

PARÁMETROS PARA MEDIR EL DESEMPEÑO TÉRMICO DE MUROS/TECHOS DE LA ENVOLVENTE DE UNA EDIFICACIÓN QUE NO USA AIRE ACONDICIONADO

Guillermo Barrios, Guadalupe Huelsz y Jorge Rojas

Centro de Investigación en Energíá, Universidad Nacional Autónoma de México, A. P. 34 Temixco Centro, Morelos, México,

Teléfono/Fax 55+56-22-97-41, gbv@cie.unam.mx

J. Manuel Ochoa y Irene Marincic

Dpto. de Arquitectura y Diseño, Universidad de Sonora, Blvd. Encinas y Rosales, Col. Centro, (83000) Hermosillo, México.

Tel. +52 662 2592179.

RESUMEN

En este trabajo se analizan cinco parámetros para medir el desempeño térmico de muros o techos de la envolvente de una edificación que no usa aire acondicionado. El análisis de los parámetros se realiza a partir de resultados de simulaciones numéricas de un modelo de la transferencia de calor unidimensional dependiente del tiempo con condiciones periódicas para cinco configuraciones de techo. Los parámetros a analizar son: la energía transferida a través de un techo/muro durante un día, el factor de decremento superficial, el factor de decremento sol-aire, el disconfort térmico y la temperatura promedio del aire al interior. Se analiza la sensibilidad de estos parámetros respecto a las condiciones climáticas y a la absorptancia solar de la superficie exterior del muro/techo. Además se demuestra que la resistencia térmica (R) no es un parámetro adecuado para evaluar el desempeño térmico de un muro de la envolvente de una edificación donde no se usa aire acondicionado. Este trabajo es financiado por el Fondo de Sustentabilidad Energética CONACYT-SENER con el Proyecto S0019-2009-01-118665.

ABSTRACT

Five parameters to measure the thermal performance of envelope wall/roofs of a building with no use of air conditioning are analyzed. Analysis of the parameters is made from results of numerical simulations of a time-dependent one-dimensional heat transfer model with periodic outdoor conditions for five roof configurations. The parameters are the energy transferred through the wall/roof during a day, the surface decrement factor, the solar decrement factor, the thermal discomfort, and the average interior air temperature. The sensitivity of these parameters with climatic conditions and outdoor surface solar absorptance is analyzed. Also, it is shown that the thermal resistance (R) is not a suitable parameter to evaluate the thermal performance of a wall/roof of the envelope of a building where air conditioning is not used. This work is sponsored by the Fondo de Sustentabilidad Energética CONACYT-SENER, S0019-2009-01-118665 project.

Palabras claves: evaluación térmica, muro, techo, envolvente, no aire acondicionado.

INTRODUCCIÓN

Los muros y techos de la envolvente de una edificación juegan un papel muy importante en la transferencia de calor del exterior a los espacios interiores. Desde un punto de vista térmico, un buen muro o techo para edificaciones que no cuentan con

acondicionamiento de aire es aquel que contribuye a acercar la temperatura del aire al interior a la zona de confort.

Este trabajo está enfocado en analizar cinco parámetros para la evaluación del desempeño térmico de muros y/o techos de la envolvente de una edificación que no utiliza aire acondicionado. En la mayor parte del territorio México, es posible alcanzar el confort térmico al interior de las edificaciones usando un adecuado diseño bioclimático que incluye la correcta selección de materiales a usar para la envolvente.

El parámetro más usado para la evaluación térmica de muros y/o techos es la resistencia térmica (R). Se considera que entre más grande sea el valor R , mejor será el desempeño térmico (ASHRAE 2005, ISO-6946 2007). Sin embargo, esta conclusión sobre el valor de la resistencia térmica está basada en un análisis de transferencia de calor en estado estacionario que es una buena aproximación para edificaciones que usan aire acondicionado y además cuando la amplitud de la oscilación de la temperatura exterior es pequeña y las ganancias por radiación solar son bajas (Kuehn et al 2001, Barrios et al 2011). Ya se ha demostrado que cuando la amplitud de la oscilación de la temperatura externa y el valor de la radiación solar es importante, un muro y/o techo construido con una adecuada combinación de materiales, aún con un valor bajo de resistencia térmica, presenta un mejor desempeño que uno con alta resistencia térmica pero baja capacidad de almacenamiento térmico (Huelsz et al 2009 y Barrios et al 2011).

