

7



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"EMPLEO DE AISLAMIENTOS TÉRMICOS EN TECHOS DE CASAS HABITACIÓN EN CLIMAS CÁLIDOS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL
P R E S E N T A
LOURDES GABRIELA SILVA RIVERA

Y PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO
P R E S E N T A
HÉCTOR LUIS GRANADOS GALLARDO

280834



Director de tesis: Ing. Adrián Valera Negrete

México, D.F.

abril de 2000



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.

Introducción	i
--------------	---

Capítulo1 Selección de las ciudades por sus características climáticas

1.1 Generalidades climáticas	1
1.2 El clima en México	3
1.2.1 Clima cálido húmedo	4
1.2.2 Clima cálido subhúmedo	5
1.2.3 Clima seco	5
1.2.4 Clima muy seco	6
1.3 Selección de las ciudades de estudio para cada tipo de clima	6
1.3.1 Criterios y selección de ciudades para el estudio	10
 Bibliografía	 13

Capítulo 2 Ganancias de calor en construcciones

2.1 Ganancias de calor	16
2.1.1 Ganancia de calor debida a la transmisión de calor a través de las barreras	17
2.1.2 Ganancia de calor debida a efectos solares	17
2.1.2.1 Ganancia de calor solar a través de vidrios	23
2.1.2.2 Ganancia de calor a través de techos y muros	26
2.1.3 Ganancia de calor por la infiltración de aire	27
2.1.4 Ganancia de calor debida a los ocupantes	29
2.1.5 Ganancia de calor de maquinaria, alumbrado, aparatos, equipo de combustión y misceláneos	30
2.1.6 Ganancia por aire de ventilación	30
2.2 Descripción de la casa tipo	31

2.2.1	Proyecto de vivienda seleccionado como prototipo	32
2.2.2	Materiales de construcción	34
2.2.2.1	Mexicali, Baja California Norte	34
2.2.2.2	Champotón, Campeche y Álvaro Obregón, Tabasco	35
2.2.2.3	Nuevo Laredo, Tamaulipas	37
2.2.3	Número de ocupantes y equipos generadores de calor dentro de la casa	38
	Bibliografía	40

Capítulo 3 Selección del equipo de aire acondicionado y costo por su operación

3.1	Bienestar humano	42
3.1.1	Bienestar termohigrométrico	43
3.1.2	Condiciones de bienestar	45
3.2	Cargas de calor en las viviendas	47
3.2.1	Carga de calor debido a ventanas	48
3.2.2	Carga de calor debida a muros	50
3.2.3	Carga de calor debido a techo	53
3.2.4	Carga de calor debido a personas	56
3.2.5	Carga de calor debido a equipo misceláneo	57
3.3	Capacidad de los equipos de aire acondicionado para las casas tipo	57
3.4	Equipos de aire acondicionado	62
3.4.1	Sistemas unitarios	62
3.4.1.1	Unidades de recinto	62
3.4.1.2	Acondicionadores unitarios	63
3.4.1.3	Unidades de techo	63
3.4.2	Unidades manejadoras de aire	64

3.5 Unidades de uso común en el sector doméstico	64
3.6 Costo por el uso de aire acondicionado	68
3.6.1 Tarifas de energía eléctrica	68
3.6.2 Costo anual por el uso de aire acondicionado	70
Bibliografía	72

Capítulo 4 Aislantes térmicos y sus características

4.1 Aislantes térmicos	75
4.2 Carlita	76
4.2.1 Descripción	76
4.2.2 Aplicaciones	77
4.2.3 Presentación	78
4.2.4 Datos técnicos y características	78
4.2.5 Instalación y acabados	80
4.2.6 Resistencia térmica en los sistemas aislados con carlita	81
4.2.7 Costos de material y mano de obra	82
4.3 Poliestireno	83
4.3.1 Descripción	83
4.3.2 Aplicaciones	84
4.3.3 Presentación	84
4.3.4 Datos técnicos y características	85
4.3.5 Instalación y acabados	87
4.3.6 Resistencia térmica en los sistemas aislados con poliestireno	88
4.3.7 Costos de material y mano de obra	89
4.4 Poliuretano	91
4.4.1 Descripción	91
4.4.2 Aplicaciones	92

4.4.3	Presentación	92
4.4.4	Datos técnicos y características	93
4.4.5	Instalación y acabados	95
4.4.6	Resistencia térmica en los sistemas aislados con poliuretano	95
4.4.7	Costos de material y mano de obra	96
4.5	Fibra de vidrio	96
4.5.1	Descripción	96
4.5.2	Aplicaciones	97
4.5.3	Presentación	97
4.5.4	Datos técnicos y características	98
4.5.5	Instalación y acabados	99
4.5.6	Resistencia térmica en los sistemas aislados con fibra de vidrio	100
4.5.7	Costos de material y mano de obra	101
	Bibliografía	103

Capítulo 5 Selección del aislante más adecuado para cada tipo de clima y ahorro de energía por su uso

5.1	Espesor óptimo de cada aislante térmico	104
5.1.1	Costo del sistema de aislamiento	105
5.1.2	Costo por uso de aire acondicionado con aislante	105
5.1.3	Espesores óptimos de cada aislante para cada ciudad tipo	107
5.2	Análisis beneficio-costo	112
5.3	Periodo de recuperación del capital invertido	114
5.4	Resultados de la evaluación económica	115
5.4.1	Resultados de la evaluación económica en Álvaro Obregón	115

5.4.2	Resultados de la evaluación económica en Champotón	116
5.4.3	Resultados de la evaluación económica en Nuevo Laredo	117
5.4.4	Resultados de la evaluación económica en Mexicali	118
5.5	Selección de aislante para el clima cálido húmedo (Álvaro Obregón)	120
5.6	Ahorro de energía y económico por la implementación del aislante en Álvaro Obregón	121
5.7	Selección de aislante para el clima cálido subhúmedo (Champotón)	122
5.8	Ahorro de energía y económico por la implementación del aislante en Champotón	123
5.9	Selección de aislante para el clima cálido seco (Nuevo Laredo)	123
5.10	Ahorro de energía y económico por la implementación del aislante en Nuevo Laredo	124
5.11	Selección de aislante para el clima cálido muy seco (Mexicali)	125
5.12	Ahorro de energía y económico por la implementación del aislante en Mexicali	126
5.13	Resumen de la selección de aislantes	126
	Bibliografía	127
	Conclusiones	128
	Recomendaciones	130
	Anexos	132

Debido a la posición geográfica y a otros factores climáticos, aproximadamente el 75% del territorio de la República Mexicana tiene clima cálido. Desgraciadamente, las viviendas construidas en las regiones de clima cálido no reúnen los requerimientos necesarios para hacerle frente a las condiciones climáticas extremas que se presentan la mayor parte del año. Esta situación origina a que en el interior de las viviendas se tengan condiciones de calor extremo, fuera del rango de las condiciones consideradas como de bienestar para el ser humano.

Una solución común para resolver el problema de las condiciones interiores de temperatura en las viviendas, es la instalación de equipos de acondicionamiento de aire. Con estos sistemas se logran mantener en el interior de la vivienda condiciones agradables para ser habitada. Pero, por otro lado, el uso de dichos equipos trae consigo un aumento muy considerable en el consumo de energía eléctrica. Este aumento origina, por un lado, que el consumidor se vea obligado a cubrir grandes sumas de dinero, varias veces más de lo que paga en los meses de invierno; y por el otro, la empresa suministradora se ve en dificultades para satisfacer la necesidad de energía.

Actualmente es indispensable el ahorro y uso eficiente de la energía en México. Al implementar algún sistema para disminuir el consumo de energía por el uso de aire acondicionado se obtienen beneficios tanto para los usuarios como para las empresas suministradoras. Los usuarios obtienen una reducción de gastos por concepto de consumo de energía eléctrica, mientras que los distribuidores ven una reducción en la demanda. Esta reducción en el consumo de energía eléctrica es muy importante, sobre todo en zonas donde la carencia de infraestructura para generarla origina un aumento en su costo.

Las viviendas ganan calor del ambiente de muy diversas formas y por todas sus superficies expuestas al calor. Aún así, en la época considerada de verano en lugares donde el clima es extremoso, el calor que reciben los techos de las construcciones representan aproximadamente el 70% del calor que se recibe en todas las superficies expuestas. Lo anterior hace pensar en la conveniencia de aumentar la resistencia térmica de esta parte de la vivienda.

Una muy buena opción para mejorar la resistencia térmica de los techos de las viviendas es la implementación de un material aislante térmico. En nuestro país, la aplicación de aislantes térmicos en los techos de las viviendas es ya conocido; sin embargo, pocos proyectistas tienen conciencia de los beneficios que el uso de estos materiales representan en la construcción de casas habitación, donde tener condiciones climáticas interiores agradables es un factor que resulta indispensable.

En México existen diversos materiales aislantes, cada uno con sus propias características físicas y químicas, formas de instalación, acabados y precios. Lo importante es seleccionar el más adecuado en cada caso para lograr los correspondientes ahorros de energía al más bajo costo.

En el presente trabajo se presenta un estudio técnico-económico para seleccionar, de entre los aislantes más usados en el país, el que mejor rendimiento ofrezca para cada uno de los diferentes tipos de clima cálido existentes en la República.

En el capítulo 1 se hace una descripción de los climas cálidos que existen en la República Mexicana, así como la selección de una ciudad característica de cada uno de ellos. La descripción de la casa tipo a estudiar y de las diversas formas en que ésta gana calor se muestran en el capítulo 2. En el capítulo 3 se seleccionan los equipos de aire acondicionado adecuados para la vivienda en

cada una de las ciudades, y se presentan los costos anuales por el uso de estos equipos. La descripción de los aislantes térmicos, su forma de instalación y sus costos, se pueden ver en el capítulo 4. Finalmente, en el capítulo quinto se selecciona el aislante más adecuado para cada uno de los climas, tomando en cuenta los aspectos técnicos y económicos de cada aislante.

Selección de las ciudades por sus características climáticas

En la selección de la capacidad de un equipo de aire acondicionado el clima juega un papel determinante, es por ello que es importante conocer sus características. México cuenta con seis tipos fundamentales de climas: cálido húmedo, cálido subhúmedo, templado húmedo, templado subhúmedo, seco y muy seco. En los climas templado húmedo y templado subhúmedo, el uso de equipos de aire acondicionado doméstico no es rigurosamente necesario para obtener condiciones de bienestar. Por ello, que en el presente capítulo se selecciona, para los climas cálido húmedo, cálido subhúmedo, seco y muy seco, la ciudad que presenta condiciones críticas de diseño para equipos de aire acondicionado domésticos.

1.1 Generalidades climáticas

El comportamiento de la atmósfera varía de un día a otro; después de varios años de observaciones, se puede ver que dicho comportamiento sigue pautas determinadas. De esta manera se llega al conocimiento del clima de un lugar que se puede definir como el estado promedio de las condiciones atmosféricas.

El clima se encuentra determinado por diferentes factores. Entre estos podemos mencionar: temperatura, altitud con respecto al nivel del mar, latitud geográfica, precipitación, distribución de tierras y mares, presión, etc.

La temperatura de un cuerpo es una medida del movimiento de las partículas que lo componen; en cierta forma es una medida de la intensidad del calor que posee. El calor se transmite entre dos cuerpos por conducción, convección y radiación; es por este último medio que llega a la Tierra el calor del Sol.

En el estudio del clima es común el uso del término de temperatura media, la cual puede ser diaria, mensual o anual. La temperatura media diaria se obtiene con el promedio de las temperaturas registradas en cada hora del día; la temperatura media mensual es el promedio de las temperaturas medias diarias de un mes en particular. La temperatura media anual se obtiene con el promedio de las temperaturas medias diarias de un año entero.

La altitud es un factor importante en la distribución de las temperaturas. En la troposfera hay una disminución no uniforme de la temperatura con la altitud. La temperatura del aire desciende aproximadamente un grado centígrado por cada cien metros de cambio de altitud.

Otro factor importante en la variación de la temperatura es la latitud. A nivel mundial existe un gradiente térmico latitudinal, caracterizado por una disminución de la temperatura desde el Ecuador hacia los polos.

Bajo ciertas condiciones el vapor de agua existente en la atmósfera se precipita debido a la condensación por disminución de la temperatura. Una parte del agua recibida en el suelo vuelve a la atmósfera por evaporación, la parte que queda en la superficie ingresa a la hidrosfera. Aunque este vapor de agua representa un porcentaje bajo de la atmósfera, influye de manera determinante en el clima, entre otras cosas porque cuanto mayor es la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, esta tiene una mayor capacidad para producir lluvias.

Esta cantidad de vapor de agua por unidad de masa de aire, que queda en la atmósfera se denomina humedad absoluta. La humedad relativa es un término usado para expresar la cantidad de vapor de agua en el aire, comparada con la cantidad de vapor de agua requerida para saturar el aire a la misma temperatura y presión, esta relación es expresada generalmente en forma de porcentaje.

Para caracterizar la humedad de un sitio en particular, existe en climatología un término llamado índice de Lang (P/T); este término relaciona la precipitación total anual del sitio con su temperatura media anual, y se define como sigue:

$$P/T = \frac{\text{Precipitación total anual (mm)}}{\text{Temperatura media anual (}^{\circ}\text{C)}}$$

Como puede observarse, entre más pequeño sea el índice de Lang, el clima será más seco.

1.2 El clima en México

México, por su posición geográfica, se sitúa casi por partes iguales, al norte y sur del Trópico de Cáncer en el paralelo $23^{\circ}27'$ de latitud norte. Esta línea que cruza los estados de Baja California Sur, Sinaloa, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Tamaulipas, deja a la mitad sur del territorio dentro de una zona climática tropical, y a la norte la define como subtropical.

Derivada de esta posición, nuestro país cuenta con una relativa uniformidad térmica a lo largo del año. Esta condición se acentúa en las regiones centro y sur del país, mientras que en el norte la variación de los factores climáticos es más marcada.

Por otro lado, la influencia marítima propicia considerables invasiones de masas de aire húmedo que penetran al país procedentes del Golfo de México y del Océano Pacífico, lo que contribuye a la presencia de un clima isotermal.

Como ya se mencionó anteriormente, en la República Mexicana se pueden distinguir seis tipos básicos de climas: cálido húmedo, cálido subhúmedo, templado húmedo, templado subhúmedo, seco y muy seco (fig. 1.1). Esta clasificación se basa

en la temperatura media y en la temporada en la que se presentan las precipitaciones.

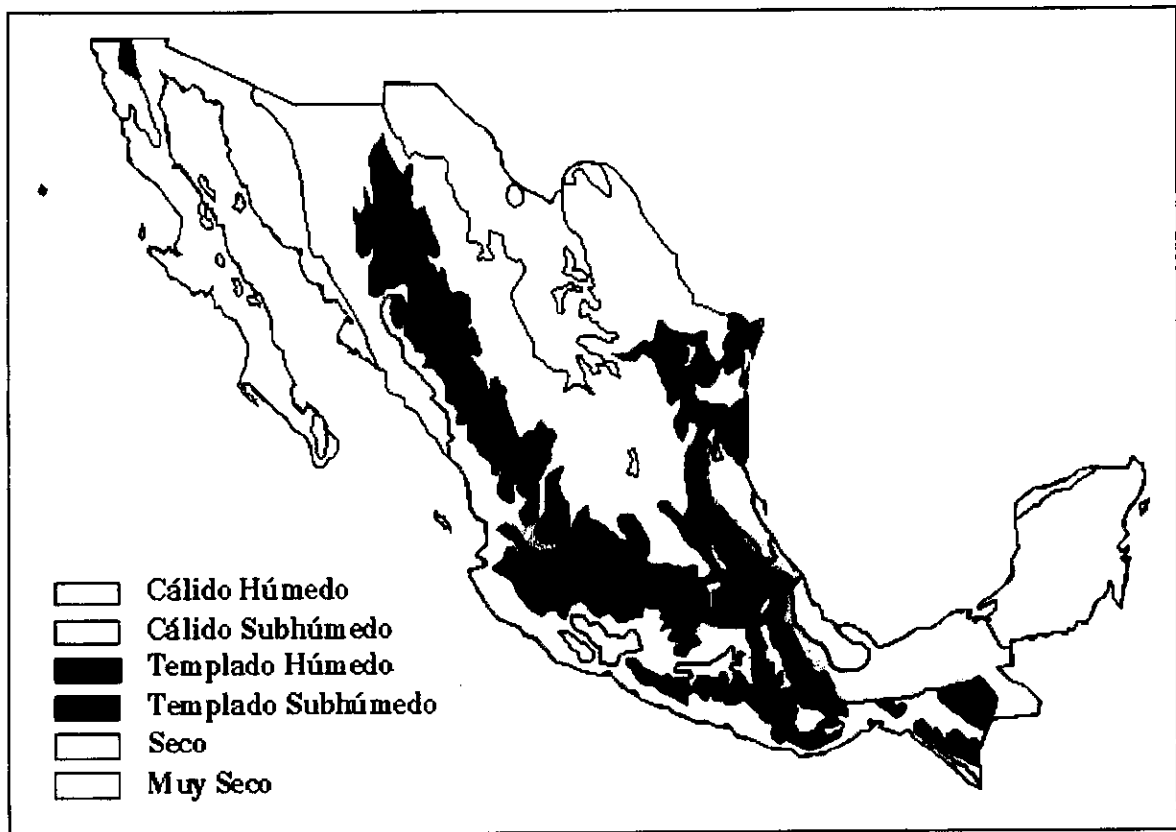


Figura 1.1 Climas en la República Mexicana

A continuación se presenta una breve descripción de las características climáticas de los tipos de clima de estudio.

1.2.1 Clima cálido húmedo

Se caracteriza por un régimen térmico en el que la temperatura media anual es superior a los 22 °C y la temperatura media mensual del mes más frío es superior a 18 °C. En esta zona se presentan lluvias en todos los meses; la precipitación del mes más seco es mayor a 60 mm, y el porcentaje de lluvia invernal con respecto a la anual es mayor al 18%. Se manifiesta principalmente en el norte y sur del estado de

Veracruz, en la región norte y oriental de Puebla, en la parte nor-oriental de Oaxaca, en todo el estado de Tabasco y en el norte y oriente de Chiapas.

1.2.2 Clima cálido subhúmedo

En este tipo de clima la temperatura media mensual del mes más frío es mayor a 18 °C y la temperatura media anual es mayor a 22 °C. La temporada de lluvias queda localizada en los meses de verano, la precipitación del mes más seco es menor a 60 mm y el porcentaje de lluvia invernal varía entre 5 y 10.2% de la anual. Las zonas donde se encuentra este clima son: casi todo el estado de Campeche, salvo su parte norte; casi todo el estado de Yucatán, salvo su parte norte; el estado de Quintana Roo; la parte norte y sur de Veracruz; la zona sur de Tamaulipas; Sinaloa, en la sección central y sur del estado; en el estado de Nayarit, salvo zona sureste; Colima, excepto su parte nor-oriental; la costa y sur de Michoacán; las costas de Guerrero y Oaxaca; la región costera y zona centro de Chiapas, la porción sur de Morelos y México y la parte sur-oeste de Puebla.

1.2.3 Clima seco

Este tipo de clima es extremoso, en la época calurosa la temperatura media se encuentra por encima de los 22 °C, mientras que en la temporada fría se encuentra por debajo de 18 °C. Las lluvias se presentan principalmente en verano, aunque son escasas, varían de 250 a 500 mm anuales. Este clima se encuentra en: la parte nor-occidental de Baja California; en la porción sur de Baja California Sur; región norte y oriente de Sonora; Sinaloa, en su zona costera y región norte; región sur y occidental de Chihuahua; Coahuila, en su parte norte y oriental; casi todo el estado de Nuevo León, salvo la parte centro; región norte y centro de Tamaulipas; Durango en su región norte, oriental y sur-oriental; casi todo el estado de Zacatecas; casi todo el estado de San Luis Potosí, exceptuando la porción oriental; Aguascalientes; norte de Guanajuato; Querétaro; región occidental de Tlaxcala e

Hidalgo; región sur-oriental de Puebla; Michoacán, región sur-occidental; región norte de Guerrero y la parte central de Oaxaca.

1.2.4 Clima muy seco

Representa una agudización del clima anterior, con temperaturas cálidas muy altas, temperaturas frías bajas y lluvias muy escasas y esporádicas, menores a 250 mm anuales. Las regiones de clima muy seco se localizan en: las regiones norte, este y sureste de Chihuahua; la zona occidental y sur de Coahuila; en el flanco occidental y sur de Sonora; Sinaloa, porción nor-occidental; Baja California, a excepción de su región noroeste y Baja California Sur, excepto la porción sur.

En términos generales, la distribución porcentual en superficie que ocupan los principales tipos de clima de México es: cálido húmedo, 4.7%; cálido subhúmedo, 23%; seco, 28.3%; muy seco, 20.8%; templado subhúmedo, 20.5% y templado húmedo con 2.7% del territorio.

1.3 Selección de las ciudades de estudio para cada tipo de clima

En las tablas del anexo I se muestran las especificaciones técnicas para el cálculo de sistemas de aire acondicionado en diferentes ciudades de la República Mexicana, publicadas por AMERIC A.C. / C.N.I.C..

Las temperaturas de bulbo seco de cálculo para verano se obtienen a partir de las temperaturas de bulbo seco máximas extremas del lugar promediadas en los últimos 10 años. Esta temperatura se sustituye en una de las siguientes ecuaciones:

a) Límite superior: $T_c = 2.5 + 0.9 T_{\max} \dots (1.1)$

b) Recomendable: $T_c = 4.5 + 0.8 T_{\max} \dots (1.2)$

c) Límite inferior: $T_c = 6.5 + 0.7 T_{\max} \dots (1.3)$

Donde :

T_c = Temperatura de bulbo seco de cálculo para verano (°C)

T_{max} = Temperatura de bulbo seco máxima extrema del lugar promediada en los últimos 10 años (°C)

Para generar los valores de las tablas se tomó la ecuación (1.2) que proporciona la temperatura recomendable para realizar los cálculos en verano. En el caso de los valores de las temperaturas de bulbo húmedo de cálculo, AMERIC presenta los valores, sin embargo no especifica la forma en que estos se obtienen.

A cada ciudad, debido a su posición geográfica, le corresponde un tipo de clima. Es por ello que de las tablas antes mencionadas se extrae y se clasifica a cada ciudad de acuerdo a la zona climática en donde se sitúa. Dicha clasificación se muestra a continuación, incluyendo los datos de población¹ para cada ciudad, así como las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo de cálculo para verano². También se presenta la humedad relativa que corresponde en la carta psicrométrica a estas temperaturas. Sólo se muestran los climas de interés para este trabajo.

Ciudad	Población (habitantes)	Datos de verano		
		T_{bs} (°C)	T_{bh} (°C)	Φ (%)
Alvaro Obregón	1 412	40	29	45
Coatzacoalcos	259 003	37	28	50
Orizaba	114 007	34	21	30
Tapachula	244 783	34	25	48
Villahermosa	520 000	37	26	42

Tabla 1.1
Ciudades de clima cálido húmedo.

¹ Fuente: Censo de Población y Vivienda 95, INEGI

² [3] Gutiérrez Arango, pp. 45 - 49

Ciudad	Población (habitantes)	Datos de verano		
		T _{bs} (°C)	T _{bh} (°C)	Φ (%)
Acaponeta	37 346	37	27	46
Acapulco	687 009	33	27	63
Campeche	204 439	36	25	46
Can Cún	n. d.	33	27	63
Ciudad del Carmen	179 503	37	26	42
Colima	120 794	36	24	37
Cozumel	48 370	33	27	63
Champotón	80 096	42	28	35
Chetumal	n. d.	34	27	58
Ixtapa Zihuatanejo	n. d.	40	27	37
Jalapa	336 345	32	21	37
Manzanillo	108 203	35	27	54
Mazatlán	357 229	31	26	68
Playa del Carmen	n. d.	34	27	58
Pochutla	n. d.	37	27	46
Poza Rica	154 489	37	27	46
Puerto Vallarta	149 210	36	26	46
Salina Cruz	76 068	34	26	53
San Blas	42 468	33	26	58
Tampico	278 948	36	26	46
Tehuacán	190 416	34	20	27
Tepic	292 704	36	26	46
Tuxpan	127 568	37	27	46
Tuxtla Gutiérrez	385 787	35	25	45
Valladolid	52 503	37	27	46
Veracruz	425 073	33	27	63

n.d. = no disponible

Tabla 1.2
Ciudades de clima cálido subhúmedo.

Ciudad	Población (habitantes)	Datos de verano		
		T _{bs} (°C)	T _{bh} (°C)	Φ (%)
Actopan	44 255	29	18	34
Apatzingán	114 808	39	25	32
Culiacán	696 079	37	27	46
Chihuahua	627 187	35	23	36
Ensenada	314 281	34	26	53
Fresnillo	176 871	36	19	18
Hidalgo del Parral	98 372	32	20	33
Ixmiquilpan	73 804	37	19	16
Lampazos	5 287	38	25	34
Matehuala	75 776	36	22	29
Mérida	649 153	37	27	46
Monclova	189 700	38	24	31
Montemorelos	51 673	39	25	32
Monterrey	1 088 041	38	26	38
Navojoa	135 998	41	28	37
Nogales	133 559	37	26	42
Nueva Rosita	n. d.	41	25	27
Nuevo Laredo	274 903	41	32	54
Piedras Negras	116 097	40	25	33
Progreso	43 842	36	27	50
Querétaro	558 624	33	21	34
Reynosa	336 732	41	28	37
Río Verde	88 443	38	24	31
Saltillo	528 146	35	22	32
San Juan del Río	154 665	32	21	37
San Luis Potosí	624 764	34	18	19
Sombrerete	62 239	34	18	19
Teztlán	71 226	36	22	29
Tijuana	989 287	35	26	49
Tlaxcala	61 514	28	17	33
Zacatecas	118 711	28	17	33

Tabla 1.3
Ciudades de clima cálido seco.

Ciudad	Población (habitantes)	Datos de verano		
		T _{bs} (°C)	T _{bh} (°C)	Φ (%)
Cabo San Lucas	71 243	35	27	54
Ciudad Juárez	1 010 533	39	24	28
Ciudad Lerdo	105 372	40	21	17
Ciudad Obregón	n. d.	43	28	33
El fuerte	90 132	42	28	35
Guamuchil	n. d.	39	27	39
Guaymas	134 552	42	27	32
Hermosillo	558 858	41	28	37
La Paz	182 348	36	27	50
Mexicali	695 805	43	28	33
Mulege	45 887	38	28	46
Topolobampo	n. d.	37	27	46
Torreón	507 800	40	21	17

Tabla 1.4
Ciudades de clima cálido muy seco.

1.3.1 Criterios y selección de ciudades para el estudio

Una vez realizada la clasificación de las ciudades, de acuerdo al clima, se selecciona aquella que cuente con las condiciones de diseño críticas. Para esta selección se usan los datos mostrados en las tablas 1.1 a 1.4.

La transmisión de calor a través de barreras, techo, paredes y cristales, viene dada por la expresión:

$$Q = UA(T_e - T_i) \dots (1.4)$$

donde :

Q= carga de calor (W)

U= Coeficiente global de transferencia de calor, que involucra efectos tanto convectivos como conductivos (W/m² °C)

A = Área total de transferencia de calor (m^2)

T_e = Temperatura de diseño exterior ($^{\circ}C$)

T_i = Temperatura de diseño interior ($^{\circ}C$)

Como puede observarse, la transferencia de calor es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior a acondicionar. Si se propone la temperatura interior como aquella capaz de proporcionar confort a los ocupantes y si además se establece un valor constante para ella en cada uno de los tipos de clima en función de sus necesidades, se observa que la condición crítica de diseño será aquella en donde la diferencia de temperatura sea mayor.

Esto permite determinar que la ciudad elegida, en cada uno de los tipos de clima, para el desarrollo de este trabajo será aquella que cuente con la temperatura de bulbo seco mayor. De existir dos o más ciudades con esta misma temperatura el siguiente criterio es seleccionar, de entre estas, aquella con la mayor temperatura de bulbo húmedo. Este segundo criterio se propone debido a que como se observa en la carta psicrométrica, para una condición interior determinada, el trabajo realizado por el equipo de aire acondicionado es mayor para condiciones ambientales con humedades relativas altas a pesar de que la temperatura de bulbo seco exterior se mantenga constante. En caso de que aún así se encuentren ciudades con iguales condiciones, se tomará aquella con mayor población.

En la siguiente tabla se presentan las condiciones críticas de las ciudades seleccionadas para cada tipo de clima, después de aplicar los criterios antes descritos:

Clima	Ciudad	Población (habitantes)	Datos de verano		
			T _{bs} (°C)	T _{bh} (°C)	Φ (%)
Cálido húmedo	Alvaro Obregón, Tabasco	1 412	40	29	45
Cálido subhúmedo	Chamotón, Campeche	80 096	42	28	35
Cálido seco	Nuevo Laredo, Tamaulipas	274 903	41	32	54*
Cálido muy seco	Mexicali, Baja California Norte	695 805	43	28	33

Tabla 1.5
Ciudades seleccionadas para cada tipo de clima cálido.

* Observando los valores de las humedades relativas, parece que no existe una concordancia de estos con el tipo de clima, especialmente en el caso del clima seco; pero hay que recordar que estos son datos para el verano, que es la estación en donde se presentan regularmente las lluvias en los climas cálido subhúmedo, seco y muy seco. Es por esto que la humedad relativa mostrada, correspondiente a las condiciones críticas de temperatura, es mayor a la que podría esperarse. En la tabla 6, que se muestra a continuación, se observa que efectivamente las lluvias se presentan de la manera antes descrita. También se muestra en esta tabla el índice de Lang (P/T) en el cual se ve que la humedad del sitio corresponde con su clasificación climática.

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	P/T
Alvaro Obregón	146.6	121.2	101.5	69.9	113.8	265.4	178.7	266.3	396.2	371.4	224.4	179.7	92.5
Chamotón	25.3	19.7	16.7	12.1	57.6	181.4	197.4	219.6	228.0	132.3	44.2	33.5	44.8
Nuevo Laredo	19.3	21.2	14.6	34.5	65.5	56.9	35.5	41.5	77.1	41.3	24.7	24.8	19.3
Mexicali	10.7	8.1	4.0	3.0	0.6	0.8	2.8	11.7	9.2	7.8	7.2	12.8	3.5

Tabla 1.6
Precipitación media mensual (mm) de las ciudades seleccionadas³.

Hay que considerar que la humedad relativa en un lugar específico, no depende únicamente de la precipitación pluvial, sino también de las características

³ Datos tomados de: [2] García Enríqueta, Modificaciones al...

geográficas del sitio; por ejemplo: altitud, cercanía a cuerpos de agua, vegetación, cadenas montañosas, vientos, etc.

Bibliografía del capítulo 1

[1] ANDRADE, VICTORIA, et. al. , Geografía dos, México, Trillas, 1988, 236 pp.

[2] GARCÍA, ENRIQUETA, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen; para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, México, 1964, 71 pp.

[3] GUTIERREZ ARANGO, Carlos M. (comp), Especificaciones para sistemas de aire acondicionado avaladas por la CNIC y Americ A.C.; México, 1995, 96 pp.

[4] MEXICO. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMATICA, Datos básicos de la geografía en México, 2ª. Ed., México, 1991.

[5] TAMAYO, JORGE L., Geografía general de México, Tomo 2 geografía física, México, Talleres gráficos de la nación, 1949.

Paginas web

<http://www.cfe.gob.mx> (abril de 1999)

<http://www.inegi.gob.mx> (abril de 1999)

El objetivo final del acondicionamiento de aire es el de obtener una atmósfera cuyas características permitan que las personas que están ocupando un recinto puedan perder o ganar suficiente calor para permitir el funcionamiento adecuado del proceso metabólico de sus cuerpos. En verano lo anterior implica mantener un ambiente de temperatura menor que la de los alrededores, bajo este aspecto el acondicionamiento de aire necesita un equipo de refrigeración. En invierno, el recinto debe contar con un ambiente de temperatura mayor que la del entorno que lo rodea, entonces se usa un equipo de calefacción. Afortunadamente durante el invierno en algunas regiones del país los días en que la temperatura disminuye de manera extrema son escasos en comparación con la cantidad de días y de regiones en las que en verano la temperatura se encuentra por encima de las condiciones de confort o bienestar humano.

En México el acondicionamiento de aire durante el verano cobra mayor importancia debido al gran consumo de energía causado por el uso prolongado de equipos de aire acondicionado, por lo tanto, es donde el ahorro de energía en estos equipos cobra una gran importancia.

Si la temperatura y la humedad del recinto deben permanecer a un nivel confortable, en verano es necesario extraer calor para compensar todas aquellas ganancias del mismo.

La ganancia de calor bruta es la velocidad a la que se recibe calor en cualquier momento en un recinto, el calor recibido calienta en forma casi inmediata el aire contenido en dicho recinto.

La carga de enfriamiento del recinto es la velocidad a la cual debe eliminarse el calor del lugar para mantener las condiciones de bienestar interiores.

El balance térmico en una construcción implica que la suma algebraica de todos los flujos de calor entre el exterior y el interior de la construcción, es igual a cero, en determinada fecha del año y a cierta hora. El balance térmico está dado por la ecuación:

$$Q_s \pm Q_c + Q_i \pm Q_v \pm Q_m - Q_e = 0 \quad \dots \quad (2.1)$$

donde:

Q_s = ganancias por radiación solar directa en superficies opacas o transparentes.

Q_c = ganancias o pérdidas por conducción a través de los materiales de la construcción, debida a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.

Q_i = ganancias de calor internas debidas al metabolismo de las personas, aparatos domésticos y sistemas de iluminación artificial.

Q_v = ganancias o pérdidas por ventilación o infiltración de aire.

Q_m = calentamiento o enfriamiento mecánico (sistemas de calefacción o acondicionamiento de aire)

Q_e = pérdidas de calor por enfriamiento evaporativo a través de rociadores de superficies, fuentes o elementos evaporativos interiores.

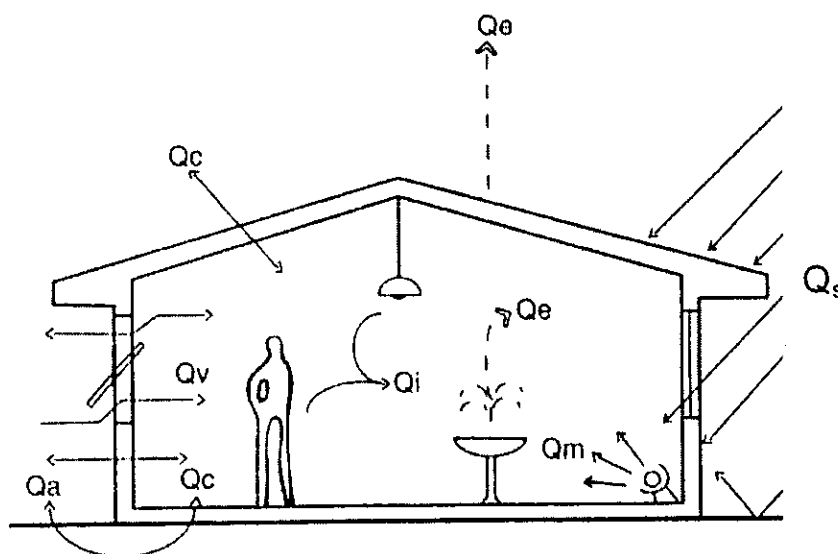


Figura 2.1
Flujos de calor en construcciones.

Cuando la suma sea mayor que cero, la temperatura interior se incrementará como suele ocurrir en verano; cuando la suma sea menor que cero o con signo negativo la temperatura interior decrecerá.

