE CONCRETO		m <sup>2</sup> 237.04		
+ CONCRETO-	m3	0.105	1,148.19	120.56
+ ACERO-	ton	0.010	6,047.55	60.48
+ CIMBRA-	m2	1.000	56.00	56.00

+ LOSA DE VIGUETA Y BOVEDILLA		m <sup>2</sup> 322.25		
+ CONCRETO-	m3	0.0800	1,148.19	91.85
+ ACERO-	ton	0.0053	6,047.55	32.05
+ VIGUETA Y BOVEDILLA -	m2	1.000	198.35	198.35

**AUXILIARES**

+ CONCRETO-		m3 1,148.19		
CEMENTO GRIS	ton	0.403	900.00	362.70
GRAVA TMA 20	m3	0.533	90.00	47.94
ARENA	m3	0.552	90.00	49.58
CILINDRO PRUEB	pza	0.200	100.00	20.00
ANTISOL EMULS	lt	2.000	10.00	20.00
AGUA EN PIPA	m3	0.290	43.01	12.47
+ CUAD CONCR	jor	0.275	1,653.27	454.65
+ CUAD CARG/DESC	jor	0.275	380.21	104.56
HERRAM MENOR	%mo	0.050	559.21	27.96
VIBRADOR	hr	0.667	34.18	22.80
REVOLVED 1S	hr	0.667	38.12	25.43

+ ACERO-		ton 6,047.55		
VARILLA ACERO	ton	1.050	3,400.00	3,570.00
ALAMBRE REC.	kg	40.000	8.00	320.00
+ CUAD ACERO	jor	0.900	1,653.27	1,487.94
+ CUAD ACARREO	jor	0.600	944.79	566.87
HERRAM MENOR	%mo	0.050	2,054.81	102.74

+ CIMBRA-		m2 56.00		
MADERA PINO 3A	pl	1.000	5.00	5.00
CLAVOS	kg	0.200	7.00	1.40
+ CUAD CIMBRA	jor	0.050	944.79	47.24
HERRAM MENOR	%mo	0.050	47.24	2.36

+ VIGUETA Y BOVEDILLA-		m2 198.35		
BOVEDILLA POLST	pza	1.552	10.00	15.52
VIGUETA 20	m	2.500	40.00	100.00
MALLA ELEC 6X6 10/10	m2	1.050	5.90	6.20
+ CUAD CONCR	jor	0.045	1,653.27	74.40
HERRAM MENOR	%mo	0.030	74.40	2.23

**CUADRILLAS**

+ CUAD CONCR		Jor 1,653.27		
CABO OBRA CIVIL	jor	0.10	259.72	25.97
OF OBRA CIVIL	jor	1.00	210.34	210.34
AYUD O. CIVIL	jor	2.00	177.12	354.24
AYUD GENERAL	jor	6.00	177.12	1,062.72

+ CUAD CARGA/DESC		Jor 380.21		
CABO OBRA CIVIL	jor	0.10	259.72	25.97
AYUD GENERAL	jor	2.00	177.12	354.24

+ CUAD ACERO		Jor 1,653.27		
CABO OBRA CIVIL	jor	0.10	259.72	25.97
OF FERRERO	jor	1.00	210.34	210.34
AYUD FERRERO	jor	4.00	177.12	708.48
AYUD GENERAL	jor	4.00	177.12	708.48

+ CUAD ACARREO		Jor 944.79		
CABO OBRA CIVIL	jor	0.10	259.72	25.97
OF OBRA CIVIL	jor	1.00	210.34	210.34
AYUD GENERAL	jor	4.00	177.12	708.48

+ CUAD CIMBRA		Jor 944.79		
CABO OBRA CIVIL	jor	0.10	259.72	25.97
OF CARPINTERO	jor	1.00	210.34	210.34
AYUD GENERAL	jor	4.00	177.12	708.48

Descripción	Costo total (incluye mano de obra, materiales y equipo)
Losa plana de concreto armado de 10cm esp. / cimbra	237.04
Losa de casetón de poliestireno	322.25
Volado de concreto	150.16
Cristal 6 mm	283.73
Cristal reflectasol	599.26
Domo	315.25
Domo reflectasol	652.16
Costo / m2 construcción, casa de interés medio	3,148.00

Fuente: Catálogo Nacional de Precios Prisma, Agosto 1998

$$\text{Area de Ventanas} = 0 + 12.8 + 2.5 + 3.7 = 19.0$$

**Presupuesto Base**

	Area	Costo unit	importe MN
Techo	125 m <sup>2</sup>	237.04	29,630.00
Ventana	19 m <sup>2</sup>	283.73	5,390.87
Domo	1 m <sup>2</sup>	315.25	315.25
			35,336.12

Area del volado en ventanas es:

$$\text{Area volado} = 1.10 \times 8.00 \text{ m} = 8.8 \text{ m}^2$$

**Presupuesto Mejoras**

	Area	Costo unit	importe MN
Techo	125 m <sup>2</sup>	322.25	40,281.25
Volado pb	8.8 m <sup>2</sup>	150.16	1,321.41
Ventana	19 m <sup>2</sup>	599.26	11,385.94
Domo	1 m <sup>2</sup>	652.16	652.16
			53,640.76

