

# Estudio del Valor R para México

Informe final

Trabajo realizado para la

**Asociación de Empresas para el Ahorro de Energía en la Edificación (AEAEE)**

por

**Energía, Tecnología y Educación SC.**

**Diciembre de 2005**

## **I. Introducción**

La Asociación de Empresas para el Ahorro de Energía en la Edificación (AEAEE) está interesada en identificar las principales necesidades de información, de investigación, de promoción y de política pública que sirvan para ubicar en su justa medida el peso energético de la búsqueda del confort en los espacios construidos e inducir el uso de elementos de envolvente que sean rentables no solo desde la perspectiva individual sino también de la sociedad.

De acuerdo a la perspectiva de miembros de la AEAEE, en México existen, en variedad y oferta suficiente, los materiales y sistemas constructivos que permiten reducir el consumo de energía en los inmuebles. En México pueden ser adquiridos a precios internacionales (y sin problemas de suministro) aislantes térmicos para techos, muros y ductos, ventanas con características ópticas y térmicas especiales, pinturas reflejantes y sistemas que pueden integrar todos estos elementos en una edificación nueva o en remodelación.

Existe, sin embargo y de acuerdo a la perspectiva de miembros de la AEAEE, un problema de percepción sobre la tecnología para el ahorro de energía en edificios, ya que en este rubro no se ubica claramente lo que se refiere a materiales utilizados en las envolventes. Esta aparente percepción hace que se ponga en segundo plano a las posibles soluciones relacionadas al uso de elementos de envolvente sin siquiera considerar su mayor rentabilidad relativa.

Por lo tanto, entre las principales preocupaciones de los miembros de la AEAEE se ha ubicado el poder tener valores de referencia, comparables internacionalmente, para el aislamiento térmico. En este sentido, se ha ubicado al llamado Valor R como un parámetro fundamental.

## **II. El Valor R.**

El valor R es una medida del grado de resistencia de un aislante al flujo de calor. A mayor valor R mayor la cantidad de aislamiento requerida

El valor R es usado para llevar a cabo cálculos relacionados a flujos de calor por conducción (ganancias y pérdidas) en sistemas que deben ser aislados. Por lo mismo, es utilizado en códigos de construcción y normas de ahorro de energía en varias partes del mundo como parámetro de la capacidad de un material para evitar ganancias o pérdidas de calor a través de la envolvente de un edificio y, por lo mismo, su capacidad para ahorrar en energía para enfriar o calentar su espacio interior.

En las normas de eficiencia energética y códigos de construcción para edificios de uso generalizado en los Estados Unidos—como la ASHRAE 90.1 en sus versiones 2001 y 2004 y el International Energy Conservation Code 2004—el valor R de los componentes de la envolvente de una edificación a ser construida o remodelada se determina en función de zonas climáticas. Estas zonas climáticas, a su vez, se establecen en función de varios parámetros relacionados al clima (temperatura y humedad), pero se definen en particular por el parámetro conocido como Grados Día.

## **III. Los Grados Día.**

Los Grados Día se calculan partir de mediciones diarias de temperatura y están definidos como "la diferencia algebraica, expresada en grados, entre la temperatura media de un día determinado y una temperatura de referencia.

Por lo tanto, los Grados Día se calculan a partir de los promedios diarios de temperatura ambiente. A ese promedio se le resta el valor de una temperatura de referencia. Si su valor es positivo, son grados día de refrigeración. Si su valor es negativo, su valor absoluto es de días de calefacción.

Para propósitos de las normas y códigos de construcción, se utiliza la suma de los Grados Día de un año completo, es decir, la suma de los Grados Día de los 365 días de un año.

#### IV. Las Zonas Climáticas.

De acuerdo a la norma ASHRAE 90.1-2001, las zonas climáticas se establecen en función de los Grados Día de Refrigeración en base de 50 oF (CDD50, por sus siglas en inglés) y los Grados día de Calefacción en base de 65 oC (HDD65, por sus siglas en inglés) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Zonas climáticas en función de grados día de refrigeración (CDD50) y grados día de calefacción (HDD65) de acuerdo a ASHRAE-90.1-2001.

