

ANÁLISIS DE INDICADORES DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE LA ENVOLVENTE DE UNA EDIFICACIÓN NO CLIMATIZADA

Guillermo Barrios, Pablo Elías*, Guadalupe Huelsz y Jorge Rojas

Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, A.P. 34 Temixco Centro, 62580, Temixco, Mor.
México. Tel/fax 55+56-22-97-41, ghl@cie.unam.mx

* Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Tel/fax 833+241-20-00

RESUMEN

En este trabajo se analizan siete conjuntos de indicadores del desempeño térmico de muros y techos de la envolvente de una edificación no climatizada. Se discuten las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Para este análisis, se usan resultados de simulaciones numéricas de la transferencia de calor dependiente del tiempo a través de un muro/techo. Se consideraron nueve configuraciones y tres valores de la absorptividad de la superficie exterior.

ABSTRACT

Seven sets of indicators for the thermal performance of envelope walls or roofs in a non air-conditioned building are analyzed. The advantages and disadvantages of these indicators are discussed. For this analysis, the numerical simulation results of the time dependent heat transfer through a wall/roof are used. Nine configurations and three values of the external surface absorptivity are considered.

Palabras claves: indicador, desempeño térmico, muro, techo, envolvente, edificación.

ANTECEDENTES

Es claro que los muros y techos de la envolvente de una edificación juegan un papel importante en la transferencia de calor entre el exterior y el interior de la edificación. Desde el punto de vista térmico, un buen muro/techo será aquel que propicie el confort térmico dentro de la edificación sin usar aire acondicionado o minimice el uso de energía por este concepto, cuando se climatiza. Para calificar el desempeño térmico de un muro/techo opaco se han propuesto algunos indicadores, en este trabajo se revisan aquellos aplicables a edificaciones no climatizadas.

El indicador más utilizado es la resistencia térmica total (valor R) o alternativamente su inverso, el coeficiente global de transmitancia térmica (valor U). De acuerdo con este indicador, una envolvente tendrá mejor desempeño térmico entre mayor sea su valor R (menor valor U) (Diario Oficial, 2001). Este indicador es muy fácil de usar, sólo requiere del conocimiento de la conductividad térmica de los materiales y del espesor de cada capa, y de los coeficientes de película al exterior y al interior, que en general se consideran fijos. Este indicador está basado en un análisis de la transferencia de calor en estado estacionario (i.e. independiente del tiempo).

Cuando se toma en cuenta la transferencia de calor dependiente del tiempo, el conjunto de indicadores más empleado es el factor de decremento FD con el tiempo de retraso TR . El FD mide la reducción de la amplitud de la oscilación de temperatura al interior con respecto a la del exterior. El TR mide el retraso de la

oscilación del temperatura al interior con respecto a la del exterior (Givoni, 1981). Entre menor sea el FD y mayor el TR , el muro/techo tendrá un mejor desempeño térmico.

Existen también indicadores basados en el confort térmico al interior de la edificación producido por un muro/techo de la envolvente. Chandra (1980) propuso un índice para edificaciones no climatizadas válida sólo para climas cálidos en términos de la diferencia de la temperatura de la superficie interior del muro/techo con una temperatura base que consideró como 30°C. El número de horas en que el interior se encuentra en confort térmico ha sido también utilizado como indicador de desempeño térmico de muros/techos (Synnefa et al. 2007).

En este trabajo se proponen nuevos indicadores del desempeño térmico de muros/techos de la envolvente para edificaciones no climatizadas. Se simula el comportamiento térmico de diferentes configuraciones de muros/techos con un modelo unidimensional de transferencia de calor dependiente del tiempo. Se analiza la utilidad de estos nuevos indicadores y los reportados en la literatura para esta condición y aplicables a cualquier clima.

MODELO FÍSICO

Para analizar la transferencia de calor a través de un muro/techo compuesto por N capas de materiales, con un espesor total L , se emplea para cada j -ésima capa, la ecuación de conducción de calor en una dimensión dependiente del tiempo (Incropera & De Witt 2002)

$$\frac{\partial T_j}{\partial t} - \alpha_j \frac{\partial^2 T_j}{\partial x^2} = 0. \quad (1)$$

Esta ecuación describe la variación de la temperatura dentro de la j -ésima capa T_j como función del tiempo t y de la posición transversal al muro/techo x . El coeficiente α_j es la difusividad térmica del material de la j -ésima capa (m^2/s) y se define como la relación entre la conductividad térmica k y la capacidad de almacenamiento térmico del material $C_j = \rho_j c_j$, donde, ρ_j es la densidad (kg/m^3) y c_j es el calor específico ($J/kg^\circ C$).