2.1 Ganancias de calor

Las ganancias de calor según el autor Edward G. Pita en su libro *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*, son divididas con frecuencia en aquellas que proceden de fuentes externas al recinto y las que se generan en su interior. Existe además una ganancia de calor debida al aire de ventilación que debe introducirse al local. De acuerdo a lo anterior las ganancias de calor son:

I. Ganancias de calor que proceden de fuentes externas

a) Transmisión de calor a través de obstáculos o barreras tales como paredes, puertas, ventanas, cielos falsos, pisos y divisiones. Esta transferencia de calor se debe a la diferencia de temperaturas entre los dos lados de la barrera.

b) Calor producido por efectos solares

i) Transmitido por radiación a través de ventanas y absorbido en el interior.

ii) Absorbido por paredes y techos expuestos a los rayos solares y transferido al interior.

c) Calor y humedad introducidos por la infiltración del aire

II. Ganancias de calor generadas en el interior del recinto

a) Carga de calor por los ocupantes

b) Carga de calor de maquinaria, aparatos, alumbrado y equipo de combustión localizado dentro del recinto

III. Ganancia de calor debida al aire de ventilación

Además las ganancias de calor se agrupan en ganancias de calor sensible y ganancias de calor latente. Las primeras producen un aumento de la temperatura del aire, las segundas se deben a la adición de vapor de agua y por lo tanto aumentan la humedad.

2.1.1) Ganancia de calor debida a la transmisión de calor a través de barreras

Los espacios acondicionados ganan calor desde los espacios sin acondicionar debido a la diferencia de temperatura que existe entre ambos. El calor a través de divisiones, pisos, cielos rasos o en general cualquier barrera pueden calcularse con la ecuación:

$$Q = UA(T_e - T_i) \dots (2.2)$$

donde:

Q= Ganancia de calor a través de la barrera (W)

U= Coeficiente global de transferencia de calor de la barrera (W/m² ° C)

A= Área de la barrera (m²)

T_e= Temperatura de diseño exterior (° C)

T_i= Temperatura de diseño interior (° C)

2.1.2) Ganancia de calor debida a efectos solares

I) Radiación solar

La mayor cantidad de energía que el planeta tierra recibe proviene del sol, éste, junto con el relieve terrestre y las corrientes oceánicas determinan el ambiente térmico de cada lugar en particular.

El término de radiación se refiere a la emisión continua de energía desde la superficie de todos los cuerpos, esta energía se denomina energía radiante.

La radiación solar es la energía radiante emitida por el sol en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a través del vacío a la velocidad de la luz. Cuando estas ondas electromagnéticas inciden sobre un cuerpo no transparente a ellas, son absorbidas y su energía se transforma en calor; en cambio, cuando inciden en un cuerpo transparente a ellas, la radiación solar es parcialmente absorbida (α), parcialmente reflejada (ρ) y parcialmente transmitida (ζ), como se puede observar en la figura 2.2.

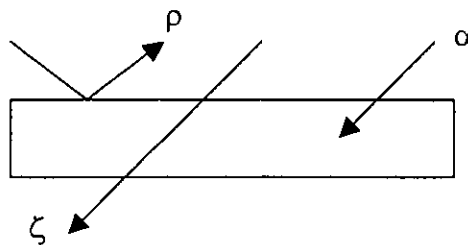


Figura 2.2

$$\alpha + \rho + \zeta = 1 \quad \dots \quad (2.3)$$

El planeta tierra efectúa una rotación alrededor de su eje, inclinado 23.5° respecto a su órbita alrededor del sol, cada 24 horas y completa una revolución alrededor del sol en un periodo de 365.25 días, siguiendo una trayectoria elíptica con el sol localizado ligeramente fuera del centro de la elipse.

Debido a los tres factores antes mencionados, la radiación solar varía desde un máximo de 1418 W/m^2 (449 Btu/h ft^2) en enero 3, cuando la tierra está más cerca del sol, hasta un mínimo de 1325 W/m^2 (420 Btu/h ft^2) en julio 4, cuando la distancia entre el sol y la tierra es máxima; cabe agregar que la intensidad de la radiación solar incidente en la atmósfera varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la tierra al sol. La tierra, entonces, recibe aproximadamente un 6.5% más radiación en enero que en julio.

II) La atmósfera y la radiación solar

No toda la radiación solar es absorbida por el suelo, cuando la radiación pasa a través de la atmósfera, parte de ella puede ser interceptada por constituyentes como moléculas de aire, moléculas de agua y partículas de polvo causando una dispersión de la radiación en prácticamente todas las direcciones.

Otra parte de la radiación es absorbida particularmente por el ozono presente en la parte superior de la atmósfera o por vapor de agua, más cercano a la superficie terrestre. Parte de la radiación interceptada por la atmósfera, puede alcanzar la superficie de la tierra. Esta radiación, de naturaleza difusa, proviene de toda la bóveda celeste. Así una superficie sobre la tierra recibe energía solar en dos formas: radiación directa y radiación difusa.

De la radiación solar que llega a la atmósfera terrestre, el 32% es retransmitida por las partículas de la capa atmosférica en cualquier dirección, sin modificar la longitud de onda de radiación incidente, 15% es absorbida por la atmósfera, 6 % es reflejada y sólo un 47% es absorbida por el suelo (figura 2.3).

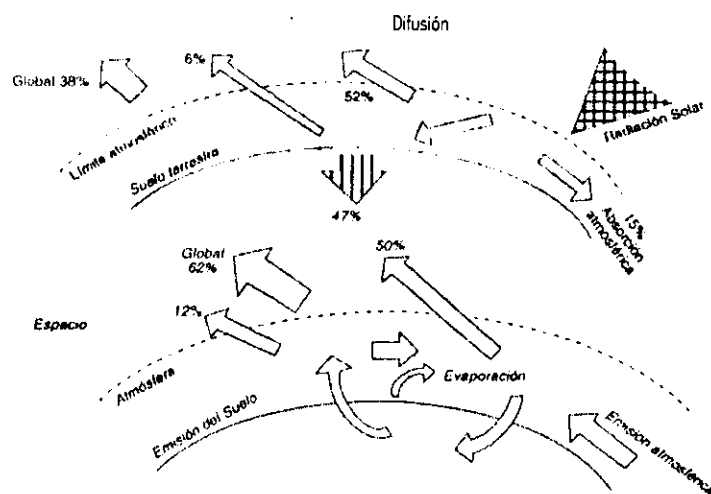


Figura 2.3
Comportamiento de la radiación solar en la atmósfera.

III) Ángulos entre la tierra y el sol

La figura 2.4 muestra el efecto de la inclinación del eje de la tierra en los distintos periodos del año. Durante el solsticio¹ de invierno el polo norte esta inclinado 23.5° alejándose del sol. Todos los puntos de la superficie terrestre por encima de los 66.5° de latitud norte están en total obscuridad mientras que todas las regiones dentro de los 23.5° del polo sur reciben continuamente la luz del sol. En la época del solsticio de verano la situación se invierte. En la época de los dos equinoccios² ambos polos están equidistantes del sol y todos los puntos sobre la superficie terrestre tienen 12 horas de día y 12 horas de noche.

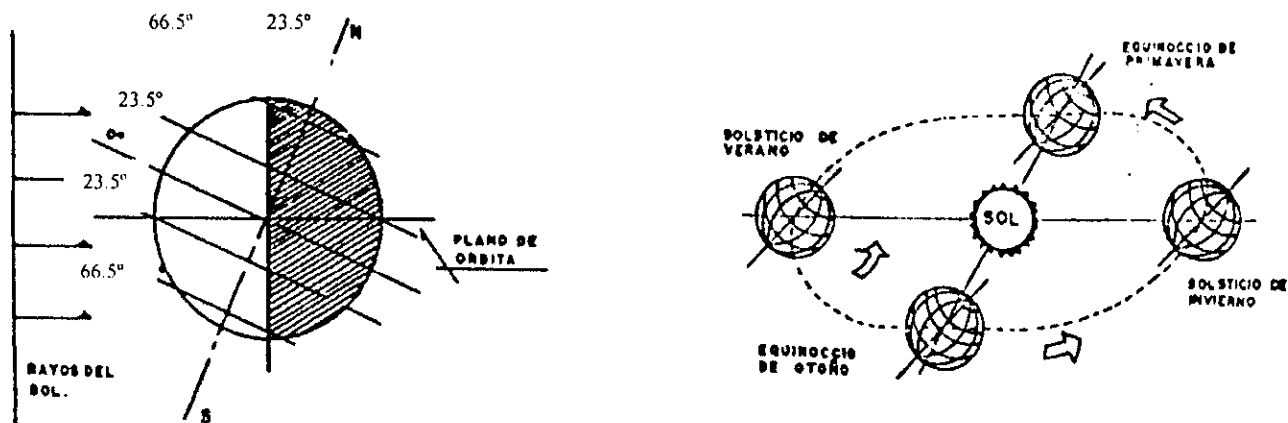


Figura 2.4
Efecto de la inclinación y de la traslación terrestre.

Un punto P cualquiera sobre la superficie terrestre puede ser localizado respecto a los rayos del sol si se conocen la latitud l , el ángulo horario h del punto y la declinación del sol d . Estos tres ángulos fundamentales se ilustran en la figura 2.5.

¹ Llamado así a cada uno de los instantes en que el sol alcanza los dos puntos de la elipse más alejados del Ecuador.

² Las dos épocas del año en que el sol cruza la línea del Ecuador y la duración del día es igual a la de la noche. Cuando el sol alcanza los dos puntos más cercanos al Ecuador.

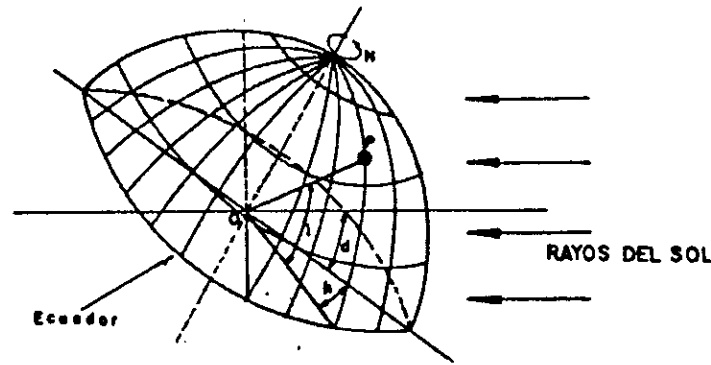


Figura 2.5
Latitud, ángulo horario y declinación del sol.

La latitud l es la distancia angular del punto P al ecuador en cualquiera de las direcciones norte o sur. Si el punto O representa el centro de la tierra, l es el ángulo entre el segmento de la línea OP y su proyección sobre el plano ecuatorial.

El ángulo horario h es medido sobre el plano ecuatorial de la tierra, éste es el ángulo entre la proyección OP y la proyección de la línea que uniría al centro del sol con el centro de la tierra. El ángulo horario expresa el tiempo del día respecto al mediodía solar. Una hora de tiempo está representada por $360^\circ/24 = 15^\circ$ de ángulo horario.

La declinación del sol d es la distancia angular de los rayos del sol en dirección norte o sur al ecuador. La declinación es el ángulo entre una línea trazada desde el centro del sol al centro de la tierra y la proyección de esta línea sobre el plano ecuatorial de la tierra.

Si suponemos ahora que el planeta tierra es el centro del universo, parecería que el sol se mueve en el plano de la órbita de la tierra. Como lo muestra la figura 2.6, en la época del solsticio de invierno los rayos del sol estarán 23.5° al sur del ecuador, es decir, $d=-23.5^\circ$. En la época del solsticio de verano, los

rayos del sol están 23.5° al norte del ecuador terrestre, es decir, $d=23.5^\circ$. En los equinoccios la declinación del sol será cero.

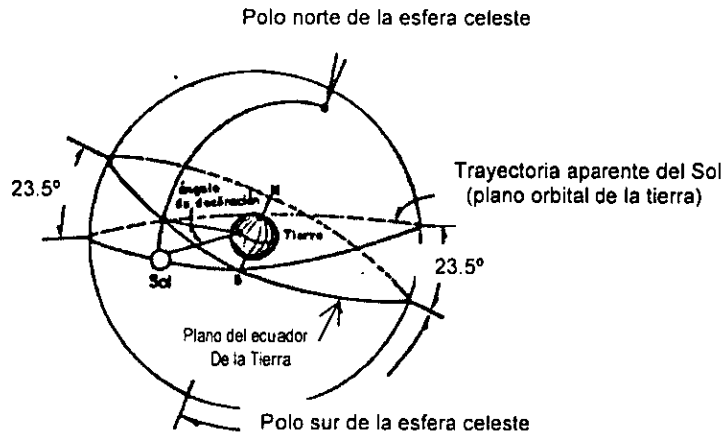


Figura 2.6
Trayectoria aparente del sol.

Para un observador sobre la tierra, el sol parece moverse a través del cielo siguiendo una trayectoria de un arco circular de horizonte a horizonte. La figura 2.7 ilustra una trayectoria solar aparente y muestra los ángulos cenit al del sol (ψ), altitud (β) y Azimut (γ).

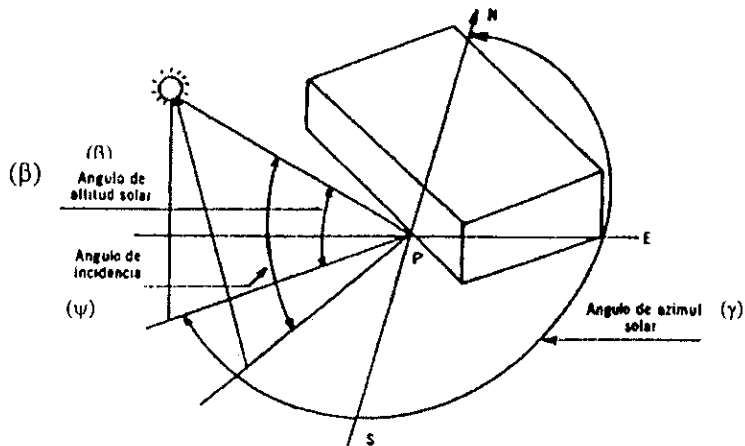


Figura 2.7
Ángulos solares.

El ángulo del cenit ψ es el ángulo entre los rayos solares y una línea perpendicular al plano horizontal en P . El ángulo de altitud β es el ángulo en un plano vertical entre los rayos solares y la proyección de los rayos solares sobre el plano horizontal. El ángulo de Azimut γ es el ángulo en el plano horizontal medido entre el norte y la proyección horizontal de los rayos del sol.

En cálculos para superficies no horizontales, es conveniente expresar la posición del sol relativa a la superficie en función del ángulo de incidencia del sol θ , este ángulo es formado por los rayos del sol y la normal a la superficie inclinada. Para superficies verticales el uso del ángulo Azimut sol-pared α es muy útil. El ángulo Azimut sol-pared es el ángulo medido en un plano horizontal entre la normal a la superficie vertical y la proyección horizontal de los rayos del sol.

2.1.2.1) Ganancia de calor solar a través de vidrios

En el caso de que la energía radiante del sol encuentre un plano de vidrio ordinario de 3.175 mm (1/8 de pulgada) de espesor, la ganancia de calor es función del ángulo de incidencia con el que el rayo solar choca contra el vidrio. La tabla 2.1 muestra la cantidad de energía reflejada, absorbida y que pasa a través del vidrio ordinario en función de dicho ángulo.

Ángulo de incidencia	Energía reflejada por el vidrio (%)	Energía absorbida por el vidrio (%)	Energía que pasa a través del vidrio (%)
30°	8	6	86
80°	52	6	42

Tabla 2.1

De la energía absorbida por el vidrio, el 40% de ella es transmitida por convección al interior del recinto, es decir, un 2.4% de la energía radiante total que recibe el vidrio. Entonces, cuando el ángulo de incidencia es de 30°, del total de energía radiante que llega al vidrio, el 88% se transmite al interior del recinto; en el

caso de un ángulo de incidencia de 80° , se transmite al interior del recinto un 44% del total de energía radiante. Este comportamiento se ilustra en la figura 2.8.

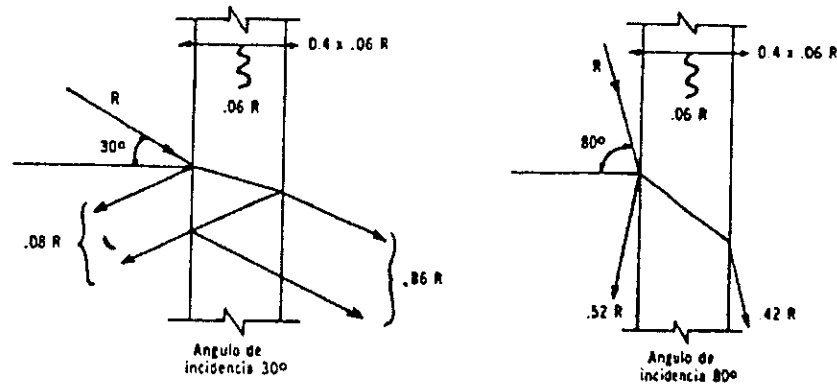


Figura 2.8
Comportamiento de los rayos solares
al chocar contra el cristal de una ventana.

La energía que pasa a través del vidrio es absorbida por los muebles, por las paredes interiores y por el piso. Una parte de este calor es entregado al aire interior aumentando su temperatura. Cuando el sol alumbra directamente sobre el vidrio o cuando el vidrio recibe radiación difusa de superficies calentadas por el sol, el vidrio se calienta hasta una temperatura mayor que la exterior, y por lo tanto, se trasmite el calor a través de dicho vidrio por convección hacia el interior del recinto.

Para calcular la ganancia de calor a través de los vidrios debido al efecto solar existen algunos métodos propuestos en la literatura especializada; sin embargo, para los fines comparativos que persigue el presente trabajo, la ganancia de calor se calcula de acuerdo al método que el Ingeniero Eduardo Hernández Goribar expone en su libro *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*.

Para encontrar la ganancia de calor total por ventanas se utiliza la ecuación:

$$Q = q \cdot A \quad \dots \quad (2.4)$$

donde:

Q = Ganancia de calor a través de ventanas (W)

q = Ganancia máxima de calor por ventanas obtenida de las tablas del anexo III (W/m²)

A = Área del vidrio (m²)

Una vez obtenida la ganancia de calor a través de ventanas, esta debe ajustarse de acuerdo a los puntos 1 al 4 para obtener una mayor precisión en el cálculo:

1) De las tablas del anexo III³, se obtiene en función de la latitud y de la orientación, la ganancia máxima de calor a través de los vidrios. Los valores mostrados consideran que el vidrio ocupa alrededor de un 85% de la ventana; en caso de que el vidrio ocupe más del 85% y la ventana sea del tipo estructural de lamina de hierro, la ganancia de calor debe multiplicarse por 1.17.

2) Cuando el vidrio no es el estándar (3.175 mm de espesor y vidrio común) y la ventana no cuente con algún medio que proporcione sombra, la ganancia de calor debe multiplicarse por el factor f_1 obtenido de la tabla de la página 280 del libro de Hernández Goribar. Si la ventana cuenta con algún medio que obstruya la energía radiante que llega a ella, como persianas o algún otro tipo de sombreado, la ganancia de calor se multiplica por el factor f_2 obtenido de la misma tabla.

3) Las tablas del anexo III están basadas en un ambiente exterior cuya temperatura de rocío es 19.33 °C (66.8 °F), es decir, el ambiente exterior cuenta con una temperatura de bulbo seco $t_{bs} = 35$ °C (95 °F) y una temperatura de bulbo húmedo $t_{bh} = 23.88$ °C (75 °F). Debe añadirse un 7% a la ganancia de calor por

³ [2] Hernández Goribar, Eduardo, 1997: pp. 274-279

cada 5.55 ° C (10 °F) por debajo de 19.33°C (66.8 °F) y debe disminuirse un 7% la ganancia de calor por cada 5.55 °C (10 °F) por arriba de 19.33 °C (66.8 °F). Además, por cada 304.8 metros (1000 pies) sobre el nivel del mar, la ganancia debe incrementarse un 0.7%.

4) La ganancia de calor se ve fuertemente afectada por atmósferas contaminadas por humos, polvos o vapores, es costumbre reducir la ganancia de calor entre un 10% y un 15%.

Las tablas del anexo III se estimaron para la época de verano, por lo que los valores de esta tabla para la localización geográfica de las ciudades de estudio no necesitan ninguna corrección.

2.1.2.2) Ganancia de calor a través de techos y muros

Debido a que los techos y los muros actúan como capacitores térmicos, los cálculos de la ganancia de calor a través de ellos son más complicados. El sol al calentar las superficies ocasiona un flujo variable de calor hacia el interior, aumentando el valor de la temperatura del aire interior hasta un máximo. Durante la noche el flujo disminuye poco a poco hasta un valor mínimo justo antes de que el sol vuelva a calentar las superficies de las paredes y techos.

Mackey y Wright introdujeron el concepto de temperatura sol-aire para simplificar el cálculo de las ganancias a través de los techos y los muros. La temperatura sol-aire es la temperatura ficticia del aire exterior que en ausencia de las condiciones reales de radiación solar, cambio de energía radiante y cambios de calor convectivos proporciona al recinto la misma cantidad de calor que las condiciones reales proporcionarían.

La transferencia de calor a través de los techos y las paredes debida a la radiación solar depende de las características de la estructura, de la variación

diaria de la temperatura, de las características de la superficie, de la hora del día y de la latitud. Cuando el sol calienta los muros y los techos la radiación solar es absorbida, parte de esta energía radiante es emitida al exterior casi completamente por convección, sin embargo el resto es conducida a través de la estructura y emitida hacia el interior por convección.

La ganancia de calor a través de muros y techos puede calcularse con la ecuación:

$$Q=UAT_e \dots (2.5)$$

Q= Ganancia neta del recinto por techos y/o paredes (W)

U= Coeficiente global de transferencia de calor para el techo o las paredes
(W/m² °C)

T_e= Diferencia de temperaturas equivalente para carga de enfriamiento
obtenida de las tablas de los anexos IV y V (° C)

A= Área de techos y/o muros (m²)

Las tablas de los anexos IV y V⁴ presentan una lista de valores para T_e. Las tablas están basadas en una diferencia de temperaturas de diseño, entre el interior y el exterior de 8.33 °C (35 °C-26.66 °C) (15 °F = 95 °F- 80 °F). En caso de que la diferencia sea otra de 8.33°C debe corregirse agregando o disminuyendo a la temperatura equivalente la diferencia entre 8.33 °C y la diferencia del lugar. Si la diferencia de temperatura exterior durante el día es distinta de 11.11 °C (20 °F), debe añadirse 0.55° C (1° F) a la temperatura equivalente por cada 1.11 °C (2 °F) abajo de 11.11 °C y disminuirse 0.55 °C por cada 1.11 °C arriba de 11.11 °C.

2.1.3) Ganancia de calor por la infiltración de aire

La infiltración de aire a través de fisuras en las ventanas o puertas produce una ganancia de calor sensible y también latente en el recinto. Casi todos los

⁴ [2] Hernández Goribar, Eduardo, 1997: pp. 283-285

sistemas de acondicionamiento de aire en verano trabajan con presión positiva dentro del recinto, lo que minimiza o impide la infiltración de aire al mismo.

El aire de infiltración no sólo introduce con él la temperatura alta del aire exterior con lo cual se tiene una carga de calor sensible al enfriarlo hasta la temperatura interior, sino también la humedad correspondiente del aire exterior, lo que introduce una carga de calor latente en el local.

Conocida la cantidad total de aire infiltrado⁵, la ganancia de calor se calcula de acuerdo con las ecuaciones:

Calor latente ganado:

$$Q_l = M(W_e - W_i) h_{fg} \quad \dots \quad (2.6)$$

donde:

Q_l = Ganancia de calor latente (W)

M = gasto de aire (kg/s)

W_e = Humedad específica exterior (kg_v / kg_a)

W_i = Humedad específica interior (kg_v / kg_a)

h_{fg} = entalpía del vapor de agua (J/kg) a presión y temperatura ambientes

Calor sensible ganado:

$$Q_s = C_p M(t_e - t_i) \quad \dots \quad (2.7)$$

donde:

Q_s = Ganancia de calor sensible (W)

M = gasto de aire (kg/s)

t_e = temperatura exterior de diseño (°C)

t_i = temperatura interior de diseño (°C)

C_p = Calor específico a presión constante (J/kg °C)

⁵ Para calcular la cantidad de aire que se infiltra, Hernández Goribar propone en su libro Fundamentos de Aire Acondicionado, páginas 181 a 183, tres métodos: el método de las ranuras, el método del área y el método del volumen.

2.1.4) Ganancia de calor debida a los ocupantes

El proceso de digestión de los alimentos dentro del cuerpo humano produce calor en tal cantidad que la temperatura del cuerpo normalmente es mayor que la temperatura de sus alrededores.

El cuerpo humano disipa el calor a través de sus ropas y del aire que lo rodea, primero por conducción y luego por convección. En un ambiente lo suficientemente frío puede también perder calor por radiación. Existe también eliminación de calor por evaporación de humedad a través de la superficie de la piel, cuando se hace necesario, las glándulas sudoríparas del cuerpo permiten que grandes cantidades de agua pasen a través de la superficie de la epidermis.

Si el aire alrededor del cuerpo no está saturado, esta agua se evapora en el aire, suministrando el cuerpo una cantidad apreciable de calor latente. El recinto entonces gana calor debido a los ocupantes en dos formas distintas, ganancia de calor sensible (convección, conducción y radiación) y ganancia de calor latente (evaporación).

Las ecuaciones para la ganancia de calor sensible y latente originada por los ocupantes son:

$$Q_s = q_s n \quad \dots \quad (2.8)$$

$$Q_l = q_l n \quad \dots \quad (2.9)$$

donde:

Q_s = ganancia de calor sensible (W)

Q_l = ganancia de calor latente (W)

q_s = ganancia de calor sensible por persona (W/ persona)

q_l = ganancia de calor latente por persona (W/ persona)

n = número de personas

* q_s y q_l se obtienen, respectivamente, de las gráficas de las páginas 290 y 291 del libro de Hernández Goribar

2.1.5) Ganancia de calor de maquinaria, alumbrado, aparatos, equipo de combustión y misceláneos

La ganancia de calor debida a la maquinaria, alumbrado, aparatos, equipos de combustión y misceláneos se puede calcular en ocasiones en forma directa consultando al fabricante o utilizando los datos de placa. Algunos equipos producen calor latente y sensible simultáneamente. En el libro de Hernández Goribar se muestra una tabla en la cual se dan algunos datos para calcular la carga térmica producida por diversos equipos.

Es común incrementar la ganancia de calor por equipos en un 10%, se considera que dentro de este porcentaje queda contemplada la ganancia de calor que el ventilador del equipo de aire acondicionado entrega al aire y que a su vez este último entrega al espacio acondicionado por medio de los ductos.

2.1.6) Ganancia por aire de ventilación

Debe suministrarse aire de ventilación al local para satisfacer las condiciones de bienestar, además deberá suministrarse suficiente aire de ventilación para controlar los olores. Se debe considerar un mínimo de 3.54×10^{-3} m³/s (7.5 pies³/min) por persona cuando no existe humo de cigarro; si se considera humo de cigarro el mínimo a suministrar debe ser de 0.0118 a 0.0189 m³/s (25 a 40 pies³/min) por persona que fume.⁶

“El calor sensible y latente del aire de ventilación es mayor que el del aire del recinto por lo que se vuelve parte de la carga de enfriamiento. El exceso de calor se elimina en general en el equipo de enfriamiento, y por lo tanto es parte de la carga de refrigeración, pero no de la carga del recinto”.⁷

⁶ [2] Hernández G., Eduardo, 1997: p. 296

⁷ [10] Pita, Edward G., 1997:p. 159

Las ecuaciones para calcular la ganancia de calor sensible y latente debidas al aire de ventilación son:

Calor latente ganado:

$$Q_l = M(W_i - W_d) h_{fg} \quad \dots \quad (2.10)$$

donde:

Q_l = Ganancia de calor latente (W)

M = gasto de aire (kg/s)

W_i = Humedad específica del aire requerida dentro del volumen por acondicionar (kg_v / kg_a)

W_d = Humedad específica del aire dentro de los difusores (kg_v / kg_a)

h_{fg} = entalpía del vapor de agua (J/kg) a presión y temperatura ambientes

Calor sensible ganado:

$$Q_s = C_p M(t_i - t_d) \quad \dots \quad (2.11)$$

donde:

Q_s = Ganancia de calor sensible (W)

M = gasto de aire (kg/s)

t_i = temperatura del recinto (° C)

t_d = temperatura del aire al entrar al recinto (° C)

C_p = Calor específico a presión constante (J/kg ° C)

2.2) Descripción de la casa tipo

Para realizar el presente trabajo se requiere contar con una casa tipo sobre la cual se efectúe el estudio. Según el INFONAVIT, aproximadamente el 10 % de las casas construidas en la República Mexicana son de interés social. Dado que en México no existe normalización para la construcción de casas habitación, se trabaja basándose en algunas características de las casas de interés social, como lo son dimensiones y materiales de construcción típicos.

Los diseños arquitectónicos de estas viviendas varían notablemente, así que se propone un diseño de casa tipo para así realizar los cálculos de manera simplificada.

2.2.1) Proyecto de vivienda seleccionado como prototipo.

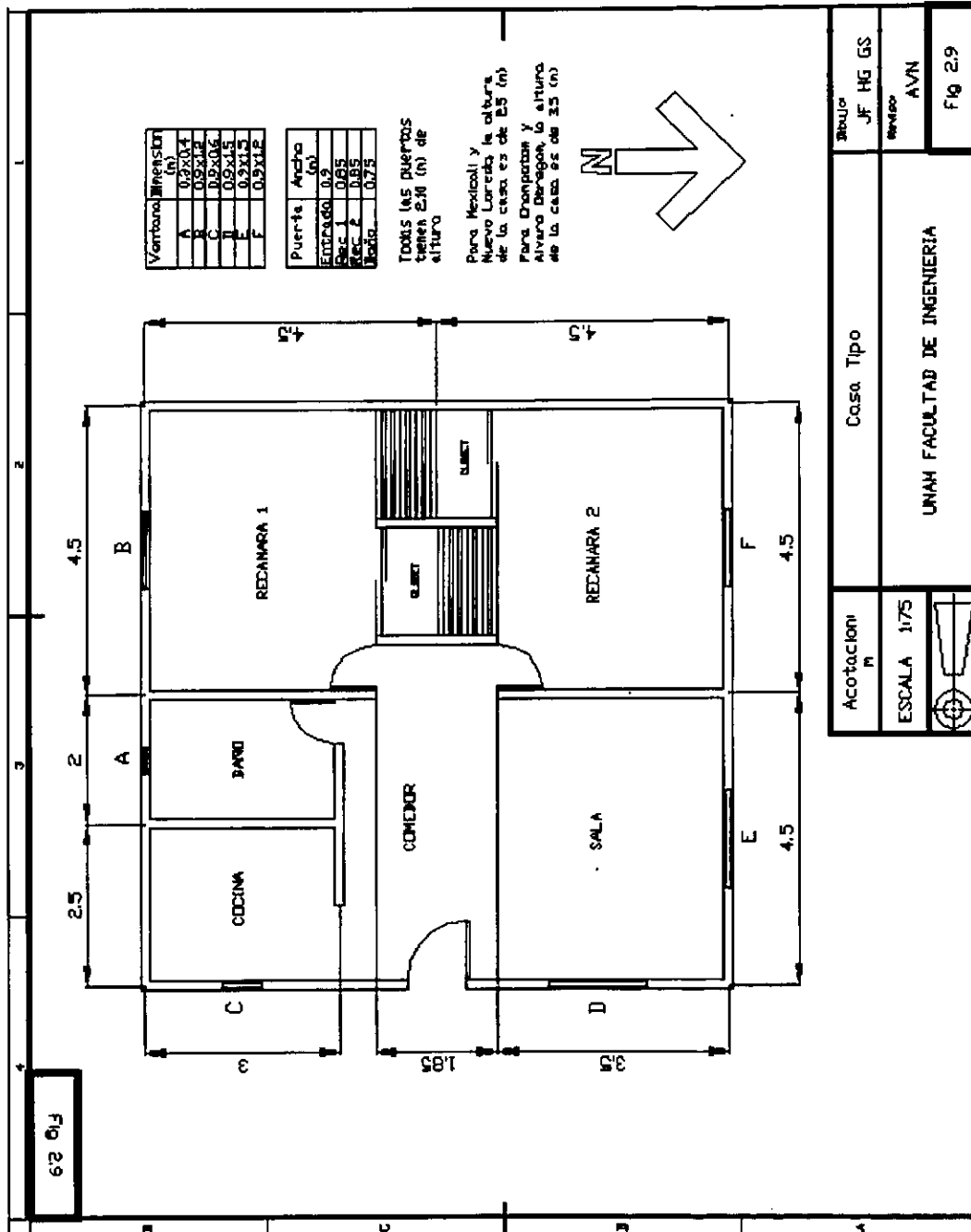
En México existen diferentes organismos que construyen casas de interés social para trabajadores. Cada uno de ellos establece distintas especificaciones para regular las condiciones de estas viviendas, es por ello que el área de construcción mínima varía entre uno y otro organismo. El FONHAPO propone un área mínima construida de 67 m².

Para este estudio se selecciona un prototipo de casa habitación unifamiliar de un nivel, con un total de 81 m² de construcción, por considerar que esta área ofrece confort a los habitantes. La casa tipo cuenta con dos recamaras, un baño, cocina y sala comedor. Se estudia aislada, es decir, no se consideran las posibles colindancias con otras construcciones.

Se recomienda⁸ que las orientaciones de superficies extensas en muros y ventanas sean al norte y al sur, para que la edificación reciba la mínima acción solar, así que la casa tipo está orientada de esta forma. La altura de las habitaciones que se propone es de 2.50 m para las ciudades de Mexicali (Baja California Norte) y para Nuevo Laredo (Tamaulipas); para las ciudades de Champotón (Campeche) y Álvaro Obregón (Tabasco) se propone una altura de 3.50 m. Las dimensiones de las ventanas se establecen según medidas estándar del Instituto Nacional de la Vivienda⁹. La distribución de espacios, dimensiones y orientación de esta casa tipo se muestra en la figura 2.9.

⁸ [9] SEDUE, Ahorro de energía..., p. 11.

⁹ [8] Instituto Nacional de la Vivienda, Materiales y elementos normalizados...



2.2.2) Materiales de construcción

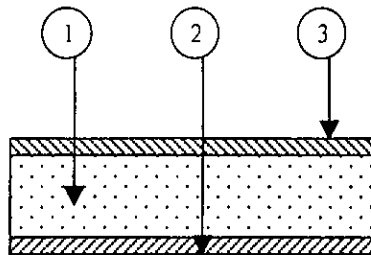
En cada uno de los estados de la República Mexicana se emplean diversos materiales de construcción en las casas de interés social, estos materiales son empleados por sus características físicas adecuadas y disponibilidad en el sitio, entre otros aspectos. Por lo tanto, en cada una de las ciudades elegidas en el capítulo anterior, se tienen materiales de construcción diferentes para el mismo diseño arquitectónico.

Para los materiales y sistemas de construcción a emplear en cada una de las ciudades, se tienen como referencia los que se usan en la construcción de las viviendas de interés social realizadas por el INFONAVIT¹⁰. A continuación se presentan estas características para cada una de las ciudades de estudio.