<b>CDD50</b>						
<b>10801</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>16</b>
<b>9001-10800</b>	<b>2</b>					
<b>7201-9000</b>	<b>3</b>					
<b>5401-7200</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>17</b>
<b>3601-5400</b>		<b>7</b>		<b>12</b>		
<b>1801-3600</b>		<b>15</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
<b>0-1800</b>						
<b>HDD65</b>	<b>0-900</b>	<b>901-1800</b>	<b>1801-2700</b>	<b>2701-3600</b>	<b>3601-5400</b>	<b>5401-7200</b>

Más recientemente ha habido algunos cambios en la determinación de zonas climáticas. De acuerdo a la versión 2004 de la norma ASHRAE-90.1 y a la International Energy Conservation Code 2004, las zonas climáticas se redujeron en número y se establecen en función de los Grados Día, de temperaturas promedio mensuales y de precipitación pluvial. Esto ha reducido las zonas climáticas a diez y éstas se determinan por tres tipos de condiciones de humedad y por los Grados Día.

En las Tablas 4-A y 4-B se muestran los variables y los valores que determinan estas zonas climáticas

**Tabla 4-A.** Definiciones de Zonas Climáticas Internacionales de acuerdo al International Energy Conservation Code 2004. Definiciones de Tipos Mayores de Clima

**Marina (C)** Definición – Lugares que se encuentran dentro de los cuatro criterios siguientes:

1. La temperatura principal mensual de los meses más fríos es entre -3°C (27°F) y 18°C

(65°F) 2. La media del mes más caluroso < 22° C (72°F) 3. Al menos los cuatro primeros meses con temperaturas promedio arriba de los 10°C (50°F) 4. Estaciones secas en verano. El mes con la precipitación más alta en la temporada fría tiene al menos tres veces más precipitación que el mes con la precipitación más baja en el resto del año. La estación fría comprende de octubre hasta marzo en el Hemisferio Norte y de abril a septiembre en el Hemisferio Sur
<b>Seca (B)</b> Definición – Localidades que cumplen con los criterios siguientes: No pertenecen a Zona Marina (C) y  $P_{in} < 0.44 \times (T_F - 19.5)$  Donde  Pin = Precipitación anual en pulgadas T = La temperatura anual promedio en ° F (°C)
<b>Húmeda (A)</b> Definición – lugares que no son zona marina y no son secos

**Tabla 4-B.** Definiciones de Zonas Climáticas Internacionales de acuerdo al International Energy Conservation Code 2004.

Número de ZONA	Criterios térmicos
1	9000 < CDD50°F
2	6300 < CDD50°F ≤ 9000
3A y 3B	4500 < CDD50°F ≤ 6300 y HDD65°F ≤ 5400
4ª y 4B	CDD50°F ≤ 4500 y HDD65°F ≤ 5400
3C	HDD65°F ≤ 3600
4C	3600 < HDD65°F ≤ 5400
5	5400 < HDD65°F ≤ 7200
6	7200 < HDD65°F ≤ 9000
7	9000 < HDD65°F ≤ 12600
8	12600 < HDD65°F

## V. Los Requerimientos de Valor R..

Con esta definición de zonas se puede calcular el valor R para los componentes de una edificación (Tabla 2).

**Tabla 3.** Valores mínimos de asilamiento para zonas climáticas de acuerdo a ASHRAE 90.1-2001 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Building

ZONA	No residencial (edificio de marco de acero)		Residencial	
	Techo	Pared	Techo (1)	Pared (2)
1	19	13	20	5.7
2	19	13	15	5.7
3	19	13	15	5.7

4	19	11	15	NR
5	19	13	15	5.7
6	19	13	15	5.7
7	16	13	15	5.7
8	19	13	15	7.6
9	19	13	15	5.7
10	19	13	15	7.6
11	19	13	15	7.6
12	19	13	15	7.6
13	19	13	15	9.5
14	19	13	15	9.5
15	19	13	15	7.6
16	19	13	15	11.4
17	19	13	15	11.4
18	19	13	15	11.4

(1) "Insulation Entirely above Deck"