Como referencia calculamos el costo total de la construcción de acuerdo a costo/m<sup>2</sup> para una casa de interés medio:

El área total de la construcción será:

$$\begin{aligned} A_{const} &= 12.50 \times 10.00 - 5.00 \times 5.00 \\ P_{Alta} &= 125.00 - 25.00 \\ &= 100.00 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A \text{ const} = 10.00 \times 7.50 + 5.00 \times 3.00$$

$$PBaja = 75.00 + 15.00$$

$$= 90.00 \text{ m}^2$$

$$A \text{ total} = 190 \text{ m}^2$$

$$\text{Costo tot} = 190 \times 3,148.00$$

$$= 598,120.00$$

Comparando los costos de las mejoras:

Cond. Mejora	53,640.76
Cond. Inicial	35,336.12
Diferencia	18,304.64

Incidencia sobre la construcción:

$$18,304.64 / 598,120.00 = 0.031$$

Es decir, sin considerar la reducción del costo en la adquisición de equipos de aire acondicionado, ni la reducción en el costo por consumo de energía eléctrica, el impacto sobre la construcción será del 3.1%.

En adquisición de equipo de aire acondicionado, tenemos los siguientes costos:

BTU/hr	W	Costo (\$)
18,000	5,275	5,000
20,000	5,862	7,000
24,000	7,034	11,000
40,000	11,725	25,000
	29,896	48,000
Promedio	1	1.6

Para el primer ejemplo (10.1) donde la capacidad requerida del equipo es de 26,778.04 W, tendríamos lo siguiente

$$\text{Costo eq.} = 26,778.04 \times 1.6 = 42,844.86$$

Para el segundo ejemplo (10.2) donde la capacidad requerida del equipo es de 21,130.35 W, tendríamos lo siguiente

$$\text{Costo eq.} = 21,130.35 \times 1.6 = 33,808.56$$

### Costo de Operación

Para el cálculo de la inversión inicial, debemos considerar el consumo calculado para el diseño propuesto, de acuerdo al capítulo 8.

10.3.- De acuerdo a 10.1, donde se considera el ejemplo 8.1 del capítulo 8, El consumo anual de energía eléctrica será:

$$\text{Demanda} = Q \times h/\text{día} \times \text{No. Días}$$

$$\text{Demanda} = 13,710.56 \times 7 \text{ hr/día} \times 180 \text{ días}$$

$$\text{Demanda} = 17,275.31 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo} = \text{Demanda} / \text{Eficiencia}$$

$$\text{Consumo} = 17,275.31 / 2.9$$

$$\text{Consumo} = 5,957.00$$

$$\text{Costo cons} = 5,957.00 \text{ kWh} \times 0.85 \text{ \$/kWh}$$

$$\text{Costo cons} = \$5,063.45 \text{ anual}$$

10.4.- Considerando el ejemplo 8.9 del capítulo 8, de acuerdo a 10.2 El consumo anual de energía eléctrica, considerando la época de calor durante 6 meses, será:

$$\text{Demanda} = Q \times h/\text{día} \times \text{No. Días}$$

$$\text{Demanda} = 7,578.76 \times 7 \text{ hr/día} \times 180 \text{ días}$$

$$\text{Demanda} = 9,549.24 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo} = \text{Demanda} / \text{Eficiencia}$$

$$\text{Consumo} = 9,549.24 / 2.9$$

$$\text{Consumo} = 3,292.84$$

$$\text{Costo cons} = 3,292.84 \text{ kWh} \times 0.85 \text{ \$/kWh}$$

$$\text{Costo cons} = \$2,798.91 \text{ anual}$$

El consumo se realiza en un período de tiempo, por lo cual aplicamos la fórmula de valor presente:

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n}$$

Normalmente para este tipo de proyectos se consideran 10 años; para una tasa de interés del 24% tenemos:

Año	VF	VP
1	5,957.00	4,804.03
2	5,957.00	3,874.22
3	5,957.00	3,124.37
4	5,957.00	2,519.65
5	5,957.00	2,031.98
6	5,957.00	1,638.69
7	5,957.00	1,321.53
8	5,957.00	1,065.75
9	5,957.00	859.47
10	5,957.00	693.12
		21,932.81

Ahora, considerando el modelo de vivienda con mejoras tenemos, para las mismas variables de tiempo e interés:

Año	VF	VP
1	2,798.91	2,257.18
2	2,798.91	1,820.31
3	2,798.91	1,467.99
4	2,798.91	1,183.87
5	2,798.91	954.73
6	2,798.91	769.94
7	2,798.91	620.92
8	2,798.91	500.74
9	2,798.91	403.83
10	2,798.91	325.67
		10,305.18

Diferencia = 21,932.81 - 10,305.18

Diferencia = 11,627.63

	Presupuesto Base	Presupuesto Mejoras
Inversión inicial constr.	35,336.12	53,640.76
Inversión eq. Aire acondic.	42,844.86	33,808.56
<b>Suma</b>	<b>78,180.98</b>	<b>87,449.32</b>
Costo de Operación	21,932.81	10,305.18
	<b>100,113.79</b>	<b>97,754.50</b>

Como podemos observar en este ejemplo, los beneficios a largo tiempo justifican la inversión en mejoras

### CONCLUSION

#### 1o. Beneficio para el usuario

En la inversión inicial en mejoras puede representar un bajo costo en relación a la inversión inicial total de la edificación.