Por conservación de energía en las uniones de las capas

$$-k_j \frac{dT}{dx} \Big|_{x_{j+1}} = k_{j+1} \frac{dT}{dx} \Big|_{x_j} \quad (2)$$

y en las superficies externa e interna

$$-k_1 \frac{dT}{dx} \Big|_{wo} = h_o(T_o - T_{wo}) \quad y \quad -k_N \frac{dT}{dx} \Big|_{wi} = h_i(T_{wi} - T_i). \quad (3)$$

T_o y T_{wo} ($^\circ C$) son las temperaturas exterior y de la superficie externa del muro/techo, T_i y T_{wi} ($^\circ C$) son las temperaturas

interior y de la superficie interna, h_o y h_i son los coeficientes de transferencia de calor de película exterior y el interior.

La transferencia de calor a través del muro/techo produce un cambio en la energía térmica del aire al interior,

$$d\rho_a c_a \left(\frac{\partial T_i}{\partial t} \right) = h_i (T_{wi} - T_i), \quad (4)$$

donde ρ_a y c_a son la densidad y el calor específico del aire. Se supone que la única modificación de T_i es a través del muro/techo, un mezclado perfecto y que a una distancia d la superficie interna del mismo se puede considerar que hay simetría o no transferencia de calor.

El efecto combinado de la radiación solar incidente I y la temperatura del aire exterior en muros/techos T_a se modela con la temperatura temperatura-sol-aire T_{sa} , i.e. T_o se reemplaza por T_{sa} (ASHRAE, 1997),

$$T_{sa} = T_a + \frac{aI}{h_o} - CF, \quad (5)$$

donde, a es la absorptividad de la superficie exterior y CF es un factor por la radiación infrarroja radiada hacia el cielo.

El problema consiste en conocer T_i por efecto del muro/techo, dada T_{sa} . Se resolvió usando un esquema explícito de volumen finito (Patankar, 1980). Para la condición inicial se usó un procedimiento iterativo de tal manera que T en todo x en el tiempo inicial $t=0$ tuviera el mismo valor ($\pm 0.1^\circ\text{C}$) que en $t=24\text{h}$.

INDICADORES DE DESEMPEÑO TÉRMICO PARA EDIFICACIONES NO CLIMATIZADAS

1. Resistencia térmica global

La resistencia térmica global o valor R está dado por la suma de las resistencias de las superficies externa e interna, $1/h_o$ y $1/h_i$, respectivamente, más las resistencias conductivas de las N capas

$$R = \frac{1}{h_o} + \frac{L_1}{k_1} + \dots + \frac{L_j}{k_j} + \dots + \frac{L_N}{k_N} + \frac{1}{h_i}. \quad (6)$$

Entre mayor sea el valor de R mejor desempeño térmico (Diario Oficial, 2001).

2. Factor de decremento y tiempo de retraso

El factor de decremento FD se define como la razón de la amplitud de la oscilación interna $T_{i_{max}} - T_{i_{min}}$ entre la amplitud de la oscilación de la temperatura sol-aire $T_{sa_{max}} - T_{sa_{min}}$.

$$FD = \frac{T_{i_{max}} - T_{i_{min}}}{T_{sa_{max}} - T_{sa_{min}}}. \quad (7)$$

El FD puede tomar valores entre 0 y 1, 1 significa que la T_i tiene la misma amplitud de oscilación que T_{sa} , 0 significa que el muro/techo ha amortiguado totalmente la oscilación de la T_i y tiene un valor constante. Alternativamente se puede usar el amortiguamiento A que se define como $A=1-FD$.

El tiempo de retraso TR está dado por la diferencia del tiempo en el cual ocurre el máximo de la T_{sa} y el tiempo en el cual ocurre el máximo de T_i

$$TR = t(T_{i_{max}}) - t(T_{sa_{max}}). \quad (8)$$

Un muro/techo es mejor si tiene un menor FD (mayor A) y si TR es mayor (Givoni, 1981). Cuando $DF \leq 0.1$, TR pierde importancia.