2.2.2.1) Mexicali, Baja California Norte

El techo se compone de la siguiente manera:

Componente	Descripción	Espesor (m)	Conductividad ¹¹ (k) (W/m°C)	Resistencia (R) (m ² °C/W)
1. Elemento resistente	Concreto armado	0.10	1.74	0.05747
2. Recubrimiento interno	Aplanado de yeso	0.015	0.372	0.04032
3. Impermeabilizante	Membrana asfaltada	0.02	0.17	0.11765
R _{Total} (m ² °C/W)				0.21544

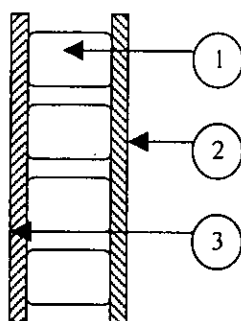


¹⁰ [6] INFONAVIT, Regionalización de materiales...

¹¹ [1] Gutierrez Arango, pp. 93-96.

Los muros están formados por:

Componente	Descripción	Espesor (m)	Conductividad (k) (W/m°C)	Resistencia (R) (m ² °C/W)
1. Elemento resistente	Tabique de barro recocido	0.14	0.872	0.16055
2. Recubrimiento interno	Aplanado de mortero interior	0.015	0.698	0.02149
3. Recubrimiento externo	Aplanado de mortero exterior	0.015	0.872	0.01720
R_{Total} (m ² °C/W)				0.19924

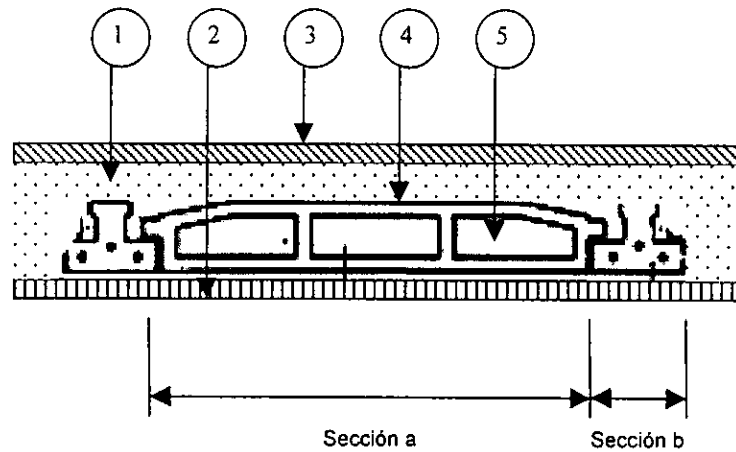


Las puertas que se montan en la entrada principal de la vivienda son de tambor con triplay de pino en ambas caras.

2.2.2.2) Champotón, Campeche y Álvaro Obregón, Tabasco

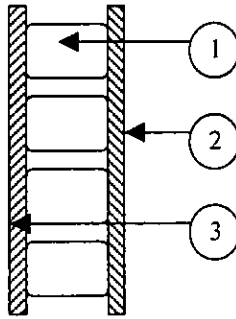
En los estados donde se encuentran estas ciudades, el INFONAVIT emplea los mismos sistemas constructivos y los mismos materiales de construcción, aunque cabe recordar que estas ciudades tienen climas diferentes. Para la construcción de techos se emplea el sistema de vigueta y bovedilla.

Componente	Descripción	Espesor (m)	Conductividad (k) (W/m°C)	Resistencia (R) (m ² °C/W)
1. Elemento resistente	Concreto	0.24 / 0.08	1.74	0.13793 / 0.04598
2. Recubrimiento interno	Aplanado de yeso	0.015 / 0.015	0.372	0.04032 / 0.04032
3. Impermeabilizante	Membrana Asfaltada	0.02 / 0.02	0.17	0.11765 / 0.11765
4. Otro	Bovedilla de concreto	0.0 / 0.07	1.74	0.00 / 0.04023
5. Otro	Espacio de aire en la bovedilla	0.0 / 0.09	0.6383	0.00 / 0.141
Resistencia Total (m ² °C/W)				0.2959 / 0.3852



Los muros se constituyen como sigue:

Componente	Descripción	Espesor (m)	Conductividad (k) (W/m°C)	Resistencia (R) (m ² °C/W)
1. Elemento resistente	Tabicón de concreto	0.12	0.814	0.14742
2. Recubrimiento interno	Aplanado de mortero interior	0.015	0.698	0.02149
3. Recubrimiento externo	Aplanado de mortero exterior	0.015	0.872	0.01720
Resistencia Total (m ² °C/W)				0.18611

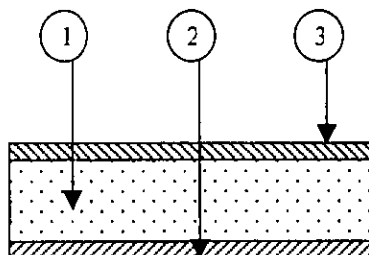


Para estas construcciones se colocan puertas principales metálicas de perfil tubular, con un fijo de vidrio en su parte superior y con antepecho ciego de lámina.

2.2.2.3) Nuevo Laredo, Tamaulipas

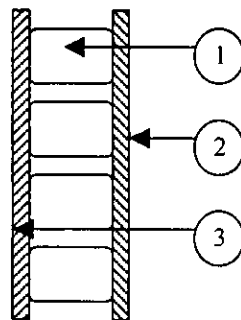
El techo se conforma de concreto armado colado en el sitio y se compone de la siguiente manera:

Componente	Descripción	Espesor (m)	Conductividad (k) (W/m°C)	Resistencia (R) (m ² °C/W)
1. Elemento resistente	Concreto armado	0.10	1.74	0.05747
2. Recubrimiento interno	Aplanado de yeso	0.015	0.372	0.04032
3. Impermeabilizante	Membrana asfaltada	0.02	0.17	0.11765
Resistencia Total (m ² °C/W)				0.21544



Para los muros se emplea el tabicón de concreto como elemento resistente.

Componente	Descripción	Espesor (m)	Conductividad (k) (W/m°C)	Resistencia (R) (m ² °C/W)
1. Elemento resistente	Tabicón de concreto	0.12	0.814	0.14742
2. Recubrimiento interno	Aplanado de mortero interior	0.015	0.698	0.02149
3. Recubrimiento externo	Aplanado de mortero exterior	0.015	0.872	0.01720
Resistencia Total (m ² °C/W)				0.18611



Las puertas colocadas en estas viviendas son de lámina de acero prepintada con relleno rígido.

2.3) Número de ocupantes y equipos generadores de calor dentro de la casa

Según el INEGI, el promedio de ocupantes por vivienda en el país disminuye progresivamente. En 1970 se tenían 5.8 habitantes por vivienda, en 1990 el promedio fue de 5 habitantes por vivienda y en 1995 de 4.7. Por lo tanto, se decide que el número de ocupantes en la casa tipo sea 5.

En la tabla 2.2 se muestran los equipos que generan calor por cada habitación, se debe considerar que su uso no es necesariamente simultáneo ni continuo. Como puede observarse cada uno de estos dispositivos consume

potencia eléctrica para realizar la tarea para la que fue diseñado. En el caso del equipo de iluminación, toda la potencia eléctrica que se consume se convierte en carga térmica que el medio circundante recibe y que por lo tanto debe eliminarse del recinto. Aunque una fracción de la potencia eléctrica que se consume se convierte en ondas electromagnéticas visibles (luz), estas, al chocar contra cualquier superficie ceden su energía en forma de calor. Este calor es ganado por el aire en la habitación y finalmente se convierte en una carga térmica para el equipo de aire acondicionado.

Habitación	Dispositivo(s)	Calor disipado
Sala	1 foco	100 (W)
	Estereo	100 (W)
	CD Player	12 (W)
	Teléfono	2 (W)
Comedor	3 focos	25 (W/foco)
Pasillo	1 foco	60 (W)
Recamara 1	1 foco	60 (W)
	1 foco	75 (W)
	Reloj despertador	4 (W)
	TV	89 (W)
	Monitor	250 (W)
	CPU	360 (W)
	Impresora	132 (W)
Recamara 2	1 foco	60 (W)
	TV	72 (W)
	Reloj despertador	4 (W)
Baño	1 foco	60 (W)
Cocina	2 focos	22 (W/foco)
	Refrigerador	57 (W)
	Lavadora	550 (W)
	Licuada	330 (W)
Varios	Plancha	1000 (W)
	Extractor	250 (W)

Tabla 2.2
Equipos generadores de calor en la vivienda

En el equipo electrónico y electrodoméstico sucede un fenómeno similar al indicado en el equipo de iluminación. Una fracción de la potencia eléctrica es disipada en forma de calor por conductores y componentes eléctricos y electrónicos debido al funcionamiento inherente del equipo. El resto de la potencia eléctrica se ocupa para lograr el fin para el que fue diseñado cada uno de los equipos, es decir, trabajo mecánico, sonido e imagen en general.

En la práctica es común tomar los datos de placa de consumo de energía eléctrica del equipo eléctrico y electrónico y suponer que toda la potencia eléctrica se disipa de una u otra forma al medio en forma de calor.¹²

Bibliografía del capítulo 2

- [1] GUTIERREZ ARANGO, Carlos M. (comp), Especificaciones para sistemas de aire acondicionado avaladas por la CNIC y Americ A.C., México, 1995, 96 pp.
- [2] HERNÁNDEZ GORIBAR, Eduardo, Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración, 2a. ed., México, Limusa, 1997, 461 p.
- [3] INCROPERA, Frank P., Fundamentals of heat and mass transfer, 3ª ed., New York, John Wiley & Sons, 199, 919 pp.
- [4] JENNINGS, Buerger H., Aire acondicionado y refrigeración, 8a impresión, (traducción de Armando Garza Cardenas), México, CECSA, 1979, 800 pp.
- [5] MEXICO, INFONAVIT (Departamento de diseño urbano y vivienda), Normas de vivienda INFONAVIT, México, 1982.

¹² También se pueden consultar tablas en las que se indique la carga térmica de diversos equipos.

[6] MEXICO, INFONAVIT (Departamento de investigación y diseño urbano), Regionalización de materiales y especificaciones de la vivienda INFONAVIT, México, 1984

[7] MEXICO, INFONAVIT (Subdirección técnica del departamento de construcción), Normas y especificaciones generales de construcción, México, 1984.

[8] MEXICO, INSTITUTO NACIONAL DE LA VIVIENDA, Materiales y elementos normalizados para la vivienda de interés social en México, México, 1970

[9] MEXICO, SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA, Ahorro de energía en la vivienda: recomendaciones para clima extremoso, México, 1988, 54 pp.

[10] PITA, Edward G., Acondicionamiento de aire. Principios y Sistemas, 2a ed. en ingles, 1a ed. en español, (traducción de Virgilio González Pozo), México, CECSA, 1997, 548 pp.

Selección del equipo de aire acondicionado y costo por su operación

La vivienda tiene como finalidad proteger a sus ocupantes de los elementos externos, es decir, proporcionar una zona en donde la temperatura, humedad, pureza y movimiento del aire sean apropiados para crear una sensación de bienestar en sus ocupantes.

Hay épocas del año cuando las condiciones climáticas permiten mantener la sensación de bienestar en el interior de la vivienda. Sin embargo, existen épocas durante el año, especialmente durante el verano o el invierno, cuando es necesario utilizar energía artificial para mantener condiciones de bienestar en la vivienda. En caso de que las condiciones climáticas en donde se encuentra la vivienda sean extremas, y además se tenga un diseño arquitectónico de la misma que no considere los patrones bioclimáticos, será necesario utilizar equipos mecánicos para lograr el bienestar.

Estos equipos funcionan con energía eléctrica o con gas para acondicionar los espacios interiores, ya sea enfriándolos, calentándolos, variando su humedad o simplemente ventilándolos. En lugares de climas cálidos, generalmente en la época de verano, es muy común el uso de equipos de aire acondicionado que funcionan mediante el empleo de energía eléctrica. Debido a esto en los meses de verano se aumenta considerablemente el consumo de energía eléctrica.

3.1 Bienestar humano

El cuerpo humano, al realizar sus funciones vitales, produce calor y lo lleva a todo el organismo por medio de la sangre; esto le permite tener una temperatura interna estable de 37 °C. Cuando la temperatura del medio donde se encuentra le produce una sensación de calor o fresca en mayor o menor grado, el cuerpo es capaz de adaptarse a estas variaciones.

El cuerpo humano pierde calor constantemente al evaporar agua por medio de la respiración y la transpiración. Esta forma de perder calor se incrementa cuando el entorno le produce un sobrecalentamiento; además, disipa el calor para enfriarse al tratar de mantener estable una temperatura que le facilite desarrollar sus actividades con un mínimo de esfuerzo. La humedad del aire determina la cantidad de calor que se pierde por evaporación; si la humedad del aire es baja, se experimenta resequedad en la piel, labios y membranas mucosas; pero si la humedad es alta, la respiración y la evaporación se dificultan, además de provocar malestar al permanecer el sudor en la piel y al no poder eliminar el calor acumulado. El sobrecalentamiento provocado por el medio propicia la deshidratación del organismo.

En un ambiente frío, la producción metabólica de calor puede ser insuficiente para estabilizar la temperatura del cuerpo, por lo que se reduce el flujo sanguíneo por la piel para evitar la pérdida de calor y mantener calientes a los órganos vitales; de ser necesario, un escalofrío activará los músculos y producirá calor.

3.1.1 Bienestar termohigrométrico

El bienestar térmico se puede definir como el equilibrio térmico que logra el cuerpo humano en un ambiente dado y que le permite desarrollar sin dificultad ni molestia cualquier actividad física o mental.

Los efectos combinados de producción de calor del cuerpo humano, los mecanismos fisiológicos involuntarios que regulan el grado de disipación de calor, la elección del vestido y el refugio que brinda una vivienda, permiten al ser humano adecuar un ambiente que le es hostil a sus condiciones de bienestar.

El bienestar termohigrométrico se establece con los intercambios energéticos que se llevan a cabo en el cuerpo humano. Es el balance dinámico de temperatura y humedad que logra el cuerpo en un ambiente dado. Tal ambiente le provoca pérdidas o ganancias de calor, mediante los procesos de convección, conducción, evaporación y radiación.

Dicho bienestar se logra en presencia de elementos y factores diversos, como la temperatura del aire, la temperatura de las superficies cercanas, la humedad del ambiente, la producción de calor del hombre, el efecto aislante de la ropa, etc. que al combinarse deben propiciar las condiciones de bienestar. En la figura 3.1 se presenta una gráfica en donde se puede observar la zona considerada como de bienestar o confort.¹

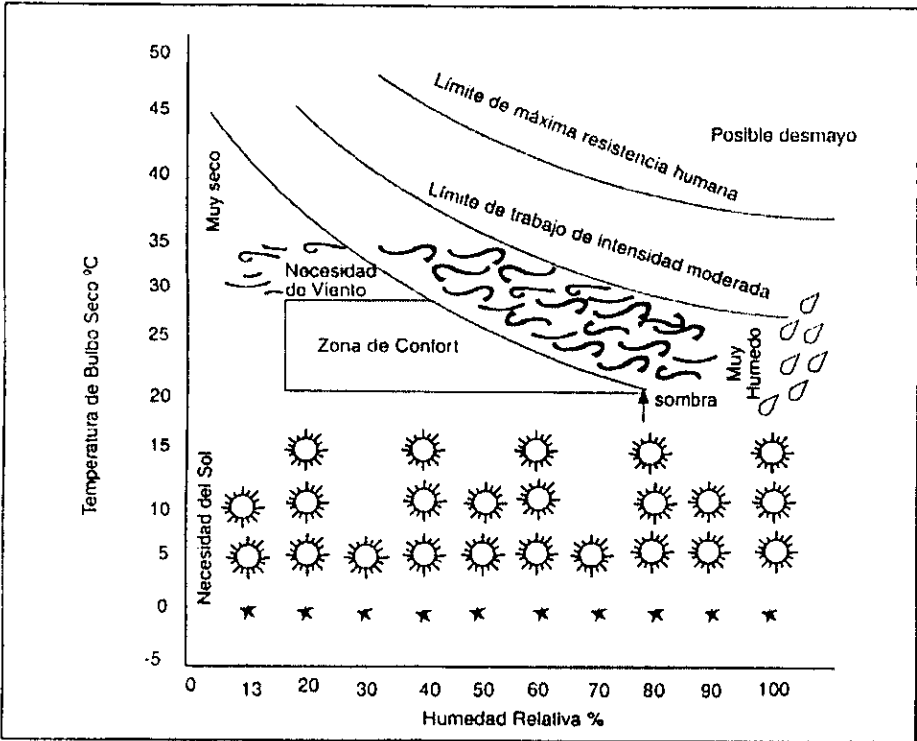


Figura 3.1. Gráfica de condiciones de bienestar.

¹ [6] Fideicomiso para... , p. 44

3.1.2 Condiciones de bienestar

No existe una combinación única de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento que sea la ideal para todos los casos de acondicionamiento de aire. Estas condiciones dependen, entre otras cosas, del tipo de clima al que la gente se encuentre acostumbrada, del tiempo de permanencia de la persona en el recinto, del tipo de ropa, de la edad, del sexo, del tipo de actividad que se realice, etc.

Con diferentes combinaciones en los valores de la temperatura, humedad y velocidad del aire se puede lograr que los habitantes de un recinto se sientan cómodos. Sin embargo, existen algunos rangos recomendados de estos factores que proporcionan una sensación de bienestar a la mayoría de las personas.

En la "Guía para aplicar criterios de eficiencia energética en construcciones para uso habitacional"² se considera que en un espacio con un número moderado de ocupantes, la zona de bienestar varía de 20 °C a 27.8 °C (68 °F a 82 °F) de temperatura, 18 a 77 por ciento de humedad relativa en áreas sombreadas (dentro de la casa) y con un movimiento de aire imperceptible. Mientras que Hernández Goribar³ recomienda, como condiciones para diseñar en verano, temperaturas de 21.7 °C a 29.4 °C (71 °F a 85 °F), humedades relativas que van desde 40 a 60 por ciento como máximo, y una velocidad del aire de 0.0762 a 0.2032 m/s (15 a 40 pies/min).

El Instituto Mexicano del Seguro Social propone, en función de la temperatura de diseño de bulbo seco del lugar, el valor de la temperatura de diseño de bulbo seco interior y su correspondiente humedad relativa.⁴ En la siguiente tabla se muestran los valores.

² [6] Fideicomiso para..., P. 44

³ [5] Hernández Goribar, p. 163

⁴ [7] IMSS, Aire Acondicionado...

Tbs exterior (°C)	Tbs interior (°C)	Φ (%)
35 o más	25	50
32	23	50
30 o menos	22	50

Tabla 3.1
Condiciones de bienestar interior según el IMSS

La Asociación Mexicana de Empresas del Ramo de la Industria de la Construcción (AMERIC), propone el siguiente conjunto de ecuaciones para determinar las temperaturas interiores recomendables para verano, en función de la temperatura del aire exterior extrema del lugar.⁵

Permanencia corta (menos de una hora) $t_i = 14 + 0.4 t_e \dots (3.1)$

Permanencia media (entre una y tres horas) $t_i = 16 + 0.3 t_e \dots (3.2)$

Permanencia larga (mayor de tres horas) $t_i = 18 + 0.2 t_e \dots (3.3)$

Donde: t_i = Temperatura de diseño interior (°C)

t_e = Temperatura máxima extrema del lugar (°C)

Para la humedad relativa interior, AMERIC no propone ecuaciones o rangos de valores.

De los criterios mencionados anteriormente se toma el propuesto por AMERIC, esto para ser congruentes con las temperaturas de diseño exterior propuestas en el primer capítulo que también se basaron en ecuaciones propuestas por AMERIC. Para obtener la temperatura interior de diseño se emplea la ecuación (3.3), debido a que en las viviendas el tiempo de estancia suele ser mayor a las tres horas. La humedad relativa, ya que AMERIC no especifica

⁵ [4] Gutiérrez Arango, p.39

alguna, se toma con base en los criterios anteriores; se propone de 50 % ya que esta dentro del rango o valores propuestos en los criterios antes mencionados.

En resumen, las condiciones de diseño interior serán:

Ciudad	Temperatura máxima extrema (°C) ⁶	Temperatura de diseño interior (°C)	Humedad relativa interior (%)
Alvaro Obregón	44.5	26.9	50
Champtón	47	27.4	50
Nuevo Laredo	45	27	50
Mexicali	47.8	27.56	50

Tabla 3.2
Condiciones de diseño interior para las viviendas tipo

3.2 Cargas de calor en las viviendas

El método que se emplea para determinar la capacidad de los equipos se basa en encontrar la carga máxima de calor a remover en la habitación. Para acondicionar las viviendas, se considera el empleo de equipos tipo ventana, ya que son los de uso doméstico más frecuente en México. Se distribuyen de la siguiente manera: el primero de ellos se encuentra instalado en la recámara 1, el segundo se encarga de acondicionar la recámara 2, y el tercero abarca la sala, el comedor y la cocina.

Para realizar el cálculo de la capacidad de los equipos necesarios se emplea el método propuesto en el libro "Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración" de Hernández Goribar.

La cantidad de calor que debe remover el equipo de refrigeración se obtiene al sumar las diversas ganancias de calor del lugar a acondicionar. Como se

⁶ Estos datos se encuentran en el anexo I

describe en el capítulo anterior, estas ganancias de calor son: a) a través de las barreras (cristales, muros y techos) debido al efecto solar, b) debida al aire de infiltración, c) debida a los ocupantes, d) debida a cualquier equipo que genere calor, e) debida al aire de ventilación.

En el cálculo que se realiza se considera despreciable la ganancia de calor debida al aire de infiltración. En esta ganancia se toman en cuenta las ranuras y la abertura de puertas y ventanas, considerando que es una casa habitación, la abertura de puertas no es muy constante. Las ventanas no se abren si el equipo de aire acondicionado está trabajando y el aire infiltrado por ranuras de ventanas y puertas resulta despreciable.

Los cálculos están hechos, para mayor facilidad, en una hoja de cálculo. Primero se calcula la ganancia de calor por los vidrios de la casa, a continuación se obtiene la ganancia de calor por muros, enseguida se tiene el cálculo de la ganancia de calor por techos y finalmente se suman las ganancias de calor por personas y equipo misceláneo.

3.2.1 Carga de calor debido a ventanas

La carga de calor a través de ventanas se obtiene a partir de tablas que muestran los valores de ganancia de calor solar a través de cristales. Estas están realizadas para las latitudes de 0°, 10°, 20°, 30°, 40° y 50°, tanto norte como sur. Por esta razón se interpolan para las latitudes correspondientes a los sitios de estudio; Álvaro Obregón (18°32'), Champotón (19°21'), Nuevo Laredo (27°29') y Mexicali (32°29'). Las tablas con los valores interpolados para las orientaciones norte, sur, este y oeste se muestran en el anexo III.

Para obtener el valor de la carga de calor en Watts se debe multiplicar cada uno de los factores de las tablas (llamados factor de ganancia solar, FGS) por el área de los vidrios que corresponde a cada orientación (A) y por el factor de forma

del cristal (f). Para los cálculos se considera el valor de 0.94 como factor de forma, éste es el referido para una placa regular de vidrio. A continuación se suman los resultados de cada una de las orientaciones, para cada hora y para cada fecha. De esta forma, se tendría que la carga de calor en Watts para una hora y fecha determinadas, se calcularía como:

$$Q = \sum_i A_i f_i (FGS)_i \dots \quad (3.4)$$

con $i = N, S, E, O$

De esta misma forma se obtienen las sumatorias para las 7 épocas del año indicadas por el método (ver anexo III) y cada una de sus horas correspondientes.

A manera de ejemplo se presentan, aplicando el procedimiento de cálculo, los resultados de las diferentes cargas de calor que se obtienen en total para la recámara 1 en Álvaro Obregón (tabla 3.3). Sin embargo, si se desean consultar los resultados de alguna otra habitación; estos se presentan en el anexo IV.

Fecha	Hora												
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	9.138	28.35	37.96	44.37	44.84	44.84	44.84	44.84	44.84	44.37	37.96	28.35	9.138
2	8.669	25.15	37.96	41.63	44.84	44.84	44.84	44.84	44.84	41.63	37.96	25.15	8.669
3	5.936	22.42	35.23	44.37	61.24	72.17	77.63	72.17	61.24	44.37	35.23	22.42	5.936
4	0.47	24.68	66.23	112.8	153.4	184.9	190.8	184.9	153.4	112.8	66.23	24.68	0.47
5	0	65.85	155.4	233.5	284.7	323	337.6	323	284.7	233.5	155.4	65.85	0
6	0	92.96	219.1	316	381.2	420.5	435.1	420.5	381.2	316	219.1	92.96	0
7	0	91.81	237	347.5	411.9	453.5	463.6	453.5	411.9	347.5	237	91.81	0

Máx. 9.138 92.96 237 347.5 411.9 453.5 463.6 453.5 411.9 347.5 237 92.96 9.138

Tabla 3.3
Carga de calor debida a ventanas para la recámara 1
de la casa tipo en Álvaro Obregón (W)

De esta tabla de valores se obtiene, de entre las siete fechas citadas, el máximo de cada una de las horas, este es el valor que se sumará con los valores obtenidos para muros y techos.

3.2.2 Carga de calor debido a muros

Para obtener el calor ganado a través de muros por el sol, se emplean tablas que indican *la temperatura diferencial total equivalente* que se debe usar en muros (anexo IV). Como se menciona en el capítulo anterior, éstas tablas fueron desarrolladas con el método de Mackey y Wright.

Las tablas presentan las temperaturas diferenciales, a distintas horas del día, para las diferentes orientaciones y con color exterior de pared claro y oscuro. Además, están disponibles para distintos materiales. Así que se seleccionan sólo aquellas tablas cuyos materiales sean considerados los más similares o equivalentes a los de las casas tipo. Se elige un color de pared claro para las casas tipo. Abajo se muestra la tabla que se emplea en el caso de la vivienda de Álvaro Obregón:

Orientación	hora																
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	7	6	5	4
S	1	1	1	1	1	3.5	6	9	12	12	12	12	12	10	8	7	6
E	4	6	8	10	12	12	12	11	10	10	10	10	10	10	10	9	8
O	4	4	4	4	4	5	6	7	8	11	14	16	18	18	18	14	10

Tabla 3.4
Temperatura diferencial total equivalente (°F) para concreto ó piedra de 20.32 cm (8 pulg) ó bien bloque de concreto de 15.24 ó 20.32 cm (6 u 8 pulg), color claro.⁷

En la tabla 3.5 se encuentra la relación de las ciudades de estudio y el material de muros que se considera para tomar los valores de la temperatura diferencial total equivalente.

⁷ Ver anexo IV.

Ciudad	Material en muros
Alvaro Obregón, Champotón y Nuevo Laredo	Concreto ó piedra de 20.32 cm (8 pulg) ó bien bloque de concreto de 15.24 ó 20.32 cm (6 u 8 pulg)
Mexicali	Tabique de 20.32 cm (8 pulg) – Ladrillo hueco de 30.48 cm (12 pulg)

Tabla 3.5

Las tablas están basadas en una diferencia de temperatura igual a 8.3 °C (15 °F) entre las temperaturas de bulbo seco exterior e interior de diseño, debido a esto, es necesario hacer una corrección, agregando o disminuyendo al valor de temperatura diferencial total equivalente de tablas, la diferencia entre 8.3 °C y la diferencial del lugar (temperatura de bulbo seco exterior de diseño menos temperatura de bulbo seco interior de diseño), como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\Delta T = \Delta T_e + (\Delta T_{\text{real}} - 8.3) \dots (3.5)$$

Donde:

$$\Delta T_e = \text{Temperatura diferencial total equivalente (}^\circ\text{C)}$$

$$\Delta T_{\text{real}} = T_{\text{diseño exterior}} - T_{\text{diseño interior}} (^\circ\text{C)}$$

Una vez corregido el valor de temperatura diferencial (ΔT), se realiza el producto de éste, con el coeficiente global de transferencia de calor (U) y el área del muro (A), según la orientación a que corresponda. Este producto es ya la carga de calor en Watts para cada hora y orientación.

Una vez obtenida la carga de calor para cada hora y orientación, se suman los valores de las diferentes orientaciones, resultando el valor de la carga total para cada hora del día (ecuación 3.6). Este valor es el que se suma con las cargas correspondientes de ventanas, techos, etc.

$$Q = \sum_i U_i A_i \Delta T_i \dots (3.6)$$

con $i = N, S, E, O$

Los valores de las sumatorias que se encontraron para el caso de la recámara 1 de Álvaro Obregón se presentan enseguida.

Orientación	hora																
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	206	206	206	206	206	260	314	378	442	442	442	442	442	399	356	335	314
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	294	294	294	294	294	318	341	364	387	457	527	574	620	620	620	527	434

Sumatoria: 501 501 501 501 501 578 654 742 829 899 969 1016 1062 1019 977 862 747

Tabla 3.6
Carga de calor debida a muros para la recámara 1
de la casa tipo en Álvaro Obregón (W)

El coeficiente global de transferencia de calor (U), para cada uno de los sistemas de muros, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_1}{k_1} + \dots + \frac{x_n}{k_n} + \frac{1}{h_o}} \dots (3.7)$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor (W/m² °C)

h_i = Coeficiente de transferencia de calor o coeficiente de película interior (W/m² °C)

h_o = Coeficiente de transferencia de calor o coeficiente de película exterior (W/m² °C)

x₁ = Espesor del primer material (m)

k₁ = Conductividad térmica del primer material (W/m°C)

x_n = Espesor del material n-ésimo (m)

k_n = Conductividad térmica del material n-ésimo (W/m°C)

Para los valores de los coeficientes de transferencia de calor o de película se consideran los propuestos en el libro de Hernández Goribar⁸ : $h_i = 9.37 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ (1.65 Btu/ h pie² °F) y $h_o = 34.07 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ (6.0 Btu/ h pie² °F).

Los valores de U obtenidos para cada una de las casas tipo de las ciudades de estudio se muestran en la tabla 3.7:

Ciudad	U (W/m ² °C)
Álvaro Obregón	3.10
Chamotón	3.10
Nuevo Laredo	3.10
Mexicali	2.98

Tabla 3.7

3.2.3 Carga de calor debido a techo

El cálculo de calor ganado a través de techos debido al sol, se realiza de una manera similar al de muros. Se emplean tablas que indican *la temperatura diferencial total equivalente* para techos (anexo IV).

Las tablas presentan las temperaturas diferenciales⁹ (en °F) a distintas horas del día. Están disponibles para techos expuestos al sol y techos en la sombra, para construcciones ligeras, medias y pesadas. Así que se selecciona aquella tabla cuya descripción de los materiales del techo se adapte mejor al techo propiamente en estudio. Se consideran techos expuestos al sol de construcción media. En el caso de Mexicali y Nuevo Laredo se utilizan los valores que corresponden a un techo de concreto de 10.16 cm (4 pulg); mientras que para Chamotón y Álvaro Obregón se emplean los valores correspondientes a un techo de concreto de 5.08 cm (2 pulg). A continuación aparece la que se emplea para Álvaro Obregón.

⁸ [5] Hernández Goribar, p. 176

⁹ referencia en el inciso 2.1.2.2

Hora	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ΔT_e	6	18	30	39	48	53	58	54	50	41	32	23	14	10	6	4	2

Tabla 3.8
Temperatura diferencial total equivalente ($^{\circ}\text{F}$) para un techo expuesto al sol,
de construcción media y concreto de 5.08 cm (2 pulg).¹⁰

Estas tablas también están basadas en una diferencia de temperatura igual a 8.3°C (15°F) entre las temperaturas de bulbo seco exterior e interior de diseño, debido a esto, se corrigen de la misma forma que en el caso de muros.

Una vez corregido el valor de temperatura diferencial total equivalente (ΔT_e) por medio de la ecuación (3.5), se realiza el producto de éste, con el coeficiente global de transferencia de calor (U) y el área del techo (A). El resultado es la carga total de calor en Watts para cada hora, el cual se suma con los resultados de carga total de vidrios y muros.

$$Q = U A \Delta T \quad \dots \quad (3.8)$$

La tabla 3.9 muestra las cargas de calor en Watts para la recámara 1 de la ciudad de Álvaro Obregón.

Hora	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Carga (W)	434	789	1144	1411	1677	1826	1974	1855	1737	1470	1204	937	670	552	434	374	315

Tabla 3.9

El coeficiente global de transferencia de calor U se calcula, en el caso de las ciudades de Mexicali y Nuevo Laredo, con la misma expresión usada en el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor para los muros. En el caso de Álvaro Obregón y Champotón el cálculo se realiza de manera diferente, debido a que el sistema de vigueta y bovedilla que se emplea en la construcción del techo está conformado por capas no homogéneas. La forma de calcular la U en estos dos últimos casos se realiza con la siguiente expresión:

¹⁰ Ver anexo V

$$U = \left(\frac{1}{h_o} + R_m + R_{c1} + R_y + \frac{1}{h_i} \right)^{-1} \dots \quad (3.9)$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

R_m = Valor de la resistencia térmica de la membrana impermeabilizante ($m^2 \text{ } ^\circ C/W$)

R_{c1} = Valor de la resistencia térmica del concreto como elemento resistente en la sección de la bovedilla ($m^2 \text{ } ^\circ C/W$)

R_{c2} = Valor de la resistencia térmica del concreto en la bovedilla ($m^2 \text{ } ^\circ C/W$)

R_{c3} = Valor de la resistencia térmica del concreto en la sección de la vigueta ($m^2 \text{ } ^\circ C/W$)

R_{aire} = Valor de la resistencia térmica del aire dentro de la bovedilla ($m^2 \text{ } ^\circ C/W$)

R_y = Valor de la resistencia térmica del aplanado de yeso interior ($m^2 \text{ } ^\circ C/W$)

h_o = Coeficiente de transferencia de calor exterior ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

h_i = Coeficiente de transferencia de calor interior ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

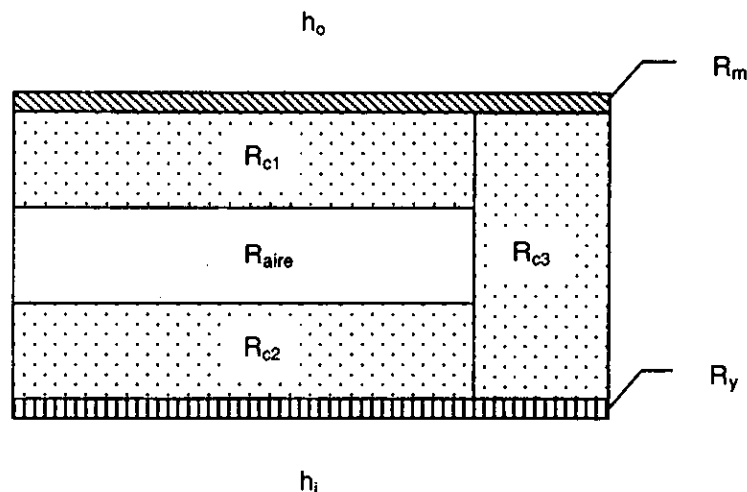


Figura 3.2. Representación del sistema vigueta bovedilla.

Para el caso de la ecuación (3.9), la resistencia equivalente se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{eq1}} + \frac{1}{R_{c3}} \dots \quad (3.10)$$

Mientras que la resistencia equivalente 1 (R_{eq1}) mencionada en la ecuación 3.10 se obtiene con la siguiente expresión:

$$R_{eq1} = R_{c1} + R_{aire} + R_{c2} \dots \quad (3.11)$$

El procedimiento de cálculo de la U se puede consultar en el anexo II.

3.2.4 Carga de calor debido a personas

Esta ganancia de calor puede ser dividida en dos partes, la ganancia de calor sensible y la ganancia de calor latente. Los valores de la ganancia de calor se obtienen de gráficas con base en dos factores, la temperatura a la que se encuentre el recinto y el tipo de actividad que realice la persona. Estas gráficas se pueden consultar en la obra de Hernández Goribar.¹¹

Las temperaturas empleadas para encontrar los valores de la ganancia de calor, tanto latente como sensible, son las que corresponden a las condiciones interiores de las viviendas tipo, ya antes especificadas. Para el tipo de actividad de las personas se considera el nivel más bajo, que corresponde a una persona sentada y descansando, ya que por lo general dentro de la casa no se realizan actividades físicas muy demandantes.