(2) Mass

## REQUERIMIENTOS DE AISLAMIENTO VENTANAS POR COMPONENTE

### TABLA 402.1

Zona Climática	TECHOS R-Valor	MARCOS DE MADERA EN PAREDES R – Valor	MURO SÓLIDO  R-Valor	PISO  R-Valor	PARED EN SÓTANO  R - Valor	LOSA  R-Valor y Profundidad	PARED  R - Valor
1	30	13	3	13	0	0	0
2	30	13	4	13	0	0	0
3	30	15	5	19	0	0	5/13
4 excepto marina	38	15	5	19	10/13	10.2 pies	10/13
5 y Marina 4	38	21 o 15 + 5	13	30	10/13	10.2 pies	10/13
6	49	21 o 15 + 5	15	30	10/13	10.4 pies	10/13
7 y 8	49	21	19	30	10/13	10.4 pies	10/13

Para SI: 1 pie = 304.8 mm.

- a. R – Son valores mínimos U – Factores y SHGC máximos R -19 permitirá ser comprimido en 2 x 6 por cavidad.
- b. El ventanaje U – La columna de factor excluye luces. La columna SHGC aplica para todo ventanaje de cristal.
- c. El primer valor R aplica para aislamiento continuo.
- d. R – 5 puede ser agregado para el borde de losa requerido R – valor para losas con calefacción.
- e. No hay requerimientos SHGC en la zona Marina.
- f. Aislamiento suficiente para llenar el aislamiento de cavidad. R – 19 mínimo.
- g. "15 + 15" significa R- 15 más aislamiento de cavidad R – 5 . forro aislado. Si el forro estructural cubre el 25 por ciento o menos del exterior. El forro R-5 no es requerido cuando se utiliza el forro estructural. Si el forro

estructural cubre más del 25 por ciento del exterior, el forro estructural debe ser sustituido con un forro aislante de al menos R-2

## REQUERIMIENTOS SOBRE EDIFICIOS – ELEMENTOS OPACOS TABLA 802.2 (1)

ZONA CLIMÁTICA	1	2	3	4	5	6	7	8
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---

### Techos

Aislamiento completamente encima de cubierta	R-15 ci	R-15 ci	R-15 ci	R-15 ci	R-20ci	R-20ci	R-25ci	R-25ci
Edificios de Metal (con R-5 ladrillo térmico)	R-19+ R-10	R-19	R-19	R-19	R-19	R-19	R-19 + R-10	R-19 + R-10
Atico y otros	R-30	R-30	R-30	R-30	R-30	R-30	R-38	R-38

### Paredes de Mayor Grado

Masa	NR	NR	R-5.7 ci	R-5.7 ci	R-7.6ci	R-9.5ci	R-11.4ci	R-13.3ci
Edificios de Metal	R-13	R-13	R-13	R-13	R-13 + R-13	R-13 + R-13	R-13 + R-13	R-13 + R-13
Enmarcado de metal	R-13	R-13	R-13	R-13	R-13 + R-3.8ci	R-13 + R-3.8ci	R-13 + R-3.8ci	R-13 + R-7.5ci
Enmarcado de madera y otro	R-13	R-13	R-13	R-13	R-13	R-13	R-13	R-13 +

## VI. El Valor R para México

En México se miden variables meteorológicas a través del Servicio Meteorológico Nacional en más de 1700 localidades. Esta información está contenida en las llamadas Normas Climatológicas, las cuales contienen promedios mensuales y anuales de temperaturas, humedad y precipitación Sin embargo, no se establecen valores de Grados Día (Tabla 3).