3. Porcentaje de horas de confort y de desconfort

El porcentaje de horas de confort hC se define como

$$hC = \frac{100}{\Delta t} \sum_i \Delta t_i \quad \text{tal que} \quad T_{c_{min}} \leq T_i < T_{c_{max}}, \quad (9)$$

donde Δt_i es el i -ésimo paso de tiempo en la simulación numérica (en horas), T_i indica que la temperatura interior se evalúa en el i -ésimo paso de tiempo. En este caso, la sumatoria se realiza durante un día y $\Delta t=24\text{h}$, $T_{c_{min}}$ y $T_{c_{max}}$ son el mínimo y el máximo del rango de confort térmico $T_{c_{min}}=T_n - \Delta T_c/2$ y $T_{c_{max}}=T_n + \Delta T_c/2$. En este trabajo se utiliza la temperatura de neutralidad T_n del modelo adaptativo de Humphreys y Nicol (2000) con una amplitud de oscilación de $\Delta T_c=2.5^\circ\text{C}$.

El porcentaje de horas de desconfort caliente hDC está dado por

$$hDC = \frac{100}{\Delta t} \sum_i \Delta t_i \quad \text{tal que} \quad T_i > T_{c_{max}}. \quad (10)$$

El porcentaje de horas de desconfort frío hDF está definido por

$$hDF = \frac{100}{\Delta t} \sum_i \Delta t_i \quad \text{tal que} \quad T_i < T_{c_{min}}. \quad (11)$$

Entre mayor sea hC y menores hDC y hDF mejor será el desempeño térmico.

4. Sobrecalentamiento y sobreenfriamiento

El sobrecalentamiento SC se define como el valor máximo de sobrecalentamiento dado en $^\circ\text{C}$ arriba del nivel de confort, se calcula de acuerdo a la siguiente expresión

$$SC = T_{i_{max}} - T_{c_{max}} \quad \text{tal que} \quad T_i > T_{c_{max}}. \quad (12)$$

El sobreenfriamiento SF se define como el valor máximo de sobreenfriamiento dado en $^\circ\text{C}$ abajo del nivel de confort, se calcula de acuerdo a la siguiente expresión, donde $||$ denota valor absoluto

$$SF = |T_{i_{min}} - T_{c_{min}}| \quad \text{tal que} \quad T_i < T_{c_{min}}. \quad (13)$$

Para obtener una medida global se define S

$$S = SC + SF. \quad (14)$$

5. Índices de desconfort

El índice de desconfort caliente IDC se define como el promedio de $^\circ\text{C}$ (o $^\circ\text{F}$) arriba del nivel de confort, se calcula de acuerdo a la siguiente expresión

$$IDC = \frac{1}{\Delta t} \sum_i \Delta t_i (T_i - T_{c_{max}}) \quad \text{tal que} \quad T_i > T_{c_{max}}. \quad (15)$$

El índice de desconfort frío IDF se define como el promedio de $^\circ\text{C}$ (o $^\circ\text{F}$) abajo del nivel de confort,

$$IDF = \frac{1}{\Delta t} \sum_i \Delta t_i (T_{c_{min}} - T_i) \quad \text{tal que} \quad T_i < T_{c_{min}}. \quad (16)$$

El índice de desconfort ID está dado por la suma de los índices de desconfort cálido y frío

$$ID = IDC + IDF. \quad (17)$$

Entre menores sean estos índice, mejor será el desempeño térmico del muro.

Estos índices pueden usarse para evaluar el desempeño térmico de cualquier estrategia en el diseño de una edificación y no sólo el desempeño de muros y techos.

6. Índices de desempeño térmico de materiales del muro/techo

Estos índices califican el desempeño (*performance*) térmico de los materiales, para calor o para frío, del muro/techo normalizado con el peor posible, un muro/techo de lámina delgada con la misma absorptividad que el muro/techo a estudiar. Se dan en una

escala de 0 a 100, entre mayor sea su valor mejor será el muro/techo para la condición respectiva.

El índice de desempeño de materiales para calor *IPMC* se define como

$$IPMC = \left[1 - \frac{\sum_i (T_{i_i} - T_{c_{máx}})}{\sum_i (T_{sa_i} - T_{c_{máx}})} \right] \times 100,$$

tal que $T_{i_i} > T_{c_{máx}}$ y $T_{sa_i} > T_{c_{máx}}$. (18)

El índice de desempeño de materiales para frío *IPMF* se define como

$$IPMF = \left[1 - \frac{\sum_i (T_{c_{mín}} - T_{i_i})}{\sum_i (T_{c_{mín}} - T_{sa_i})} \right] \times 100,$$

tal que $T_{i_i} < T_{c_{mín}}$ y $T_{sa_i} < T_{c_{mín}}$. (19)