En el consumo habría una disminución en consumo de energía del 45%.

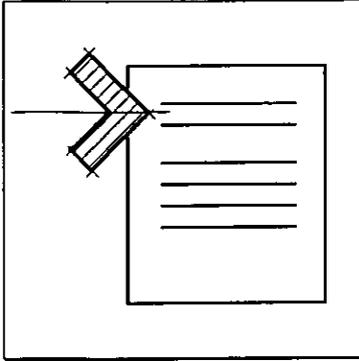
#### 2o Beneficio para el país

Una disminución en la demanda y en el consumo que podrían ser significativos multiplicado por el número de usuarios.

### Costo Total

El costo total incluye costos de inversión inicial y costos de operación:





## Conclusiones

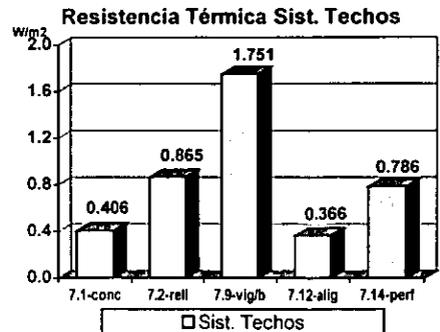
Como hemos comentado anteriormente, el bienestar térmico del hombre es parte imprescindible de su existencia, el empleo de sistemas de acondicionamiento para lograr el balance térmico propicio para el desarrollo de sus actividades se ha vuelto uno de los principales consumidores de energía, vivimos constantemente con las consecuencias del agotamiento de recursos energéticos, como es el caso del petróleo.

Como hemos visto, el diseño adecuado de las edificaciones desde el punto de vista de la eficiencia energética propicia el ahorro de energía que se emplea en el acondicionamiento de espacios, consideraciones como son la orientación de la edificación, empleo de materiales mas resistentes al calor, ubicación estratégica de ventanas no solo ahorrarán energía para el país, sino que implican un ahorro en la economía de los usuarios.

En zonas donde es imprescindible el uso de equipos para acondicionamiento de espacios, probablemente no sea evidente el consumo excesivo que estos equipos generan debido a subsidios en las tarifas

para el suministro de energía, pero el costo que esto representa para el país se hace notar en programas como es el caso del horario de verano.

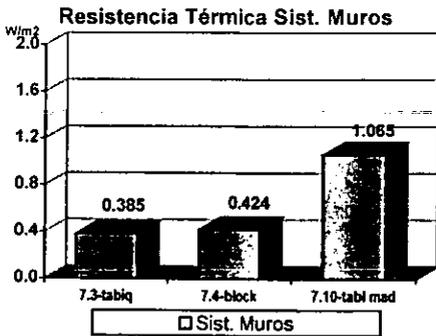
Podemos observar que en un sistema constructivo, el empleo de materiales de mayor resistencia térmica contribuyen a reducir la ganancia de calor.



de la cual podemos observar que el sistema constructivo que mayor resistencia ofrece, depende principalmente de la resistencia de los materiales que los componen, en el caso de vigueta y bovedilla este es la bovedilla de

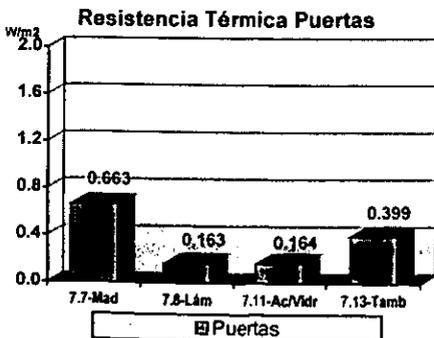
poliestireno que ofrece una resistencia de  $3.409 \text{ m}^2\text{°C/W}$  proporcional al porcentaje de área que integra, en el caso de la losa de concreto simple y la losa aligerada, los elementos constructivos no aportan mayor resistencia al sistema.

En el caso de muros encontramos que



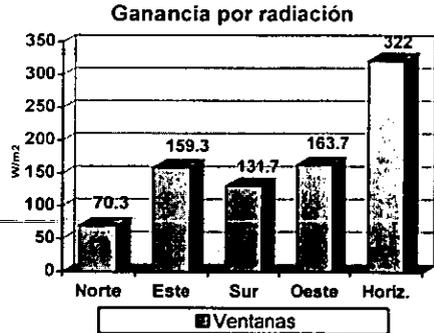
donde podemos observar que la madera es el principal elemento resistente en el sistema.

El mismo ejemplo podremos ver en el caso de puertas y ventanas.