Otros parámetros usados para evaluar el desempeño térmico de muros y/o techos bajo condiciones exteriores periódicas son el factor de decremento superficial DF_s y el tiempo de retraso superficial LT_s . Algunos autores han usado como parámetro la temperatura superficial interior promedio (Kontoleon y Bikas 2007).

En este trabajo se analizan cinco parámetros para evaluar el desempeño térmico de muros y techos en condición de no aire acondicionado. Estos son, la energía transferida a través del sistema constructivo de la envolvente E , el factor de decremento superficial DF_s , el factor de decremento basado en la temperatura sol aire DF_{sa} , el disconfort térmico D y la temperatura interior promedio del aire T_{in} .

El análisis de los parámetros se realiza a partir de resultados de simulaciones numéricas de cinco sistemas constructivos de un techo horizontal ubicado en Temixco, Morelos. Las simulaciones corresponden a un mes frío y a un mes cálido, se consideran dos valores de la absorptancia solar.

SIMULACIONES NUMÉRICAS

Para analizar los parámetros mencionados, se realizaron simulaciones numéricas del transporte de calor unidimensional dependiente del tiempo a través de cinco configuraciones de techo. El modelo para evaluar sistemas constructivos en condiciones de no aire acondicionado presentado en la referencia Barrios et al (2011) fue usado. Para todas las simulaciones se consideraron $h_o=13.0W/m^2\text{°C}$ y $h_i= 6.6W/m^2\text{°C}$. Las condiciones climáticas corresponden a Temixco, Morelos, tomando un día típico frío (diciembre) y un día típico cálido (mayo). Además se consideraron dos valores de la absorptancia solar correspondientes a un impermeabilizante blanco recién puesto ($a = 0.2$) y el correspondiente a un impermeabilizante negro ($a = 0.8$).

Los cinco sistemas constructivos se describen, de exterior a interior, en la Tabla 1. Los materiales usados son concreto de alta densidad (CAD), concreto aerado (CA) y poliestireno expandido (EPS), sus propiedades térmicas se presentan en la Tabla 2.

Sistema Constructivo	Descripción de exterior a interior
1	0.10m CAD
2	0.10m CA
3	0.10m EPS
4	0.02m EPS + 0.08m CAD
5	0.08m CAD + 0.02m EPS

Tabla 1: Descripción de los sistemas constructivos usados en la simulación.

Material	Conductividad (W/m °C)	Densidad (kg/m³)	Calor específico (J/kg °C)
CAD	2.00	2400	1000
CA	0.12	550	1004
EPS	0.04	15	1400

Tabla 2: Propiedades térmicas del concreto de alta densidad (CAD), concreto aerado (CA) y poliestireno expandido (EPS).

DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS

Energía

Para el día típico del mes, la energía que entra a la edificación a través del sistema constructivo, por unidad de área de éste, a lo largo de un día se calcula como,

$$E = \sum_n h_i(T_i - T_{wi})\Delta t \quad \text{si } T_{wi} > T_i, \quad (7)$$

donde la sumatoria se toma durante el día, T_i es la temperatura del aire al interior, T_{wi} es la temperatura superficial interior y Δt es el paso temporal de la solución numérica. Entre menor sea E , mejor será el desempeño del sistema constructivo.

Factor de decremento superficial DF_s

El factor de decremento superficial, mide la proporción de la amplitud de la oscilación de temperatura de la superficie interior del muro con respecto a la del exterior, se define como,

$$DF_s = \frac{T_{si\max} - T_{si\min}}{T_{se\max} - T_{se\min}}, \quad (8)$$

donde $T_{si\max}$, $T_{si\min}$ son las temperaturas superficiales interiores máxima y mínima, respectivamente y $T_{se\max}$, $T_{se\min}$ son las temperaturas superficiales exteriores máxima y mínima, respectivamente. Entre menor sea el DF_s , mejor será el desempeño del sistema constructivo.

Factor de decremento sol-aire DF_{sa}

El factor de decremento sol-aire se define de la misma manera que el superficial, sólo que en lugar de las temperaturas superficiales exteriores e interiores, se usan la temperatura sol-aire (ASHRAE 2005) y la temperatura del aire al interior.

$$DF_{sa} = \frac{T_{i\max} - T_{i\min}}{T_{sa\max} - T_{sa\min}} \quad (9)$$

donde $T_{i\max}$, $T_{i\min}$ son las temperaturas del aire al interior máxima y mínima, respectivamente y $T_{sa\max}$, $T_{sa\min}$ son las temperaturas sol-aire máxima y mínima, respectivamente.