¹¹ [5] Hernández Goribar, pp. 290,291

Al multiplicar este valor obtenido de las gráficas por el número de personas que se encuentran dentro de la habitación, se obtiene la ganancia de calor debido a personas.

3.2.5 Carga de calor debido a equipo misceláneo

Esta carga, como ya se mencionó, se debe al equipo instalado y alimentos que emitan calor en el espacio por acondicionar.

Se consideran los misceláneos que pudieran estar contribuyendo a la ganancia de calor del recinto en el momento del día en el que la ganancia de calor por ventanas, muros y techos sea máxima. Así se realiza la suma de los calores de los misceláneos, tanto sensible como latente, y se obtiene esta carga de calor.

Las viviendas de los cuatro sitios de estudio cuentan con los mismos equipos, además, las ganancias máximas por ventanas, muros y techos en las cuatro ciudades se presentan entre 2 y 4 de la tarde, que es por lo general el periodo del día en el que se preparan y se sirven los alimentos. Debido a esto en el cálculo que se realiza para cualquiera de los sitios se considera la misma carga térmica por misceláneos.

3.3 Capacidad de los equipos de aire acondicionado para las casas tipo

Una vez calculados el calor sensible total y el calor latente total en el interior de la vivienda se obtiene el factor de calor sensible por medio de la siguiente expresión:

$$FCS = \frac{q_s}{q_s + q_l} = \frac{q_s}{q_l} \dots (3.12)$$

Donde:

FCS = Factor de calor sensible

q_s = calor sensible total (W)

q_l = calor latente total (W)

q_t = calor total (W)

Con este valor del factor de calor sensible se recurre a la carta psicrométrica. En ella se encuentra una escala en la que se muestran valores de factor de calor sensible, en la escala se localiza el valor encontrado por medio de la ecuación 3.10 y se traza una línea desde este punto hasta el punto de referencia de factor de calor sensible "O", que se encuentra localizado a una temperatura de bulbo seco de 26.7 °C (80 °F) y a una humedad relativa de 50%.

Enseguida se localiza en la carta psicrométrica el punto de las condiciones de diseño interiores del recinto. Se traza una línea paralela a la anteriormente realizada y que pase por el punto de las condiciones interiores, esta se extiende hasta la curva que indica una humedad relativa de 90%. Este punto de intersección indica las condiciones del aire de inyección del equipo.

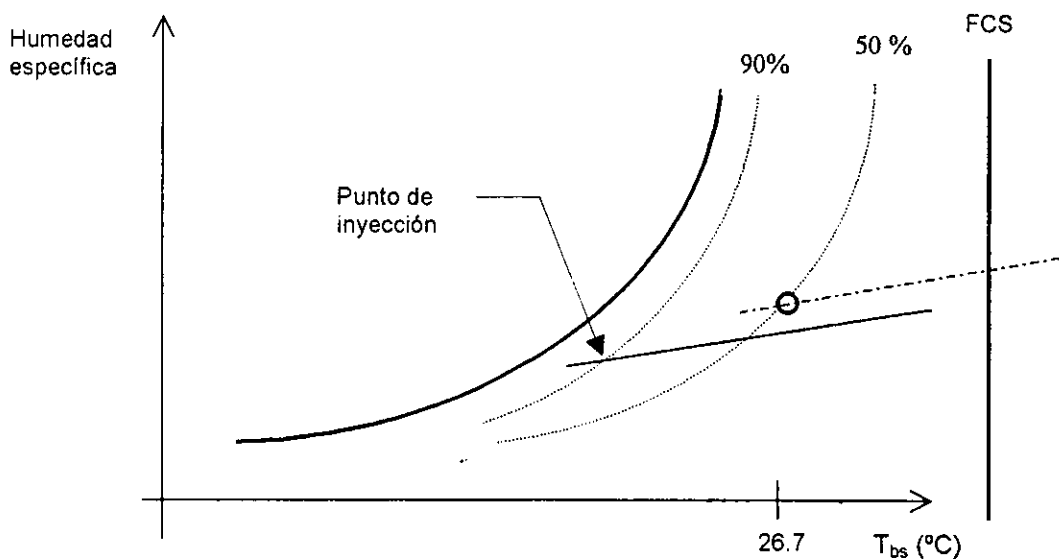


Figura 3.3

Se lee la temperatura de bulbo seco correspondiente al punto de inyección. Con esta temperatura y la humedad relativa de 90% se puede leer en la carta psicrométrica la entalpía de inyección. Este valor leído para la entalpía corresponde para un sitio que se encuentre a nivel del mar, si la altura es diferente se tienen que realizar correcciones a este valor. Otra opción es recurrir a un "software" que proporcione estos datos corregidos.

En estos cálculos se emplea el "software" desarrollado por la compañía TRANE, el cual da los valores de la carta psicrométrica al introducir la altura sobre el nivel del mar del sitio y dos condiciones del punto. Por medio del software se obtienen las entalpías de inyección, interior y exterior.

Es necesario determinar la masa de aire exterior que requiere el equipo. Para esto se toma el valor de ventilación recomendada para departamentos normales igual a $0.009439 \text{ m}^3/\text{s}$ persona ($20 \text{ pie}^3/\text{min}$ persona)¹². Esta cantidad, se multiplica por el número de personas y la densidad del aire, obteniéndose así la masa de aire exterior en Kg/s.

La masa total de aire de inyección se calcula mediante la siguiente expresión:

$$m_{iny} = \frac{q_t}{h_{int} - h_{iny}} \quad \dots \quad (3.13)$$

Donde:

m_{iny} = masa total de aire de inyección (Kg/s)

q_t = calor total (W)

h_{int} = entalpía interior (KJ/Kg)

h_{iny} = entalpía de inyección (KJ/Kg)

¹² [5] Ibid., p. 165.

La masa total de aire de inyección se compone de la mezcla de una porción de aire interior y el aire que se toma del exterior, entonces el balance de masas es:

$$m_{int} = m_{iny} - m_{ext} \quad \dots \quad (3.14)$$

o bien:

$$m_{int} = m_{mezcla} - m_{ext} \quad \dots \quad (3.15)$$

ya que la masa del aire mezclado, que es la que entra al equipo, es la misma masa que sale de él, es decir, la masa de aire de inyección.

Por otra parte el balance de energía resulta de la siguiente forma:

$$m_{int} h_{int} = m_{mezcla} h_{mezcla} - m_{ext} h_{ext} \quad \dots \quad (3.16)$$

La mezcla de aire interior y aire exterior se realiza antes de entrar al equipo de aire acondicionado, por esto, el calor que tiene que remover el equipo va desde las condiciones del aire de mezcla hasta las condiciones del aire de inyección. De esta forma, la capacidad del equipo se obtiene a partir de:

$$q_{equipo} = m_{iny} (h_{mezcla} - h_{iny}) \quad \dots \quad (3.17)$$

Donde:

q_{equipo} = capacidad del equipo (W)

m_{iny} = masa total del aire de inyección (Kg/s)

h_{mezcla} = entalpía del aire de mezcla (KJ/Kg)

h_{iny} = entalpía del aire de inyección (KJ/Kg)

Mediante el proceso antes descrito, se obtiene la capacidad de los equipos de aire acondicionado para cada una de las diferentes habitaciones de las casas tipo (tabla 3.10).

Ciudad	Habitación	Capacidad (W)	Capacidad (TR)	Capacidad (Btu/h)
Álvaro Obregón	Recámara 1	3 736	1.063	12 747
	Recámara 2	3 783	1.076	12 908
	Sala-comedor-cocina	7 714	2.194	26 320
Champotón	Recámara 1	3 942	1.121	13 450
	Recámara 2	3 976	1.131	13 566
	Sala-comedor-cocina	8 054	2.291	27 480
Nuevo Laredo	Recámara 1	3 690	1.05	12 590
	Recámara 2	3 836	1.091	13 088
	Sala-comedor-cocina	7 632	2.171	26 040
Mexicali	Recámara 1	3 757	1.069	12 819
	Recámara 2	3 898	1.109	13 300
	Sala-comedor-cocina	7 770	2.21	26 511

Tabla 3.10. Capacidad de los equipos de aire acondicionado

En la tabla anterior se observa que la ciudad que demanda una capacidad de equipo mayor es Champotón, esta ciudad tiene una temperatura de bulbo seco de diseño de 42 °C y una de bulbo húmedo de 18°C. Por su parte, la ciudad de Nuevo Laredo es la que demanda una capacidad de equipo menor.

El hecho de que las ciudades del sur de la república necesiten de equipos más grandes que las ciudades del norte puede deberse a que el área de muros para las ciudades del sur, donde el clima es más húmedo, es mayor que para las ciudades del norte, donde el clima es más seco. También hay que recordar que los sistemas constructivos y los materiales empleados en las ciudades de Champotón y Álvaro Obregón son diferentes a los empleados en Mexicali y Nuevo Laredo. En los sistemas empleados para la construcción de techos en el sur de la república, se tienen resistencias térmicas un poco mayores que en los sistemas usados en el norte.

3.4 Equipos de aire acondicionado

Existen muy diversos equipos para realizar el acondicionamiento del aire de un recinto, la selección del equipo adecuado depende de las características de cada aplicación.

Los equipos de acondicionamiento de aire pueden clasificarse en dos grupos: sistemas unitarios y sistemas centrales. Esta clasificación se basa en la disposición del equipo. Un sistema unitario es aquel en el cual los componentes del equipo están seleccionados de fábrica y empaquetados. Esto incluye al equipo de refrigeración, ventilador, serpentines, filtros, compuertas y controles. Un sistema central es aquel en el cual los componentes están separados.

El equipo unitario se ubica por lo general en o cerca del recinto a acondicionar, mientras que el equipo central por lo general está alejado del recinto y cada uno de los componentes puede o no estar alejado de los demás, dependiendo de la conveniencia.

3.4.1 Sistemas unitarios

Los sistemas y equipos unitarios se pueden dividir en los siguientes grupos:

1. Unidades de recinto
2. Acondicionadores unitarios
3. Unidades de techo

3.4.1.1 Unidades de recinto

Las *unidades de recinto* se consiguen en dos tipos: unidades de ventana y unidades de pared. La unidad de ventana ajusta a una abertura en el marco de una ventana existente, la unidad de pared encaja en una abertura de pared

exterior. Las unidades de recinto se consiguen hasta de 3 toneladas de refrigeración. Sus ventajas son su bajo costo y simplicidad de instalación y operación. Las unidades de ventana se aplican especialmente en las construcciones existentes. Las unidades de pared se usan frecuentemente en casas nuevas. Estos sistemas de acondicionamiento de aire tienen valores de REE comprendidos entre 2.3 y 2.71 W_t/W_e .

3.4.1.2 Acondicionadores unitarios

Los *acondicionadores unitarios* de aire se diseñan para instalarse dentro o cerca del recinto acondicionado. Los componentes están dentro de la unidad. Aunque con frecuencia descargan directamente el aire al recinto, se les puede conectar algo de ductería si se desea distribución de aire con salidas. Estas unidades son comunes en aplicaciones comerciales pequeñas. Hay unidades que tienen todos los componentes en el paquete, excepto el condensador; esto se acostumbra mucho en las aplicaciones para residencias privadas. Los acondicionadores unitarios tienen las mismas ventajas y desventajas que las unidades de recinto, existen con capacidades hasta de 50 toneladas.

3.4.1.3 Unidades de techo

Las *unidades de techo* están diseñadas para instalarse en el exterior y, como su nombre lo indica, se colocan generalmente en los techos. Con frecuencia, todo el equipo de refrigeración, enfriamiento y manejo de aire se arman juntos, aunque el compresor y el condensador pueden estar alejados. Con este tipo de unidades se pueden emplear ductería y salidas de aire. Las ventajas de estos equipos son que no ocupan espacio en la construcción, y que son de costo relativamente bajo. Hay unidades con disposición multizona, pero su control de humedad está limitado. Los sistemas de techo son muy usados en construcciones de un piso, como supermercados y construcciones comerciales.

3.4.2 Unidades manejadoras de aire

La unidad manejadora de aire designa la combinación de serpentines, ventilador, filtros, compuertas y caja. A veces se le llama también equipo central de aire acondicionado. Hay básicamente dos disposiciones: unidades de zona única (o unizona) y unidades de multizonas.

En los sistemas de zona única o unizona, una unidad primero acondiciona y después distribuye un volumen constante de aire por un ducto a grupos de recintos. Por lo tanto no se pueden controlar por separado las condiciones en cada uno de ellos.

El sistema multizonas usa una unidad de manejo de aire que tiene un serpentín de calentamiento y uno de enfriamiento en paralelo. En la unidad se tienen compuertas de zona, el aire frío y el caliente se mezclan en proporciones variables mediante las compuertas, de acuerdo con las necesidades de las zonas. Este sistema proporciona un buen control de temperatura, pero debido a que el aire mezclado se desvía del serpentín de deshumidificación, el control de la humedad puede ser poco satisfactorio en aplicaciones donde se usa una gran cantidad de aire exterior.

3.5 Unidades de uso común en el sector doméstico

Los equipos más empleados para acondicionar viviendas con una carga similar a la casa tipo de este trabajo son los de ventana y los sistemas minisplit.

El equipo de ventana es el más elemental, y probablemente el más utilizado en la República para acondicionar las habitaciones de las viviendas en lugares de clima cálido, a pesar de contar con ciertas desventajas. Se caracteriza, como ya se mencionó, por su fácil instalación, por ser compacto y por poder ser incorporado a edificios ya construidos.

se mencionó, por su fácil instalación, por ser compacto y por poder ser incorporado a edificios ya construidos.

Está constituido por tres secciones principales: condensador, compresor y evaporador. El condensador, enfriado por aire, se sitúa al exterior, un ventilador hace circular aire exterior sobre los tubos de cobre con aletas de aluminio que lo constituyen. El evaporador y el compresor se sitúan en la parte interior del acondicionador. El evaporador está formado por un haz de tubos de cobre con aletas de aluminio y dispone de un ventilador, con varias velocidades, para circulación del aire a enfriar. El compresor es generalmente de tipo hermético, con el devanado del motor refrigerado por el propio gas aspirado por el compresor.

Estos acondicionadores suelen funcionar controlados por un termostato de ambiente, actuando sobre el motor del compresor. Tanto la aspiración como la descarga de aire suelen realizarse mediante rejillas situadas en la parte frontal del aparato. Las unidades de ventana no tienen un buen control de la humedad, los niveles sonoros son mayores que los que produce el equipo remoto, la calidad de limpieza del aire es mínima, y consumen una gran cantidad de energía, ya que no pueden modular su capacidad.

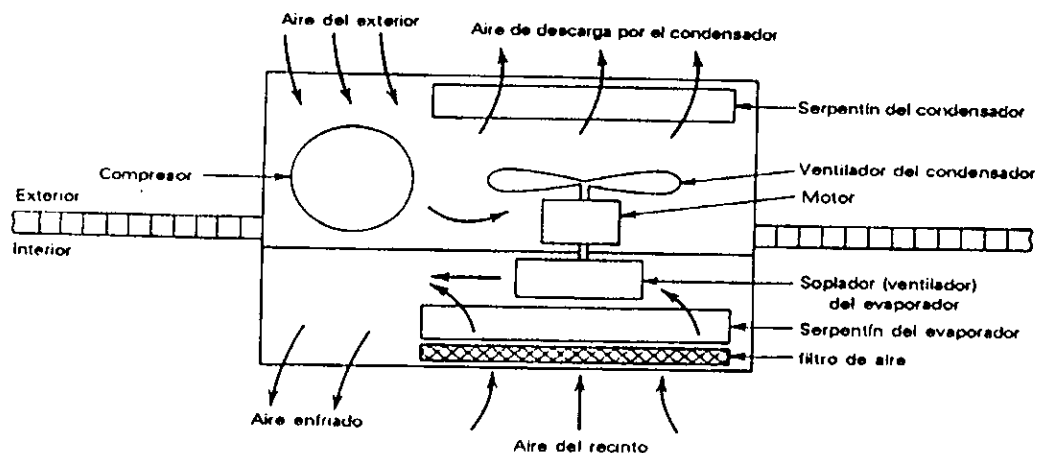


Figura 3.4
Diagrama de un equipo de ventana

El sistema *split* (dividido) es un sistema de aire acondicionado o refrigeración en el cual el condensador y el evaporador se encuentran ubicados de forma separada, y se encuentran ligados por medio de la tubería refrigerante. El equipo minisplit se caracteriza por ser muy silencioso, además de tener una mejor vista que los sistemas de ventana. Es empleado para climatizar espacios o habitaciones independientes, como hoteles, viviendas, hospitales, oficinas, etc. Actualmente los valores de REE de los sistemas minisplit son aproximadamente los mismos que los correspondientes para equipos de ventana.

La parte del evaporador es formada por un ventilador, un serpentín de tubos con aletas, un juego de filtros y una envolvente decorativa. Esta sección es la que se encuentra localizada dentro del recinto que se requiere acondicionar. La parte del condensador, se localiza fuera del recinto a acondicionar. La gran desventaja que presentan estos equipos en comparación con los de ventana es su elevado costo. Un equipo minisplit cuesta aproximadamente el doble del valor de un equipo de ventana, por lo que muchas personas se inclinan por adquirir equipos de ventana.

Debido a su amplio uso en nuestro país, se seleccionan equipos tipo ventana para realizar los cálculos de consumo de energía eléctrica por el uso de aire acondicionado. A continuación se muestran algunos modelos de equipos de ventana que se encuentran en la página web de la compañía Carrier en México, así como datos técnicos relevantes. De estos equipos se selecciona el adecuado para cada una de las habitaciones de las cuatro viviendas tipo.

Modelo	Capacidad de enfriamiento TR (Btu/h)	Voltaje (V)	Demanda Eléctrica (W)	REE W_r/W_e (Btu/h/W)
51GCA125B	1.00 (12 000)	220	1 140	2.50 (8.5)
51DT-12	1.04 (12 500)	220	1385	2.64 (9.0)
51GCA145B	1.17 (14 000)	220	1 520	2.70 (9.2)
51FT-15	1.25 (15 000)	220	1 620	2.71 (9.2)
51FT-18	1.54 (18 500)	220	2 100	2.58 (8.8)
51FT-25	1.96 (23 500)	220	2 865	2.40 (8.2)
DDC183D	1.48 (17 800)	220	2 020	2.58 (8.8)
51HKD-36	2.71 (32 500)	220	3 960	2.40 (8.2)

*TR = toneladas de refrigeración

Tabla 3.11. Datos técnicos de equipos tipo ventana de la cía. Carrier

De la lista de equipos de la tabla 3.11 se seleccionan los modelos adecuados, con base en los datos mostrados en la tabla 3.10, para cada una de las habitaciones de la vivienda tipo. Esto se muestra en la siguiente tabla.

Ciudad	Habitación	Capacidad Necesaria TR (Btu/h)	Modelo	Capacidad Del equipo TR (Btu/h)
Álvaro Obregón	Recámara 1	1.06 (12 747)	51GCA145B	1.17 (14 000)
	Recámara 2	1.08 (12 908)	51GCA145B	1.17 (14 000)
	Sala-comedor-cocina	2.19 (26 320)	51HKD-36	2.71 (32 500)
Champtón	Recámara 1	1.12 (13 450)	51GCA145B	1.17 (14 000)
	Recámara 2	1.13 (13 566)	51GCA145B	1.17 (14 000)
	Sala-comedor-cocina	2.29 (27 480)	51HKD-36	2.71 (32 500)
Nuevo Laredo	Recámara 1	1.05 (12 590)	51GCA145B	1.17 (14 000)
	Recámara 2	1.09 (13 088)	51GCA145B	1.17 (14 000)
	Sala-comedor-cocina	2.17 (26 040)	51HKD-36	2.71 (32 500)
Mexicali	Recámara 1	1.07 (12 819)	51GCA145B	1.17 (14 000)
	Recámara 2	1.11 (13 300)	51GCA145B	1.17 (14 000)
	Sala-comedor-cocina	2.21 (26 511)	51HKD-36	2.71 (32 500)

Tabla 3.12
Asignación de equipos de aire acondicionado para cada una de las habitaciones

3.6 Costo por el uso de aire acondicionado

El uso de equipos de aire acondicionado trae consigo un alto consumo de energía eléctrica y por ende un aumento en la cuota a pagar a la compañía suministradora.

Este gasto adicional ocasionado por el uso de los equipos de aire acondicionado se puede estimar por medio de la siguiente fórmula:

$$Costo = \frac{q_{\text{equipo}} \times t \times \$ / KWh}{REE \times 1000} \dots (3.18)$$

donde:

Costo = costo anual por uso del equipo (\$/año)

q_{equipo} = Capacidad del equipo (W_t)

t = tiempo de uso anual (h/año)

$\$/KWh$ = Costo del KWh ($\$/KW_e h$)

REE = Relación de eficiencia energética (W_t/W_e)

3.6.1 Tarifas de energía eléctrica

Las tarifas de energía eléctrica que se toman como referencia para este trabajo son las publicadas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), ya que, en las ciudades de estudio es la encargada de proporcionar el servicio eléctrico y es a quien se le paga por el mismo.

La CFE presenta en su página web tarifas para diversos tipos de usos, la seleccionada para este estudio es la tarifa de tipo doméstica. Esa tarifa cuenta con dos modalidades, unas que indica las cuotas a pagar para los meses de verano¹³

¹³ El periodo de verano, según esta aplicación, comprende los seis meses consecutivos más cálidos del año.

(tarifa 1) y otra que presenta las cuotas a pagar fuera de la temporada de verano. Para el periodo de verano, la tarifa se subdivide en:

Tarifa	Temperatura media mínima en verano (°C)
1-A	25
1-B	28
1-C	30
1-D	31
1-E	32

Tabla 3.13
Tarifas para el periodo de verano (CFE)

En las ciudades de estudio de este trabajo, CFE aplica las siguientes tarifas para el cobro del suministro de energía eléctrica al mes de agosto de 1999:

- Álvaro Obregón (1-C)

Cargo por energía consumida.

Consumo básico: \$ 0.322 por cada uno de los primeros 150 KWh.

Consumo intermedio: \$ 0.390 por cada uno de los siguientes 600 KWh.

Consumo excedente: \$ 1.297 por cada KWh adicional a los anteriores

- Champotón (1-B)

Cargo por energía consumida.

Consumo básico: \$ 0.322 por cada uno de los primeros 125 KWh.

Consumo intermedio: \$ 0.390 por cada uno de los siguientes 175 KWh.

Consumo excedente: \$ 1.297 por cada KWh adicional a los anteriores.

- Nuevo Laredo (1-D)

Cargo por energía consumida.

Consumo básico: \$ 0.322 por cada uno de los primeros 175 KWh.

Consumo intermedio: \$ 0.390 por cada uno de los siguientes 825 KWh.

Consumo excedente: \$ 1.297 por cada KWh adicional a los anteriores

- Mexicali (1-E.)

Cargo por energía consumida.

Consumo básico: \$ 0.272 por cada uno de los primeros 300 KWh.

Consumo intermedio bajo: \$ 0.345 por cada uno de los siguientes 900 KWh.

Consumo intermedio alto: \$0.820 por cada uno de los siguientes 1300 KWh.

Consumo excedente: \$ 1.297 por cada KWh adicional a los anteriores.

3.6.2. Costo anual por el uso de aire acondicionado

En la tabla 3.14 se presenta el costo anual aproximado por el uso de aire acondicionado para cada una de las viviendas. En los cálculos se considera que los equipos trabajan 12 h/día en promedio. Debido a que CFE considera el periodo de verano de seis meses (mayo a octubre), es éste mismo periodo de tiempo el que se toma para el cálculo de tiempo de uso anual.

Por otra parte, el costo del KWh por el uso de equipos acondicionadores de aire, es el que corresponde en las tarifas de CFE considerando los diferentes niveles de consumo.

Se toma en cuenta que en una vivienda tipo se consume normalmente 150 KWh/mes, debido a todos los aparatos domésticos que en ella se encuentran, incluyendo a la iluminación.

Ciudad	Habitación	Capacidad del Equipo (W)	tiempo de uso anual (h/año)	tarifa	REE (W _i /W _e)	Facturación mensual total (\$/mes)	Costo anual por aire acondicionado (\$/año)
Álvaro Obregón	Recámara 1	4103.17	2232	1-C	2.7	2881.49	16 999.14
	Recámara 2	4103.17	2232	1-C	2.7		
	scc	9525.21	2232	1-C	2.4		
Champton	Recámara 1	4103.17	2232	1-B	2.7	3291.34	19 448.03
	Recámara 2	4103.17	2232	1-B	2.7		
	scc	9525.21	2232	1-B	2.4		
Nuevo Laredo	Recámara 1	4103.17	2232	1-D	2.7	2653.04	15 628.44
	Recámara 2	4103.17	2232	1-D	2.7		
	scc	9525.21	2232	1-D	2.4		
Mexicali	Recámara 1	4103.17	2232	1-E	2.7	1787.54	10 480.44
	Recámara 2	4103.17	2232	1-E	2.7		
	scc	9525.21	2232	1-E	2.4		

scc= sala-comedor-cocina

Tabla 3.14
Costo anual estimado por el empleo del aire acondicionado,
en las ciudades de estudio.

El consumo de energía eléctrica debido a los equipos de aire acondicionado representa en promedio el 98% de la facturación mensual total para los meses de verano. De no contar con estos equipos, la facturación total mensual sería de \$ 47 en promedio para las cuatro ciudades de estudio. Asimismo, la tarifa promedio por KWh cambia drásticamente si se cuenta con acondicionadores de aire; al tenerlos la tarifa promedio para las cuatro ciudades de estudio es de 0.96 \$/KWh, mientras que de no contar con ellos se pagan aproximadamente 0.32 \$/KWh.

De lo mencionado en el párrafo anterior y en la tabla 3.14, se puede concluir que el empleo de dichos equipos climatizadores representa una pesada carga económica para los hogares en zonas de clima cálido. Por citar un ejemplo, en la Ciudad de México que es una ciudad con clima templado, para una casa de las dimensiones de la casa tipo ya mencionada, la facturación mensual es aproximadamente de \$ 70; mientras que para las ciudades de estudio es de \$2653 en promedio. Esto quiere decir que, para los meses de verano, el costo por el consumo de energía eléctrica en ciudades de clima templado es,

aproximadamente, el 3% del costo que se tiene en viviendas de ciudades de clima caluroso que cuentan con aire acondicionado.

El costo anual por el uso de los acondicionadores de aire mostrado en la tabla 3.14 considera que el equipo trabaja para eliminar una carga de calor igual a la capacidad del equipo. Sin embargo, como se ve en la tabla 3.12 la carga que debe remover el equipo es menor a la carga para la cual está diseñado. Si se toma en cuenta únicamente la carga real de calor que tiene que remover el equipo, el costo por su uso es un poco menor. Haciendo estas consideraciones, se tiene que los costos anuales por uso de aire acondicionado son: Álvaro Obregón \$13696, Champotón \$16967, Nuevo Laredo \$12241 y Mexicali \$7800.

Bibliografía del capítulo 3

[1] CARRIER, Handbook of air conditioning system design, USA, McGraw – Hill, 1965.

[2] ESQUERRA I PIZÀ, Pere, Climatización de confort e industrial, España, Marcombo Boixereu, 1992, 133 pp.

[3] FERREIRO, Héctor et. al., Manual de arquitectura solar, México, Trillas, 1991, 292 pp.

[4] GUTIERREZ ARANGO, Carlos M. (comp), Especificaciones para sistemas de aire acondicionado avaladas por la CNIC y Americ A.C., México, 1995, 96 pp.

[5] HERNÁNDEZ GORIBAR, Eduardo, Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración, México, Limusa, 1997, 461 pp.

[6] MEXICO. FIDEICOMISO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, Guía para aplicar criterios de eficiencia energética en construcciones para uso habitacional, 76 pp.

[7] MEXICO. INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL, Aire Acondicionado/IMSS, 198-?, 123 pp.

[8] PITA, Edward, Acondicionamiento de aire: principios y sistemas, México, CECSA, 1997, 548 pp.

Páginas de Internet

Carrier transicold: <http://www.carrier.com.mx> (agosto 1999)

Comisión Federal de Electricidad: <http://www.cfe.gob.mx> (agosto 1999)

Como se ha visto, una de las formas más empleadas para lograr condiciones de bienestar dentro de las casas habitación es el uso de equipos de acondicionamiento de aire. Sin embargo, éste no es el único sistema que existe, hay una gran variedad de posibilidades para lograr condiciones agradables en los hogares. Los sistemas empleados para este fin pueden ser clasificados en sistemas activos y sistemas pasivos.

Los sistemas activos son los que dependen de un sistema electromecánico para crear un clima interior adecuado, como los equipos de aire acondicionado; estos sistemas tienen el inconveniente de ser consumidores de energía, lo cual implica un costo para el usuario.

Por otra parte, los sistemas pasivos son aquellos que utilizan al sol, las brisas, la vegetación, materiales adecuados al clima y el manejo del espacio arquitectónico, para crear un ambiente agradable dentro de la vivienda. Dichos sistemas tienen la ventaja de no consumir energía, desafortunadamente en nuestro país la mayoría de las viviendas construidas, especialmente en las ubicadas en climas cálidos, no se emplea este tipo de sistemas.

Para reducir el consumo de energía ocasionado por los sistemas activos, en particular por los de acondicionamiento de aire tan ampliamente empleados en México, es posible implementar algún sistema pasivo que ayude a reducir las ganancias de calor. Una alternativa para reducir las ganancias de calor, y por tanto el consumo de energía, es instalar en las viviendas sistemas de aislamientos térmicos.

4.1 Aislantes térmicos

Los aislamientos térmicos son materiales, o combinación de materiales, ampliamente utilizados en la industria o en aplicaciones residenciales con el propósito primordial de retardar o abatir el flujo de calor por conducción principalmente, o por radiación en el caso de la aplicación de pinturas reflejantes sobre aislamientos. Este abatimiento del flujo de calor en forma significativa se logra al colocar un material con una conductividad térmica menor a aproximadamente $0.1 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, la cual proporcionará a la construcción una alta resistencia térmica. Además de actuar como reguladores térmicos y conservadores de energía, estos materiales tienen otras ventajas implícitas, como reducir niveles de ruido y vibración, añadir resistencia adicional a la estructura, proporcionar soporte para terminados, reducir riesgos de incendios si son incombustibles o autoextinguibles, aumentan la plusvalía de la vivienda, etc.

El material básico del aislamiento puede ser de naturaleza fibrosa o celular, orgánica o mineral y también metálica. Su aplicación o presentación comercial puede ser en forma de placas rígidas, flexibles o semirígidas, vaciados o espumados en sitio, como rellenos o como membranas.

Existe una gran cantidad de materiales termoaislantes, entre los cuales se pueden mencionar: elastomérico celular, espuma fenólica, fibra de madera, fibra de vidrio, mortero de carlita "A", poliestireno celular, fibra celulosa, poliuretano celular, sílica diatomácea, silicato de calcio, vermiculita y vidrio espumado. Cada uno de ellos tiene una capacidad diferente de aislamiento, así como características físicas y químicas particulares.

Con dichos materiales puede aislarse la totalidad de la vivienda o parte de ella. Diversos estudios realizados por universidades, institutos, organizaciones y fabricantes, han determinado que aproximadamente un 70% de la ganancia de

calor que se transmite del exterior al interior de las viviendas, se realiza a través del techo. Esto considerando casas de hasta dos niveles.

Para las viviendas tipo de este trabajo, las cuales se encuentran ubicadas con la misma orientación, se tiene como porcentaje mínimo de ganancia de calor a través de techos 56%, que se presenta en la recámara 1 de la ciudad de Champotón; como máximo se tiene 76% en la recámara 2 de la ciudad de Mexicali. El promedio general de ganancia de calor a través de techo es de 67.31%, esto incluye todas las habitaciones para las cuatro ciudades.

Por lo expuesto en los dos párrafos anteriores, para el presente trabajo se realiza el estudio técnico-económico de aislamientos térmicos aplicados únicamente sobre los techos de las viviendas. Al colocar materiales aislantes en los muros se tendrá un mayor costo tanto de material como de instalación, y por tanto el beneficio es menor.

Aunque, como se ha descrito, la variedad de materiales aislantes es amplia, existen algunos que por su bajo peso y acabados comprobados satisfactoriamente en distintos programas, son los más manejados comercialmente en el país para su aplicación en viviendas ya construidas, entre ellos tenemos a cuatro principales: fibra de vidrio, poliestireno, poliuretano y el mortero de carlita "A". Cada uno de ellos cuenta con diferentes características y propiedades, así como presentaciones y formas de instalación particulares.

4.2 Carlita

4.2.1 Descripción

La perlita, materia prima de la carlita, es un material para aislamiento térmico que en estado natural se le encuentra como una roca de color gris claro al gris oscuro, y su grado de dureza es variable. Su composición química es la de un

cristal de una roca densa y vidriosa formada por la acción volcánica, es un mineral amorfo compuesto por un silicato fundido de sodio-potasio-aluminio que se somete a un proceso físico para la eliminación de materia orgánica y eliminación de agua retenida en un porcentaje que puede variar del 2% al 6%, esta particularidad permite que el mineral al ser calentado a temperaturas cercanas al punto de fusión (800 a 900 °C) el agua se evapora, produciendo una explosión en la roca que el calor ha reblandecido, quedando su estructura formada por incontables celdillas cerradas. Estos globos o celdillas contienen aire quieto atrapado, lo que da sus características de aislante térmico y su bajo peso volumétrico. El proceso antes descrito da como resultado la perlita expandida o carlita "A", la cual es empleada en forma de mortero como un aislamiento térmico.

La carlita "A" es un material ligero, que en combinación con el cemento y el agua, en proporciones bien definidas, se utiliza en la elaboración de morteros con fines de aislamientos térmicos y de protección contra incendio en todo tipo de techos y cubiertas de las construcciones.

4.2.2 Aplicaciones

Se usa con fines de aislamiento térmico y protección contra incendio en todo tipo de techos y cubiertas. En losas precoladas, el mortero de cemento y carlita "A" cubre los empalmes a tope de las losas y elimina las irregularidades existentes en sus juntas. En los techos de lámina corrugada se recomienda ya que elimina el problema de los ruidos producidos por lluvia o granizo y al mismo tiempo retarda el deterioro de la lámina por la intemperie. Con respecto a las presiones que por aire o humedad puedan formarse, bajo condiciones de demasiada exposición solar, la carlita ofrece implícitamente una barrera de vapor, lo que provocará que estas presiones escapen por los traslapes entre lámina y lámina.

4.2.3 Presentación

La carlita viene en sacos de 12 Kg (100 litros), para preparar el mortero que se va a aplicar se necesita combinar la carlita con cemento portland (33 litros), el cual se vende en sacos de 50 Kg. A esta mezcla se le deben añadir agua y un agente inclusor de aire, el cual debe ser una solución estándar, o bien, un material recomendado por el fabricante de la Carlita.

La mezcla 1:6 en volumen (1 saco de cemento por 2 sacos de carlita) proporciona la mejor combinación de aislamiento térmico permanente, baja carga y resistencia a la compresión razonable para la colocación posterior del impermeabilizante. Por esto, en este estudio se utilizarán las características de la carlita tomando en cuenta la mezcla 1:6.