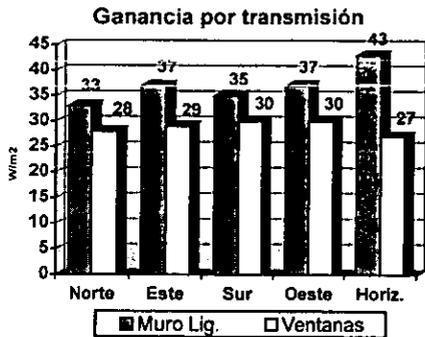


En cuanto a la orientación de los elementos de la envolvente de baja resistencia térmica

(principalmente ventanas) podemos observar que mejora la eficiencia de la edificación ubicándolos al norte, en el caso de Mexicali, la ganancia por radiación es:



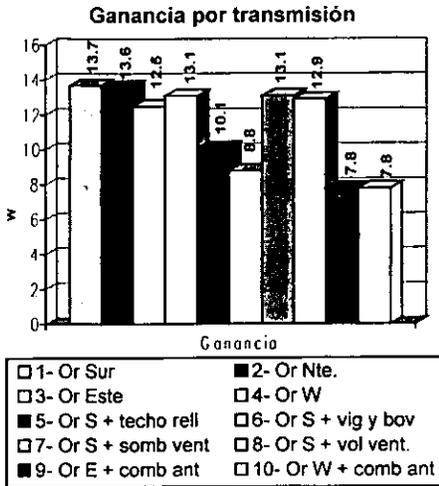
De igual forma podemos observar que un gran porcentaje de la ganancia de calor proviene de los sistemas de techos, para el mismo ejemplo de Mexicali, la ganancia por transmisión.



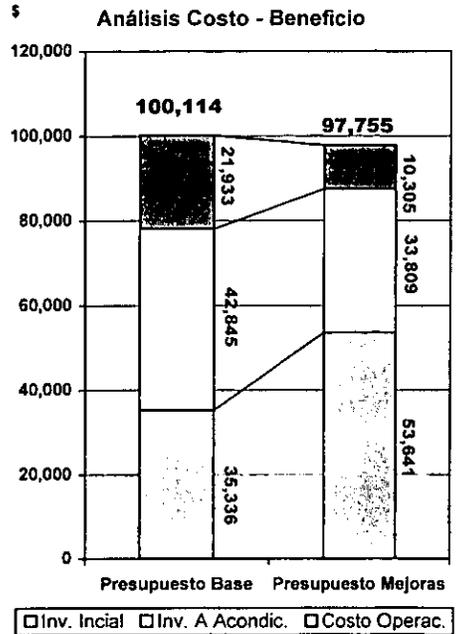
El área de techos constituye un elemento muy importante en el diseño de las edificaciones.

Si observamos los resultados de nuestro análisis de ganancia de calor, podemos observar la influencia de los elementos

constructivos en la eficiencia de la edificación.



De nuestro análisis del Costo - Beneficio podemos observar la importancia del diseño de las edificaciones.



Si bien la inversión inicial puede ser mayor dependiendo del costo de los materiales que se empleen, como vimos en el análisis de costos no representa una inversión significativa comparada con el costo total de edificación.

De cara al futuro tenemos los elementos para proteger nuestros recursos, el beneficio es evidente,



## Bibliografía

### **A.M.M.**

Memoria de Cálculo de Evaluación de Alternativas para Equipo de Acondicionamiento de Aire en una Casa Tipo

Subdirección de operación PRONUREE  
Comisión Federal de Electricidad  
México 1984

Propuesta de Incentivos para Realizar Mejoras de Climatización en Casas Habitación en Regiones con Clima muy Cálido

Air Conditioning and Refrigeration Institute  
Refrigeración y Aire Acondicionado  
Prentice Hall

Aislantes Minerales, S.A. de C.V.  
Catálogo de Productos Rolan  
Aislantes Minerales, S.A. de C.V.  
México 1992

Armenta R. Javier Arq./Ibañez A. Jesús Ing.  
Aplicaciones en Caliente y Frío de Aislamientos y Problemas Detectados  
Fipradee  
Los Mochis y Mazatlán, Sinaloa

Arctic Circle  
Aire Acondicionado, Calefacción, Ventilación, Extracción

### **ASHRAE**

90.1 Code  
American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAEE)  
Atlanta, G.A. 1991

Energy Conservation in Existing Buildings - Institutional  
American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAEE)  
Atlanta, G.A. 1991

Energy Conservation in Existing Buildings - Public Assembly  
American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAEE)  
Atlanta, G.A. 1991

Fundamentals Handbook  
American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAEE)  
Atlanta, G.A. 1985

Standard Methods of Measuring and Expressing Building Energy Performance  
American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAEE)  
Atlanta, G.A. 1985

### **ASTM**

Standard Specification for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation  
American Society for Testing and Materials  
Philadelphia, Pa. 1992

Standard Test Method for Response of Rigid Cellular Plastics to Thermal and Humid Agi  
American Society for Testing and Materials  
Philadelphia, Pa. 1975