Discomfort térmico

El discomfort térmico D se define como la suma del discomfort térmico frío y el discomfort térmico cálido. El discomfort térmico cálido es

$$D_c = \sum (T_i - T_n - \Delta T_n) \Delta t, \quad \text{si } T_i > T_n + \Delta T_n \quad (10)$$

y el discomfort térmico frío es

$$D_f = \sum (T_n - \Delta T_n - T_i) \Delta t, \quad \text{si } T_i < T_n - \Delta T_n, \quad (11)$$

donde T_n es la temperatura de neutralidad (Givoni 1981) y ΔT_n la amplitud de la zona de confort (Morillón 2004).

Temperatura interior promedio

Como su nombre lo indica, es el valor de la temperatura promedio del aire al interior durante el día típico.

ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS

Antes de analizar los parámetros definidos en la sección anterior, se muestra en la Figura 1 el valor de la resistencia térmica total (R) de cada uno de los sistemas constructivos. Como se puede observar, la configuración 3 (EPS) cuenta con el valor de R más alto, y las configuraciones 4 y 5 presentan el mismo valor, pues este parámetro no distingue la posición de las capas usadas en el sistema constructivo.

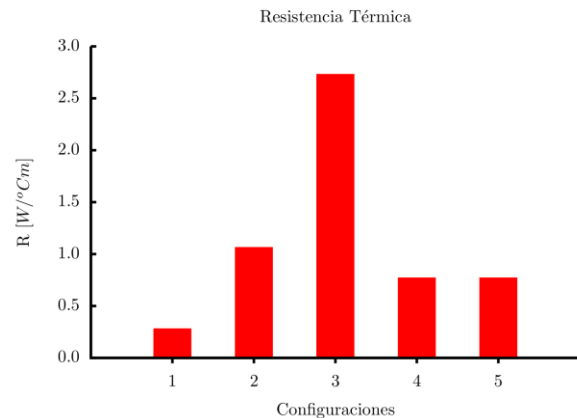


Figura 1: Valor de la resistencia térmica para cada uno de los sistemas constructivos.

En la Figura 2 se muestra la energía transferida a través de los sistemas constructivos para el mes de (a) diciembre y (b) mayo para dos valores de la absorptancia solar ($a = 0.2$ y $a = 0.8$). El mejor sistema constructivo es aquel que presenta el menor valor de energía durante el día típico (Barrios et al 2012). De la figura se puede apreciar que al aumentar el valor de la absorptancia, la energía transferida aumenta también y que durante el mes cálido, como es de esperarse, el valor de la energía aumenta también. Para cualquier caso, el orden de los sistemas constructivos de mejor a peor es 4, 2, 1, 5 y 3. Siendo el mejor sistema constructivo el formado por una capa de concreto de alta densidad con una capa de aislante en el exterior.

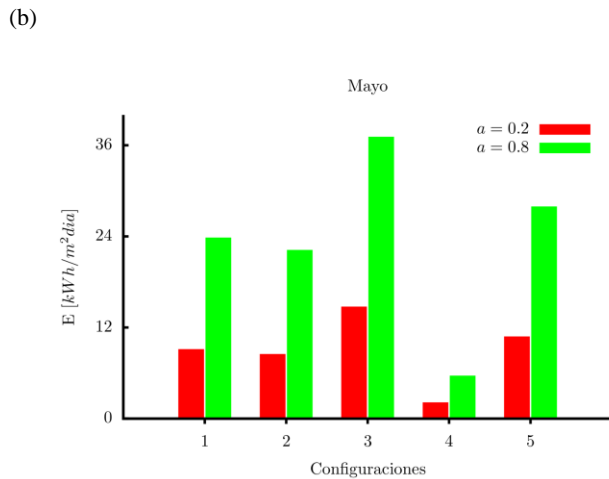
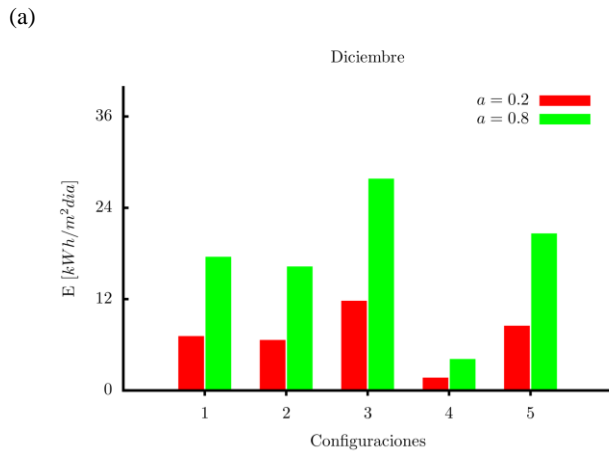


Figura 2: Energía que entra a través de los cinco sistemas constructivos para (a) un día típico de diciembre y (b) un día típico de mayo de Temixco, Morelos.