El índice de desempeño de materiales *IPM* se define como el promedio de los dos anteriores

$$IPM = \frac{IPMC + IPMF}{2}. \quad (20)$$

7. Índices de desempeño térmico total del muro/techo

Estos índices califican el desempeño térmico del muro/techo, incluyendo el efecto del color de su superficie exterior. La normalización se hace diferenciada para el índice para calor o para frío. El desempeño del muro/techo se normaliza con el peor posible, para calor con un muro/techo de lámina delgada con absorptividad igual a uno, para frío con un muro/techo de lámina delgada con absorptividad igual a cero. Igualmente, se dan en una escala de 0 a 100 y entre mayor sea su valor mejor será el muro/techo para dicha condición.

El índice de desempeño de térmico para calor *IPTC* se define como

$$IPTC = \left[1 - \frac{\sum_i (T_{i_i} - T_{c_{máx}})}{\sum_i (T_{sa_{(1)i}} - T_{c_{máx}})} \right] \times 100,$$

tal que $T_{i_i} > T_{c_{máx}}$ y $T_{sa_{(1)i}} > T_{c_{máx}}$. (21)

donde $T_{sa_{(1)i}}$ indica que la temperatura sol-aire se evalúa con una absorptividad igual a 1.

El índice de desempeño térmico para frío *IPTF* se define como

$$IPTF = \left[1 - \frac{\sum_i (T_{c_{mín}} - T_{i_i})}{\sum_i (T_{c_{mín}} - T_{sa_{(0)i}})} \right] \times 100,$$

tal que $T_{i_i} < T_{c_{mín}}$ y $T_{sa_{(0)i}} < T_{c_{mín}}$. (22)

donde $T_{sa_{(0)i}}$ indica que la temperatura sol-aire se evalúa con una absorptividad igual a 0.

El índice de desempeño térmico total *IPT* se define como el promedio de los dos anteriores

$$IPT = \frac{IPTC + IPTF}{2}. \quad (23)$$

RESULTADOS

Para todas las simulaciones se consideró la ecuación para $T_a(t)$ propuesta por Chow y Levermore (2007), la radiación solar tipo sinusoidal con máximo a las 12:00h del día solar. Se utilizaron los

valores promedio para mayo de Torreón: temperatura ambiente máxima de 35.0°C a las 14:00 horas y mínima de 20.6°C a las 6:00 horas, radiación máxima $I_{máx}=1000\text{W/m}^2$. Se consideró $RF=3.9^\circ\text{C}$, este valor y la distribución de la radiación solar corresponden a un techo horizontal. Las conclusiones derivadas de los resultados que aquí se presentan son las mismas que se obtienen de las simulaciones de muros. Se utilizaron $h_o=13\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ y $h_i=6.6\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ (Diario Oficial 2001) y $d=2.5\text{m}$ (altura típica de una habitación).

Para evaluar la utilidad de los indicadores se simuló el comportamiento térmico de nueve configuraciones distintas, que se describen en la Tabla 1. Nótese que las primeras 8 configuraciones tienen un espesor total igual ($L=12\text{cm}$). Los valores de las propiedades de los materiales se muestran en la Tabla 2. Se utilizaron valores de la absorptividad para la radiación solar de la superficie exterior del elemento de $a=0.2, 0.5$ y 0.8 que corresponden a un blanco, gris claro y negro, respectivamente (Givoni, 1981). Por razones de espacio, sólo se presentan las gráficas correspondientes a $a=0.5$, con excepción del último conjunto de indicadores, aunque si se hace referencia a los resultados obtenidos por la variación de a .

Tabla 1. Configuraciones estudiadas.

No.	Denominación	Descripción (de exterior a interior)
1	CAD	Concreto alta densidad 12cm
2	CA	Concreto aereado 12cm
3	EPS	Poliestireno expandido 12cm
4	EPS_ext	Poliestireno expandido 2cm + concreto de alta densidad 10cm
5	EPS_mid	Concreto de alta densidad 5cm + poliestireno expandido 2cm + concreto de alta densidad 5cm
6	EPS_int	Concreto de alta densidad 10cm + poliestireno expandido 2cm
7	EPS_CAD_EPS	Poliestireno expandido 1cm + concreto de alta densidad 10cm + poliestireno expandido 1cm
8	C_EPS_C	Concreto 1cm + poliestireno expandido 10cm + concreto 1cm
9	Verm	Impermeabilizante 0.2cm +vermiculita 5cm +concreto de alta densidad 10cm

Tabla 2. Propiedades de los materiales, k conductividad térmica, ρ densidad y c calor específico (DOE 2009).