Standard Practice for Use of Sealants in Acoustical Applications

American Society for Testing and Materials  
Philadelphia, Pa. 1980

Standard Test Method for Thermal Oxidative Stability  
of Propylene Plastics  
American Society for Testing and Materials  
Philadelphia, Pa. 1969

Standard Method for Measuring Response of Solid  
Plastics to Ignition by a Small Flame  
American Society for Testing and Materials  
Philadelphia, Pa. 1979

Standard Specification for Elastomeric Joint Sealants  
American Society for Testing and Materials  
Philadelphia, Pa. 1980

Standard Test Method for Flame Height, Time or  
Burning, and Loss or Weight or Rigid C  
American Society for Testing and Materials  
Philadelphia, Pa. 1974

### **ASTM STP 1116**

Gravesand D.C. Wysocki  
Eds. American Society for Testing and Materials  
Philadelphia 1991

### **Aviña del Aguila Jorge A. Arq.**

Características Constructivas de Vivienda Térmica  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento  
Térmico de Vivienda en Climas Extremos  
Hermosillo, Sonora 1992  
Cons. Escovar, S.A. de C.V.  
Mazatlán, Sinaloa

### **BASF Española, S.A.**

Styropor en la Construcción  
España

Techo de Fibrocemento Ondulado - Aislamiento  
Térmico Encima de las Correas con Styropor  
España

Aislamiento de Paredes con Styropor  
España

Manual del Operario Styropor - Aislamiento Exterior  
de Paredes  
España

Manual del Operario Styropor - Aislamiento de Techo  
en Caliente  
España

Manual del Operario Styropor - Techo Trapezoidal de  
Perfiles de Acero  
España

Manual del Operario Styropor - Techo Invertido  
España

El Techo Plano Maciso con Styropor  
España

El Techo Industrial de Perfiles de Acero  
Trapezoidales  
España

Aislamiento Térmico de Techos Invertidos con  
Styropor  
España

### **Bradley J. Davids, P.E.**

Taking the Heat out of Sunlight - New Advances in  
Glazing Technology for Commercial Buildings  
Puget Energy Services, Inc.  
California 1990

### **Brent T. Griffith, Dariush Arasteh, and Stephen Selkowitz**

High-Performance, Non-CFC-Based Thermal  
Insulation: Gas Filled Panels  
Prepared for the California Institute for Energy  
Efficiency  
Windows and Daylighting Group  
Energy and Environment Division  
Lawrence Berkeley Laboratory  
Berkeley, Ca. April 1992

### **BSi Standars**

Method for Specifying Thermal Insulating Materials on  
Pipes, Ductwork and Equipment (in the  
Temperature Range -40°C to +700°C)  
British Standard  
London, July 1990

### **California Energy Commission**

Blueprints  
No. 45, 46  
California Energy Commission Publications  
California 1993

Appliance Efficiency Regulations for Refrigerators and Freezer, Room Air Conditioners, Central Air Conditioners, Gas Space Heaters, Water Heaters, Plumbing Fittings, Fluorescent Lamp Ballast, Luminaires, Gas Cooking Appliances and Gas Pool Heaters

California Energy Commission Publications  
California 1992

Building Energy Efficiency Standards  
California Energy Commission Publications  
California 1988

Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings  
California Energy Commission Publications  
California 1992

Regulations Establishing Energy Conservation Standards for New Nonresidential Building  
California Energy Commission Publications  
California 1980

Nonresidential Manual for Compliance with the 1992 Energy Efficiency Standards (for Nonresidential Buildings, High-rise Residential Buildings, and Hotels / Motels)  
California Energy Commission Publications  
California 1992

Residential Manual for Compliance with the Energy Efficiency Standards (for Low-Rise Residential Buildings)  
California Energy Commission Publications  
California 1992

Standards for Insulating Material  
California Energy Commission Publications  
California 1982

Standing Committee on Energy Conservation  
California Energy Commission Publications  
California 1991

### **Campos C. Ramón Ing.**

Estructura Integral  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
RAMOCAMP, S.A. de C.V.  
México, D.F.

### **Cañez P. Rolando Ing.**

Asfaltos  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
Zahori, S.A.  
Mexicali, Baja California 1992

### **Carrier, Willis H.**

Modern Air Conditioning, Heating and Ventilating  
3a Ed.

### **Castro V. César Ing.**

Características de los Cartones Mineralizados  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
Cía Industrial de Mexicali, S.A. de C.V.  
Mexicali, Baja California 1992

### **Cazares Pérez M. F. Ing. / Echeverría Flores B. Ing.**

Comparación de la Capacidad de Aislamiento de Diferentes Tipos de Techos en Viviendas

### **Centro Impulsor de la Construcción y la Habitación, A.C.**

Catálogo de la Construcción CIHAC'92  
CIHAC  
México 1992

### **CFE**

Documentación Básica sobre Viviendas en Clima Cálido  
Programa Nacional del Uso Racional de la Energía

Especificaciones para la Aplicación de Sistemas de Ahorro de Energía Eléctrica en el Proyecto, Construcción o Adecuación de Edificaciones