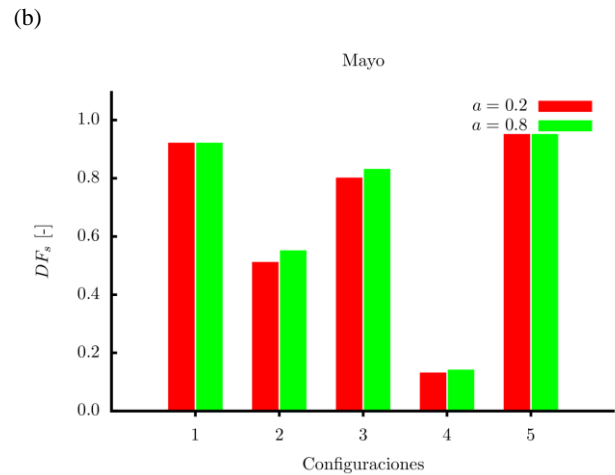
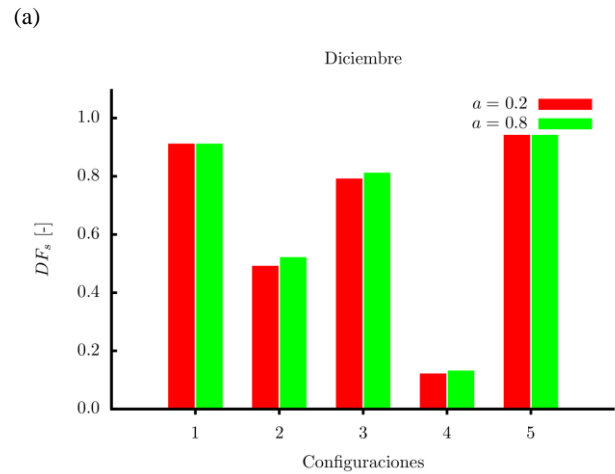


Figura 3: Factor de decremento superficial de los cinco sistemas constructivos para (a) un día típico de diciembre y (b) un día típico de mayo de Temixco, Morelos.

Si se usa el factor de decremento superficial para ordenar de mejor a peor se obtiene que el orden de los sistemas constructivos es 4, 2, 3, 1 y 5, como se puede ver de la Figura 3. Esto se debe a que la temperatura superficial puede incrementarse dependiendo de la posición de las capas.

Al usar el factor de decremento sol-aire, como se puede ver en la Figura 4, el orden es el mismo que en el valor de energía transferida a través del sistema constructivo. Además, como se puede observar, el DF_{sa} es independiente del clima y la absorptancia.

El desconfort térmico, mostrado en la Figura 5, califica a los sistemas constructivos de la misma manera que la energía transferida a través del mismo.

Finalmente, en la Figura 6 se presenta la temperatura promedio del aire al interior correspondiente a cada sistema constructivo. Dada las condiciones periódicas de la simulación numérica, la temperatura interior promedio del aire resulta ser función sólo de las condiciones de clima y del valor de la absorptancia solar, y no del sistema constructivo, como puede observarse.

CONCLUSIONES

Se han presentado cinco parámetros para medir el desempeño térmico de techos de la envolvente de una edificación que no usa aire acondicionado. Los parámetros se evaluaron usando cinco sistemas constructivos de techo y resolviendo numéricamente la transferencia de calor unidimensional dependiente del tiempo con condiciones periódicas al exterior. Los resultados de este trabajo se pueden extender a muros realizando los cálculos de radiación solar sobre este tipo de superficies.

La energía que entra a través del sistema constructivo E es un parámetro confiable para seleccionar la mejor configuración. Este parámetro depende de las condiciones de clima y del valor de la absorptancia solar de la superficie exterior. Si se varía alguna de estas dos variables, la relación cuantitativa entre las configuraciones se mantiene.

El factor de decremento superficial DF_s no es un buen parámetro para medir el desempeño térmico de un muro/techo, pues sus resultados no son consistentes, con los demás parámetros. Sin embargo, por su facilidad de medición en sistemas experimentales, puede usarse para validar modelos numéricos de transferencia de calor.