Material	k [W/m°C]	ρ [kg/m³]	c [J/kg°C]
Concreto	1.35	1800	1000
Concreto aereado	0.12	550	1004
Concreto alta densidad	2.00	2400	1000
Impermeabilizante	0.05	70	1500
Poliestireno expandido	0.04	15	1400
Vermiculita	0.19	700	880

En la Figura 1 se muestra el valor de la resistencia térmica global o valor R , para cualquier a . Como puede observarse, de acuerdo con este indicador, el mejor muro/techo (mayor R) es el EPS (3) y el peor es el CAD (1), con una relación de R cercana a 17:1.

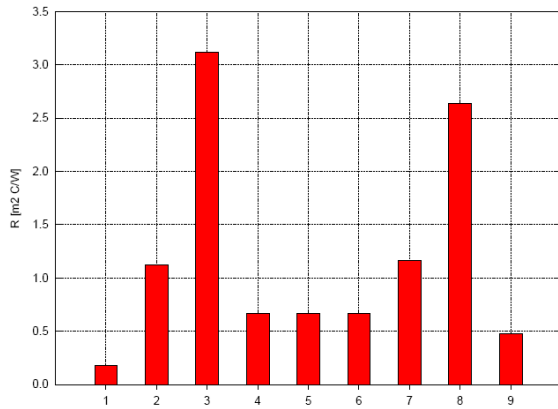


Figura 1. Resistencia térmica global o valor R [$m^2\text{°C/W}$] para las nueve configuraciones, independiente del valor de a .

La Figura 2 presenta el factor de decremento FD (multiplicado por 10) y el tiempo de retraso TR en horas para $a=0.5$. El mejor muro/techo (menor FD) es el EPS_ext (4), su $DF < 0.1$ por lo que TR pierde importancia. El peor es el EPS (3). La relación de los FD para estas dos configuraciones es cercana a 1:8. Para cada configuración, el valor del FD es prácticamente independiente de a y el TR disminuye al aumentar a , el orden en el desempeño de las configuraciones se mantiene.

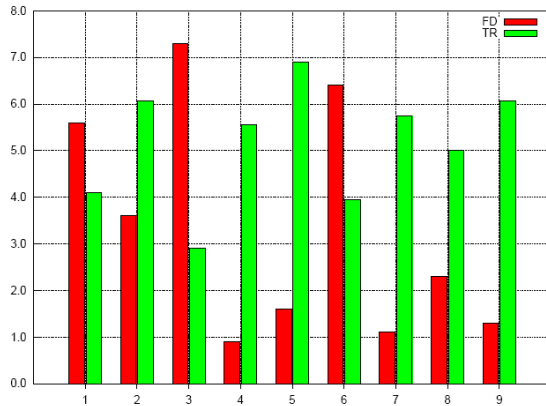


Figura 2. Factor de decremento FD (multiplicado por 10) y tiempo de retraso TR [h] para las nueve configuraciones, $a=0.5$.

Los porcentajes de horas de confort hC , disconfort caliente hDC y disconfort frío hDF para $a=0.5$ se presentan en la Figura 3. El mejor muro/techo (mayor hC) es el EPS_mid (5) y el peor es el EPS (3), con una relación cercana a 4:1. Al variar a el orden de las configuraciones puede cambiar, p.ej. en el caso de $a=0.8$ el mejor muro/techo es el C_EPS_C (8).

El sobrecalentamiento SC , sobreenfriamiento SF y su suma S se muestran en la Figura 4, para $a=0.5$. El mejor muro/techo (menor S) es el EPS_ext (4) y el peor es el EPS (3), con una relación de 8:1 en S . Al aumentar a , S aumenta, SC aumenta e SF disminuye, el orden de las configuraciones se conserva.

En la Figura 5 se muestran los índices de disconfort caliente IDC , frío IDF y total ID , para $a=0.5$. El mejor muro/techo (menor ID) es el EPS_ext (4) y el peor es el EPS (3), con una relación de 7:1 en ID . Al aumentar a , las diferencias en el valor de ID entre las configuraciones disminuye, pero se conserva el orden. Como era de esperarse, el IDC aumenta e IDF disminuye al aumentar a , pero también conservan el orden.