### **Cubillas Lorena G. Arq.**

Aislamiento Térmico y Adecuación Ambiental  
Experiencias en Ahorro Energético  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo Sonora 1992  
Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Arquitectura  
Mexicali, Baja California

**de Diego M. M. Ing.**

Construcción Tipo en Zonas de Clima Cálido para Reducir el Consumo de Energéticos CFE-SDO-PRONUREE  
México

**Dean T. Kashiwagi, PhD, PE**

The Behavior of Insulation Materials  
E. Webb School of Construction  
Arizona State University

The Economics of Thermal Insulation  
E. Webb School of Construction  
Arizona State University

The Usage of Insulation Materials on Roofs  
A Retrospective Analysis  
E. Webb School of Construction  
Arizona State University

**Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional**

Instituto para Efectuar Observaciones Meteorológicas en las Estaciones Climatológicas  
México. 1979

**DOF**

Declaratoria de Obligatoriedad de la Norma Oficial Mexicana NOM-J-503/I-1991  
Consumo de Energía - Aparatos Eléctricos para Venta Directa al Público - Información para el Consumidor - Parte I: Etiquetado  
México 1991

**Dicalite**

Carlita, Protección Termoacústica y Ligereza  
Dicalite  
México

**Echeverría F. Bartolo Ing.**

Resultados de Pruebas a Materiales Aislantes  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
U.A.S.  
Culiacán Sinaloa

**Electric Power Research Institute**

Energy Conservation Standards for Consumer Products  
EPRI  
Palo Alto, CA. 1992

**Elizondo, S.A. de C.V.**

Mejoras de Eficiencia  
Junio 1984

**Expanded Polystyrene Insulation**

The Insulation for the 80's  
Roofing Design Ideas  
EPS

The Greatest Insulation Value in Roofing  
EPS

Wall and Foundation Design Ideas  
EPS

**FIDE-CFE**

Seminario de Aislamiento Térmico para Vivienda en Clima Cálido, Memoria Técnica  
México

**García Chávez J. R. Dr.**

Ahorro de Energía y Confort Natural en las Edificaciones  
SEMIP  
México 1993

**Goldstein D. B.**

The American Experience with Establishing Energy Efficiency Standards for New Buildings: Case Studies of California and National Energy Standards.  
Natural Resources Defense Council  
San Francisco, California 1988

**Granet Irving**

Termodinámica  
Queensborough Community College New York  
Institute of Technology  
Prentice Hill Hispanoamericana, S.A. 3a Ed.  
México 1988

**Hernández G. E. Ing.**

Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración  
Limusa  
México 1991

**Huang Joe**

Analysis in Support of a Proposed Commercial  
Building Energy Standard for Mexico  
Lawrence Berkeley National Laboratory  
Berkeley, CA 1996

**Ibañez A. Jesús Ing. / Armenta R. Javier Arq.**

Deficiencias Técnicas Detectadas en Trabajos de  
Aislamiento Térmico con Asfaltos  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento  
Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
FIPRADEE  
Mazatlán, Sinaloa

**INFONAVIT**

Catálogo de Vivienda 1976  
INFONAVIT  
México 1976

**ISO**

ISO/TC 163 Thermal Insulation  
CEN/TC 89 Thermal Performance of Buildings and  
Building Components  
International Organization for Standardization  
1991

ISO/TC 163 Thermal Insulation  
ISO/TC 205 Building Environmental Design  
International Organization for Standardization  
1993

**Kraus F., Eto J.**

Least - Coast Utility Planning Handbook for Public  
Utility Commissioners Volume 2, The Demand  
Side: Conceptual and Methodological Issues  
Lawrence Berkeley Laboratory  
Washington, D.C.

**Lawrence Berkeley Laboratory**

A Method for Optimizing Solar Control and Daylighting  
Performance in Commercial Office Buildings  
University of California  
California 1992

Building Technologies Program, 1992 Annual Report  
University of California  
California 1992

Energy Analysis Program, 1992 Annual Report  
University of California  
California 1992

The Influence of Glazing Selection on Commercial  
Building Energy Performance in Hot and Humid  
Climates  
University of California  
California 1991

**López Ch. Norberto Ing.**

Los Aislantes de Fibra de Vidrio en el Ahorro de  
Energía  
Vitrofibras, S.A.  
México, D.F.