4.2.4 Datos técnicos y características

a) Ventajas

- Al colarse el mortero de carlita "A" en cubiertas de concreto de superficies irregulares, se adapta perfectamente a la forma de ésta, sin necesidad de hacer cortes y ajustes para seguir las curvaturas, como cuando se usan aislantes adherentes.
- Su superficie es lo suficientemente áspera para facilitar la adherencia con los productos de impermeabilización, evitando emplear adhesivos que pueden ser combustibles.
- En losas precoladas cubre los empalmes a tope de las losas y elimina las irregularidades existentes entre sus juntas.
- El mortero aislante de carlita al tener una permeabilidad al paso del vapor menor de 1 perm^1 , es considerado como barrera de vapor.
- Tiene mayor resistencia a la compresión que los materiales polimerizados.

¹ Unidad que equivale a: 1 grano de vapor de agua/ (pie²)(hora)(pulg. de mercurio). 1lb de vapor=7000 granos

b) desventajas

- No existe una gran variedad de distribuidores repartidos en la república.
- Probablemente el espesor final del aislamiento tendrá variaciones.
- El tiempo para que este producto esté en condiciones de ser impermeabilizado varía de 5 a 9 días, debido al proceso de curado.

c) Datos técnicos

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Densidad de la carlita "A"	120 (kg/m ³)
Densidad del mortero ² (1:6 en volumen)	385 a 450 (kg/m ³)
Conductividad térmica	0.078 a 0.088 (W/m°C)
Temperatura máxima de operación	1000 °C
Absorción de humedad	n.d.
Transmisión de humedad	Menor a 1 perm
Envejecimiento	No envejece
Resistencia a la compresión ²	863 a 1373 (KPa)
Resistencia a tensión ²	275 (KPa)
Estabilidad dimensional	Estable
Toxicidad	No tóxico
Combustibilidad	Incombustible
Resistencia química	Resistente a todos los medios (alcalinos, corrosivos, oxidantes). Sólo atacable por ácidos fuertes
Ataque biológico	No se ataca por hongos ni mantiene el crecimiento bacteriano.
Composición química fundamental	Sílico aluminato

Tabla 4.1
Datos técnicos de la carlita.

² Mortero seco a 28 días de su colocación

4.2.5 Instalación y acabados

a) Mezclado

El mezclado de los morteros de cemento y carlita "A" se aconseja se realice en revolvedoras de paleta de eje horizontal, aún cuando también pueda hacerse en forma manual con el uso de palas.

El orden de colocación de los materiales utilizando revolvedora es el siguiente:

1. Colocar el agua especificada en la revolvedora, junto con el agente inclusor de aire.
2. Agregar el cemento y mezclar hasta formar una lechada uniforme.
3. Agregar la carlita "A" y revolver hasta que el mortero presente la plasticidad y homogeneidad necesaria.

En caso de preparar la mezcla a mano, se aconseja hacerlo de la siguiente manera:

1. Deposite en un lugar limpio el cemento y la carlita "A" y mézclese en seco hasta que el conjunto presente un color uniforme.
2. Añádase el agua especificada que debe tener ya el inclusor de aire, y mézclense los materiales hasta que se logre la plasticidad y homogeneidad requerida.

b) Colocación y acabados

Cualquiera que sea el procedimiento de colocación debe evitarse la segregación de los agregados.

El mortero debe ser depositado y emparejado cuidadosamente en una operación continua hasta que el total, o cuando menos una sección completa, se haya cubierto. La utilización del vibrador o pisón debe evitarse a menos que se especifique, ya que con ello se aumenta el peso muerto y se disminuyen sus propiedades aislantes.

Bajo condiciones normales, el mortero debe curarse cuando menos de 5 a 7 días para estar en condiciones de colocar el producto de impermeabilización. En caso de lluvias se recomienda de uno a dos días adicionales el curado y deberá procurarse tapar el mortero fresco cuando ocurra alguna precipitación pluvial.

4.2.6 Resistencia térmica en los sistemas de techo aislados con carlita

Con este producto se puede lograr cualquier espesor, ya que se trata de un mortero. Sin embargo, lo mínimo que se puede colocar de mortero es una capa de 3 cm, de ser más delgada no se garantiza su resistencia mecánica. El fabricante recomienda, para obtener buenos resultados, aplicar capas de aislante de entre 5 y 7.5 cm. Así pues, la resistencia térmica del sistema de techo con este producto está en función del espesor que se desee colocar.

En el caso del sistema de techo de vigueta-bovedilla, aplicado en las ciudades de Champotón y Álvaro Obregón, la resistencia térmica queda determinada por la siguiente expresión, que está en función del espesor del material aislante:

$$R = 12.05 x + 0.2622 \quad \dots \quad (4.1)$$

donde:

R = resistencia térmica ($m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$)

x = espesor del aislante (m)

Por otra parte, para las ciudades de Mexicali y Nuevo Laredo, donde el sistema de techo es de concreto armado colado en sitio, la resistencia térmica esta dada por:

$$R = 12.05x + 0.23387 \quad \dots \quad (4.2)$$

4.2.7 Costos de material y mano de obra ³

De acuerdo al procedimiento para la aplicación del mortero de carlita "A" mencionado anteriormente, se presenta a continuación el costo de cada uno de los materiales a emplear, el costo de la mano de obra en la aplicación total del sistema y, en caso de ser necesario, el costo del flete correspondiente para cada ciudad.

a) Costos de materiales y flete

Descripción	Unidad	Precio Unitario Neto (\$)
Carlita	m ³	507.55
Cemento	Costal	135
Inclusor de aire	m ³	45
Impermeabilizante	Cubeta (19 l)	478
Impermeabilizante	Cubeta (4 l)	140
Flete (Chihuahua a Nuevo Laredo)	m ³	440
Flete (D.F. a Álvaro Obregón)	m ³	400
Flete (D.F. a Champotón)	m ³	505

El impermeabilizante que se emplea para recubrir el mortero es un impermeabilizante acrílico de color blanco. Este tiene un tiempo de vida de 5 años según el fabricante, y no necesita de ningún tipo de mantenimiento a lo largo de este tiempo. Este tipo de impermeabilizante no requiere de una mano de obra especializada, como la requieren las impermeabilizaciones asfálticas.

³ Todos los precios presentados en este capítulo corresponden al mes de agosto de 1999.

b) Costos por mano de obra

Descripción	Costo (\$/m ²)
Mano de obra por la instalación del sistema completo*	20

* Incluye la limpieza de la superficie de impermeabilizaciones anteriores, la aplicación del mortero de carlita "A" y la aplicación del impermeabilizante acrílico.

4.3 Poliestireno

4.3.1 Descripción

El poliestireno es un termoplástico transparente como el cristal, duro, rígido y de bajo peso específico, con gran versatilidad para moldeo por inyección y moldeo por extrusión, y se presenta en un rango muy amplio de formulaciones con excelentes propiedades estructurales, térmicas y eléctricas con posibilidades de adicionar compuestos para darle características retardantes a la ignición, al ataque químico y flexibilidad, posee muy poca absorción de humedad y los productos manufacturados tienen gran estabilidad con la conservación de sus propiedades a todas las temperaturas inferiores a la distorsión por calor. Su gran número de propiedades hace del poliestireno un material altamente competitivo contra otras resinas más costosas, en una gama muy amplia de aplicaciones demandadas.

El nombre de poliestireno expandido es un término genérico que comprende al poliestireno en sí, y a copolímeros del estireno suministrados en un solo compuesto que contiene agentes expansores (nitrógeno, derivados del metano, pentano, etc.), y otros aditivos, y se procesa para la fabricación de artículos de baja densidad (desde 11.26 hasta 160.8 Kg/m³). El más común de estos productos es el poliestireno de perla cristalina la cual contiene pentano como agente expansor.

4.3.2 Aplicaciones

El mayor mercado para el poliestireno expandido es como elemento de aislamiento térmico en la industria de la construcción, en la manufactura de recipientes desechables, en empaques protectores, sin embargo sus aplicaciones se extienden hacia otros aspectos de la construcción como aligeración de morteros y concretos, como distribuidores de carga en la construcción de carreteras, como planchas de drenaje para evitar infiltraciones, en la fabricación de piezas ornamentales de edificios. En la rama agrícola es utilizado en la fabricación de semilleros y maceteros, como mejorador de suelos, y en el embalaje de productos. En la rama apícola se fabrican panales. Sus propiedades de amortiguación y flotabilidad permiten aplicaciones tales como la fabricación de boyas, chalecos salvavidas, tablas de surf, y colchones de seguridad. En la industria metalúrgica para la fabricación de moldes. Otras aplicaciones se enfocan hacia la industria juguetera y aún en cinematografía y teatro para la fabricación de escenografías de fácil desmontaje, costo y transportabilidad, y en arquitectura para la elaboración de modelos a escala.

4.3.3 Presentación

Para su función como aislante térmico el poliestireno se puede encontrar como poliestireno expandido o como poliestireno extruido. Ambos tipos de materiales se presentan comúnmente en forma de placas.

Las placas fabricadas a partir de poliestireno expandido pueden, o no, contar con una cubierta soporte de impermeabilización a base de cartón asfaltado, sobre la que se pueden aplicar los sistemas comunes de protección exterior. La cubierta asfaltada es de mayor dimensión que la placa aislante, permitiendo los traslapes del cartón asfaltado en las juntas. Las placas son ofertadas en diferentes medidas y espesores, así como en diferentes densidades según la aplicación que se les dará.

Los paneles de poliestireno extruido tienen una superficie lisa y una estructura de células cerradas, con paredes que se interconectan unas con otras sin dejar vacíos. Se venden con una gran variedad de resistencias a la compresión y no necesita láminas de papel aluminio o de cartón asfaltado. Las placas tienen una longitud de 2.44 m, un ancho de 1.22 m y se manejan tres espesores estándar: 2.54 cm (1 pulg.), 3.81 cm (1½ pulg.) y 5.08 cm (2 pulg.)⁴.

4.3.4 Datos técnicos y características

a) Ventajas

Expandido:

- Su costo es muy bajo.
- Se consigue con facilidad en casi cualquier ciudad.
- Es muy ligero y fácil de manejar.

Extruido:

- Prácticamente no absorbe agua debido a su estructura de célula cerrada.
- No necesita láminas de aluminio o de cartón asfaltado que lo protejan.
- Alta resistencia a la compresión.
- Más baja conductividad térmica que el poliestireno expandido.

b) Desventajas

Expandido:

- Deterioro e irregularidad del espesor en las orillas por un manejo inadecuado.
- Es combustible, pero también es auto extinguido
- Se alarga, contrae y tuerce con los cambios de temperatura
- Con el tiempo, el gas freón con que se espuma es substituido por aire y consecuentemente el valor de su factor de conductividad térmica aumenta.

⁴ Otras dimensiones están disponibles sobre pedido a fábrica

- La presencia de agua reduce su capacidad de aislamiento, por lo que es necesario una impermeabilización adecuada.

Extruido:

- Tienen un alto costo.
- No se consigue con facilidad en todas las ciudades.

c) Datos técnicos del poliestireno expandido

Densidad	16 (Kg/m ³)
Conductividad térmica	0.039 (W/m°C)
Temperatura máxima de operación	77 °C
Absorción de humedad	2.5% en volumen
Transmisión de humedad	2.5 perm
Envejecimiento	En ausencia de agentes químicos tiene una durabilidad mayor a 10 años
Resistencia a la compresión	69 (KPa)
Resistencia a la flexión	170 (KPa)
Estabilidad dimensional	2% máximo de deformación (cambios dimensionales)
Toxicidad	No tóxico, ni irritable
Combustibilidad	Auto extinguiible
Resistencia química	Inchable por productos aromáticos, soluble en cetonas ⁵ , requiere estabilizador a la luz (amarillea), atacable por ácidos oxidantes.
Ataque biológico	No se ataca por hongos, ni mantiene el crecimiento bacteriano.
Composición química fundamental	Polímeros de estireno con benceno ⁶ .

Tabla 4.2
Datos técnicos del poliestireno expandido.

⁵ Compuestos orgánicos productos de la oxidación de alcoholes secundarios, la cetona más sencilla es la acetona.

⁶ Líquido incoloro de olor característico y sabor a quemado, de fórmula C₆H₆.

d) Datos técnicos del poliestireno extruido

Densidad	25.6 (Kg/m ³)
Conductividad térmica	0.029 (W/m°C)
Temperatura máxima de operación	n.d.
Absorción de humedad	0.1 % en volumen (max.)
Transmisión de humedad	0.8 perm (máximo en una pulgada de espesor)
Envejecimiento	15 años
Resistencia a la compresión	172 (KPa)
Resistencia a la flexión	689.5 (KPa)
Estabilidad dimensional	Estable
Toxicidad	No tóxico, ni irritable
Combustibilidad	Auto extinguable
Resistencia química	Inchable por productos aromáticos, soluble en cetonas, atacable por ácidos oxidantes.
Ataque biológico	No se ataca por hongos, ni moho
Composición química fundamental	Polímeros de estireno

Tabla 4.3
Datos técnicos del poliestireno extruido.

4.3.5 Instalación y acabados

a) poliestireno expandido

Para colocar las placas de poliestireno expandido se siguen las siguientes operaciones:

1. Limpieza general de la superficie.
2. Aplicación de la primera capa de adhesivo asfáltico.
3. Colocación de las placas de aislante.
4. Colocación de una membrana impermeable prefabricada.

La membrana impermeable prefabricada está compuesta de una capa de polietileno, una capa de asfalto modificado, una membrana de poliéster o de fibra

de vidrio, una capa más de asfalto modificado, y por último un granulado en colores.

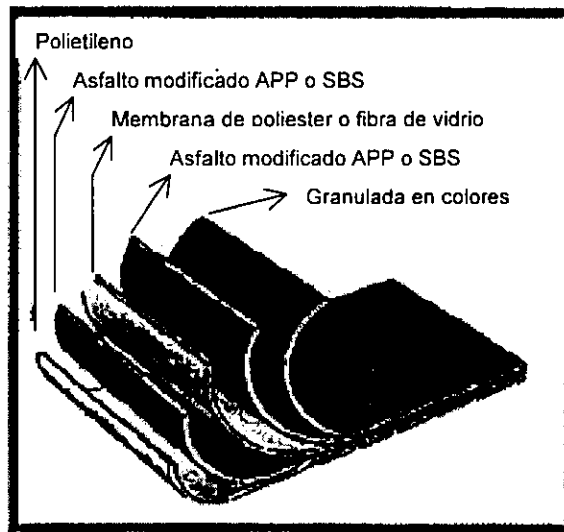


Figura 4.1
Membrana impermeable prefabricada.

b) poliestireno extruido

Para colocar las placas de poliestireno extruido se realizan los siguientes pasos:

1. Limpieza general de la superficie.
2. Sujeción de las placas de poliestireno extruido con pija y rondana, clavo para concreto o pija para concreto.
3. Aplicación del impermeabilizante acrílico.

4.3.6 Resistencia térmica en los sistemas de techo aislados con poliestireno

Las placas de poliestireno, tanto expandido como extruido, se pueden encontrar en varios espesores. Existen 3 o 4 espesores que son los manejados comúnmente por los distribuidores, pero se pueden encontrar más. A continuación se presentan las ecuaciones que expresan el valor de la resistencia térmica del

techo de las viviendas tipo, en función del espesor de la placa aislante, para los sistemas de vigueta bovedilla (Champotón y Álvaro Obregón) y de concreto armado colado en sitio (Nuevo Laredo y Mexicali).

a) poliestireno expandido

$$\text{Vigueta bovedilla} \quad R = 25.64x + 0.2887 \quad \dots \quad (4.3)$$

$$\text{Concreto armado} \quad R = 25.64x + 0.2603 \quad \dots \quad (4.4)$$

b) poliestireno extruido

$$\text{Vigueta bovedilla} \quad R = 34.48x + 0.2622 \quad \dots \quad (4.5)$$

$$\text{Concreto armado} \quad R = 34.48x + 0.23387 \quad \dots \quad (4.6)$$

4.3.7 Costos de material y mano de obra

a) poliestireno expandido

1. Costos de materiales y flete

Descripción	Unidad	Precio Unitario Neto (\$)
Adhesivo asfáltico	Bote (18 l)	203
Membrana impermeable prefabricada	Rollo*	529
Flete (Villahermosa a Álvaro Obregón)	m ³	45
Flete (Campeche a Champotón)	m ³	45

*El rollo de la membrana impermeable prefabricada es de 10 m².

2. Costo de las placas

Espesor (m)	Espesor (pulg)	Unidad	Precio Unitario Neto (\$)
0.013	½	m ²	4.90
0.019	¾	m ²	9.00
0.025	1	m ²	11.00
0.032	1 ¼	m ²	13.10
0.038	1 ½	m ²	17.10
0.051	2	m ²	21.20
0.076	3	m ²	31.40
0.102	4	m ²	41.60
0.152	6	m ²	61.90

3. Costos de mano de obra

Descripción	Costo (\$/m ²)
Mano de obra por la instalación del sistema completo*	30.00

* Incluye la limpieza de impermeabilizaciones anteriores, la instalación de las placas de poliestireno expandido, y la colocación del sistema impermeabilizante prefabricado.

b) poliestireno extruido

1. Costos de materiales y flete

Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$)
Elementos de fijación	-	150
Impermeabilizante	Cubeta (19 l)	478
Impermeabilizante	Cubeta (4 l)	140
Flete (Campeche a Champotón)	m ³	45
Flete (Villahermosa a Álvaro Obregón)	m ³	45

2. Costo de las placas

Espesor (m)	Espesor (pulg)	Ancho (m)	Largo (m)	Precio Unitario Neto (\$)
0.025	1	1.22	2.44	210.20
0.038	1 ½	1.22	2.44	315.30
0.051	2	1.22	2.44	410.50

3. Costos de mano de obra

Descripción	Costo (\$/m²)
Mano de obra por la instalación del sistema completo*	20.00

* Incluye la remoción de las capas anteriores de impermeabilizante y la limpieza de la superficie, la instalación de las placas y la aplicación del impermeabilizante acrílico.

4.4 Poliuretano

4.4.1 Descripción

El poliuretano es el nombre genérico de los materiales fabricados mediante una polimerización de uretano. La composición química fundamental del poliuretano es la de polímeros de isocianato. El poliuretano flexible está fabricado esencialmente de los siguientes productos:

- Polioli (Polioxipropilenglicol) en un 55% a 70% aproximadamente
- TDI (Di-isocianato de Tolueno) en un 25% a 35%
- Agua
- Catalizador Metálico (Octoato Estanoso)
- Catalizador Aminico
- Surfactante o Estabilizador
- Agente Soplante Auxiliar

- Colorantes
- Aditivos (Retardantes a la Flama, Antiestáticos, Antioxidantes, etc.)

4.4.2 Aplicaciones

Este producto tiene una gran variedad de aplicaciones. Es empleado como relleno para asientos y colchonetas, en sillas de oficina, como revestimiento de rodillos industriales, en defensas para muelles, en una gran cantidad de autopartes, etc.

Una más de sus aplicaciones relevantes es su uso como aislante térmico en cubiertas de techos de casas habitación y de naves industriales, tanques, sistemas de tuberías, cámaras frigoríficas, carrocerías, embarcaciones, vagones ferroviarios, conductos de aire acondicionado, furgones térmicos, etc.

4.4.3 Presentación

En nuestro país existen fundamentalmente dos presentaciones para el poliuretano como aislante térmico, el poliuretano en placas rígidas con recubrimiento de fieltro asfaltado o como espuma de poliuretano a base de aspersion.

Debido a su gran versatilidad y rapidez de instalación, la espuma de poliuretano a base de aspersion (poliuretano esreado) tiene una mayor demanda que las placas rígidas. Por ello, se selecciona esta presentación del poliuretano para estudiarlo como aislante térmico.

La espuma rígida de poliuretano se obtiene cuando dos productos químicos (un disosianato y un poliol) se mezclan en presencia de catalizadores y activadores adecuados. En la aplicación de la espuma rígida por aspersion la mezcla tiene lugar en una reducida cámara en la pistola aspersora. Desde cada

uno de los tambores de los componentes, estos son impulsados por medio de bombas dosificadoras hasta la cámara de mezcla de la pistola. Una vez mezclados los componentes, el calor liberado durante la reacción se emplea para vaporizar el agente de expansión, que es el causante de la transformación de la mezcla en espuma con un volumen aproximado de 25 veces el volumen de los componentes en estado líquido.

4.4.4 Datos técnicos y características

a) Ventajas

- Debido a su baja densidad, el poliuretano por aspersión resulta sumamente ligero, con lo cuál no se sobrecargan los techos.
- El poliuretano es inodoro y su estructura de celda cerrada lo hace prácticamente impermeable.
- Debido a que es un líquido que al solidificar aumenta 25 veces su volumen, sella las grietas o juntas de construcción en las losas de concreto.
- Minimiza el agrietamiento en las losas de concreto debido a los cambios de temperatura ya que su gran flexibilidad le permite moverse con las dilataciones o contracciones de la losa.
- Al aplicarse, forma una capa monolítica libre de juntas o uniones, siguiendo la forma de la superficie evitando así vacíos o cavernas bajo la superficie del aislamiento.
- Puede lograrse cualquier espesor.

b) Desventajas

- Para su aspersión se necesita un compresor y una pistola venturi.
- Su instalación requiere de personal calificado.
- La mezcla de componentes debe realizarse en campo.

c) Datos técnicos del poliuretano por aspersión

Densidad	28 (Kg/m ³) a una temperatura media de 24° C
Conductividad térmica	0.0202 (W/m°C)
Temperatura máxima de operación	110 (°C)
Absorción de humedad	Menor al 5 % en volumen
Transmisión de humedad	2 perm
Envejecimiento	No existe un consenso en cuanto al envejecimiento del poliuretano. La compañía Lynatach R/D reporta un abatimiento anual de entre 20 y 30% del valor de la resistencia térmica. El comité de Preformad Plastic Thermal Insulation de la Cardian General Standar Board establece una k=0.0245 (W/m°C) para un poliuretano envejecido en lugar de una k=0.0159 (W/m°C)
Resistencia a la compresión	de 172.37 a 241.32 (KPa)
Resistencia a la tensión	de 248.21 a 310.26 (KPa)
Resistencia al corte	151.68 (KPa)
Estabilidad dimensional	Deformable 5% máximo en volumen.
Toxicidad	En su instalación deberá evitarse el contacto con vapores, niebla o derrames de sus componentes. Durante su combustión se genera humos tóxicos y existe el riesgo potencial de generación de ácido cianhídrico (HCN). Existen, además, evidencias de ser altamente carcinógeno.
Combustibilidad	Auto extinguable
Resistencia química	No conviene la inmersión prolongada en aceites o solventes. Resistencia limitada a ácidos diluidos y bases diluidas. Poca resistencia a ácidos concentrados. El clorobenceno, el tetracloruro, el acetato de etilo y la acetona producen hinchazón y reducen notablemente la resistencia mecánica.
Ataque biológico	En esencia es inerte, pero ocasionalmente en combinación con polen u otros materiales orgánicos del ambiente pueden producir hongos o aún hierbas.
Composición química fundamental	Polímeros de isocianato.

Tabla 4.4
Datos técnicos del poliuretano esreado.

4.4.5 Instalación y acabados

El poliuretano por aspersión es el material que permite una mayor velocidad de instalación. El primer paso en la aplicación de poliuretano por aspersión es la exhaustiva limpieza de la superficie; la cual debe desprender totalmente grasa, moho, hongos y óxido. Después viene la aplicación del poliuretano. Y finalmente, se aplica una capa de impermeabilizante acrílico elastomérico de alta calidad.

En resumen, los pasos a seguir para la aplicación del poliuretano por aspersión en la casa tipo son:

1. Remoción de las capas anteriores de impermeabilizante
2. Limpieza exhaustiva de la superficie
3. Aplicación del poliuretano con el espesor adecuado
4. Aplicación de una capa de impermeabilizante acrílico

4.4.6 Resistencia térmica en los sistemas aislados con poliuretano

Como se mencionó anteriormente, se puede lograr cualquier espesor deseado para este aislante térmico, por lo tanto, abajo se presentan las ecuaciones que proporcionan el valor de la resistencia térmica para los dos sistemas constructivos manejados en este trabajo. Estas ecuaciones están en función del espesor de la espuma de poliuretano.

$$\text{Vigueta-bovedilla} \quad R = 49.50x + 0.2622 \quad \dots \quad (4.7)$$

$$\text{Concreto armado} \quad R = 49.50x + 0.23387 \quad \dots \quad (4.8)$$

4.4.7 Costos de material y mano de obra

El precio comercial es en promedio de 85 \$/m² por pulgada de espesor instalada. Este precio incluye el transporte de materiales, herramientas y personal en un radio de 20 km, la mano de obra y la instalación de una capa de impermeabilizante acrílico. A diferencia de otros sistemas de aislamiento, el distribuidor del poliuretano esparcido instala no solo el aislamiento, sino también se encarga de la preparación de la superficie a aislar y de la aplicación del impermeabilizante.

1. Costos de flete

Trayecto	Costo (\$/m ³)
Campeche a Champotón	45
Villahermosa a Álvaro Obregón	45

4.5 Fibra de vidrio

4.5.1 Descripción

La fibra de vidrio está elaborada a partir de las materias primas tradicionales necesarias para la fabricación del vidrio: sílice, cal, alúmina y magnesita. Los hilos destinados al refuerzo de resina reciben una cubierta plástica conteniendo productos antiestáticos, plastificantes y agentes de puente que permiten obtener muy buenas características de puesta en servicio o moldeado, y asegurar una buena compatibilidad vidrio-resina. Después de un tratamiento plástico para eliminar el agua residual y fijar los productos de ensimaje, la fibra de vidrio, se somete a transformaciones que conducen a las diferentes presentaciones bajo las cuales es comercializada.

4.5.2 Aplicaciones

La fibra de vidrio tiene una gran variedad de aplicaciones, se emplea tanto a escala industrial así como para la generación de productos de uso cotidiano. En la industria del transporte se emplea en la elaboración de carrocerías de autobuses y embarcaciones, las cuales son resistentes y más ligeras que las metálicas. También se utiliza para el recubrimiento de conductos de aire acondicionado.

En la industria de la construcción se emplean láminas de fibra de vidrio para techos, se realizan domos de fibra de vidrio y se usa también como aislante en el interior de muros de mampostería, cancelas divisorias prefabricados y algunos tipos de pisos. Por su coeficiente de absorción de sonido, es apropiado para el tratamiento acústico de salones, auditorios, cines y estudios de radio o televisión.

Otra aplicación relevante de la fibra de vidrio es su uso como aislante térmico de equipos industriales con altas temperaturas de operación, como calderas, hornos, tanques y tuberías. Es también usado en otros equipos industriales en donde evita las ganancias de calor, como cuartos frigoríficos y en techos de naves industriales. En el hogar se emplea en aparatos domésticos como refrigeradores, estufas, hornos y se ha propuesto su uso como aislante térmico de las viviendas. Esta última aplicación es la que merece nuestra atención para los objetivos de este trabajo.

4.5.3 Presentación

Como aislante térmico, la fibra de vidrio cuenta con una gran cantidad de presentaciones en el mercado. Existe la fibra de vidrio aglutinada con diversas sustancias como la resina fenólica termofija; con aceite lubricante para darle mayor flexibilidad; con una resina fenólica de fraguado térmico que le permite soportar altas temperaturas de hasta 540 °C, además de incluir un recubrimiento

de aluminio reforzado con hilos de fibra de vidrio, sin recubrimiento y con foil de aluminio.

Para el caso de la instalación de la fibra de vidrio como aislante en techo, se pueden emplear placas rígidas de diversos espesores y acabados. En el presente trabajo utilizamos el modelo RF 4200 para aislar térmicamente el techo de las viviendas.

4.5.4 Datos técnicos y características

a) Ventajas

- Existe una amplia gama de productos y una gran red de distribución.
- Envejece menos que los aislantes antes mencionados.
- Dimensionalmente estable.

b) Desventajas

- Desgraciadamente para su instalación en techos de concreto ya construidos el fabricante no proporciona ningún método.
- Su instalación en el exterior requiere de una impermeabilización casi perfecta, además se debe brindar a la fibra de vidrio resistencia mecánica.
- El ocultar la fibra de vidrio resulta incomodo y caro.
- El manejo de la fibra de vidrio resulta complicado.
- No tiene una gran resistencia mecánica.

c) Datos técnicos de la fibra de vidrio (RF-4200)

Densidad	16 (kg/m ³)
Conductividad térmica	0.034 (W/m°C) a 24°C
Temperatura máxima de operación	232 (°C)
Absorción de humedad	Menos de 5% en peso (96 horas de exposición en un ambiente de 95% de humedad relativa y 49°C)
Transmisión de humedad	Sólo habrá transmisión de humedad a través de las juntas y/o uniones mal selladas.
Envejecimiento	La fibra de vidrio casi no envejece, sin embargo puede presentar una degradación en la resina fenólica a fenol y formaldehído dejando huecos.
Resistencia mecánica	13.24 (KPa)
Estabilidad dimensional	Deformable 3.5% máximo en volumen
Toxicidad	Existe una controversia en cuanto a si produce o no cáncer pulmonar. Debido a su instalación, esta posibilidad no es considerada.
Combustibilidad	La fibra de vidrio es incombustible, sin embargo la resina fenólica puede desprender monóxido y bióxido de carbono, agua y hollín.
Resistencia química	La fibra de vidrio es altamente reactiva con el ácido fluorhídrico. Puede ser atacada por óxidos alcalino. Los ácidos débiles la vuelven friable ⁷ .
Ataque biológico	Nulo
Composición química fundamental	Silicato, vitreos, borax, dolomita.

Tabla 4.5
Datos técnicos de la fibra de vidrio.

4.5.5 Instalación y acabados

La mayoría de las presentaciones de fibra de vidrio están diseñadas para la instalación durante el proceso de construcción de naves industriales y comercios. El fabricante no reporta ningún método de instalación para casas habitación o

⁷ Friable: que se desmenuza fácilmente.

sobre losas de concreto ni en el exterior ni en el interior para edificaciones ya construidas. En la ciudad de Mexicali, se han realizado proyectos piloto de instalación de fibra de vidrio como aislante térmico; tomando como base estos estudios⁸, este trabajo propone la instalación de la fibra de vidrio de la siguiente manera:

1. Limpieza general de la superficie.
2. Aplicación de una mano de adhesivo asfáltico de 3mm de espesor para adherir la fibra de vidrio al techo.
3. Colocación de placas de fibra de vidrio (RF-4200) con el espesor adecuado.
4. Colocación de una membrana impermeable prefabricada.

4.5.6 Resistencia térmica en los sistemas aislados con fibra de vidrio

Al igual que para los materiales aislantes anteriores, se presentan ecuaciones que representan el valor de la resistencia térmica del sistema de techo en función del espesor de la placa de fibra de vidrio.

$$\text{Vigueta-bovedilla} \quad R = 29.41x + 0.2887 \quad \dots \quad (4.9)$$

$$\text{Concreto armado} \quad R = 29.41x + 0.2603 \quad \dots \quad (4.10)$$

⁸ Según el fideicomiso para el ahorro de energía de la ciudad de Mexicali

4.5.7 Costos de material y mano de obra

1. Costos de materiales y flete

Descripción	Unidad	Precio Unitario Neto (\$)
Membrana impermeable prefabricada	Rollo*	529.00
Adhesivo Asfáltico	Bote (18 l)	203.00
Flete (Villahermosa a Álvaro Obregón)	m ³	45
Flete (Campeche a Champotón)	m ³	45

El rollo de la membrana impermeable prefabricada es de 10 m²

2. Costo de las placas

Espesor (m)	Espesor (pulg)	Ancho (m)	Largo (m)	Precio Unitario Neto (\$)
0.025	1	0.61	1.22	30.82
0.051	2	0.61	1.22	56.90

3. Costos por mano de obra

Descripción	Costo (\$/m ²)
Mano de obra por la instalación del sistema completo*	35.00

* Incluye la limpieza de la superficie de impermeabilizaciones anteriores, la fijación de las placas de fibra de vidrio, y la colocación de la membrana impermeabilizante.

Como se puede observar, cada uno de estos materiales aislantes cuentan con diferentes aspectos técnicos que dificultan la selección de uno de ellos como el más adecuado para aislar el techo de una vivienda. Una característica relevante de un material aislante es su baja conductividad térmica, pero no necesariamente el material con la conductividad más baja es el más adecuado. Este material

puede contar con algunas desventajas, como pueden ser su instalación y disponibilidad en el mercado local. Es necesario tomar en cuenta el envejecimiento que puede presentar el aislante, el cual trae consigo la disminución de algunas propiedades tan importantes como la conductividad térmica. Para seleccionar el material aislante se debe poner atención también en el tipo de clima, ya que estas condiciones afectarán en el desempeño del material como aislante térmico.

Además de considerar estos aspectos técnicos, existe un factor muy importante en la decisión del material a emplear, el económico. Un aislante puede tener las mejores características técnicas, pero también el costo más alto de todos. Este costo no solamente involucra al material aislante en sí, sino también a los materiales necesarios para su instalación, su transportación de ser necesaria y por supuesto, al costo de la mano de obra. El análisis económico requiere de tomar en cuenta el tiempo que va a durar el aislante, así como el beneficio que nos puede acarrear. Este análisis costo-beneficio, junto con las características técnicas de cada uno de los materiales, nos indicará cual es el más adecuado para nuestras condiciones.

En el siguiente capítulo se realiza el estudio costo-beneficio para cada uno de los aislantes térmicos descritos en el presente capítulo, este permite realizar la selección final del material más adecuado para cada una de las ciudades de estudio.

Bibliografía del capítulo 4

- [1] FERREIRO, Héctor et. al., Manual de arquitectura solar, México, Trillas, 1991, 292 pp.
- [2] MEXICO. FIDEICOMISO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, Guía para aplicar criterios de eficiencia energética en construcciones para uso habitacional, 76 pp.
- [3] MEXICO, DICALITE, Carlita, protección termoacústica y ligereza, 16 pp.
- [4] MEXICO, OWENS CORNING, Foamular, Aislante térmico de poliestireno, 6 pp.
- [5] MEXICO, Memorias del 1er. encuentro sobre aislamiento térmico de vivienda en climas extremosos, Hermosillo, Sonora, 1992, 96 pp.
- [6] MEXICO, VITROFIBRAS, Especificaciones técnicas de vitro fibras S.A.

Páginas de Internet:

- <http://www.fanosa.com.mx> (octubre 1999)
- <http://www.vto.com.mx> (octubre 1999)
- <http://www.imperquimia.com.mx> (noviembre 1999)
- <http://www.isotex.com/origenes.htm> (octubre 1999)
- <http://www.seccionamarilla.com.mx> (septiembre 1999)
- <http://www.espumas.com.mx> (octubre 1999)
- <http://www.tecnifoam.com.ar/espumar.htm> (octubre 1999)
- <http://www.rolan.com> (septiembre 1999)
- <http://www.multypanel.com/spanish/rcompone.htm> (octubre 1999)

Selección del aislante más adecuado para cada tipo de clima y ahorro de energía por su uso

En el capítulo anterior se presentan características y datos técnicos de los aislantes térmicos más frecuentemente empleados para aplicarse en los techos de las viviendas localizadas en climas cálidos del país. Pero como se mencionó, se necesita de otro criterio para realizar una selección adecuada del material más conveniente. Este criterio es el análisis beneficio-costos, el cual se presenta en este capítulo.

Con la instalación del aislante térmico en el techo se trata de reducir el consumo de energía provocado por el uso continuo de los equipos de aire acondicionado, este ahorro de energía trae consigo varios beneficios, como la disminución de la cantidad facturada por consumo de energía eléctrica y aplicado en gran escala ayuda a disminuir la creciente demanda de energía eléctrica. En este capítulo también se presentan los ahorros, tanto de energía como económicos, debidos a la instalación de aislantes térmicos en los techos de casas habitación.