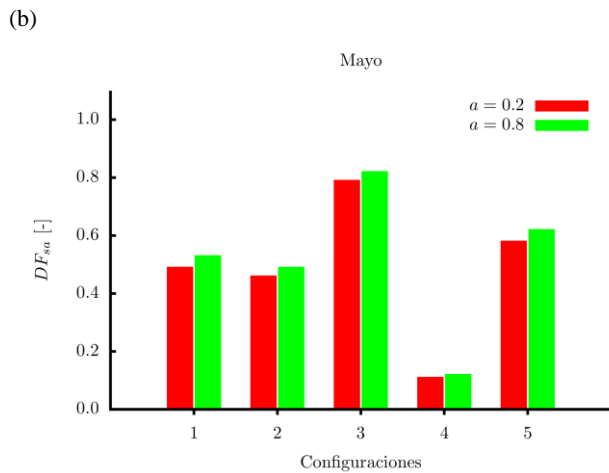
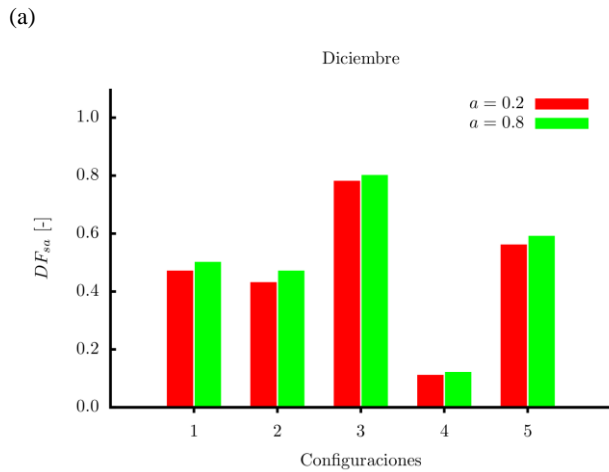


Figura 4: Factor de decremento sol-aire de los cinco sistemas constructivos para (a) un día típico de diciembre y (b) un día típico de mayo de Temixco, Morelos.

El factor de decremento sol-aire DF_{sa} , es, al igual que la energía transmitida, un buen parámetro para medir el desempeño térmico de muros o techos. Este parámetro además no depende de las condiciones climáticas y de la absorptancia solar de la superficie exterior.

El disconfort térmico al igual que el DF_{sa} y la energía transmitida, es un buen parámetro para medir el desempeño térmico de muros y techo. Este parámetro es sensible a las condiciones climáticas y a la absorptancia solar de la superficie exterior.

La temperatura interior promedio del aire no nos ayuda a seleccionar el mejor sistema constructivo, sin embargo, puede ser usado para ver la influencia del clima o de la absorptancia o ser usado como complemento con el factor de decremento sol-aire.

Se resalta además que el mejor sistema constructivo para la envolvente de una edificación que no usa aire acondicionado no es el que tiene la resistencia térmica más alta (R) y que dos configuraciones diferentes pero con el mismo valor de la resistencia térmica, tienen un desempeño térmico diferente.

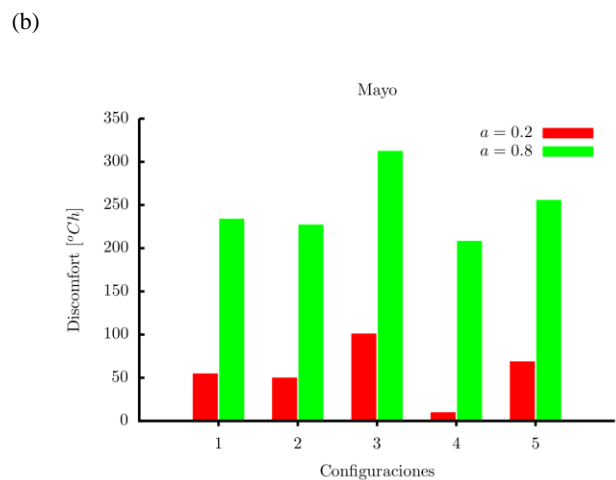
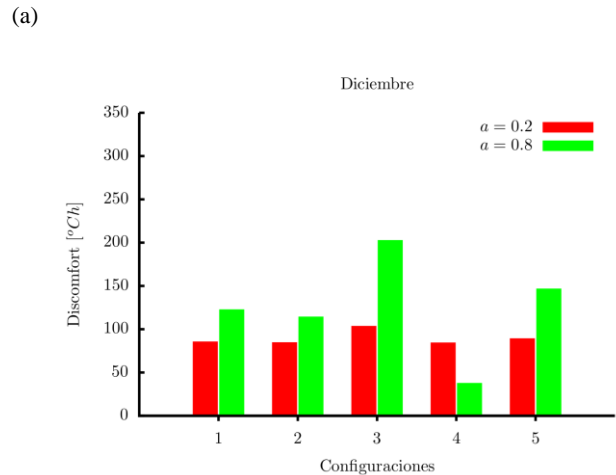