**Lubosa- Luis Borili, S.A.**

Factores Básicos Acerca de la Carlita  
Monterrey, Nuevo León

**Ludwig Adams, P.E.**

Thermal Conductivity of Perlite Concrete  
Cryogenic Technology  
Pittsburg 1969

**Macías A. José Ma. Ing.**

Beneficios que Proporciona la C.F.E. en Desarrollos  
de Vivienda Aislada  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento  
Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
C.F.E. División Noroeste  
Hermosillo, Sonora

**Marks**

Mechanical Engineer's Handbook  
4th ed.  
McGraw - Hill  
New York 1951

**Mark T. Bomberg, Mavinkal K. Kumaran**

Evaluation of Long - Term Thermal Performance of  
Cellular Plastics Revisited Insulating Materials:  
Testing and Application  
2nd Volume

**Mark T. Bomberg**

Development of Thermal Insulation Performance Test Methods

ASTM  
1916 Race St.  
Philadelphia 1983

Technical Trends

The Evolution of Insulation Research  
Canadian Consulting Engineer  
1992

**Martínez G. Juan G. Arg.**

El Sistema Tridipanel en la Construcción Actual  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento  
Térmico de Vivienda en Climas Extremosos

Hermosillo, Sonora 1992  
Insteelpanel Mex, S.A. de C.V.  
Mexicali, Baja California

**Mathis R.C. / Arasteh D., P.E. /  
DuPont W.**

The NFRC Window U-Value Rating Procedure  
NFRC - National Fenestration Rating Council  
USA

**Mathis R Christopher**

What NFRC Means to Manufacturers of Windows and  
Doors

NFRC - National Fenestration Rating Council  
USA

**Maurice Croiset**

Humedad y Temperatura en los Edificios,  
Condensaciones y Confort Térmico de Verano y  
de Invierno

Editores Técnicos Asociados, S.A.  
Barcelona, España 1970

**Mercado L. José A. Arq. / M. de  
Madrid L. Angelina Arq.**

Prototipo de Vivienda Institucional  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento  
Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992

**Molina H. / Sandez P.**

Estudio Comparativo de Normales Climatológicas en  
Ciudades del Norte del País con Temperaturas  
Máximas Extremas en Verano

Comisión para el Ahorro de Energía del Municipio de  
Mexicali

Centro de Estudios para el Desarrollo de la  
Administración Municipal, A.C.  
México 1990

**Morales Sosa, L. Arq.**

Relatoria EXPO'93  
Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico  
(PAESE)

C.F.E.  
México 1993

**NAHB**

Thermal Performance Guidelines, Apartments and  
Condominiums

National Association of Home Builders of the United  
States

Washington, D.C. 1978

**NBE Norma Básica de la  
Edificación**

NBE-CA-82 Condiciones Acústicas en los Edificios

Dirección General de Arquitectura y Vivienda

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo

Madrid, 1982

**NESCA**

Manual J, Load Calculation for Residential Winter and  
Summer Air Conditioning

National Environmental Systems Contractors  
Association

2da Edición

Chile 1975

**Norma Oficial Chilena**

NCH1079 Arquitectura y Construcción - Zonificación  
Climático Habitacional para Chile y

Recomendaciones para el diseño arquitectónico

2da Edición

Chile 1975

**Norma Oficial Mexicana**

NOM-R-50-1977 Guía para la Redacción,  
Estructuración y Presentación de las Normas  
Oficiales Mexicanas  
Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial  
México 1977

**Odón de Buen R. Ing.**

Air Conditioning in Mexicali: Economic and  
Environmental Impacts Energy and Resources  
Group  
University of California at Berkeley  
Mexicali, Baja California  
Enero 1993

Análisis del Consumo de Energía Eléctrica a Nivel  
Doméstico en México y Procedimiento de  
Estimación de Ahorros de Energía Eléctrica en  
Casas Habitación Ubicadas en Regiones de Clima  
Cálido Seco.

Programa Nacional del Uso Racional de la Energía  
Comisión Federal de Electricidad  
México 1987

Electricity Demand in México in the Eighties: the Role  
of the Northern States Energy and Resources  
Group

University of California at Berkeley  
Mexicali, Baja California  
Enero 1993

Procedimiento de Cálculo de Ahorros Diarios de  
Energía Eléctrica por Mejoras en Casas de Clima  
Cálido (Tarifa 1-A)

Programa Nacional del Uso Racional de la Energía  
Comisión Federal de Electricidad  
México 1985

Relatoria EXPO '93  
Desarrollo de la Demanda Eléctrica en la Frontera  
Norte de México 1982 - 1990  
Lawrence Berkeley Laboratory  
México 1993

Vivienda y Energía en México: Algunas  
Observaciones

Programa Nacional del Uso Racional de la Energía  
Comisión Federal de Electricidad  
México

**Office of Industrial Programs**

Economic Thickness for Industrial Insulation  
Federal Energy Administration  
Washington, D.C. 1976

**Ordoñez C.L.F. Ing.**

Breve Exégesis sobre Legislación Existente en la  
Aplicación de Aislamientos Térmicos en el Mundo  
Propuesta para México  
Aislantes Minerales, S.A. de C.V.  
ATPAE, Noviembre 1992

**Osete E. Manuel**

Técnica Constructiva de Vivienda a Base de Policreteo  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento  
Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
Jesús González Quezada, S.A.  
Nogales, Sonora

**Pacific Energy Center**

Spring 1992  
Pacific Energy Center  
San Francisco California 1992

Summer 1992  
Pacific Energy Center  
San Francisco California 1992

**Peña Romo J. M. Ing.**

Estadísticas de Ahorros de Energía Eléctrica en  
Viviendas Aisladas  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento  
Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
Programa de Mexicali, Baja California  
Universidad Autónoma de Baja California; Instituto de  
Ingeniería  
Mexicali, Baja California

Metodología de Evaluación de Aislamientos Térmicos  
para Vivienda  
Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de  
Ingeniería  
Mexicali, Baja California

**Peña Romo J. M. Ing. / Campbell R. H. E. Ing.**

Evaluación Comparativa Técnica - Económica de Películas Plásticas Reflejantes para uso Residencial en Interior de Ventanas  
Universidad Autónoma de Baja California  
Instituto de Ingeniería  
Mexicali, Baja California

**Perlite Institute**

Perlite Insulating Concrete  
Application and Design Information for Contractors  
Perlite Institute Inc.  
Chicago, Il.