**Tabla 3.** Ejemplo de presentación de datos en las Normales Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional.

		NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1951-1980											
LATITUD	19-17	MOYOGUARDA (XOCHIMILCO), XOCHIMILCO, D.F.											
LONGITUD	99-06	ALTITUD											
		ORG. DGACSH											
PARÁMETROS	AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
-----TEMPERATURAS-----													
MAXIMA EXTREMA	10	29.0	30.0	32.0	32.0	32.0	34.5	28.0	27.0	32.5	28.5	28.0	27.0
-FECHA (DIA/AN DIA/AÑO)		VS/73	02/77	26/73	15/78	VS/73	08/73	19/73	VS/VS	25/72	29/72	VS/VS	VS/VS
PROMEDIO DE MAXIMA	10	21.8	22.3	24.9	25.7	25.5	23.8	23.1	23.1	22.9	22.8	22.3	21.6
MEDIA	10	11.8	12.5	15.0	16.5	17.3	17.4	16.9	17.0	16.7	15.8	14.0	12.5
PROMEDIO DE MINIMA	10	1.9	2.8	5.1	7.4	9.2	11.1	10.8	10.9	10.6	8.9	5.7	3.5
MINIMA EXTREMA	10	-6.5	-5.0	-6.0	1.0	1.0	4.0	6.0	3.0	2.0	1.5	-4.0	-5.0
-FECHA (DIA/AN DIA/AÑO)		30/73	15/72	02/74	VS/VS	05/72	10/76	VS/VS	17/74	VS/VS	15/77	27/74	VS/VS
OSCILACION	10	19.9	19.5	19.8	18.3	16.3	12.7	12.3	12.2	12.3	13.9	16.6	18.1
----- HUMEDAD -----													
EVAPORACION	10	96.1	106.2	154.0	146.1	147.5	120.9	113.3	107.4	100.4	97.3	87.1	79.1
----- PRECIPITACION-----													
MEDIA	10	7.4	5.5	10.1	19.6	68.8	106.4	123.5	117.2	121.3	62.1	10.3	5.6
MAXIMA	10	33.9	12.0	54.5	45.0	151.7	165.5	195.0	206.0	208.0	154.5	42.0	24.0
-FECHA (AÑO) AÑO)		80	79	78	75	72	74	74	76	76	76	73	76
MAXIMA DEL ME L MES EN	10	19.5	6.7	31.0	43.0	60.5	33.2	26.5	43.0	54.0	46.2	25.0	11.5
-FECHA (DIA/AN DIA/AÑO)		21/75	22/78	16/78	06/75	03/72	14/77	01/74	13/73	27/78	28/77	05/73	02/76
MINIMA	10	0.7	2.0	1.0	7.0	22.1	54.0	89.5	61.8	46.3	7.0	3.0	2.0
-FECHA ( AÑO)		72	77	70	70	71	73	80	77	80	74	77	72

UNIDADES: TEMPERATURAS (°C), HUMEDAD RELATIVA (%), EVAPORACION (mm) y PRESION (hp).

Para poder solventar esta falta de información se consideró necesario establecer los valores de Grados Día para México por medio de un proceso sui-generis de estimación. Esta estimación se realizó para todas las localidades registradas en las Normales Climatológicas del Servicio Meteorológico.

Con los valores de Grados Día se definen las zonas climáticas para aplicar los criterios de R en función de la norma ASHRAE-90.1 en sus versiones 2001 y 2004 y International Energy Conservation Code 2004.

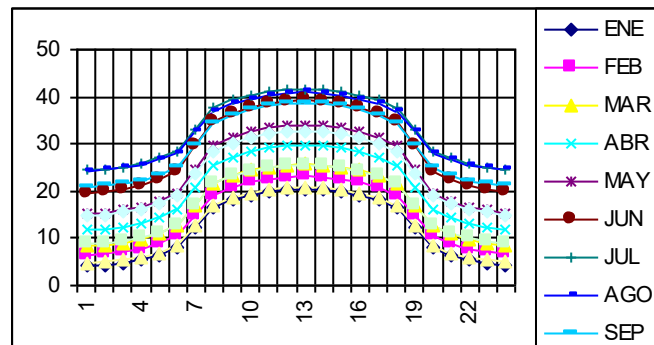
## VII. El proceso de establecimiento de valores R para México.

En función de las condiciones y necesidades establecidas arriba, se llevó a cabo el proceso que se describe a continuación.

- Se establecieron los parámetros que determinan la definición de las zonas climáticas en normas y códigos aplicados en Estados Unidos. Estos parámetros son:
  - Temperaturas promedio mensuales
  - Temperatura promedio anual
  - Precipitación pluvial promedio mensual
  - Grados día calefacción base 65°F (HDD65) y Grados día refrigeración base 50°F (CDD50).

2. Se obtuvieron las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional. Estos archivos se obtuvieron en forma de hojas de cálculo electrónicas en archivos de uno por localidad (como se muestra en la Tabla 3).
3. Se diseñó un algoritmo para calcular grados día. El algoritmo hace lo siguiente:
  - a. Toma los datos de promedios mensuales de temperaturas máxima y mínima.
  - b. Con esos valores establece una función senoidal que reproduce la variación de la temperatura a lo largo de las 24 horas de un día (Figura 1).