Figura 5. Disconfort térmico de los cinco sistemas constructivos para (a) un día típico de diciembre y (b) un día típico de mayo de Temixco, Morelos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado como parte del proyecto S0019-2009-01-118665 financiado por el Fondo de Sustentabilidad Energética CONACyT-SENER

REFERENCIAS

- ASHRAE (2005), Handbook Fundamentals, SI edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ISO (2007), ISO-6946 – Building Components and Building Elements – Thermal Resistance and Thermal Transmittance – Calculation Method, 2007.
- Kuehn T.H., Ramsey W.W., y Threlkeld J.L. (2001). Thermal Environmental Engineering, p. 559-560. Prentice Hall, New Jersey.
- Barrios, G., Huelsz, G., Rechtman, R., y Rojas, R. (2011) Wall/roof thermal performance differences between air-conditioned and non air-conditioned rooms, Energy and Buildings 43, p. 219-223.
- Huelsz G., Rechtman R. y Rojas J. (2009). Altos valores de la resistencia térmica no aseguran un buen desempeño térmico de la

envolvente de una edificación. XXXIII Semana Nacional de Energía Solar, de la Asociación Nacional de Energía Solar.

K.J. Kontoleon y D.K. Bikas (2007), The effect of south walls outdoor absorption coefficient on time lag, decrement factor and temperature variations, *Energy and Buildings* 39, p. 1011–1018.

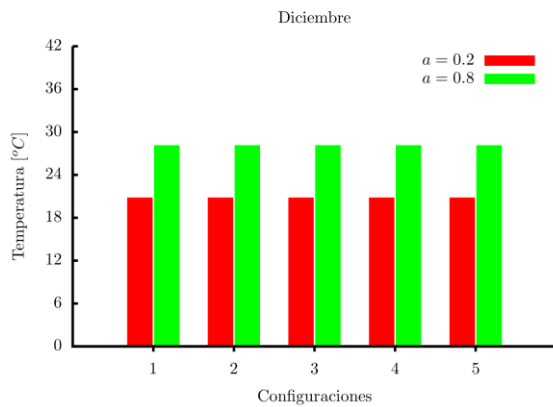
G. Barrios, G. Huelsz, R. Rechtman, y J. Rojas (2011), Wall/roof thermal performance differences between air-conditioned and non air-conditioned rooms, *Energy and Buildings* 43, p. 219–223.

Morillón-Gálvez D., Saldaña-Flores R., y Tejeda-Martínez A., (2004). Human bioclimatic atlas for Mexico, *Solar Energy*, Vol. 76, p. 781-792.

Givoni B. (1981). *Man, Climate and Architecture*, Applied Science Publishers, London.

Barrios G., Huelsz G, Rojas J, Ochoa J. M, Marincic I. (2012) Envelope wall/roof thermal performance parameters for non air-conditioned buildings. *Energy and Buildings* 50, 120-127.

(a)



(b).

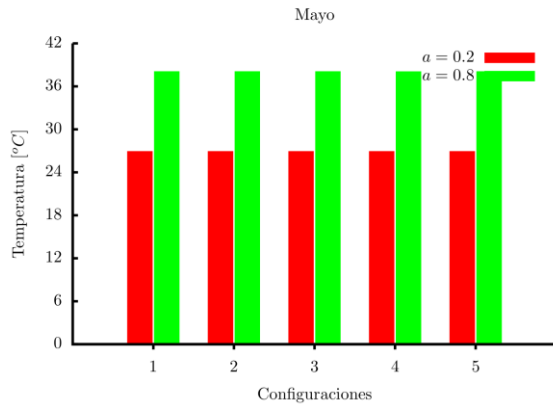


Figura 6. Temperatura interior promedio del aire correspondiente a los cinco sistemas constructivos para (a) un día típico de diciembre y (b) un día típico de mayo de Temixco, Morelos.