**Ramsey / Sleeper**

Architectural Graphic Standards  
American Institute of Architecture

**Romero M. R. A. Arq.**

La Oferta de Materiales y Sistemas para el Aislamiento Térmico de Viviendas en Mexicali, Baja California  
Comisión para el Ahorro de Energía del Municipio de Mexicali  
Mexicali, Baja California 1991

**del Rincón Roberto Ing. / Villegas Jesús Ing.**

Productos de Poliuretano aplicados a la Construcción  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
Fanosa, S.A. de C.V.  
Hermosillo, Sonora

**Romero Gerardo**

Aplicación de Fibra de Vidrio como Aislante de Viviendas  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
Vitro Fibras, S.A.  
México, D.F. 1992

**Rubio D. Oscar G. Ing.**

Resultados de Temperatura y Flujos de Calor de un Material Térmico para Vivienda  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
CFE, División Noroeste  
Hermosillo, Sonora

**Ruth L. (Compiladora)**

Manual de Arquitectura Solar  
Trillas  
México 1991

**Sandez P.-Agustín-Lic. / Salazar R. Maritza Arq.**

Investigación y Servicios en la Adecuación Ambiental de Vivienda a través del CAEMM  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
CAEMM  
Mexicali, Baja California

**SARH**

Normales Climatológicas 1941 - 1970  
México 1982

**SECOFI**

Catálogo de Normas Oficiales  
Tomo I (A-D)  
Dirección General de Normas  
México

**Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología**

Normas Mínimas para Vivienda de Interés Social,  
Proyecto Arquitectónico  
México

**Segura M. Vicente Ing.**

Perlite Expandida como Aislante en la Construcción de Vivienda  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
Dicalite de México, S.A. de C.V.  
México, D.F.

**Serna R. Germán Arq.**

Aislamiento de Vivienda con Materiales Aplicados en Frío y sus Resultados  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
FIPATERM  
Mexicali, Baja California

**Schuman Jennifer**

Technics Focus: Cool Daylight  
Progressive Architecture  
Lawrence Berkeley Laboratory  
California

**Siminovich M., Zhang C., Kleinsmith N.**

DRAFT, Variations in Convective Venting to Increase the Efficiency of Compact Fluorescent Downlights  
Lawrence Berkeley Laboratory  
Berkeley, CA.

**Siminovich M., Hamilton A., Zhang C.**

DRAFT, Dirt Depreciation of Compact Fluorescent Lamp Downlights  
Lawrence Berkeley Laboratory  
Berkeley, CA.

**State of California**

1985 Triennial Edition of the State Building Code  
Title 24 Part 2 California Administrative Code  
State Building Standards Commission State and Consumer Services Agency  
North Highlands, California

**University of Tennessee Environment Center and College of Home Economics**

Energy Conservation in the Home  
Energy Research and Development Administration  
Knoxville, Tennessee 1977

**Universidad Autónoma de Baja California**

Comportamiento Térmico de Muros y Cubiertas de Edificios  
Seminario Taller

Dirección General de Extensión Universitaria  
Facultad de Arquitectura  
Baja California

**Valenzuela Wilfredo Ing.**

Opciones del Poliestireno en Construcción de Vivienda  
Fanosa Pacífico, S.A. de C.V.  
Culiacán, Sinaloa

**Valera N. Adrián Ing.**

Normalización de los Diferentes Aislamientos en Construcción de Clima Cálido  
PAESE-CFE  
México, D.F.

**Valera N. Adrián Ing. / Herrera Salvado Ing.**

Normas Técnicas para Construcción de Viviendas en Climas Extremosos  
Memorias del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
PAESE-FIDE  
México, D.F.

**del Valle Fernando Ing.**

Poliuretano Aislamiento Térmico del Presente y del Futuro  
Química Pumex, S.A. de C.V.  
Monterrey, N.L.

**Vazquez B. Javier Ing. / Sandoval D. Manuel Ing.**

Perfil de Temperaturas Obtenido de un Aislante de Pintura Cerámica  
Memoria del 1er Encuentro sobre Aislamiento Térmico de Vivienda en Climas Extremosos  
Hermosillo, Sonora 1992  
CAEES-ITH  
Hermosillo, Sonora

**Warren Hampton**

College of Architecture / The University of Arizona  
Presentation at EXPO93 - Draft Version 19 January, 1993  
Daylight Design in Arid Climates