5.1 Espesor óptimo de cada aislante térmico

A continuación se describe el procedimiento aplicado para encontrar el espesor óptimo que corresponde a cada aislante en cada una de las ciudades de estudio. Este procedimiento es ejemplificado con los resultados parciales y finales que se obtienen para el poliestireno extruido aplicado en la ciudad de Álvaro Obregón. En resumen, el método consta en sumar el total del costo por la instalación del material aislante con el total del costo de la energía generado por el empleo del aire acondicionado, considerando que ya ha sido instalado el aislante. El espesor para el cual la suma de estos valores sea el menor, se considerará como el espesor óptimo a emplear, ya que es el que tiene la combinación de

menor costo de instalación y mayor ahorro económico al instalar el aislante térmico.

5.1.1 Costo del sistema de aislamiento

El costo total del sistema de aislamiento es el resultado de la suma de los costos de los materiales, la mano de obra y del flete (si es necesaria la transportación del material). A cada uno de los diferentes espesores de material les corresponde un precio diferente. Para realizar la suma de los costos del sistema de aislamiento y del gasto económico que implica el uso de acondicionadores de aire (una vez que ya se ha instalado el aislante), se toman costos mensuales, así que el costo total de la instalación se divide entre el tiempo de vida en meses del sistema. En la tabla 5.1 se pueden ver los resultados obtenidos para el sistema de poliestireno extruido aplicado en Álvaro Obregón, junto con los valores de resistencia térmica (R) y coeficiente global de transferencia de calor (U) para cada uno de los espesores de las placas.

Espesor (m)	Costo del aislante (\$/mes)	R (m ² °C/W)	U (w/m ² °C)
0.0254	79.59	1.1380	0.8787
0.0381	96.21	1.5759	0.6346
0.0508	111.28	2.0138	0.4966

Tabla 5.1

Los valores de R de esta tabla se obtienen con la ecuación 4.5 mostrada en el capítulo cuarto. Para el caso de los otros aislantes, el valor de R se obtiene de su correspondiente expresión mostrada en el capítulo cuatro.

5.1.2 Costo por uso de aire acondicionado con aislante

Para obtener el costo por el uso de los equipos de aire acondicionado se recurre a la hoja de cálculo que se emplea en el capítulo tres para obtener la carga

térmica a vencer en cada ciudad y habitación de la casa tipo. En esta hoja se sustituye el valor del coeficiente global de transferencia de calor (U) que corresponde a cada uno de los diferentes espesores de aislante (tabla 5.1), con esto se obtienen los datos para conocer los Watts térmicos (W_t) que necesita remover el equipo de ventana de cada habitación.

Para conocer aproximadamente la demanda eléctrica (Watts eléctricos) de los equipos, se emplea la relación de eficiencia energética ($REE = W_t/W_e$). En los cálculos se usa un valor de $REE=2.6$, que corresponde a un promedio de los diferentes modelos de equipos de ventana mostrados en el capítulo 3 (tabla 3.11).

Una vez que se tiene el valor de demanda eléctrica ya se puede obtener el costo que este produce. Al igual que en el capítulo tres, esta demanda se multiplica por el tiempo de uso y por los días del mes para obtener los kWh que se consumen en un mes. Ya con los kWh/mes es posible obtener el total de la facturación correspondiente al consumo por los equipos de aire acondicionado, empleando las tarifas descritas en el capítulo tres.

Los resultados se obtienen por medio de hojas de cálculo en las cuales únicamente es necesario insertar el valor de los Watts térmicos y se obtiene como resultado el costo mensual por empleo de equipos de aire acondicionado. Cabe recordar que se considera que los equipos de aire acondicionado se emplean únicamente en los 6 meses que CFE maneja como de verano, debido a esto también la hoja de calculo proporciona un valor prorrateado del costo por el uso de aire acondicionado. Este costo prorrateado se emplea para manejar una facturación promedio constante a lo largo de los 12 meses del año, y es el valor que se considera para sumarlo con el valor del costo del aislante. En la tabla 5.2 se pueden ver los resultados obtenidos para la ciudad de Álvaro Obregón y con un sistema aislante con base en poliestireno extruido¹.

¹ Los precios de la energía eléctrica son los que corresponden a cada región de este estudio.

Espesor (m)	W _t rec 1	W _t rec 2	W _t scc	W _t Totales	W _e totales	kWh/mes	Costo por a/a* prorrateado (\$/mes)
0.0254	2421	2540	5409	10 370	3988.46	1483.71	690.08
0.0381	2238	2404	5088	9 730	3742.31	1392.14	630.70
0.0508	2135	2327	4907	9 369	3603.46	1340.49	597.21

*a/a = aire acondicionado

Tabla 5.2

5.1.3 Espesores óptimos de cada aislante para cada ciudad tipo

Una vez que se obtienen los valores del total del costo por la instalación del material aislante y del total del costo de la energía generado por el empleo del aire acondicionado, se suman ambos valores y el espesor al que corresponda la suma con menor valor es el considerado como óptimo. Para el caso del ejemplo que se maneja, el resultado correspondiente a los espesores comerciales es el siguiente:

Espesor (m)	Suma de costos (\$/mes)
0.0254	769.67
0.0381	726.91
0.0508	708.40

Dados estos resultados se concluye que el espesor a emplear, en el caso del sistema de aislante con base en poliestireno expandido y para la ciudad de Álvaro Obregón, es de 0.0508 m (2 pulgadas).

En el caso de los materiales que se venden en placas de tamaño fijo (poliestireno expandido, poliestireno extruido y fibra de vidrio), se realiza el cálculo de la suma de costos antes descrita para cada uno de los espesores estándar manejados comercialmente. Para el caso de los materiales en los que se puede lograr cualquier espesor (mortero de carlita "A" y poliuretano esparcido), se comenzó por el espesor mínimo recomendado por el distribuidor y se realizaron

evaluaciones para diversos espesores propuestos, hasta llegar al espesor máximo recomendado. Los valores de suma menores obtenidos se tomaron como referencia para hacer una serie de iteraciones y así llegar al espesor óptimo.

En las tablas mostradas abajo se presentan, para cada ciudad y cada aislante, los valores críticos obtenidos para determinar el espesor óptimo de cada caso. No se presentan todos los valores debido a que ocuparían mucho espacio y con los mostrados se puede observar la tendencia.

Aislante	Espesor (m)	Costo del aislante (\$/mes)	Costo por a/a prorrateado (\$/mes)	Suma de costos (\$/mes)	Espesor seleccionado
Carlita "A"	0.06	88.81	723.30	812.11	
	0.07	95.90	705.67	801.57	
	0.075	99.44	684.98	784.42	←
Poliestireno Expandido	0.0508	84.24	629.22	713.46	
	0.0762	91.89	587.19	679.08	
	0.1016	99.55	570.67	670.22	
	0.1524	114.79	554.80	669.59	←
Poliestireno Extruido	0.0254	79.59	690.08	769.67	
	0.0381	96.21	630.70	726.91	
	0.0508	111.28	597.21	708.40	←
Poliuretano Espreado	0.036	101.09	595.44	696.53	
	0.037	103.34	592.66	696.00	←
	0.038	105.60	590.62	696.22	
Fibra de Vidrio	0.0254	100.53	711.24	811.77	
	0.0508	124.99	612.79	737.28	←

Tabla 5.3
Resultados de espesores óptimos
para la ciudad de Álvaro Obregón.

Aislante	Espesor (m)	Costo del aislante (\$/mes)	Costo por a/a prorrateado (\$/mes)	Suma de costos (\$/mes)	Espesor seleccionado
Carlita "A"	0.06	91.65	979.43	1071.08	
	0.07	99.21	951.41	1050.62	
	0.075	102.98	939.53	1042.51	←
Poliestireno Expandido	0.0508	84.24	881.36	965.60	
	0.0762	91.89	837.56	929.45	
	0.1016	99.55	820.66	920.22	
	0.1524	114.79	803.04	917.83	←
Poliestireno Extruido	0.0245	79.59	944.82	1024.41	
	0.0381	96.21	882.10	978.31	
	0.0508	111.28	847.86	959.14	←
Poliuretano Espreado	0.036	101.09	845.91	947.00	
	0.037	103.34	843.13	946.47	←
	0.038	105.60	841.18	946.78	
Fibra de Vidrio	0.0254	100.53	966.90	1067.43	
	0.0508	124.99	864.19	989.18	←

Tabla 5.4
Resultados de espesores óptimos para la ciudad de Champotón.

Aislante	Espesor (m)	Costo del aislante (\$/mes)	Costo por a/a prorrateado (\$/mes)	Suma de costos (\$/mes)	Espesor seleccionado
Carlita "A"	0.06	89.89	586.99	676.88	
	0.07	97.16	560.18	657.34	
	0.075	100.79	548.86	649.65	←
Poliestireno Expandido	0.0508	82.69	494.02	576.71	
	0.0762	89.58	453.29	542.87	
	0.1016	96.46	437.61	534.07	
	0.1524	110.17	420.91	531.08	←
Poliestireno Extruido	0.0254	79.06	553.96	633.02	
	0.0381	95.41	495.60	591.01	
	0.0508	110.22	462.85	573.07	←
Poliuretano Espreado	0.036	99.59	461.18	560.77	
	0.037	101.84	458.39	560.23	←
	0.0381	104.33	456.26	560.59	
Fibra de Vidrio	0.0254	99.75	575.02	674.77	
	0.0508	123.44	478.06	601.50	←

Tabla 5.5
Resultados de espesores óptimos para la ciudad de Nuevo Laredo.

Aislante	Espesor (m)	Costo del aislante (\$/mes)	Costo por a/a prorrateado (\$/mes)	Suma de costos (\$/mes)	Espesor seleccionado
Carlita "A"	0.06	78.01	364.21	442.22	
	0.07	83.30	346.49	429.79	
	0.075	85.94	339.04	424.98	←
Poliestireno Expandido	0.0508	82.69	304.02	386.71	
	0.0762	89.58	285.77	375.35	
	0.1016	96.46	277.21	373.67	←
	0.1524	110.17	269.06	379.23	
Poliestireno Extruido	0.0254	79.06	342.44	421.50	
	0.0381	95.41	304.72	400.13	←
	0.0508	110.22	290.53	400.75	
Poliuretano Espreado	0.026	77.00	306.42	383.24	
	0.027	79.26	303.67	382.93	←
	0.028	81.51	301.73	383.24	
Fibra de Vidrio	0.0254	99.75	356.23	455.98	
	0.0508	123.44	297.10	420.54	←

Tabla 5.6
Resultados de espesores óptimos
para la ciudad de Mexicali.

Como se puede ver en los resultados obtenidos, los espesores óptimos para las placas de poliestireno expandido resultan ser bastante grandes (0.1016 y 0.1524 m). En estudios y proyectos piloto realizados hace aproximadamente 15 años atrás, cuando CFE inició este tipo de programas, se propone emplear placas de 0.0381 y 0.0508 m (1.5 y 2 pulgadas) para conformar los sistemas de aislamiento con base en poliestireno expandido. Esta diferencia en los espesores a aplicar se debe a que el costo de la energía ha aumentado en mayor proporción al costo de este aislante, y que el costo de las placas de poliestireno expandido es realmente bajo. Así que se propone trabajar con las placas de poliestireno de 0.0508 m (2 pulgadas), por resultar más cómodo el manejo de las placas de este espesor, por que ya se ha comprobado su efectividad y porque, como se puede ver en las tablas anteriores, el porcentaje de desviación entre la suma de costos del espesor resultante como óptimo y el que se propone como indicado para su

uso no supera al 9%. A continuación se presenta una tabla en donde se resumen los resultados de los espesores de cada material aislante a emplear en cada una de las diferentes ciudades de estudio, así como el porcentaje de desviación entre el espesor óptimo y el espesor a emplear. Este porcentaje es cero en todos los casos a excepción del poliestireno expandido, ya que de éste se propone emplear un espesor diferente al obtenido como el óptimo.

Ciudad	Aislante	Espesor resultante (m)	Espesor propuesto (m)	Porcentaje de desviación (%)*
Álvaro Obregón	Carlita "A"	0.075	0.075	0
	Poliestireno expandido	0.1524	0.0508	6.55
	Poliestireno extruido	0.0508	0.0508	0
	Poliuretano	0.035	0.035	0
	Fibra de vidrio	0.0508	0.0508	0
Champotón	Carlita "A"	0.075	0.075	0
	Poliestireno expandido	0.1524	0.0508	5.20
	Poliestireno extruido	0.0508	0.0508	0
	Poliuretano	0.035	0.035	0
	Fibra de vidrio	0.0508	0.0508	0
Nuevo Laredo	Carlita "A"	0.075	0.075	0
	Poliestireno expandido	0.1524	0.0508	8.59
	Poliestireno extruido	0.0508	0.0508	0
	Poliuretano	0.037	0.037	0
	Fibra de vidrio	0.0508	0.0508	0
Mexicali	Carlita "A"	0.075	0.075	0
	Poliestireno expandido	0.1016	0.0508	3.49
	Poliestireno extruido	0.0381	0.0381	0
	Poliuretano	0.027	0.027	0
	Fibra de vidrio	0.0508	0.0508	0

*El porcentaje de desviación se calcula entre los valores de la suma de costos del espesor encontrado como óptimo y el espesor propuesto.

Tabla 5.7
Resultados de espesores óptimos y espesores a emplear para cada ciudad de estudio.

5.2 Análisis beneficio-costo

Una vez que se tienen los valores de los espesores óptimos para cada uno de los aislantes y para cada una de las ciudades, el siguiente paso es investigar si el proyecto de instalación del aislante resulta rentable. El método que se emplea en este trabajo es el análisis de la relación beneficio-costo, el cual es muy comúnmente usado en la evaluación de proyectos. Como su nombre lo sugiere, el método beneficio-costo se basa en la relación de los beneficios a los costos asociados con un proyecto en particular. Un proyecto se considera atractivo cuando los beneficios derivados de su implementación exceden a los costos asociados. En general, los beneficios son ventajas en términos de dinero que recibe el propietario. Los costos son los gastos anticipados para la construcción, operación, mantenimiento, etc.

El primer paso del método es encontrar el beneficio que proporciona la implementación del proyecto, en nuestro caso, el beneficio económico que nos acarrea la instalación del sistema de aislante en el techo de la casa tipo. Este valor se encuentra por medio de la ecuación 5.1.

$$B = A \times FVP \quad \dots \quad (5.1)$$

Donde:

B = Beneficio (\$)

A = Ahorro neto mensual (\$/mes)

FVP = Factor de valor presente

El Factor de valor presente (FVP) se emplea para considerar el cambio del valor del dinero a través del tiempo, y se puede calcular por medio de la ecuación 5.2.

$$FVP = \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \quad \dots \quad (5.2)$$

Donde:

n = tiempo de vida útil del proyecto (meses)

i = tasa de descuento

La tasa de descuento se puede considerar para dos casos diferentes: el primero, en el cual se presenta la situación de un préstamo; y el segundo, en el cual se hace el supuesto que se dejaría de ahorrar ese dinero. Las ecuaciones para los dos casos son las siguientes, respectivamente.

$$i = \frac{y - f}{1 + f} \dots (5.3)$$

$$i = \frac{x - f}{1 + f} \dots (5.4)$$

Donde:

f = inflación mensual

y = tasa bancaria de préstamo mensual

x = tasa bancaria de ahorro mensual

Para el actual trabajo se considera que se pide un préstamo para realizar la compra e instalación del sistema de aislamiento, por tanto, la ecuación empleada es la 5.3. Se considera el valor de la inflación del año de 1999 que es de 12.29%², mientras que para la tasa de préstamo bancario se considera 36.08% (anual), que corresponde a uno punto cinco veces la tasa interbancaria porcentual promedio².

Realizando los cálculos antes indicados se obtiene que la tasa de descuento a manejar es de 1.96% mensual.

Una vez obtenido el valor del beneficio, este se divide entre el costo inicial por la instalación del sistema de aislamiento térmico, esto incluye mano de obra, materiales y flete de ser necesario. Si el resultado de esta división (B/C1) resulta

² Fuente: Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP)

mayor que uno, se considera que el proyecto a desarrollar es rentable; si se obtiene un valor menor, se considera que no vale la pena proseguir con el proyecto.

5.3 Periodo de Recuperación del Capital Invertido

Con el análisis beneficio-costos se puede saber si el proyecto de aislante es rentable o no, pero no nos indica cual de los sistemas es el mejor, esto se debe a que las alternativas cuentan con diferentes tiempos de vida útil. Para poder realizar una comparación entre las alternativas con diferente tiempo de vida útil se emplea en este capítulo el análisis del periodo de recuperación del capital invertido. Este método nos indica el tiempo en el cual se paga la inversión inicial por medio de los ahorros obtenidos con la implementación del proyecto, y para conocer este periodo se aplica la expresión 5.5.

$$m = \frac{\ln\left(1 - \frac{CI \times i}{A}\right)}{\ln(1+i)} \dots (5.5)$$

Donde:

m = periodo de pago (mes)

CI = Costo inicial del proyecto (\$)

i = tasa de descuento

A = Ahorro neto mensual (\$/mes)

Una vez que se obtiene este resultado, se divide entre el tiempo de vida útil (n) estimado para el sistema de aislante. De esta forma se obtiene un valor el cual nos permite comparar las opciones con diferentes tiempos de vida (m/n). Se elige como la mejor opción la que resulte con el valor de m/n más bajo, ya que este es el que presenta mayores beneficios durante su tiempo de vida.

5.4 Resultados de la evaluación económica

En las siguientes tablas se muestran los resultados de la evaluación económica obtenidos para los diferentes aislantes y para las cuatro ciudades de estudio, estos datos se obtienen con base en el espesor óptimo propuesto (tabla 5.7) para cada caso. Además, se pueden ver los datos más relevantes empleados para la realización de la evaluación económica.

5.4.1 Resultados de la evaluación económica en Álvaro Obregón

Aislante	Mortero de Carlita "A"	Poliestireno expandido	Poliestireno extruido	Poliuretano esparado	Fibra de vidrio
Espesor (m)	0.075	0.0508	0.0508	0.037	0.0508
Costo de inversión (\$)	17 899.37	10 108.37	23 075.54	12 400.80	14 998.54
Vida útil (meses)	180	120	180	120	120
R (m ² °C/W)	1.1660	1.5912	2.0138	2.0937	1.7827
Costo por a/a* sin aislante (\$/mes)	1141.30				
Costo por a/a con aislante (\$/mes)	684.98	629.22	597.21	592.66	612.79
Beneficio (\$)	22 549.63	23 560.93	26 886.89	25 293.06	24 316.87
B/CI	1.2598	2.3308	1.1652	2.0356	1.6213
m (meses)	75.57	25.21	91.87	30.16	41.88
m/n (%)	41.98	21.01	51.04	25.14	34.90

*a/a = aire acondicionado

Tabla 5.8
Evaluación económica en Álvaro Obregón.

Se puede observar que el sistema de aislante al que pertenece el valor más bajo de la relación m/n es el poliestireno expandido. Aquí se puede ver que dos de los aislantes tienen un valor de m/n muy elevado (mortero de carlita "A" y Poliestireno extruido), estos resultados llevan a no considerarlos como buenas opciones.

Los 3 sistemas aislantes que resultan rentables tienen el mismo tiempo de vida (10 años) por lo cual se pueden comparar de una manera directa. Por lo tanto, para la ciudad de Álvaro Obregón se tiene que los dos proyectos con mejores resultados económicos son el poliestireno expandido y el poliuretano espreado. En el caso de la fibra de vidrio podemos ver como se dispara el periodo de pago, es casi 1.5 veces mayor que el del poliestireno expandido, por lo cual se descarta como una buena opción.

Los dos sistemas de aislantes que parecen ser los más adecuados económicamente, son los que cuentan con el costo de instalación más bajo.

A pesar de que el poliestireno extruido tiene una de las más altas resistencia térmicas (para los espesores óptimos) de todos los aislantes, y por tanto produce un gran ahorro en costo por empleo de aire acondicionado, resulta tener la relación m/n más alta de todos.

5.4.2 Resultados de la evaluación económica Champotón

Aislante	Mortero de Carlita "A"	Poliestireno expandido	Poliestireno extruido	Poliuretano espreado	Fibra de vidrio
Espesor (m)	0.075	0.0508	0.0508	0.037	0.0508
Costo de inversión (\$)	18 537.24	10 108.37	23 075.54	12 400.80	14 998.54
Vida útil (meses)	180	120	180	120	120
R (m ² °C/W)	1.1660	1.5912	2.0138	2.0937	1.7827
Costo por a/a sin aislante (\$/mes)	1413.94				
Costo por a/a con aislante (\$/mes)	939.53	881.36	847.86	843.13	864.19
Beneficio (\$)	23 443.57	24 504.14	27 976.56	26 263.11	25 294.13
B/Ci	1.2647	2.4241	1.2123	2.1179	1.6864
m (meses)	74.91	23.98	82.80	28.59	39.44
m/n(%)	41.62	19.98	46.00	23.83	32.87

Tabla 5.9
Evaluación económica en Champotón.

Para esta ciudad todos los aislantes propuestos resultaron ser, en mayor o menor medida, rentables. Así que al comparar estos proyectos con diferentes tiempos de vida útil, se emplea la relación m/n para decidir cuales son los más adecuados económicamente.

El poliestireno extruido y el poliuretano presentan valores de resistencia térmica y de gasto por aire acondicionado muy similares, a pesar de esto, el costo inicial de inversión (el del poliestireno extruido es casi el doble del poliuretano) es un factor determinante para que el poliuretano sea una mejor opción.

El poliestireno expandido es el que tiene la relación m/n más baja de entre los aislantes propuestos, seguido por el poliuretano. El poliuretano y el poliestireno expandido pagan su inversión inicial en un tiempo de 24% y 20%, respectivamente, de su tiempo de vida útil. Para el caso de los demás aislantes, su tiempo de pago es entre un 50 y un 100 por ciento mayor, por lo que no resultan tan atractivos como los dos primeros.

5.4.3 Resultados de la evaluación económica en Nuevo Laredo

Aislante	Mortero de Carlita "A"	Poliestireno expandido	Poliestireno extruido	Poliuretano espreado	Fibra de vidrio
Espesor (m)	0.075	0.0508	0.0508	0.037	0.0508
Costo de inversión (\$)	18 142.37	9 923.20	22 885.00	12 220.80	14 813.10
Vida útil (meses)	180	120	180	120	120
R (m ² °C/W)	1.1376	1.5628	1.9854	2.0654	1.7543
Costo por a/a sin aislante (\$/mes)	1020.12				
Costo por a/a con aislante (\$/mes)	548.86	494.02	462.85	458.39	478.06
Beneficio (\$)	23 287.91	24 205.99	27 538.20	25 845.33	24 940.31
B/CI	1.2836	2.4393	1.2033	2.1149	1.6837
m (meses)	72.47	23.79	84.35	28.65	39.54
m/n (%)	40.26	19.82	46.86	23.87	32.95

Tabla 5.10. Evaluación económica en Nuevo Laredo.

En Nuevo Laredo los sistemas aislantes con una recuperación de la inversión más corta, en relación con su periodo de vida útil, son el poliestireno expandido en primer lugar seguido por el poliuretano. Los otros materiales aislantes son también rentables y presentan valores m/n no muy atractivos, especialmente el poliestireno extruido. Por tanto, se pueden analizar aquí las características físicas y químicas de estos dos materiales para determinar cual es el más adecuado para una ciudad con condiciones similares a Nuevo Laredo.

Se descartan totalmente para usar la carlita y el poliestireno extruido debido a que, aunque resultan rentables, el costo de inversión inicial es muy elevado. Por ejemplo, la carlita "A" tiene un costo inicial 83% mayor al que tiene el poliestireno expandido, 48% mayor al del poliuretano y 22% más que la fibra de vidrio. Para el caso del poliestireno extruido estos porcentajes son aún mayores.

5.4.4 Resultados de la evaluación económica en Mexicali

Aislante	Mortero de Carlita "A"	Poliestireno expandido	Poliestireno extruido	Poliuretano espreado	Fibra de vidrio
Espesor (m)	0.075	0.0508	0.0381	0.027	0.0508
Costo de inversión (\$)	15 469.37	9 923.20	20 219.40	9 511.20	14 813.10
Vida útil (meses)	180	120	180	120	120
R (m ² °C/W)	1.1376	1.5628	1.5476	1.5704	1.7543
Costo por a/a sin aislante (\$/mes)	650.00				
Costo por a/a con aislante (\$/mes)	339.04	304.02	304.72	303.67	297.10
Beneficio (\$)	15 366.48	15 918.62	17 062.45	15 934.73	16 237.02
B/Ci	0.9933	1.6042	0.8439	1.6754	1.0961
m (meses)	n.r.	42.58	n.r.	39.84	89.31
m/n (%)	n.r.	35.48	n.r.	33.20	74.43

n.r. = proyecto no rentable (B/Ci < 1)

Tablá 5.11
Evaluación económica en Mexicali.

Nuevamente los aislantes que tienen un mejor rendimiento económico son el poliuretano y el poliestireno expandido, pero a diferencia de las tres ciudades anteriores, ahora es el poliuretano el que tiene la recuperación más rápida del costo de inversión, seguido por el poliestireno expandido. En tercer lugar se tiene a la fibra de vidrio, pero su m/n es muy elevado. La carlita "A" y el poliestireno extruido no costean su instalación, es decir, los ahorros que generan a lo largo de su tiempo de vida útil no alcanzan a cubrir en su totalidad el costo inicial de la inversión, por lo cual no generan ganancia alguna al propietario de la vivienda.

De las tablas anteriores mostradas (5.8 a 5.11) se obtiene que, en general, los sistemas de aislamiento térmico que resultan tener más altos beneficios económicos son los realizados con base en poliestireno expandido y poliuretano. El sistema que representa los menores rendimientos, para todos los casos, es el que se realiza con base en poliestireno extruido.

Un factor relevante de los que intervienen en el análisis beneficio-costos es el costo inicial de la instalación del aislante. Todos los sistemas proporcionan un ahorro considerable en el gasto económico provocado por el empleo de los equipos de aire acondicionado. Si en las tablas se pone atención en el renglón donde se presenta el gasto anual por aire acondicionado, se observa que en la mayoría de los casos y para cada ciudad, estos valores son similares, así que el ahorro económico que proporcionan también es similar. Al tener estas condiciones, la variable que determinará en muy buena parte la rentabilidad de los sistemas es su costo inicial. Como se menciona antes, el poliestireno expandido y el poliuretano son los que presentan los mejores rendimientos económicos en las cuatro ciudades, y son estos mismos materiales los que tienen un costo inicial menor en todos los casos.

Otro punto que influye en el resultado final del análisis económico es la tarifa que se aplica para el cobro del suministro de energía eléctrica en cada una de las ciudades. Así, al bajar los kWh/mes consumidos también se puede observar

una reducción en el precio de la tarifa promedio, el porcentaje de reducción no es uniforme, depende de la tarifa que se aplica en cada sitio.

5.5 Selección de aislante para el clima cálido húmedo (Álvaro Obregón)

Después de ver la rentabilidad de los materiales, se pueden descartar el uso de la carlita "A", del poliestireno extruido y de la fibra de vidrio. Así que las opciones a seleccionar son el poliestireno expandido y el poliuretano. El poliuretano tiene algunas ventajas sobre el poliestireno expandido: tiene una mayor resistencia mecánica, tanto a la tensión como a la compresión; tiene una temperatura máxima de operación mayor; y algo relevante para este tipo de clima es que el poliuretano tiene una menor transmisión de humedad que el poliestireno expandido, aunque la diferencia no es demasiada.

Por otro lado, el poliuretano aumenta de una forma considerable el valor de su conductividad térmica, mientras que la del poliestireno expandido no aumenta de forma tan drástica, mientras no contenga agua. En el caso de la instalación del poliuretano, se debe tener precaución en su instalación, ya que algunos de sus componentes y vapores liberados tiene cierto nivel de toxicidad. Aunque es auto extingible, el poliuretano emite humos tóxicos y puede generar ácido cianhídrico en el periodo de su combustión. Si no se cuenta con una impermeabilización adecuada, y por el tipo de clima, este material puede generar las condiciones adecuadas para la generación de hongos e inclusive el crecimiento de algunas hierbas.

Cabe mencionar que el mortero de carlita "A" es una muy buena opción debido a sus características técnicas, tiene más baja transmisión de humedad que el poliuretano y el poliestireno expandido, sus propiedades mecánicas son mejores, tiene un tiempo de vida mayor, y una temperatura máxima de operación mucho mayor. A pesar de todo esto tiene la gran desventaja de su pobre rendimiento económico.

En este caso se considera como la mejor opción para instalar, el poliuretano espreado, ya que tiene una menor transmisión de la humedad, que en este clima es muy alta. El poliestireno expandido no deja de ser una buena opción, pero tiene la desventaja de que transmite más humedad, y la humedad produce que la conductividad térmica de este material aumente de manera importante.

5.6 Ahorro de energía y económico por la implementación del aislante en Álvaro Obregón

Realizando la instalación del poliuretano espreado en esta ciudad, y considerando las tarifas manejadas en este trabajo³ se obtienen los siguientes ahorros de energía y económicos:

Sin el uso del aislante los equipos de aire acondicionado consumen 2179.49 kWh/mes en promedio, lo cual origina que se pague en los 6 meses considerados de verano, exclusivamente por uso de aire acondicionado, un total de 2282.60 \$/mes. Así, anualmente se gastan por concepto de aire acondicionado únicamente \$ 13 695.60.

Empleando poliuretano como aislante térmico, los equipos de aire acondicionado consumen en promedio 1333.48 kWh/mes (en los meses de verano), por los cuales se pagan 1185.32 \$/mes. Esto equivale a gastar anualmente por el uso de aire acondicionado \$ 7 111.92.

El uso de un sistema de aislante térmico de poliuretano provoca una disminución de un 38.82 % en los kWh/mes consumidos en promedio. Mientras que el ahorro económico es de \$ 6 583.68 anuales, considerando el total anual por aire acondicionado con y sin aislante; esto representa un ahorro económico del 48.07 %.

³ Consideradas al mes de agosto de 1999 (ver sección 3.6.1)

5.7 Selección de aislante para el clima cálido subhúmedo (Champotón)

Nuevamente, como para el caso de la ciudad tipo del clima cálido húmedo, los materiales que resultan más rentables económicamente son el poliuretano y el poliestireno expandido. Con los otros tres aislantes se puede recuperar la inversión inicial, pero los beneficios económicos que se logran no son tan buenos como lo son el poliuretano y el poliestireno expandido.

Ya en la sección 5.5 se hace una comparación de las características de estos materiales, en donde se ven las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. En este tipo de clima la humedad relativa del ambiente no es tan alta como en el clima cálido húmedo, por esto, la diferencia entre los valores de la transmisión de humedad de los dos materiales no resulta tan crítica, ya que, como se mencionó, esta no es muy grande. Aquí se puede mencionar otras ventajas del poliestireno sobre el poliuretano, su manejo resulta mucho más sencillo, no es tóxico y es un poco más estable dimensionalmente. Si no se tienen condiciones de tránsito continuo sobre el aislante, la diferencia entre las resistencias mecánicas de los materiales no representa gran ventaja para alguno de ellos. Además de todas estas características, el poliestireno ofrece mejores rendimientos económicos que el poliuretano.

Concluyendo, para la ciudad típica del clima cálido subhúmedo se decide aplicar un sistema de aislante con base en poliestireno expandido. A pesar de esta selección, el sistema con base en poliuretano esparcido también resulta ser una muy buena opción.

5.8 Ahorro de energía y económico por la implementación del aislante en Champotón

En este caso se instala poliestireno expandido, y considerando la tarifa correspondiente se obtienen los siguientes ahorros de energía y económicos:

Sin el uso del aislante los equipos de aire acondicionado consumen 2285.22 kWh/mes en promedio, lo cual origina que se pague en los 6 meses considerados de verano, exclusivamente por uso de aire acondicionado, un total de 2827.88 \$/mes. Así, anualmente se gastan por concepto de aire acondicionado únicamente \$ 16 967.34.

Empleando poliestireno expandido como aislante térmico, los equipos de aire acondicionado consumen en promedio 1463.96 kWh/mes (en los meses de verano), por los cuales se pagan 1762.72 \$/mes. Esto equivale a gastar anualmente por el uso de aire acondicionado \$ 10 576.32.

El uso de un sistema de aislante térmico de poliestireno expandido provoca una disminución de un 35.94 % en los kWh/mes consumidos en promedio. Mientras que el ahorro económico es de \$ 6 391.02 anuales, considerando el total anual por aire acondicionado con y sin aislante; esto representa un ahorro económico del 37.67 %.

5.9 Selección de aislante para el clima seco (Nuevo Laredo)

Para la ciudad representativa del clima seco todos los materiales propuestos resultan ser rentables, sin embargo, los materiales que sobresalen de entre los demás por los beneficios económicos son, en primer lugar el poliestireno expandido y en segundo lugar el poliuretano.

Dado el tipo de clima, las diferencias entre las características técnicas de estos dos últimos aislantes no representan un factor decisivo en la selección de uno de ellos como el más adecuado, es decir, las propiedades de ambos son compatibles con el clima seco. La única diferencia que puede ser considerada es la resistencia mecánica, pero tomando en cuenta que el tránsito sobre el sistema aislante no es pesado ni constante, este factor no es determinante.

El material que se propone como el más indicado a usar en este tipo de clima es el poliestireno expandido, ya que es el que proporciona un mejor rendimiento económico y tiene características técnicas que soportan de una manera adecuada las condiciones ambientales. El poliuretano sigue siendo una muy buena opción, aunque tiene un rendimiento económico un poco menor que el poliestireno expandido.

5.10 Ahorro de energía y económico por la implementación del aislante en Nuevo Laredo

El poliestireno expandido es el aislante que se emplea en este clima, así que considerando la tarifa correspondiente a la ciudad se obtienen los siguientes ahorros de energía y económicos:

Sin el uso del aislante los equipos de aire acondicionado consumen 2168.76 kWh/mes en promedio, lo cual origina que se pague en los 6 meses considerados de verano, exclusivamente por uso de aire acondicionado, un total de 2040.24 \$/mes. Así, anualmente se gastan por concepto de aire acondicionado únicamente \$ 12 241.44.

Empleando poliestireno expandido como aislante térmico, los equipos de aire acondicionado consumen en promedio 1357.51 kWh/mes, por los cuales se pagan 988.05 \$/mes. Esto equivale a gastar anualmente por el uso de aire acondicionado \$ 5 928.30.

El uso de un sistema de aislante térmico de poliestireno expandido origina una disminución de un 37.41 % en los kWh/mes consumidos en promedio. Mientras que el ahorro económico es de \$ 6 313.14 anuales, considerando el total anual por aire acondicionado con y sin aislante; esto representa un ahorro económico del 51.57 %.

5.11 Selección de aislante para el clima muy seco (Mexicali)

A diferencia de las ciudades consideradas para los otros tipos de clima, en Mexicali, el material que ofrece mayores ahorros económicos es el poliuretano, dejando en segundo lugar al poliestireno expandido. La fibra de vidrio aunque es rentable, presenta un menor ahorro económico, y tanto la carlita "A" como el poliestireno extruido resultan ser no rentables.

Ya se han descrito las ventajas y desventajas del poliuretano y del poliestireno, y se puede ver que el poliuretano tiene en general mejores propiedades. Para el caso de este tipo de clima ambos materiales tienen una desventaja, el intenso sol puede mermar algunas de sus propiedades, este defecto puede ser corregido por medio de una buena impermeabilización, la cual proteja al material de los rayos directos del sol. Ya que ambos materiales tienen la capacidad de resistir de una manera adecuada a este tipo de clima, se propone usar un sistema de aislante con base en poliuretano.