**Figura 1.** Perfiles de temperaturas promedio diarias para los doce meses del año de una localidad dada.



- c. Para cada hora de cada día promedio del mes se calcula el Grado Día. Si la temperatura está por arriba del valor de referencia, se suma como Grado día de refrigeración (CDD, por sus siglas en inglés). Si la temperatura está por abajo de la temperatura de referencia, se suma como Grado Día de calefacción (HDD, por sus siglas en inglés).
- d. Para obtener el valor mensual se multiplica por los días del mes.
- e. Para obtener el valor anual, se suman los valores mensuales.
- f. Los resultados se compararon para ciudades fronterizas de México con las más cercanas en Estados Unidos para establecer una referencia que mostrara la validez del procedimiento. La Tabla 4 muestra una comparación para tres localidades y en ella se observan diferencias poco significativas, excepto para San Diego versus Tijuana donde se tienen diferencias de hasta 675 Grados Día para calefacción. Estas diferencias pueden ser explicadas por diferencias en los microclimas de los puntos donde se realizan las mediciones, aunque cabe añadir que los rangos de Grados Día que marcan la diferencia de zonas climáticas es de 900 Grados Día para ASHRAE 90.1-2001, mientras que para la versión más reciente esta diferencia es del doble (1,800 Grados Día).



**Tabla 4.** Comparaciones de valores de Grados Día entre localidades aledañas de Estados Unidos (medido) y México (estimados)

Localidad	CDD50	HDD65
Yuma, Arizona (Medido)	8,921	1,578
Mexicali, Baja California (Estimado)	8,396	1,578
% de diferencia entre medido en EUA y estimado en México	94	97
Diferencia	525	49
San Diego, California (Medido)	4,865	1,063
Tijuana, Baja California (Estimado)	5,166	1,738
%	106	163
Diferencia	-301	-675
El Paso, Texas (Medido)	5,617	2,604
Ciudad Juárez, Chihuahua (Estimado)	5,687	3,079
%	101	118
Diferencia	-70	-475

- g. Una vez establecido el algoritmo para estimar grados día, se diseñaron programas tipo Macro para procesar información (a) para separar los datos que necesarios para el algoritmo de cálculo de Grados día y de zonas climáticas y (b) para hacer los cálculos de grados día.
- h. Con los resultados tabulados de Grados Día y de las otras variables necesarias para definir las zonas climáticas, se hicieron las operaciones lógicas que permitieron definir esas zonas.

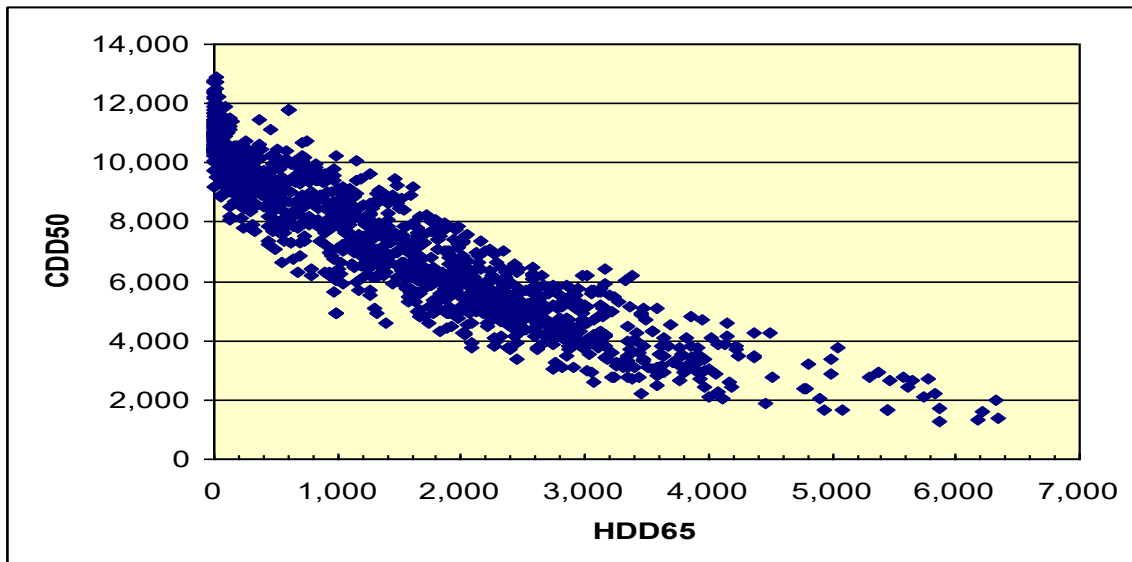
## VIII. Los resultados.