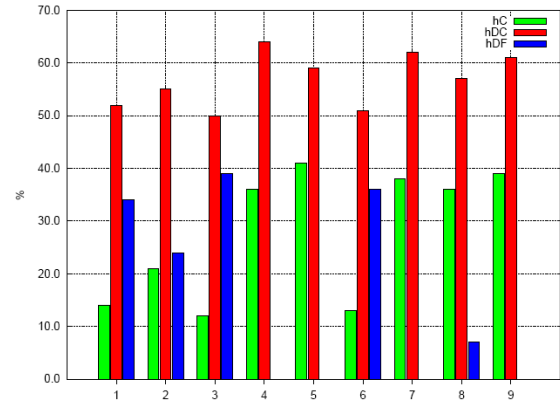


Figura 3. Porcentajes de horas de confort hC , disconfort caliente hDC y disconfort frío hDF [%] para las nueve configuraciones, $a=0.5$.

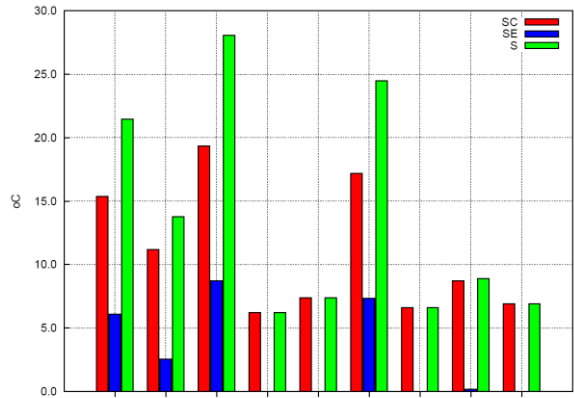


Figura 4. Sobrecalentamiento SC , sobreenfriamiento SF y su suma S [°C] para las nueve configuraciones, $a=0.5$.

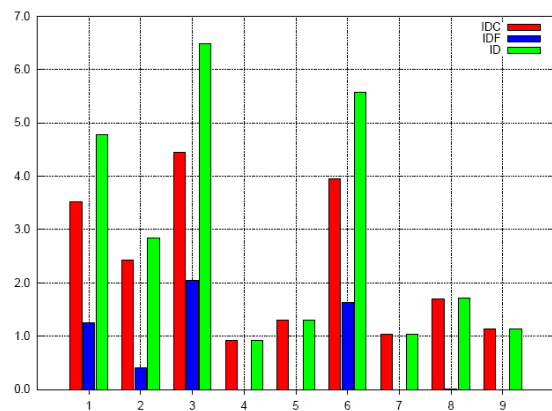


Figura 5. Índices de disconfort caliente IDC , frío IDF y total ID [°C] para las nueve configuraciones, $a=0.5$.

Los índices de desempeño térmico de materiales del muro/techo $IPMC$, $IPMF$ e IPM , se muestran en las Figura 6, 7 y 8, para $a=0.2$, 0.5 y 0.8, respectivamente. El valor de 100 indica un desempeño óptimo para la condición de calor, frío o ambas, según

el índice. El mejor muro/techo (mayor *IPM*) es el EPS_ext (4) y el peor es el EPS (3). Para $a=0.5$, la relación es cercana a 3:1. Al aumentar a , las diferencias en el valor de *IPM* entre las configuraciones disminuye, pero se conserva el orden. Dada una configuración al aumentar a el *IPMC* disminuye y el *IPMF* aumenta.

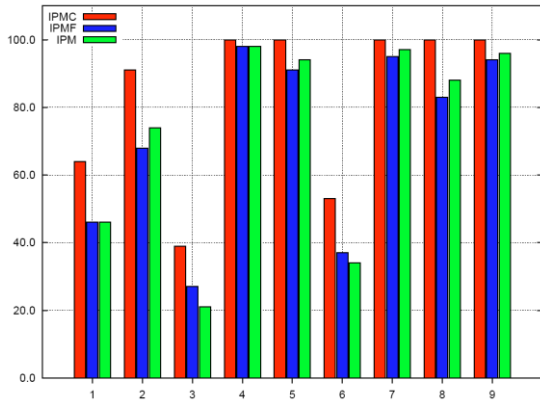


Figura 6. Índices de desempeño térmico de materiales del muro/techo para calor *IPMC*, para frío *IPMF* y su promedio *IPM* para las nueve configuraciones, $a=0.2$.