Cabe mencionar que actualmente el material aislante más empleado en las viviendas de esta ciudad es el poliestireno expandido. Pero debe tomarse en cuenta que la mayoría de las viviendas que han instalado dicho aislante térmico, lo han realizado dentro de programas para el beneficio de una gran cantidad de viviendas, esto reduce notablemente la inversión inicial. Por esto, es posible que en una instalación de aislamiento térmico a gran escala, el poliestireno expandido logre ser más económico, que el poliuretano.

5.12 Ahorro de energía y económico por la implementación del aislante en Mexicali

Realizando la instalación del poliuretano esreado en esta ciudad, y considerando la tarifa aplicable a Mexicali se obtienen los siguientes ahorros de energía y económicos:

Sin el uso del aislante los equipos de aire acondicionado consumen 2206.96 kWh/mes en promedio, lo cual origina que se pague en los 6 meses considerados de verano, exclusivamente por uso de aire acondicionado, un total de 1 300 \$/mes. Así, anualmente se gastan por concepto de aire acondicionado únicamente \$ 7 800.

Empleando poliuretano como aislante térmico, los equipos de aire acondicionado consumen en promedio 1362.24 kWh/mes, por los cuales se pagan 607.33 \$/mes. Esto equivale a gastar anualmente por el uso de aire acondicionado \$ 3 643.98.

El uso de un sistema de aislante térmico de poliuretano provoca una disminución de un 38.28 % en los kWh/mes consumidos en promedio. Mientras que el ahorro económico es de \$ 4 156.02 anuales, considerando el total anual por aire acondicionado con y sin aislante; esto representa un ahorro económico del 53.28 %.

5.13 Resumen de la selección de aislantes

De los resultados obtenidos se puede resaltar que en general los materiales que resultan los mejores aislantes, tanto en sus características técnicas como en sus beneficios económicos son el poliestireno expandido y el poliuretano esreado. Los materiales restantes tienen siempre desventajas, en algunos casos

son sus características técnicas, y en la mayoría de los casos es el precio tan elevado que tienen, lo cual origina un pobre rendimiento económico.

Los ahorros que se logran al instalar un sistema aislante en el techo de casas habitación son bastante significativos, en promedio se ahorra un 37.61 % de los kWh/mes, y el 47.65% en términos económicos. Cabe resaltar que en el caso de las ciudades de este trabajo que ejemplificaban a los climas seco y muy seco, el tipo de tarifa que se aplica origina unos ahorros muy buenos en el aspecto económico, en promedio un 52.43 %. En el caso de las ciudades de climas cálido húmedo seleccionadas para este trabajo el promedio es un poco menor (42.87%), pero aún así es muy atractivo.

Bibliografía del capítulo 5

[1] BLANK, Leland T.; TARQUIN, Anthony J., Ingeniería Económica, 3ª. Ed., México, McGraw-Hill, 1994, 546 pp.

Una vez realizado el estudio técnico-económico de los diferentes sistemas de aislamiento térmico para cada una de las ciudades tipo, que representan los diferentes climas cálidos del país, se llega a determinar cual es el sistema más recomendable para cada caso, así como los ahorros que se obtienen con su instalación. Los resultados obtenidos se exponen en la siguiente tabla.

Ciudad	Álvaro Obregón, Tabasco	Champotón, Campeche	Nuevo Laredo, Tamaulipas	Mexicali, Baja California Norte
Tipo de clima	Cálido húmedo	Cálido subhúmedo	Cálido seco	Cálido muy seco
Tarifa aplicable	1-C	1-B	1-D	1-E
Aislante recomendado	Poliuretano espreado	Poliestireno expandido	Poliestireno expandido	Poliuretano espreado
Espesor recomendado (m)	0.037	0.0508	0.0508	0.027
Ahorro en kWh/mes (%)	38.82	35.94	37.41	38.28
Ahorro económico en facturación (%)	48.07	37.67	51.57	53.28

Aislantes recomendados y ahorros
obtenidos para cada ciudad tipo

Cabe recordar que las ganancias de calor de la casa tipo, empleadas para conocer la capacidad de los equipos de aire acondicionado, se realizan siguiendo los pasos mostrados en el libro del ingeniero Hernández Goribar, "Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración".

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede decir que las mejores opciones en cuanto a aislantes para los techos de casas habitación son el poliuretano espreado y el poliestireno expandido. Ambos

materiales tienen características técnicas adecuadas para ser empleados en cualquier tipo de clima, y con ambos se obtienen excelentes beneficios, tanto de ahorro de energía como económicos. El criterio a seguir, en el caso de decidir entre uno y otro, es optar por el que tenga una mejor disponibilidad en el sitio de instalación.

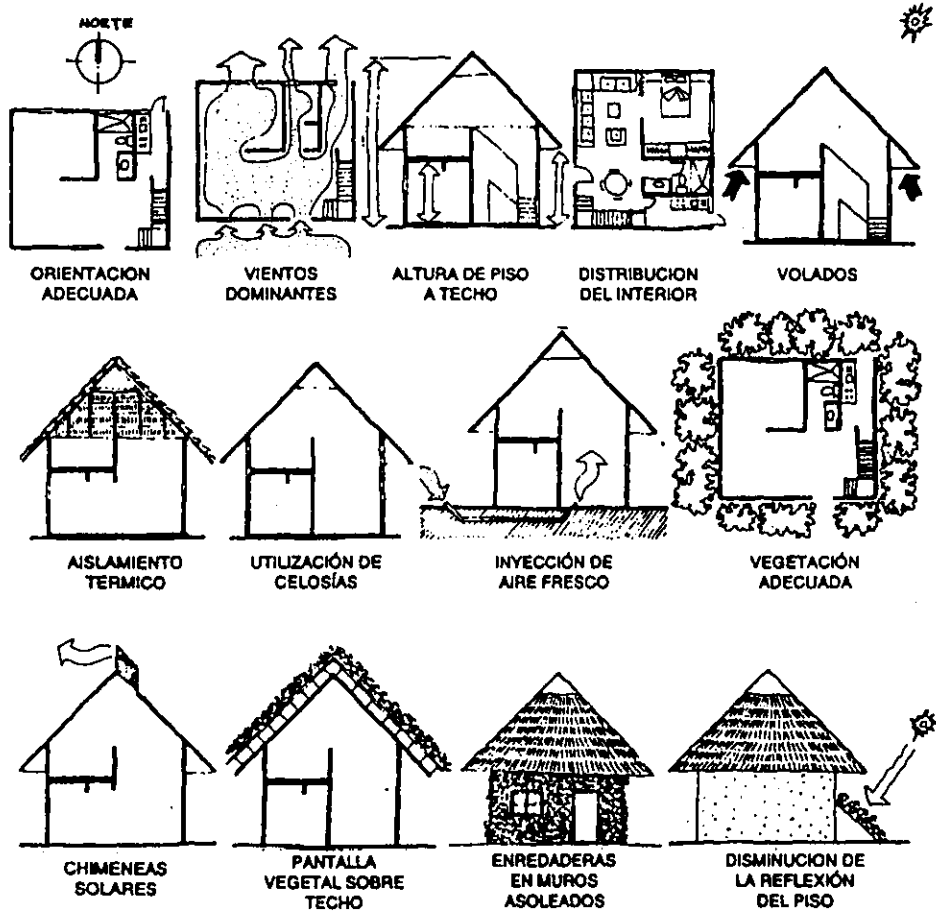
Los ahorros, tanto de energía como económicos, que se logran al instalar un aislante térmico en el techo de una vivienda en un clima cálido, que cuente con aire acondicionado, hacen evidente la conveniencia de su instalación. Esta conveniencia ya ha sido comprobada en algunos programas piloto en los cuales se aíslan una gran cantidad de casas, lo cual abarata los costos de los materiales. Además estos programas se desarrollan por medio de fideicomisos. Ahora se puede observar que cualquier persona que aplique por su cuenta un sistema de aislamiento en su domicilio también obtiene beneficios excelentes; ahorra dinero, tiene un ambiente agradable en el interior de la vivienda, aumenta el valor comercial de la misma, etc.

En general, y para viviendas similares a las consideradas en este trabajo, se logran ahorros promedio de 37.61% en los kWh consumidos por los equipos de ventana, lo que equivale a un ahorro económico promedio del 47.65%.

Como se ha visto, el colocar un sistema de aislante térmico, en una vivienda ya construida, es una excelente solución para lograr el ahorro de la energía consumida por los equipos de aire acondicionado. Pero al diseñar nuevas casas, lo óptimo es que éstas no requieran de climatización activa, sino que su respuesta al medio ambiente sea la mejor posible. Para ello, se recomienda que la vivienda cuente con los siguientes elementos:

- Orientación adecuada.
- Pintar la vivienda de colores claros.
- Una altura mínima de 2.70 m.
- Ventilación natural cruzada.
- Colocación de volados que proporcionen sombra.
- Vegetación alrededor de la vivienda que ayude a sombrear los muros críticos.
- Construcción de muros y techos con materiales de gran capacidad térmica.
- Inyección de aire fresco por medio de ductos subterráneos.
- Contar con elementos pasivos de climatización, como chimeneas, torres de viento, etc.
- Sellado adecuado de ventanas y puertas.
- Sombreado de pisos asoleados.

En la siguiente figura se pueden observar algunas de las recomendaciones arriba listadas.



Recomendaciones para casas en climas cálidos.

Anexos

- I. Especificación para temperaturas de cálculo en los sistemas de acondicionamiento de aire.
- II. Procedimiento de cálculo para encontrar la resistencia térmica del sistema vigueta bovedilla.
- III. Ganancias de calor solar a través de cristales para las latitudes de las ciudades tipo.
- IV. Temperatura diferencial total equivalente, para calcular la ganancia de calor a través de paredes.
- V. Temperatura diferencial total equivalente, para calcular la ganancia de calor a través de techos.
- VI. Cálculos de las cargas térmicas a vencer, en cada habitación de la casa tipo, por los equipos de aire acondicionado, para la ciudad de Álvaro Obregón.

AMERIC A.C./ C.N.I.C.	ESPECIFICACIÓN PARA TEMPERATURAS DE CÁLCULO EN LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y DATOS GEOGRÁFICOS MÁS TEMPERATURAS EXTREMAS DE LOS DIFERENTES LUGARES DE LA REPÚBLICA MEXICANA	ESPECIF: AA-006-94-000
ACOT: SIN		FECHA DICIEMBRE 94
ESC: SIN		FECHA EXTERIOR DE LA ESP 1983

LUGAR DE LA REPUBLICA	DATOS SITUACIÓN					DATOS DE VERANO			DATOS DE INVIERNO			
	Posición Latitud Norte	Geográfica Longitud Oeste	Altura Sobre Nivel del Mar (m)	Presión Barométrica		Temp. Prom. Má. Ext. (°C)	Temp. De Cálculo		Grados-Día Anuales (°C)	Temp. Prom. Mín. Ext. (°C)	Temp. De Cálculo (°C)	Grados-Día Anuales (°C)
				mb	mm Hg		BS	BH				

AGUASCALIENTES												
Aguascalientes	21° 53'	102° 18'	1879	816	612	38.8	34	19	248	-4.7	0	330
Rincón de Romos	22° 14'	102° 14'	1950	809	617	37.8	35	19		-7.0	2	220
BAJA CALIFORNIA NORTE												
Ensenada	31° 52'	116° 38'	13	1012	759	36.5	34	26	109	1.1	5	492
Mexicali	32° 29'	115° 30'	1	1013	760	47.8	43	28	1660	3.7	1	372
Tijuana	32° 29'	117° 02'	28	1010	758	38.2	35	26	754	3.3	2	556
BAJA CALIFORNIA SUR												
La Paz	24° 10'	110° 07'	18	1011	758	38.0	36	27	1827	9.0	13	556
Mulege	26° 53'	112° 00'	33	1009	757	41.9	38	28		5.0	0	630
Cabo San Lucas	23° 03'	109° 04'	25	1010	756	37.0	35	27	1740	7.0	11	630
CAMPECHE												
Campeche	19° 51'	90° 31'	25	1010	758	38.9	36	25	2087	12.7	16	
Ciudad del Carmen	18° 38'	91° 49'	3	1013	760	41.0	37	26	2126	10.8	14	
Champotón	19° 21'	90° 43'	2	1013	760	47.0	42	28		7.0	10.5	
COAHUILA												
Monclova	26° 55'	101° 26'	586	948	711	42.0	38	24	1169	-7.8	-3	326
Nueva Rosita	27° 55'	101° 17'	430	965	724	45.0	41	25	1539	-8.5	-3	481
Piedras Negras	28° 42'	100° 31'	220	988	741	43.9	40	25	1547	-11.9	-6	479
Saltillo	25° 26'	101° 00'	1609	842	632	38.0	35	22	208	-9.6	-4	523
Torreón	25° 32'	103° 27'	1013	889	667	45.0	40	21		-10.0	-5	227
COLIMA												
Colima	19° 14'	103° 45'	494	958	719	39.5	36	24	1683	8.5	12	
Manzanillo	19° 04'	104° 20'	3	1013	760	38.6	35	27	2229	12.1	15	
CHIAPAS												
Tapachula	14° 51'	92° 16'	168	994	746	37.4	34	25	2081	12.8	16	
Tuxtla Gutierrez	19° 45'	93° 06'	536	953	715	38.5	35	25	1601	7.2	11	
Comitán	16° 15'	92° 17'	1635	839	630	36.2	33	20		-0.5	4	64
CHIHUAHUA												
Chihuahua	28° 38'	106° 04'	1423	860	645	48.5	35	23	651	-11.5	-6	793
Ciudad Juarez	31° 44'	106° 29'	1137	889	667	43.0	39	24	695	-10.0	-5	1289
Cañada	29° 34'	104° 25'	841	920	590	50.0	45	24		-12.0	-6.5	680
Hidalgo del Parral	26° 56'	103° 39'	1652	838	628	34.2	32	20		-14.0	-8	730

AMERIC A.C./ C.N.I.C.	ESPECIFICACIÓN PARA TEMPERATURAS DE CÁLCULO EN LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y DATOS GEOGRÁFICOS MÁS TEMPERATURAS EXTREMAS DE LOS DIFERENTES LUGARES DE LA REPÚBLICA MEXICANA	ESPECIF: AA-006-94-000
ACOT: SIN		FECHA DICIEMBRE 94
ESC: SIN		FECHA EXTERIOR DE LA ESP 1983

LUGAR DE LA REPUBLICA	DATOS SITUACIÓN					DATOS DE VERANO				DATOS DE INVIERNO		
	Posición Latitud Norte	Geográfica Longitud Oeste	Altura Sobre Nivel del Mar (m)	Presión Barométrica		Temp. Prom. Má. Ext. (°C)	Temp. De Cálculo		Grados-Día Anuales (°C)	Temp. Prom. Min. Ext. (°C)	Temp. De Cálculo (°C)	Grados-Día Anuales (°C)
				mb	mm Hg		BS	BH				

DISTRITO FEDERAL												
Cd. México Chapultepec	19° 25'	99° 10'	2240	780	585	33.8	31	17	78	-4.8	0	847
Cd. México Tacubaya	19° 24'	99° 12'	2309	776	582	32.8	30	17		-6.5	-1	860
Cd. México Santa Fe	19° 20'	99° 14'	2400		575	32.0	30	17	62	-8.0	-2	980
Cd. México Aeropuerto	19° 23'	99° 11'	2200	766		34.5	31	17	74	-4.0	0	830
DURANGO												
Durango	24° 01'	104° 40'	1898	814	610	35.6	34	17	100	-5.0	0	550
Ciudad Lerdo	25° 30'	103° 32'	1140	889	667	45.0	40	21	1082	-10.0	-5	227
Santiago Papasquiaro	25° 02'	105° 26'	1740	829	622	42.0	38	21		-14.0	-8	156
GUANAJUATO												
Celaya	20° 32'	100° 49'	1754	828	610	41.5	38	20	657	-4.5	0	136
Guanajuato	21° 00'	101° 15'	2037	801	601	33.8	31	18	49	0.1	5	245
León	21° 07'	101° 41'	1809	822	617	36.5	34	20	192	-2.5	2	176
Salvatierra	20° 13'	100° 53'	1761	827	620	38.0	35	19	337	-2.0	3	40
Irapuato	20° 40'	101° 21'	1724	831	653	38.2	35	19		-1.5	3	
GUERRERO												
Acapulco	16° 50'	99° 53'	3	1013	760	35.8	33	27	2613	15.8	19	
Chilpancingo	17° 33'	99° 30'	1250	878	658	35.2	33	23	434	5.0	9	
Taxco	18° 33'	99° 36'	1755	828	621	36.5	34	20	518	8.0	12	
Ixtapa Zihuatanejo	17° 58'	101° 48'	38	1009	757	44.0	40	27		11.5	14	
HIDALGO												
Actopan	20° 08'	98° 45'	2445	764	563	31.4	29	18		-5.8	-1	1007
Tualcingo	20° 05'	98° 22'	2181	787	590	34.7	32	19	12	-5.8	-1	849
Pachuca	20° 08'	98° 45'	2444	764	574	31.5	30	18		-6.0	-1	
Ixmiquilpan	20° 29'	99° 13'	1745	829	622	41.0	37	19		-9.0	-1	
JALISCO												
Guadalajara	20° 41'	103° 20'	1589	844	633	36.0	33	20	204	-3.7	1	164
Lagos de Moreno	21° 22'	101° 56'	1880	816	612	43.2	39	20	574	-3.2	2	162
Puerto Vallarta	20° 37'	105° 15'	2	1013	760	39.0	36	26	2090	11.0	14	
Ameca	20° 34'	104° 04'	1235	879	660	39.6	36	24		1.0	5	
MEXICO												
Texcoco	19° 31'	98° 52'	2216	784	588	34.0	32	19	175	-6.0	-1	500
Toluca	19° 17'	99° 39'	2675	743	557	26.8	25	17		-3.0	-2	1570

AMERIC A.C./ C.N.I.C.	ESPECIFICACIÓN PARA TEMPERATURAS DE CÁLCULO EN LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y DATOS GEOGRÁFICOS MÁS TEMPERATURAS EXTREMAS DE LOS DIFERENTES LUGARES DE LA REPÚBLICA MEXICANA								ESPECIF: AA-006-94-000
ACOT: SIN									FECHA
ESC: SIN									DICIEMBRE 94
									FECHA EXTERIOR DE LA ESP
									1983

LUGAR DE LA REPUBLICA	DATOS SITUACIÓN					DATOS DE VERANO				DATOS DE INVIERNO		
	Posición Latitud Norte	Geográfica Longitud Oeste	Altura Sobre Nivel del Mar (m)	Presión Barométrica		Temp. Prom. Má. Ext. (°C)	Temp. De Cálculo		Grados-Día Anuales (°C)	Temp. Prom. Mín. Ext. (°C)	Temp. De Cálculo (°C)	Grados-Día Anuales (°C)
				mb	mm Hg		BS	BH				

MICHOCAN												
Apatzingán	19° 05'	102° 15'	682	937	703	43.0	39	25	3013	15.5	15	270
Morelia	19° 42'	101° 07'	1923	812	609	31.3	30	19	165	1.6	6	270
Zamora	19° 59'	102° 18'	1633	840	630	37.5	35	20	320	-0.2	4	25
Zacapu	19° 45'	101° 45'	200	840	603	34.8	32	19	168	-6.0	-1	675
La Piedad	20° 20'	102° 01'	1775	826	619	37.0	34	20		-3.0	2	
Uruapan	19° 25'	101° 58'	1611	842	631	36.5	34	20		-0.5	4	
MORELOS												
Cuautla	18° 48'	98° 57'	1291	874	655	47.4	42	22	825	5.3	9	
Cuernavaca	18° 55'	99° 14'	1538	849	637	32.6	31	20	250	6.9	11	
Puente de Ixtla	18° 37'	99° 10'	900	814	686	42.0	38	22				
NAYARIT												
San Blas	21° 32'	105° 19'	7	1013	760	36.0	33	26	1462	7.3	11	
Tepic	21° 31'	104° 53'	918	912	684	38.9	36	26	600	1.9	6	
Acaponeta	22° 30'	105° 23'	25	1010	758	40.0	37	27				
NUEVO LEÓN												
Monte Morelos	25° 12'	99° 50'	432	985	724	42.8	39	25	1856	0.5	5	
Monterrey	26° 40'	100° 18'	534	954	715	41.5	38	26	1181	-5.4	0	173
Lampazos	27° 02'	100° 31'	340	975	731	41.5	38	25		-10.5	-5	
OAXACA												
Oaxaca	17° 04'	95° 42'	1563	846	635	38.0	35	22	290	2.4	7	
Salina Cruz	16° 12'	95° 12'	56	1007	755	36.8	34	26	2403	16.0	19	
Huajuapán de León	17° 48'	97° 47'	1547	843	632	42.0	38	22		-5.0		
Pochutla	15° 44'	96° 38'	1163	995	746	40.0	37	27				
PUEBLA												
Puebla	19° 02'	98° 11'	2150	790	593	30.8	29	17	144	-1.5	3	418
Tehuacán	18° 18'	97° 23'	1676	835	627	37.0	34	20	196	-5.0	0	80
Teztlán	19° 48'	97° 21'	1990	805	604	39.0	36	22		-4.2	0	
Huachinango	20° 10'	98° 03'	1600	843	632	40.5	37	21		-3.0	2	

AMERIC A.C./C.N.I.C.		ESPECIFICACIÓN PARA TEMPERATURAS DE CÁLCULO EN LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y DATOS GEOGRÁFICOS MÁS TEMPERATURAS EXTREMAS DE LOS DIFERENTES LUGARES DE LA REPÚBLICA MEXICANA	ESPECIF: AA-006-94-000
			FECHA
ACOT: SIN	ESC: SIN		DICIEMBRE 94
			FECHA EXTERIOR DE LA ESP 1983

LUGAR DE LA REPUBLICA	DATOS SITUACIÓN					DATOS DE VERANO				DATOS DE INVIERNO		
	Posición Latitud Norte	Geográfica Longitud Oeste	Altura Sobre Nivel del Mar (m)	Presión Barométrica		Temp. Prom. Má. Ext. (°C)	Temp. De Cálculo		Grados-Día Anuales (°C)	Temp. Prom. Mín. Ext. (°C)	Temp. De Cálculo (°C)	Grados-Día Anuales (°C)
				mb	mm Hg		BS	BH				

QUERETARO												
Queretaro	20° 36'	100° 23'	1842	819	614	36.2	33	21	159	-4.9	0	248
San Juan del Río	20° 23'	100° 00'	1800	815	610	35.2	32	21		-4.9	0	
SAN LUIS POTOSÍ												
San Luis Potosí	22° 09'	100° 58'	1877	816	612	37.3	34	18	86	-2.7	2	345
Matehuala	23° 36'	100° 39'	1597	848	632	39.8	36	22		-10.0	-5	
Río Verde	21° 56'	99° 59'	987	905	679	41.4	38	24		-5.4	-1	
SINALOA												
Culiacán	24° 48'	107° 24'	53	1007	755	40.9	37	27	1659	3.1	7	
Mazatlán	23° 11'	106° 25'	78	1004	753	33.4	31	26	1373	11.2	14	
Topolobampo	25° 36'	109° 03'	3	1013	760	41.1	37	27	1754	8.0	12	
El Fuerte	26° 25'	108° 38'	115	1000	750	47.3	42	28		-4.5	1	
Guamuchil	25° 27'	108° 05'	43	1008	756	43.0	39	27		-3.0	2	
SONORA												
Guaymas	27° 55'	110° 53'	4	1013	760	47.0	42	27	1809	7.0	11	
Hermosillo	29° 05'	110° 58'	211	989	742	45.0	41	28	1875	2.0	6	84
Nogales	30° 21'	110° 58'	1117	885	634	41.0	37	26	655	-2.5	0	979
Ciudad Obregón	27° 29'	109° 55'	40	10009	757	48.0	43	28	2443	-1.1	4	
Altar	30° 44'	111° 46'	397	969	726	47.0	42	28		-1.0	4	
Navojoa	27° 07'	109° 28'	38	1009	757	46.0	41	28		-1.0	4	
TABASCO												
Villahermosa	17° 59'	92° 55'	10	1012	759	41.0	37	26	2206	12.2	15	
Alvaro Obregón	18° 32'	92° 39'	2	1013	760	45.5	40	29		14.0	16	
Otras Ciudades	17° 33'	92° 57'	60	1004	753	41.0	37	26		11.0	14	
VERACRUZ												
Jalapa	19° 32'	96° 55'	1399	863	647	34.6	32	21	245	2.2	6	208
Poza Rica	20° 33'	97° 28'	150	995	748	40.0	37	27		0.5	4	
Orizaba	18° 51'	97° 05'	1246	878	659	37.0	34	21	184	1.5	6	134
Veracruz	19° 12'	96° 08'	16	1011	758	35.6	33	27	1763	9.6	13	
Coatzacoalcos	18° 09'	94° 24'	14	1012	759	41.0	37	28		10.0	13.5	
Tuxpan	20° 57'	97° 24'	15	1013	760	40.4	37	27		0.8	5.5	

AMERIC A.C./ C.N.I.C.	ESPECIFICACIÓN PARA TEMPERATURAS DE CÁLCULO EN LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y DATOS GEOGRÁFICOS MÁS TEMPERATURAS EXTREMAS DE LOS DIFERENTES LUGARES DE LA REPÚBLICA MEXICANA	ESPECIF: AA-006-94-000
		FECHA
ACOT: SIN		DICIEMBRE 94
ESC: SIN		FECHA EXTERIOR DE LA ESP 1983

LUGAR DE LA REPUBLICA	DATOS SITUACIÓN					DATOS DE VERANO			DATOS DE INVIERNO			
	Posición Latitud Norte	Geográfica Longitud Oeste	Altura Sobre Nivel del Mar (m)	Presión Barométrica		Temp. Prom. Má. Ext. (°C)	Temp. De Cálculo		Grados-Día Anuales (°C)	Temp. Prom. Min. Ext. (°C)	Temp. De Cálculo (°C)	Grados-Día Anuales (°C)
				mb	mm Hg		BS	BH				

YUCATAN												
Merida	20° 58'	89° 38'	22	1011	758	41.0	37	27	2145	11.6	15	
Progreso	21° 17'	89° 40'	14	1012	759	38.8	36	27	1908	13.0	16	
Valladolid	20° 41'	88° 13'	22	1011	758	40.0	37	27		11.6	15	
ZACATECAS												
Fresnillo	26° 10'	102° 53'	2250	781	586	39.0	36	19	235	-4.5	0	794
Zacatecas	22° 47'	102° 34'	2612	784	561	29.0	28	17		-7.5	-2	1383
Sombrerete	23° 39'	103° 37'	2350	772	579	36.5	34	18		-9.0	-4	
QUINTANA ROO												
Cozumel	20° 31'	86° 57'	3	1013	760	35.8	33	27	1969	10.3	14	
Chetumal	18° 30'	88° 20'	4	1013	760	37.0	34	27	2120	9.5	13	
Can Cún	19° 35'	88° 02'	3	1013	760	37.0	33	27	2010	6.5	12	
Playa del Carmen	19° 10'	88° 15'	3	1013	760	38.0	34	27	2050	10.0	14	
TAMULIPAS												
Matamoros	25° 32'	87° 20'	12	1012	759	39.3	37	26	1815	1.8	4.3	47
Nuevo Laredo	27° 29'	99° 30'	140	967	748	45.0	41	32	2042	-7.0	-2	118
Tampico	22° 12'	97° 81'	18	1011	738	39.3	36	26	1635	-2.5	2	
Ciudad Victoria	23° 44'	99° 08'	221	977	733	41.7	36	26	1397	-2.3	2	87
Reynosa	23° 46'	98° 12'	25	1010	758	45.0	41	28		-7.7	-3	
TLAXCALA												
Tlaxcala	19° 32'	98° 15'	2252	781	686	29.4	28	17	34	-1.4	3	512

ANEXO II

Procedimiento de cálculo para encontrar la resistencia térmica del sistema constructivo de vigueta bovedilla para techos.

Lista de componentes	Espesor (m)		Coeficiente térmico (w/m°C)	Resistencia térmica (m ² °C/W)	
	Sección A	Sección B		Sección A	Sección B
Convección exterior	1	1	34.07	0.02935	0.02935
Concreto	0.24	0.08	1.74	0.13793	0.04598
Aplanado de yeso	0.015	0.015	0.372	0.04032	0.04032
Membrana asfaltada	0.02	0.02	0.17	0.11765	0.11765
Bovedilla de concreto	0	0.07	1.74	0	0.04023
Espacio de aire	0	0.09	0.6383	0	0.14100
Convección interior	1	1	9.37	0.10672	0.10672

La primera resistencia equivalente da el siguiente resultado:

$$R_{eq1} = R_{c1} + R_{aire} + R_{c2} = 0.04598 + 0.14100 + 0.04223 = 0.22721 \text{ (m}^2 \text{ °C/W)}$$

A continuación se obtiene la siguiente resistencia equivalente:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{eq1}} + \frac{1}{R_{c3}} = (1/0.22721) + (1/0.13793) \Rightarrow R_{eq} = 0.08583 \text{ (m}^2 \text{ °C/W)}$$

Con estos valores ya se puede calcular el valor final de coeficiente global de transferencia de calor:

$$U = \left(\frac{1}{h_o} + R_m + R_{eq} + R_y + \frac{1}{h_i} \right)^{-1} = [(1/34.07) + 0.11765 + 0.08583 + 0.04032 + (1/9.37)]^{-1}$$

Finalmente:

$$U = 2.6325 \text{ (W/m}^2 \text{ °C)}$$

$$R = 0.3799 \text{ (m}^2 \text{ °C/W)}$$

Fecha: 21 de junio
Latitud: 18.32° 18.533

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	84.168	130.73	111.97	88.122	71.507	65.66	59.351	65.66	71.507	88.122	111.97	130.73	76.302
S	9.0015	27.93	37.394	43.703	44.166	44.166	44.166	44.166	44.166	43.703	37.394	27.93	9.0015
E	243.04	460.42	502.44	449.27	303.78	129.34	44.166	44.166	44.166	43.703	37.394	27.93	9.0015
O	9.0015	27.93	36.006	43.703	44.166	44.166	44.166	129.34	303.78	449.27	502.44	460.42	243.04

Fecha: 23 de julio y 21 de mayo
Latitud: 18.32°

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	56.154	91.108	79.962	61.959	55.649	52.032	51.569	52.032	55.649	61.959	79.962	91.108	56.154
S	8.5388	24.775	37.394	41.011	44.166	44.166	44.166	44.166	44.166	41.011	37.394	24.775	8.5388
E	225.04	460.88	511.91	456.05	311.85	143.73	44.166	44.166	44.166	41.011	37.394	24.775	8.5388
O	8.5388	24.775	37.394	41.011	44.166	44.166	44.166	143.73	311.85	456.05	511.91	460.88	225.04

Fecha: 24 de agosto y 20 de abril
Latitud: 18.32°

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	16.615	33.861	37.015	41.937	44.629	44.166	44.166	44.166	44.629	41.937	37.015	33.861	16.615
S	5.8468	22.083	34.702	43.703	60.318	71.086	76.47	71.086	60.318	43.703	34.702	22.083	5.8468
E	154.24	446.12	519.6	470.05	333.48	158.58	44.166	44.166	44.166	41.011	34.702	22.083	5.8468
O	5.8468	22.083	34.702	41.011	44.166	44.166	44.166	158.58	322.37	470.05	519.6	446.12	154.24

Fecha: 22 de septiembre y 22 de marzo
Latitud: 18.32°

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0.4627	18.928	34.702	41.011	44.166	44.166	44.166	44.166	44.166	41.011	34.702	18.928	0.4627
S	0.4627	24.312	65.24	111.09	151.09	182.09	187.94	182.09	151.09	111.09	65.24	24.312	0.4627
E	0.4627	410.11	514.68	470.98	329.02	142.89	44.166	44.166	44.166	41.011	34.702	18.928	0.4627
O	0.4627	18.928	34.702	41.011	44.166	44.166	44.166	142.89	329.02	470.98	514.68	410.11	0.4627

Fecha: 23 de octubre y 20 de febrero
Latitud: 18.32°

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	13.082	28.855	38.319	41.474	44.166	44.166	44.166	41.474	38.319	28.855	13.082	0
S	0	64.861	153.11	230.04	280.43	318.21	332.59	318.21	280.43	230.04	153.11	64.861	0
E	0	321.11	467.45	446.67	315.47	150.42	44.166	44.166	41.474	38.319	28.855	13.082	0
O	0	13.082	28.855	38.319	41.474	44.166	44.166	150.42	315.47	446.67	467.45	321.11	0

Fecha: 21 de noviembre y 21 de enero
Latitud: 18.32°

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	9.9269	25.7	35.165	41.011	41.474	41.474	41.474	41.011	35.165	25.7	9.9269	0
S	0	91.571	215.83	311.31	375.54	414.24	428.62	414.24	375.54	311.31	215.83	91.571	0
E	0	236.94	410.74	402.96	288.01	133.8	41.474	41.474	41.011	35.165	25.7	9.9269	0
O	0	9.9269	25.7	35.165	6.015	41.474	41.474	133.8	288.01	402.96	410.74	236.94	0

Fecha: 22 de diciembre
Latitud: 18.32°

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	7.2348	23.008	35.165	38.319	41.474	41.474	41.474	38.319	35.165	23.008	7.2348	0
S	0	90.435	233.45	342.31	405.78	446.71	456.64	446.71	405.78	342.31	233.45	90.435	0
E	0	190.55	381.05	385.89	270.93	110.96	41.474	41.474	38.319	35.165	23.008	7.2348	0
O	0	7.2348	23.008	35.165	38.319	41.474	41.474	110.96	270.93	385.89	381.05	190.55	0

Fecha: 21 de junio
Latitud: 19°21' 19.35

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	86.487	129.96	107.59	82.969	65.066	58.962	52.652	58.962	65.066	82.969	107.59	129.96	83.001
S	9.2591	28.187	37.652	43.961	44.166	44.166	44.166	44.166	44.166	43.961	37.652	28.187	9.2591
E	250	464.03	503.73	450.31	303.26	129.34	44.166	44.166	44.166	43.961	37.652	28.187	9.2591
O	9.2591	28.187	37.036	43.961	44.166	44.166	44.166	129.34	303.26	450.31	503.73	464.03	250

Fecha: 23 de julio y 21 de mayo
Latitud: 16.32°

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	60.019	89.563	75.84	57.321	51.012	47.652	47.447	47.652	51.012	57.321	75.84	89.563	60.019
S	9.0541	25.033	37.652	41.011	44.166	44.166	44.166	44.166	41.011	37.652	25.033	9.0541	
E	231.48	464.23	513.19	456.82	312.11	144.5	44.166	44.166	44.166	41.011	37.652	25.033	9.0541
O	9.0541	25.033	37.652	41.011	44.166	44.166	44.166	144.5	312.11	456.82	513.19	464.23	231.48

Fecha: 24 de agosto y 20 de abril
Latitud: 19°21'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	17.903	32.573	35.727	41.422	44.371	44.166	44.166	44.166	44.371	41.422	35.727	32.573	17.903
S	6.1044	22.083	34.702	43.961	61.864	73.663	79.562	73.663	61.864	43.961	34.702	22.083	6.1044
E	161.46	447.15	520.12	470.05	333.99	159.87	44.166	44.166	44.166	41.011	34.702	22.083	6.1044
O	6.1044	22.083	34.702	41.011	44.166	44.166	44.166	159.87	329.07	470.05	520.12	447.15	161.46