Dado que fue un proceso en el que se tuvieron resultados intermedios, en particular de los grados día, hay varias observaciones que se deben hacer.

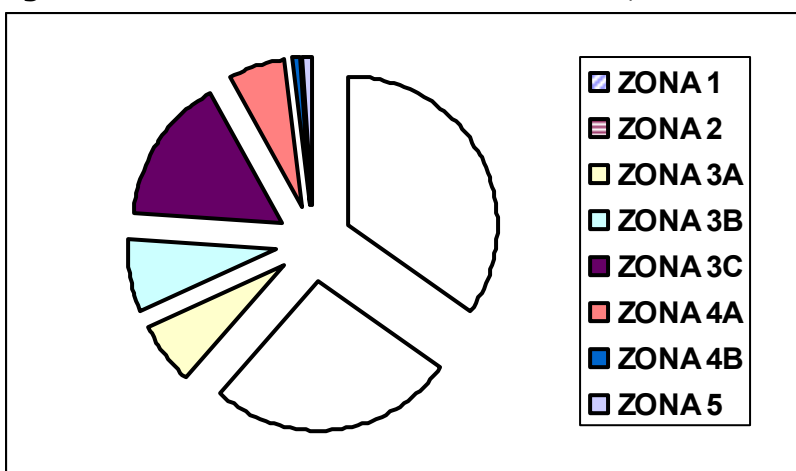
- a. Sobre los resultados de Grados Día.

El tabulado de los Grados Día hace evidente que México es un país donde predominan las zonas de clima cálido (Figura 2). Sin embargo, también es evidente que hay zonas donde hay necesidad de calefacción (o de evitar pérdidas). La zona montañosa alrededor del DF es una de ellas

**Figura 2.** Distribución de localidades por Grados Día de calefacción y de refrigeración (HDD65 y CDD50) para 1,400 localidades en México.



**Figura 2.** Frecuencia de Zonas Climáticas de 1,400 localidades en México.



Esto significa que, de acuerdo a la norma ASHRAE 90.1-2001, las casas construidas en México deberían tener paredes con valores R entre 5.7 y 7.6 de aislamiento y con techos con valores R entre 15 y 20 (Tabla 2).

<b>Tabla 2.</b> Valores R recomendados para zonas 1 a 9 en inmuebles de uso residencial.		
<b>ZONA</b>	<b>Techo</b>	<b>Pared</b>
1	<b>20</b>	<b>5.7</b>
2	<b>15</b>	<b>5.7</b>
3	<b>15</b>	<b>5.7</b>
4	<b>15</b>	<b>NR</b>
5	<b>15</b>	<b>5.7</b>
6	<b>15</b>	<b>5.7</b>

7	<b>15</b>	<b>5.7</b>
8	<b>15</b>	<b>7.6</b>
9	<b>15</b>	<b>5.7</b>

A su vez, lo anterior significa que, unitariamente y de acuerdo a la norma ASHRAE 90.1-2001, por cada metro cuadrado de techo se deberían usar entre 1.5 y 4.1 pulgadas de aislamiento (Tabla 3).

<b>Tabla 3.</b> Pulgadas equivalentes de aislamiento para R=5.7 y R=15.0		
<b>Material del aislamiento</b>	<b>Valor R</b>	
	<b>5.7</b>	<b>15.0</b>
Espuma Elastomérica	1.5	4.1
Fibra de vidrio	1.6	4.2
Fibra Mineral	1.5	3.8
Poliestireno expandido	1.5	3.8
Poliestireno extruido	1.1	3.0
Poliuretano conformado	1.0	2.7

Suponiendo una casa que ocupa 100 metros cuadrados (en un terreno de 10 metros por 10 metros), tiene un perímetro de 40 metros, una altura de 2.1 metros y el 20% de su área de paredes están ocupadas por ventanas, se tendría un área a aislar de 158.4m<sup>2</sup> (100m<sup>2</sup> de techo y 58.4m<sup>2</sup> de pared), lo que significaría un volumen de aislamiento por casa de alrededor de 14.0 m<sup>3</sup> (Tabla 4).