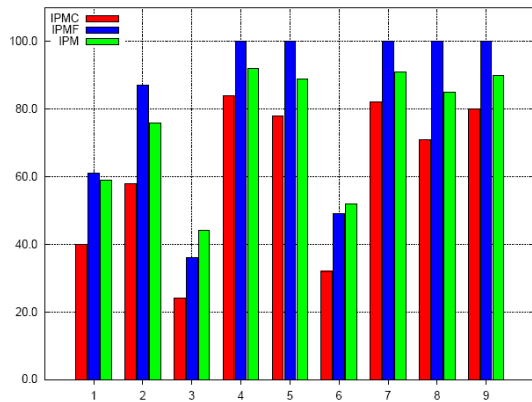


Figura 7. Índices de desempeño térmico de materiales del muro/techo para calor *IPMC*, para frío *IPMF* y su promedio *IPM* para las nueve configuraciones, $a=0.5$.

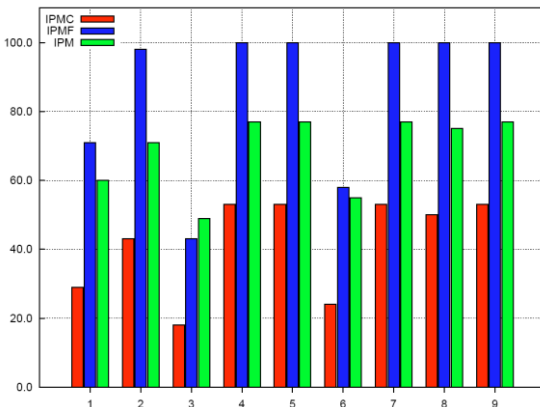


Figura 8. Índices de desempeño térmico de materiales del muro/techo para calor *IPMC*, para frío *IPMF* y su promedio *IPM* para las nueve configuraciones, $a=0.8$.

Las Figuras 9, 10 y 11 muestran los índices de desempeño térmico total del muro/techo *IPTC*, *IPTF* e *IPT*, para $a=0.2$, 0.5 y 0.8 , respectivamente. Como puede observarse, para los tres casos, el mejor muro/techo (mayor *IDT*) es el EPS_ext (4) y el peor es el EPS (3), el orden de las configuraciones no cambia con la variación de a . Por definición de estos índices se compara el muro/techo con el peor posible, $a=1$ para calor y $a=0$ para frío. Esto hace que se pierda resolución y se obtengan valores más altos en la calificación con respecto al *IPM*. Dada una configuración al aumentar a el *IPTC* disminuye, el *IPTF* aumenta y el *IPT* disminuye.

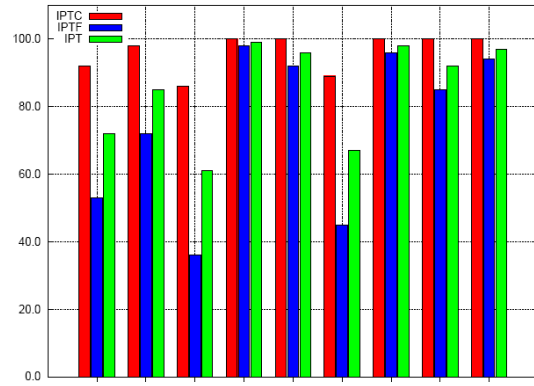


Figura 9. Índices de desempeño térmico total del muro/techo para calor *IPTC*, para frío *IPTF* y su promedio *IPT* para las nueve configuraciones, $a=0.2$.

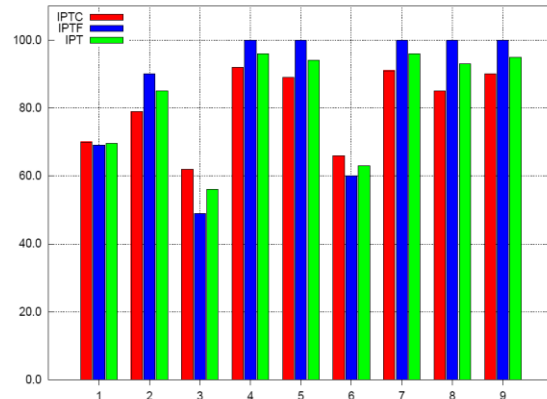


Figura 10. Índices de desempeño térmico total del muro/techo para calor *IPTC*, para frío *IPTF* y su promedio *IPT* para las nueve configuraciones, $a=0.5$.