Fecha: 22 de septiembre y 22 de marzo
Latitud: 19°21'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0.2051	18.928	34.702	41.011	44.166	44.166	44.166	44.166	44.166	41.011	34.702	18.928	0.2051
S	0.2051	24.828	67.558	113.93	158.3	191.37	197.47	191.37	158.3	115.98	67.558	24.828	0.2051
E	0.2051	410.11	514.42	470.46	328.5	142.37	44.166	44.166	44.166	41.011	34.702	18.928	0.2051
O	0.2051	18.928	34.702	41.011	44.166	44.166	44.166	142.37	328.5	470.46	514.42	410.11	0.2051

Fecha: 23 de octubre y 20 de febrero
Latitud: 19°21'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	12.824	28.598	38.062	41.216	44.166	44.166	44.166	41.216	38.062	28.598	12.824	0
S	0	65.634	155.69	235.45	287.65	327.22	47.415	327.22	287.65	235.45	155.69	65.634	0
E	0	316.21	465.38	445.64	315.47	152.74	44.166	44.166	41.216	38.062	28.598	12.824	0
O	0	12.824	28.598	38.062	41.216	44.166	44.166	152.74	315.47	445.64	465.38	316.21	0

Fecha: 21 de noviembre y 21 de enero
Latitud: 19°21'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	9.6692	25.443	34.907	41.011	41.216	41.216	41.216	41.011	34.907	25.443	9.6692	0
S	0	89.768	216.86	313.63	382.49	422.48	437.64	422.48	382.49	313.63	216.86	89.768	0
E	0	229.73	406.88	401.68	287.49	134.83	41.216	41.216	41.011	34.907	25.443	9.6692	0
O	0	9.6692	25.443	34.907	2.6657	41.216	41.216	134.83	287.49	401.68	406.88	229.73	0

Fecha: 22 de diciembre
Latitud: 19°21'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	6.7196	22.493	34.907	38.062	41.216	41.216	41.216	38.062	34.907	22.493	6.7196	0
S	0	83.994	233.45	346.69	411.71	454.44	464.11	454.44	411.71	346.69	233.45	83.994	0
E	0	182.82	376.15	383.57	269.38	108.9	41.216	41.216	38.062	34.907	22.493	6.7196	0
O	0	6.7196	22.493	34.907	38.062	41.216	41.216	108.9	289.38	383.57	376.15	182.82	0

Fecha: 21 de junio

Latitud: 27°19' 27.32

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	99.879	101.63	69.467	53.466	48.393	46.703	45.012	46.703	48.393	53.466	69.467	101.63	99.879
S	14.083	30.702	37.857	44.166	46.475	55.712	60.331	55.712	46.475	44.166	37.857	30.702	14.083
E	326.34	485.37	507.06	451.13	307.47	136.27	44.166	44.166	44.166	44.166	37.857	30.702	14.083
O	14.083	30.702	37.857	44.166	44.166	44.166	44.166	136.27	307.47	451.13	507.06	485.37	317.88

Fecha: 23 de julio y 21 de mayo

Latitud: 27°19'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	67.713	69.858	51.775	44.393	45.012	44.166	44.166	44.166	45.012	44.393	51.775	69.858	67.713
S	11.773	27.547	37.857	43.321	58.022	74.186	81.114	74.186	58.022	43.321	37.857	27.547	11.773
E	294.34	483.06	516.53	457.43	312.32	140.5	44.166	44.166	44.166	41.011	37.857	27.547	11.773
O	11.773	27.547	37.857	41.011	44.166	44.166	44.166	140.5	312.32	457.43	516.53	483.06	294.34

Fecha: 24 de agosto y 20 de abril

Latitud: 27°19'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	18.928	26.929	34.702	41.011	41.857	44.166	44.166	44.166	41.857	41.011	34.702	26.929	18.928
S	6.3094	24.392	39.32	74.186	125.44	154.23	167.47	154.23	125.44	74.186	39.32	24.392	6.3094
E	197.22	459.52	520.53	467.74	325.16	149.34	44.166	44.166	41.857	41.011	34.702	24.392	6.3094
O	6.3094	24.392	34.702	41.011	41.857	44.166	44.166	149.34	325.16	467.74	520.53	459.52	197.22

Fecha: 22 de septiembre y 22 de marzo

Latitud: 27°19'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	16.619	32.393	38.702	41.857	44.166	44.166	44.166	41.857	38.702	32.393	16.619	0
S	0	27.547	60.167	170.68	233.32	279.57	297.43	279.57	233.32	170.68	60.167	27.547	0
E	0	396.26	502.67	458.51	325.78	148.89	44.166	44.166	41.857	38.702	32.393	16.619	0
O	0	16.619	32.393	38.702	41.857	44.166	44.166	148.89	325.78	458.51	502.67	396.26	0

Fecha: 23 de octubre y 20 de febrero

Latitud: 27°19'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	10.31	26.083	35.547	38.702	41.857	44.166	41.857	38.702	35.547	26.083	10.31	0
S	0	59.321	173.9	276.71	358.05	410.61	344.14	410.61	358.05	276.71	173.9	59.321	0
E	0	266.13	436.03	424.03	301.62	140.73	44.166	41.857	38.702	35.547	26.083	10.31	0
O	0	10.31	26.083	35.547	38.702	41.857	44.166	140.73	301.62	424.03	436.03	266.13	0

Fecha: 21 de noviembre y 21 de enero

Latitud: 27°19'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	4.8457	20.619	30.083	36.393	38.702	38.702	38.702	36.393	30.083	20.619	4.8457	0
S	0	46.766	215.37	336.26	420.36	470.61	486.38	470.61	420.36	336.26	215.37	46.766	0
E	0	122.38	359.93	375.25	268.61	117.18	38.702	38.702	36.393	30.083	20.619	4.8457	0
O	0	4.8457	20.619	30.083	25.402	38.702	38.702	117.18	268.61	375.25	359.93	122.38	0

Fecha: 22 de diciembre

Latitud: 27°19'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	1.6909	15.155	30.083	35.547	38.702	38.702	38.702	35.547	30.083	15.155	1.6909	0
S	0	21.137	210.36	354.79	439.52	490.61	502.38	490.61	439.52	354.79	210.36	21.137	0
E	0	47.346	312.22	344.77	256.61	102.64	38.702	38.702	35.547	30.083	15.155	1.6909	0
O	0	1.6909	15.155	30.083	35.547	38.702	38.702	102.64	256.61	344.77	312.22	47.346	0

Fecha: 21 de junio

Latitud: 32°29' 32.48

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	103.32	84.446	52.091	43.384	44.166	44.166	44.166	44.166	44.166	43.384	52.091	84.446	103.32
S	16.556	31.547	37.857	48.078	62.968	79.499	92.067	79.499	50.45	42.601	36.292	28.418	16.556
E	354.79	496.05	508.69	450.34	306.82	138.81	44.166	44.166	44.166	43.384	37.857	31.547	16.556
O	16.556	31.547	37.857	43.384	44.166	44.166	44.166	138.81	306.82	450.34	508.69	496.05	354.79

Fecha: 23 de julio y 21 de mayo

Latitud: 32°29'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	70.969	58.4	42.601	41.011	44.166	44.166	44.166	44.166	44.166	41.011	42.601	58.4	70.969
S	13.401	29.175	38.639	53.555	81.871	113.34	125.15	113.34	81.871	53.555	38.639	29.175	13.401
E	329.55	493.68	517.37	456.65	311.54	138.03	44.166	44.166	44.166	41.011	37.857	29.175	13.401
O	13.401	29.175	37.857	41.011	44.166	44.166	44.166	138.03	311.54	456.65	517.37	493.68	329.55

Fecha: 24 de agosto y 20 de abril

Latitud: 32°29'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	19.711	25.238	34.702	41.011	41.794	44.166	44.166	44.166	41.794	41.011	34.702	25.238	19.711
S	7.0918	25.238	49.617	103.95	181.13	213.49	229.26	213.49	181.13	103.95	49.617	25.238	7.0918
E	222.29	463.74	518.18	464.55	321	144.33	44.166	44.166	41.794	41.011	34.702	25.238	7.0918
O	7.0918	25.238	34.702	41.011	41.794	44.166	44.166	144.33	321	464.55	518.18	463.74	222.29

Fecha: 22 de septiembre y 22 de marzo

Latitud: 32°29'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	15.774	30.765	37.857	41.011	43.384	44.166	43.384	41.011	37.857	30.765	15.774	0
S	0	30.74	77.127	205.71	280.59	327.94	358.63	327.94	280.59	205.71	77.127	30.74	0
E	0	384.93	491.4	450.37	321.81	149.08	44.166	43.384	41.011	37.857	30.765	15.774	0
O	0	15.774	30.765	37.857	41.011	43.384	44.166	149.08	321.81	450.37	491.4	384.93	0

Fecha: 23 de octubre y 20 de febrero

Latitud: 32°29'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	8.6818	23.673	33.92	37.074	40.229	42.601	40.229	37.074	33.92	23.673	8.6818	0
S	0	59.132	181.38	299.62	394.24	450.24	470.74	450.24	394.24	299.62	181.38	59.132	0
E	0	253.92	411.8	408.6	291.85	132.52	42.601	40.229	37.074	33.92	23.673	8.6818	0
O	0	8.6818	23.673	33.92	37.074	40.229	42.601	132.52	291.85	408.6	411.8	253.92	0

Fecha: 21 de noviembre y 21 de enero

Latitud: 32°29'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	2.3724	16.581	26.828	33.137	36.292	37.074	36.292	33.137	26.828	16.581	2.3724	0
S	0	23.724	207.48	339.95	433.76	488.96	507.08	488.96	433.76	339.95	207.48	23.724	0
E	0	64.053	329.78	353.43	254.8	108.85	37.074	36.292	33.137	26.828	16.581	2.3724	0
O	0	2.3724	16.581	26.828	33.137	36.292	37.074	108.85	254.8	353.43	329.78	64.053	0

Fecha: 22 de diciembre

Latitud: 32°29'

Horas	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N	0	0	11.054	26.045	33.137	36.292	36.292	36.292	33.137	26.045	11.054	0	0
S	0	0	191.73	345.53	441.71	500.82	515.78	500.82	441.71	345.53	191.73	0	0
E	0	0	274.59	316.38	242.99	100.17	36.292	36.292	33.137	26.045	11.054	0	0
O	0	0	11.054	26.045	33.137	36.292	36.292	100.17	242.99	316.38	274.59	0	0

ANEXO IV. Temperatura diferencial total equivalente, para calcular la ganancia de calor a través de paredes

Latitud norte	TIEMPO SOLAR																Latitud sur		
	A.M.						P.M.												
	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6							
Pared hacia el:	Color exterior de la pared (O = oscura, C = clara)																Pared hacia el:		
	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C			
Partición																			
NE	22	10	24	12	14	10	12	10	14	14	14	14	10	10	6	4	2	2	SE
E	30	14	36	18	32	18	12	12	14	14	14	14	10	10	6	6	2	2	E
SE	13	6	26	16	28	18	24	16	16	14	14	14	10	10	6	4	2	2	NE
S	-4	-4	4	0	22	12	30	20	26	20	16	14	10	10	6	6	2	2	N
SO	-4	-4	0	-2	6	4	26	22	40	28	42	28	24	20	6	4	2	2	NO
O	-4	-4	0	0	6	6	20	12	40	28	48	34	22	22	8	8	2	2	O
NO	-4	-4	0	-2	6	4	12	10	24	20	40	26	34	24	6	4	2	2	SO
N (sombra)	-4	-4	-2	-2	4	4	10	10	14	14	12	12	8	8	4	4	0	0	S (sombra)
Tabique de 4 pulg ó piedra																			
NE	-2	-4	24	12	20	10	10	6	12	10	14	14	12	12	10	10	6	4	SE
E	2	0	30	14	31	17	14	14	12	12	14	14	12	12	10	8	6	6	E
SE	2	-2	20	10	28	16	26	16	18	14	14	14	12	12	10	8	6	6	NE
S	-4	-4	-2	-2	12	6	24	16	26	18	20	16	12	12	8	8	4	4	N
SO	0	-2	0	-2	2	2	12	8	32	22	36	26	34	24	10	8	6	6	NO
O	0	-2	0	0	4	2	10	8	26	18	40	28	42	28	16	14	6	6	O
NO	-4	-4	-2	-2	2	2	8	6	12	12	30	22	34	24	12	10	6	6	SO
N (sombra)	-4	-4	-2	-2	0	0	6	6	10	10	12	12	12	12	8	8	4	4	S (sombra)
Ladrillo hueco de 8 pulg																			
NE	0	0	0	0	20	10	16	10	10	6	12	10	14	12	12	10	8	8	SE
E	4	2	12	4	24	12	26	14	20	12	12	10	14	12	14	10	10	8	E
SE	2	0	2	0	16	8	20	12	20	14	14	12	14	12	12	10	8	6	NE
S	0	0	0	0	2	0	12	6	24	14	26	16	20	14	12	10	8	6	N
SO	2	0	2	0	2	0	6	4	12	10	26	18	30	20	26	18	8	6	NO
O	4	2	4	2	4	2	6	4	10	8	18	14	30	22	32	22	18	14	O
NO	0	0	0	0	2	0	4	2	8	6	12	10	22	18	30	22	10	8	SO
N (sombra)	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	6	6	10	10	10	10	10	10	6	6	S (sombra)
Tabique de 8 pulg - Ladrillo hueco de 12 pulg																			
NE	2	2	2	2	10	2	16	8	14	8	10	6	10	8	10	10	10	8	SE
E	8	6	8	6	14	8	8	10	18	10	14	8	14	10	14	10	12	10	E
SE	8	4	6	4	6	4	14	10	18	12	16	12	12	10	12	10	12	10	NE
S	4	2	4	2	4	2	4	2	10	6	16	10	16	12	12	10	10	8	N
SO	8	4	6	4	6	4	8	4	10	6	12	8	20	12	24	16	20	14	NO
O	8	4	6	4	6	6	8	6	10	6	14	8	20	16	24	16	24	16	O
NO	2	2	2	2	2	2	4	2	6	4	8	6	10	8	16	14	18	14	SO
N (sombra)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	6	6	8	8	8	8	6	6	S (sombra)
Tabique de 12 pulg																			
NE	8	6	8	6	8	4	8	4	10	4	12	6	12	6	10	6	10	6	SE
E	12	8	12	8	12	8	10	6	12	8	14	10	14	10	14	8	14	8	E
SE	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	12	8	14	10	14	10	12	8	NE
S	8	6	8	6	6	4	6	4	6	4	8	4	10	6	12	8	12	8	N
SO	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	8	10	8	12	8	14	10	NO
O	12	8	12	8	12	8	10	6	10	6	10	6	10	6	12	8	16	10	O
NO	8	6	8	6	8	4	8	4	8	4	8	4	8	6	10	6	10	6	SO
N (sombra)	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	6	6	S (sombra)
Concreto o piedra de 8 pulg ó bien bloque de concreto de 6 u 8 pulg																			
NE	4	2	4	0	16	8	14	8	10	6	12	8	12	10	10	8	8	6	SE
E	6	4	14	8	24	12	24	12	18	10	14	10	14	10	12	10	10	8	E
SE	6	2	6	4	16	10	18	12	18	12	14	12	12	10	12	10	10	8	NE
S	2	1	2	1	4	1	12	6	16	12	18	12	14	12	10	8	8	6	N
SO	6	2	4	2	6	2	8	4	14	10	22	16	24	16	22	16	10	8	NO
O	6	4	6	4	6	4	8	6	12	8	20	14	28	18	26	18	14	10	O
NO	4	2	4	0	4	2	4	4	6	6	12	10	20	14	22	16	8	6	SO
N (sombra)	0	0	0	0	0	0	2	2	4	4	6	6	8	8	6	6	4	4	S (sombra)
Concreto o piedra de 12 pulg																			
NE	6	4	6	2	6	2	14	8	14	8	10	8	12	10	10	8	8	SE	
E	10	6	8	6	10	6	18	10	18	12	16	10	12	10	14	10	14	10	E
SE	8	4	8	4	6	4	14	8	16	10	16	10	14	10	12	10	12	10	NE
S	6	4	4	2	4	2	4	2	10	6	14	10	16	12	14	10	10	8	N
SO	8	4	8	4	6	4	6	4	8	6	10	8	18	14	20	14	18	12	NO
O	10	6	8	6	8	6	10	6	10	6	12	8	16	10	24	14	22	14	O
NO	6	4	6	2	6	2	6	4	6	4	8	6	10	8	18	12	20	14	SO
N (sombra)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	4	6	6	8	8	6	6	S (sombra)

ANEXO V. Temperatura diferencial total equivalente para calcular la ganancia de calor a través de los techos

Descripción de los materiales del techo	Tiempo Solar								
	A.M.			P.M.					
	8	10	12	2	4	6	8	10	12
Techos expuestos al sol. Construcción ligera									
Madera de 1 pulg	12	38	54	62	50	26	10	4	0
Madera de 1 pulg y aislamiento de 2 pulg									
Techos expuestos al sol. Construcción media									
Concreto de 2 pulg									
Concreto de 2 pulg y aislamiento de 2 pulg	6	30	48	58	50	32	14	6	12
Madera de 2 pulg									
Concreto de 4 pulg	0	20	38	50	52	40	22	12	6
Concreto de 4 pulg y aislamiento de 2 pulg									
Techos expuestos al sol. Construcción pesada									
Concreto de 6 pulg	4	6	24	38	46	44	32	18	12
Concreto de 6 pulg y aislamiento de 2 pulg	6	6	20	34	42	44	34	20	14
Techos en la sombra									
Construcción ligera	-4	0	6	12	14	12	8	2	0
Construcción media	-4	-2	2	8	12	12	10	6	2
Construcción pesada	-2	-2	0	4	8	10	10	8	4

1. Calculada con el método de Mackey y Wright.
2. Para techos que no sean planos, considérese el área proyectada.
3. Cuando el color del techo es claro como el blanco o el aluminio, añada a la temperatura equivalente diferencial en techos a la sombra el 55% de la diferencia entre el techo a la sombra y el techo expuesto al sol. Cuando el color es gris claro, azul claro o rojo brillante añada el 80%.

Ganancias de calor por ventanas de RECAMARA 1

Orientación	Área de los vidrios (m ²)	Factor de forma
N S E O	0	0.94
	1.08	0.94
	0	0.94
	0	0.94

Ganancias de calor por ventanas (Btu / h)

FECHA	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	31.18	96.745	129.53	151.38	152.99	152.99	152.99	152.99	152.99	151.38	129.53	96.745	31.18
2	29.577	85.817	129.53	142.06	152.99	152.99	152.99	152.99	152.99	142.06	129.53	85.817	29.577
3	20.252	76.493	120.2	151.38	208.93	246.23	264.88	246.23	208.93	151.38	120.2	76.493	20.252
4	1.6027	84.215	225.98	384.79	523.36	630.74	650.99	630.74	523.36	384.79	225.98	84.215	1.6027
5	0	224.67	530.35	796.83	971.38	1102.2	1152.1	1102.2	971.38	796.83	530.35	224.67	0
6	0	317.19	747.59	1078.3	1300.8	1434.9	1484.7	1434.9	1300.8	1078.3	747.59	317.19	0
7	0	313.26	808.64	1185.7	1405.6	1547.3	1581.7	1547.3	1405.6	1185.7	808.64	313.26	0

Ganancias de calor por ventanas (W)

FECHA	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	9.1383	28.354	37.962	44.368	44.837	44.837	44.837	44.837	44.837	44.368	37.962	28.354	9.1383
2	8.6686	25.152	37.962	41.635	44.837	44.837	44.837	44.837	44.837	41.635	37.962	25.152	8.6686
3	5.9356	22.419	35.229	44.368	61.235	72.167	77.633	72.167	61.235	44.368	35.229	22.419	5.9356
4	0.4697	24.682	66.231	112.78	153.39	184.86	190.79	184.86	153.39	112.78	66.231	24.682	0.4697
5	0	65.847	155.44	233.54	284.7	323.04	337.65	323.04	284.7	233.54	155.44	65.847	0
6	0	92.963	219.11	316.04	381.25	420.53	435.14	420.53	381.25	316.04	219.11	92.963	0
7	0	91.81	237	347.51	411.95	453.5	463.58	453.5	411.95	347.51	237	91.81	0
Máximo	9.1383	92.963	237	347.51	411.95	453.5	463.58	453.5	411.95	347.51	237	92.963	9.1383

Máximo Total: 463.58 W

Ganancias de calor de RECAMARA 2

Orientación	Área de los vidrios (m ²)	Factor de forma
N	1.08	0.94
S	0	0.94
E	0	0.94
O	0	0.94

Ganancias de calor por ventanas (Btu / h)

FECHA	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	291.55	452.84	387.85	305.24	247.69	227.44	205.58	227.44	247.69	305.24	387.85	452.84	264.3
2	194.51	315.59	276.98	214.62	192.76	180.23	178.63	180.23	192.76	214.62	276.98	315.59	194.51
3	57.552	117.29	128.22	145.26	154.59	152.99	152.99	152.99	154.59	145.26	128.22	117.29	57.552
4	1.6027	65.565	120.2	142.06	152.99	152.99	152.99	152.99	152.99	142.06	120.2	65.565	1.6027
5	0	45.313	99.95	132.73	143.66	152.99	152.99	152.99	143.66	132.73	99.95	45.313	0
6	0	34.385	89.023	121.81	142.06	143.66	143.66	143.66	142.06	121.81	89.023	34.385	0
7	0	25.06	79.698	121.81	132.73	143.66	143.66	143.66	132.73	121.81	79.698	25.06	0

Ganancias de calor por ventanas (W)

FECHA	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	85.447	132.72	113.67	89.461	72.594	66.658	60.253	66.658	72.594	89.461	113.67	132.72	77.462
2	57.008	92.493	81.177	62.901	56.495	52.823	52.353	52.823	56.495	62.901	81.177	92.493	57.008
3	16.867	34.375	37.578	42.574	45.307	44.837	44.837	44.837	45.307	42.574	37.578	34.375	16.867
4	0.4697	19.216	35.229	41.635	44.837	44.837	44.837	44.837	44.837	41.635	35.229	19.216	0.4697
5	0	13.28	29.294	38.902	42.104	44.837	44.837	44.837	42.104	38.902	29.294	13.28	0
6	0	10.078	26.091	35.699	41.635	42.104	42.104	42.104	41.635	35.699	26.091	10.078	0
7	0	7.3448	23.358	35.699	38.902	42.104	42.104	42.104	38.902	35.699	23.358	7.3448	0
Máximo	85.447	132.72	113.67	89.461	72.594	66.658	60.253	66.658	72.594	89.461	113.67	132.72	77.462

Máximo Total: 132.72 W

Ganancias de calor de SALA COMEDOR COCINA

Orientación	Área de los vidrios (m ²)	Factor de forma
N	1.35	0.94
S	0	0.94
E	1.89	0.94
O	0	0.94

Ganancias de calor por ventanas (Btu / h)

FECHA	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1837.7	3357	3530.5	3104.9	2151	1068.3	524.7	552.02	577.34	646.47	711.49	735.35	384.94
2	1607.3	3188.3	3449.3	3032.7	2131.3	1096.5	491.01	493.01	508.68	516.87	572.89	544.66	294.9
3	1006.9	2850.9	3310	3030.9	2214.7	1152.5	458.96	458.96	460.96	430.18	370.63	280.47	107.38
4	4.8081	2568	3270.1	3032.5	2185.7	1057.4	458.96	458.96	458.96	426.17	360.61	196.7	4.8081
5	0	2003.1	2958.5	2873.5	2091.9	1103	458.96	458.96	430.98	398.2	299.85	135.94	0
6	0	1479.3	2601.1	2594.9	1923.4	990.65	430.98	430.98	426.17	365.42	267.07	103.16	0
7	0	1186.4	2409.4	2491.4	1808.2	852.2	430.98	430.98	398.2	365.42	239.09	75.181	0

Ganancias de calor por ventanas (W)

FECHA	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	538.59	983.88	1034.7	910.01	630.44	313.11	153.78	161.79	169.21	189.47	208.53	215.52	112.82
2	471.06	934.42	1010.9	888.84	624.66	321.38	143.91	144.49	149.08	151.49	167.91	159.63	86.43
3	295.12	835.55	970.1	888.32	649.09	337.78	134.51	134.51	135.1	126.08	108.62	82.202	31.472
4	1.4092	752.63	958.42	888.78	640.58	309.9	134.51	134.51	134.51	124.9	105.69	57.648	1.4092
5	0	587.08	867.08	842.18	613.1	323.28	134.51	134.51	126.31	116.71	87.881	39.841	0
6	0	433.55	762.34	760.53	563.71	290.34	126.31	126.31	124.9	107.1	78.273	30.233	0
7	0	347.7	706.17	730.19	529.96	249.77	126.31	126.31	116.71	107.1	70.075	22.034	0

Máximo 538.59 983.88 1034.7 910.01 649.09 337.78 153.78 161.79 169.21 189.47 208.53 215.52 112.82

Máximo Total: 1034.7 W

Ganancias de calor por muros RECAMARA 1

Tabla de temperatura diferencial total equivalente (°F)

Concreto ó piedra de 8 plg o bien bloque de concreto de 6 u 8 plg

Se considera un color claro

Orientación	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	7	6	5	4
S	1	1	1	1	1	3.5	6	9	12	12	12	12	12	10	8	7	6
E	4	6	8	10	12	12	12	11	10	10	10	10	10	10	10	9	8
O	4	4	4	4	4	5	6	7	8	11	14	16	18	18	18	14	10

Temperatura de diseño exterior:	40	(°C)
Temperatura de diseño interior:	26.9	(°C)
U =	3.104	(W/ m ² °C)
Área del muros:		
N	0	(m ²)
S	12.42	(m ²)
E	0	(m ²)
O	13.5	(m ²)

Orientación	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	206.5	206.5	206.5	206.5	206.5	260	313.5	377.8	442	442	442	442	442	399.2	356.4	334.9	313.5
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	294.2	294.2	294.2	294.2	294.2	317.5	340.8	364.1	387.4	457.2	527	573.6	620.1	620.1	620.1	527	433.9
Sumatoria:	500.7	500.7	500.7	500.7	500.7	577.5	654.3	741.9	829.4	899.2	969.1	1016	1062	1019	976.5	862	747.4

El valor máximo es: **1062 (W)**

Ganancias de calor por muros RECAMARA 2

Tabla de temperatura diferencial total equivalente (°F)

Concreto ó piedra de 8 plg o bien bloque de concreto de 6 u 8 plg

Se considera un color claro

Orientación	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	7	6	5	4
S	1	1	1	1	1	3.5	6	9	12	12	12	12	12	10	8	7	6
E	4	6	8	10	12	12	12	11	10	10	10	10	10	10	10	9	8
O	4	4	4	4	4	5	6	7	8	11	14	16	18	18	18	14	10

Temperatura de diseño exterior:	40	(°C)
Temperatura de diseño interior:	26.9	(°C)
U =	3.104	(W/ m ² °C)
Área del muros:	N	12.42 (m ²)
	S	0 (m ²)
	E	0 (m ²)
	O	13.5 (m ²)

Orientación	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	185	185	185	185	185	206.5	227.9	249.3	270.7	292.1	313.5	334.9	356.4	334.9	313.5	292.1	270.7
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	294.2	294.2	294.2	294.2	294.2	317.5	340.8	364.1	387.4	457.2	527	573.6	620.1	620.1	620.1	527	433.9
Sumatoria:	479.3	479.3	479.3	479.3	479.3	524	568.7	613.4	658.1	749.3	840.6	908.5	976.5	955.1	933.7	819.1	704.6

El valor máximo es: 976.5 (W)

Ganancias de calor por muros SALA COMEDOR COCINA

Tabla de temperatura diferencial total equivalente (°F)

Concreto ó piedra de 8 plg o bien bloque de concreto de 6 u 8 plg

Se considera un color claro

Orientación	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	7	6	5	4
S	1	1	1	1	1	3.5	6	9	12	12	12	12	12	10	8	7	6
E	4	6	8	10	12	12	12	11	10	10	10	10	10	10	10	9	8
O	4	4	4	4	4	5	6	7	8	11	14	16	18	18	18	14	10

Temperatura de diseño exterior:	40 (°C)
Temperatura de diseño interior:	26.9 (°C)
U =	3.104 (W/ m ² °C)
Área del muros:	
N	12.15 (m ²)
S	7.5 (m ²)
E	25.11 (m ²)
O	0 (m ²)

Orientación	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	181	181	181	181	181	202	222.9	243.9	264.8	285.8	306.7	327.7	348.6	327.7	306.7	285.8	264.8
S	124.7	124.7	124.7	124.7	124.7	157	189.3	228.1	266.9	266.9	266.9	266.9	266.9	241.1	215.2	202.3	189.3
E	547.3	633.9	720.5	807.1	893.7	893.7	893.7	850.4	807.1	807.1	807.1	807.1	807.1	807.1	807.1	763.8	720.5
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sumatoria:	853	939.6	1026	1113	1199	1253	1306	1322	1339	1360	1381	1402	1423	1376	1329	1252	1175

El valor máximo es: 1423 (W)

Ganancias de calor por techo RECAMARA 1
 Tabla de temperatura diferencial equivalente (°F)
 Techos expuestos al sol. Construcción media. Concreto de 2 pulgadas

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Techo	6	18	30	39	48	53	58	54	50	41	32	23	14	10	6	4	2

Temperatura de diseño exterior: 40 (°C)
 Temperatura de diseño interior: 26.9 (°C)
 $U = 2.633$ (W/ m² °C)
 Área del techo: 20.25 (m²)

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Techo	433.6	789	1144	1411	1677	1826	1974	1855	1737	1470	1204	937	670.5	552	433.6	374.3	315.1

El valor máximo es: 1974 W

Ganancias de calor por techo RECAMARA 2

Tabla de temperatura diferencial equivalente (°F)

Techos expuestos al sol. Construcción media. Concreto de 2 pulgadas

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Techo	6	18	30	39	48	53	58	54	50	41	32	23	14	10	6	4	2

Temperatura de diseño exterior:

40

 (°C)

Temperatura de diseño interior:

26.9

 (°C)

U =

2.633

 (W/ m² °C)

Área del techo:

20.25

 (m²)

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Techo	433.6	789	1144	1411	1677	1826	1974	1855	1737	1470	1204	937	670.5	552	433.6	374.3	315.1

El valor máximo es: **1974 W**

Ganancias de calor por techo SALA COMEDOR COCINA

Tabla de temperatura diferencial equivalente (°F)

Techos expuestos al sol. Construcción media. Concreto de 2 pulgadas

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Techo	6	18	30	39	48	53	58	54	50	41	32	23	14	10	6	4	2

Temperatura de diseño exterior:

40

 (°C)
 Temperatura de diseño interior:

26.9

 (°C)
 U =

2.633

 (W/ m² °C)
 Área del techo:

35.5

 (m²)

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Techo	760.1	1383	2006	2473	2941	3200	3460	3252	3045	2577	2110	1643	1175	967.8	760.1	656.3	552.4

El valor máximo es: 3460 W

Sumas de ganancias de calor por: VIDRIOS + MUROS + TECHOS
 RECAMARA 1

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Vidrios	9.138	92.96	237	347.5	411.9	453.5	463.6	453.5	411.9	347.5	237	92.96	9.138						
Muros			500.7	500.7	500.7	500.7	500.7	577.5	654.3	741.9	829.4	899.2	969.1	1016	1062	1019	976.5	862	747.4
Techo			433.6	789	1144	1411	1677	1826	1974	1855	1737	1470	1204	937	670.5	552	433.6	374.3	315.1
Suma	9.138	92.96	1171	1637	2057	2365	2642	2857	3040	2944	2803	2462	2182	1953	1733	1571	1410	1236	1063

El valor máximo de las sumatorias es: **3040 W**

Calor sensible de personas:	322.4	W	Calor sensible total:	3455	W
Calor sensible de miscelaneos:	93	W	Calor latente total:	278.4	W
Calor latente de personas:	278.4	W			
Calor latente de miscelaneos:	0	W	FCS=	0.925	

Valor de la entalpia de inyección (h iny) =	62.29	kJ/kg		
Valor de la entalpia interior (hi) =	73.22	kJ/kg		
Valor de la entalpia exterior (he) =	112	kJ/kg		
Aire de ventilación por persona =	0.009	m ³ / s persona		
Número de personas en la habitación =	5	persona(s)		
Densidad del aire =	1.13	kg/m ³	Masa de aire exterior :	0.053 kg/s

Masa total de inyección :	341.6	kg/s		
m ext / m tot =	0		q equipo =	3736 W
m int / m tot =	1		q equipo =	1.063 TR
Entalpia de mezcla (hmez)=	73.23	kJ/kg		

Sumas de ganancias de calor por: VIDRIOS + MUROS + TECHOS
 RECAMARA 2

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Vidrios	85.45	132.7	113.7	89.46	72.59	66.66	60.25	66.66	72.59	89.46	113.7	132.7	77.46						
Muros			479.3	479.3	479.3	479.3	479.3	524	568.7	613.4	658.1	749.3	840.6	908.5	976.5	955.1	933.7	819.1	704.6
Techo			433.6	789	1144	1411	1677	1826	1974	1855	1737	1470	1204	937	670.5	552	433.6	374.3	315.1
Suma	85.45	132.7	1027	1358	1696	1957	2217	2416	2615	2558	2508	2352	2122	1846	1647	1507	1367	1193	1020

El valor máximo de las sumatorias es: **2615 W**

Calor sensible de personas:	193.4	W	Calor sensible total:	3614	W
Calor sensible de miscelaneos:	806	W	Calor latente total:	167.1	W
Calor latente de personas:	167.1	W			
Calor latente de miscelaneos:	0	W	FCS=	0.956	

Valor de la entalpía de inyección (h iny) =	63.41	kJ/kg		
Valor de la entalpía interior (hi) =	73.22	kJ/kg		
Valor de la entalpía exterior (he) =	112	kJ/kg		
Aire de ventilación por persona =	0.009	m ³ / s persona		
Número de personas en la habitación =	3	persona(s)		
Densidad del aire =	1.13	kg/m ³	Masa de aire exterior :	0.032 kg/s

Masa total de inyección :	385.5	kg/s		
m ext / m tot =	0		q equipo =	3783 W
m int / m tot =	1		q equipo =	1.076 TR
Entalpía de mezcla (hmez)=	73.22	kJ/kg		

Sumas de ganancias de calor por: VIDRIOS + MUROS + TECHOS
SALA COMEDOR COCINA

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Vidrios	538.6	983.9	1035	910	649.1	337.8	153.8	161.8	169.2	189.5	208.5	215.5	112.8						
Muros			853	939.6	1026	1113	1199	1253	1306	1322	1339	1360	1381	1402	1423	1376	1329	1252	1175
Techo			760.1	1383	2006	2473	2941	3200	3460	3252	3045	2577	2110	1643	1175	967.8	760.1	656.3	552.4
Suma	538.6	983.9	2648	3233	3681	3924	4294	4615	4935	4764	4592	4153	3604	3044	2598	2344	2089	1908	1727

El valor máximo de las sumatorias es: **4935 W**

Calor sensible de personas:	322.4	W	Calor sensible total:	6935	W
Calor sensible de miscelaneos:	1678	W	Calor latente total:	776.4	W
Calor latente de personas:	278.4	W			
Calor latente de miscelaneos:	498	W	FCS=	0.899	

Valor de la entalpía de inyección (h iny) =	61.73	kJ/kg		
Valor de la entalpía interior (hi) =	73.22	kJ/kg		
Valor de la entalpía exterior (he) =	112	kJ/kg		
Aire de ventilación por persona =	0.009	m ³ / s persona		
Número de personas en la habitación =	5	persona(s)		
Densidad del aire =	1.13	kg/m ³	Masa de aire exterior :	0.053 kg/s

Masa total de inyección :	671.2	kg/s		
m ext / m tot =	0		q equipo =	7714 W
m int / m tot =	1		q equipo =	2.194 TR
Entalpía de mezcla (hmez)=	73.22	kJ/kg		