<b>Tabla 4.</b> Volumen de material aislante requerido por vivienda							
<b>Componente de la casa</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Espesor (m)</b>			<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>		
		<b>Espuma Elastomérica</b>	<b>Fibra de vidrio</b>	<b>Fibra Mineral</b>	<b>Espuma Elastomérica</b>	<b>Fibra de vidrio</b>	<b>Fibra Mineral</b>
<b>Techo</b>	100.0	0.103	0.106	0.098	10.30	10.57	9.78
<b>Pared</b>	58.4	0.039	0.040	0.037	3.92	4.02	3.71
<b>Total</b>	<b>158.4</b>				<b>14.22</b>	<b>14.59</b>	<b>13.49</b>

Esto significa que, para cada 100,000 de estas casas (que es un promedio de lo que se construye al año) se estaría vendiendo anualmente cerca de 1.4 millones de m<sup>3</sup> de material aislante. Considerando el precio mas bajo de aislante (617 \$/m<sup>3</sup> para fibra de vidrio), esto significaría ventas cercanas a mil millones de pesos al año, nada más para las nuevas casas habitación.

A su vez, suponiendo que el aislamiento reduce en promedio el consumo por casa en 1,000 kWh/año (ver Tabla 5) y que el costo para el país de generar y distribuir la energía eléctrica en el sector doméstico es de 2.0 \$/kWh, el país se estaría ahorrando 200 millones de pesos al año por aislar las 100,000 casas, lo cual se recuperaría, en términos simples, en cinco años.

<b>Tabla 5.</b> Datos de consumo eléctrico de usuarios domésticos, 2004			
<b>Tipo de región</b>	<b>Número de usuarios (Millones)</b>	<b>Consumo total de conjunto de usuarios (Millones de kWh)</b>	<b>Consumo promedio anual (kWh/año)</b>
Templado	13.822	15,818	1,140
Tarifa 1B	3.082	4,500	1,460
Tarifa 1C	3.536	7,584	2,140
Tarifa 1E	0.910	2,935	3,220
Tarifa 1F	0.721	3,233	4,480
Total cálido	10.269	21,663	2,110

Fuente: [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)

Cabe añadir que el subsidio a los usuarios de energía residencial en México supera los 40 mil millones de pesos al año.

Finalmente, cada 1,000 kWh/año de ahorro por casa representa evitar la emisión de poco más de 0.6 toneladas de CO<sub>2</sub>, lo cual puede tener un valor de mercado cercano a los 12 dólares (a 20 \$US/Ton CO<sub>2</sub>).

## ANEXO I. Sobre la resistencia térmica y el “Valor R”.

### I. *Energía y flujo de calor.*

La energía es la capacidad de realizar trabajo y se mide, entre otros, como BTUs, Joules, Watts-hora (Wh). En este caso usaremos BTU.

**Un BTU es la energía requerida para subir la temperatura de una libra de agua un grado Fahrenheit. Un BTU equivale a 1,055 Joules o a 0.00029 KWh.**

La energía puede tener muchas formas (potencial, cinemática, química y térmica, entre otras) y se transforma constantemente de una forma a otra.

El flujo de calor es la cantidad de energía térmica que se transmite en un tiempo dado. Así, el flujo de calor se mide, entre otras unidades, como BTU/hr (BTUs por hora).

**Un BTU/hr equivale a 0.2931 Watts.**

### II. *Conducción de calor*

La conducción es el proceso de flujo de calor (o transferencia de energía térmica) a través de un medio por interacción molecular directa. La conducción es una de las tres formas en la que el calor (que es una forma de energía) se transmite. Las otras dos maneras son la convección y la radiación.