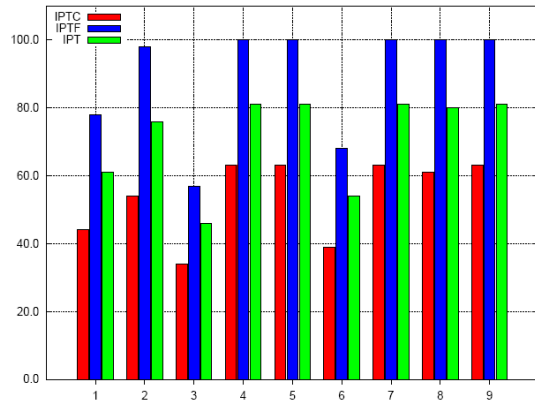


Figura 11. Índices de desempeño térmico total del muro/techo para calor *IPTC*, para frío *IPTF* y su promedio *IPT* para las nueve configuraciones, $a=0.8$.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El valor R y el conjunto de porcentajes de horas de confort hC , de horas de disconfort caliente hDC y frío hDF son indicadores poco útiles. El primero porque no toma en cuenta la capacidad de almacenamiento térmico y da resultados erróneos en edificaciones no climatizadas, como se demuestra con los resultados de este trabajo y de uno anterior (Huelsz *et al.* 2009). El segundo conjunto porque no toman en cuenta que tan alejado del confort se encuentra el interior.

Todos los demás conjuntos de indicadores son consistentes, colocan a las configuraciones por su desempeño térmico en el mismo orden. La ventaja del conjunto factor de decremento FD y tiempo de retraso TR es que permite trasladar los resultados a condiciones externas diferentes. Sin embargo es más difícil de interpretar para personas sin conocimientos en transferencia de calor. La ventaja del conjunto sobrecalentamiento SC y sobreenfriamiento SF (y su suma S) es que dan una idea muy directa y clara de los máximos en disconfort caliente y frío que produce el muro/techo, la desventaja es que no da información sobre la duración del disconfort caliente y del frío. Para solventar este punto, este conjunto de indicadores se puede usar con el conjunto de porcentajes de horas de confort hC , de horas de disconfort caliente hDC y frío hDF . La ventaja del conjunto de los índices de disconfort térmico IDC , IDF e ID , es que consideran el efecto durante todo el día del muro/techo sobre las condiciones de confort del interior, dadas unas condiciones exteriores. Su desventaja es que su interpretación no es tan directa y como sus valores son más pequeños con respecto SC , SF y S , puede subestimarse la importancia del disconfort. La ventaja de los conjuntos de los índices de desempeño de materiales y totales es que otorgan una calificación al muro/techo (0 al 100) que permite conocer el desempeño del muro/techo, dadas unas condiciones exteriores, sin necesidad de comparar su valor con la de otro muro/techo. Ambos reflejan el efecto del valor de la absorptividad de la superficie exterior a . El conjunto de los índices de desempeño térmico totales amplifica la importancia de este parámetro, pero pierde resolución en la calificación entre distintas configuraciones. Ya que estos cinco conjuntos dan resultados consistentes, se recomienda el uso de alguno de ellos. Como todos tienen alguna ventaja sobre los otros, la selección dependerá de la aplicación que se desee.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por los proyectos CONACYT 25116 y CONACYT FOMIX- Estado de Morelos 93693.

REFERENCIAS

- ASHRAE (1997). SI Edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Chandra P. (1980). Rating of wall and roof sections – thermal considerations. *Building and Environment*, Vol. 15, p. 245-255.
- Chow D. H. C., Levermore G. J. (2007). New algorithm for generating hourly temperature values using daily maximum, minimum and average values from climate model. *Building Serv. Eng. Res. Technol.*, 28(3), 237–248.
- Diario Oficial (2001). Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. Diario Oficial Miércoles 25 de abril de 2001. Segunda sección, México, p. 59-100.
- DOE (2009). Energy Plus, U.S. Department of Energy, <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- Givoni B. (1981). Man, climate and architecture. Applied Science Publishers, London.
- Huelsz, G., Rechtman, R., Rojas, R. 2009 Altos valores de la resistencia térmica no aseguran un buen desempeño térmico de la envolvente de una edificación. Memorias de la XXXIII Semana Nacional de Energía Solar, ANES, Guadalajara, Jal., 28 septiembre- 3 octubre 2009, ABC-050, 237-240.
- Incropera, F. P. and De Witt, D. P. (2002). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, p. 88-93 y 239-324, John Wiley & Sons, New York.
- Patankar, S. V. (1980). Numerical heat transfer and fluid flow. Taylor & Francis, London.
- Synnefa A., Santamouris M., Akbari A. (2007). Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings*, Vol. 39, p. 1167-1174.