Aplicado a la edificación, estas formas de transmisión de calor corresponderían

- La **conducción** ocurre en las envolventes cuando el interior de la edificación y el exterior tienen distintas temperaturas, fluyendo del lado caliente al frío.
- La **convección** ocurre como un intercambio de calor cuando una superficie y el aire en movimiento tienen temperaturas diferentes.
- La **radiación** se transmite como ondas electromagnéticas entre dos cuerpos a temperaturas distintas. Este es el caso de la radiación solar, que es emitida a varios miles de grados centígrados a los techos y paredes de las edificaciones.

Existe también la infiltración la cual, más que una transferencia de calor, es una transferencia de masa.

**La temperatura es la medida de la excitación molecular de una materia dada. A mayor temperatura, mayor excitación molecular.**

Así, cuando se presentan temperaturas diferentes entre los dos lados de un material dado, las moléculas del lado caliente irán excitando en cadena a las del material que los separa hacia el lado frío, buscando equilibrar la temperatura en los dos lados (y en el material): Por supuesto, no hay flujo de calor cuando la temperatura en los dos lados (y al interior del material) es la misma.

El flujo de calor por conducción (**qc**) (o la cantidad de calor que atraviesa a un medio por interacción molecular directa) es función, por lo tanto, de cuatro factores:

1. El **diferencial de temperatura ( $\Delta T$ )** entre los puntos extremos de la materia por la que fluye el calor.
2. La **conductividad térmica (k)** del material que conforma la materia por la que fluye el calor.
3. El **área de transferencia de calor (A)**, es decir, el área expuesta al diferencial de temperatura.

4. El **espesor del material (t)** expuesto al diferencial de temperatura.

Para calcular el flujo de calor se utiliza la siguiente ecuación (que involucra a los cuatro factores mencionados):

Ecuación 1.  $q_c = A * \Delta T * (k/t)$

De esta manera, el flujo de calor es directamente proporcional al área de la superficie expuesta, a la diferencia de temperatura entre los dos lados de la superficie y a la conductividad del material, y es inversamente proporcional al espesor del mismo.

### III. Conductividad térmica

A mayor conductividad térmica de un material, más se facilita el flujo de calor. Es interesante ver que el aire tiene una baja conductividad térmica, mientras que para los metales esta es alta (Tabla 1).

**TABLA 1. Conductividades térmicas de algunos materiales**

Material	CONDUCTIVIDAD
	(BTU-in)/hr-ft <sup>2</sup> -F
Aire (sin mover)	0.2
Aluminio	1400.0
Ladrillo	5.0
Hielo	15.6
Mármol	20.6
Lana mineral	0.33

Otra forma de representar la conductividad de un material es por medio del coeficiente de transferencia de calor (K), el cual, a diferencia de la conductividad térmica, no depende del espesor de material (Ecuación 2).<sup>1</sup>

Ecuación 2.  $K = (q_c) / (A * \Delta T)$

### IV. Resistencia térmica y el Valor R.

Un material aislante es un pobre conductor de calor que, por lo mismo, retarda la transferencia térmica. Por lo tanto, entre más baja su conductividad térmica, más aislante el material.

Para propósitos de simplificación de cálculo de flujo de calor a través de una superficie se ha establecido un "Valor R". El valor R es inversamente proporcional a la conductividad (**k**) y directamente proporcional al espesor del material (**t**):

Ecuación 3.  $R = t/k$

En términos unitarios, el valor R se mide por unidad de área (ft<sup>2</sup> o m<sup>2</sup>), por unidad de temperatura absoluta (grados Kelvin o Celsius) entre flujo de calor (BTU/hr o Watts).

---

<sup>1</sup> Esta es la forma en la cual está definido en la NOM-008 (y en unidades del Sistema Métrico Decimal).

Ecuación 4.  **$R = (A * \Delta T) / q_c$**

Con este parámetro se puede establecer, por unidad de área de una componente dada de envolvente de una construcción (pared, ventana o techo), el efecto de asilamiento térmico como directamente proporcional al diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ).

Ecuación 5.  **$q_c / A = (k/t) * \Delta T = (1 / R) * \Delta T$**

La R puede ser simple o compuesta. La R simple corresponde a un solo material de un espesor. La R compuesta se integra de varias capas de materiales distintos.

Ecuación 6.  **$R_T = t_1/k_1 + t_2/k_2 + t_3/k_3 + \dots = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$**