

## **SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE VIDRIOS EN CLIMA TROPICAL, EN UNA CAJA CALIENTE**

**Geovanni Siem; Giuseppe Nediani; María Eugenia Sosa**

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Facultad de Arquitectura y Urbanismo,  
Universidad Central de Venezuela  
Apartado 47.169, Caracas 1041-A, Venezuela  
Telf/fax: (58-212) 605.2046 / 2048  
e-mail: [gsiem@idec.arq.ucv.ve](mailto:gsiem@idec.arq.ucv.ve), [nediani@cantv.net](mailto:nediani@cantv.net), [msosa@idec.arq.ucv.ve](mailto:msosa@idec.arq.ucv.ve)

### **RESUMEN**

Este trabajo da continuidad a los experimentos realizados y presentados en COTEDI 2000, referidos a la evaluación del comportamiento de diferentes tipos de vidrios en clima tropical, a través de una caja caliente. En esta ocasión se han realizado simulaciones con el programa EnergyPlus™ para verificar la validez de las hipótesis iniciales y luego para estudiar los resultados de la influencia de la orientación de tres tipos de vidrio: claro, gris y reflectivo, en la temperatura interior de la caja caliente utilizada para el estudio. Los resultados obtenidos permiten hacer una reflexión acerca de la importancia de un buen conocimiento de la influencia de la orientación de las fachadas en la ganancia de radiación solar y en consecuencia en el diseño de equipos de acondicionamiento activo y en el consumo energético.

### **ABSTRACT**

This work gives continuity to the experiments carried out and presented in COTEDI 2000, referred to the evaluation of the behavior of different types of glasses in tropical climate, through a hot box. In this occasion simulations with the program EnergyPlus™ have been carried out to verify the validity of the initial hypothesis and then to study the results of the influence of the orientation of three types of glass: clear, gray and reflective, in the interior temperature of the hot box utilized for the study. The results obtained permit to do a reflection about the importance of a good knowledge of the influence of the orientation of the facades in the solar profit of radiation and consequently in the design of air conditioning systems and the energy consumption

### **1. INTRODUCCIÓN**

Las ventanas y otras aberturas proveen el acceso a la vista del paisaje, a la luz natural y a la ventilación natural, pero al mismo tiempo esta luz solar directa puede representar una alta ganancia de calor en el interior de los ambientes, la cual puede requerir una importante carga de energía de enfriamiento en una edificación con aire acondicionado.

La radiación solar suministra luz y calor. La luz visible se mide a través del Coeficiente de Transmisión de Luz Natural VLTC (Visible Light Transmisión Coefficient). Un valor alto de VLTC representa una alta transmisión de luz visible

La ganancia de calor solar es medido por el Coeficiente de Ganancia de Calor Solar SHGC (Solar Heat Gain Coefficient). Un bajo SHGC representa una menor ganancia de calor.

Una buena combinación de estos dos valores lo ofrecen los cristales de alto rendimiento o espectralmente selectivos, pues reducen la cantidad de calor transmitido mientras permiten el paso de altos niveles de luz visible. En consecuencia reducen las necesidades de energía para enfriamiento y al mismo tiempo también reducen las necesidades de luz eléctrica. Adicionalmente retardan el deterioro de los muebles debido a la radiación ultravioleta.

Tomando en cuenta las características de un clima cálido húmedo, como el que prevalece en la mayor parte de los centros poblados de Venezuela, se pueden señalar indicadores para seleccionar las características termofísicas de vidrios adecuados al país:

- Un valor bajo de Coeficiente de Ganancia Solar SHGC es la propiedad más importante en climas cálidos. Es recomendable seleccionar ventanas con un SHGC de 0,40 o menos.
- Es recomendable seleccionar ventanas con un valor alto de Coeficiente de luz visible VLTC de 0,7 o más para maximizar la luz natural y la vista.

En climas tropicales la mejor orientación para ventanas son las fachadas norte y sur. Esta estrategia debe combinarse con la reducción del número y área de ventanas y cristales en las fachadas este y oeste, o con el uso de parasoles o tecnologías de cristales.

Un importante conclusión que se obtiene de este análisis es que la integración en el diseño arquitectónico de ventanas y vidrios eficientes pueden tener un notable impacto en la disminución del consumo de energía en edificaciones, así como también en la reducción de las emisiones de gases a la atmósfera. Adicionalmente se reducen los costos iniciales de inversión y los costos por uso y mantenimiento de sistemas de aire acondicionado y otras instalaciones y equipos.

## **2. PROPÓSITO**

Este trabajo se inscribe en la búsqueda de un uso adecuado de vidrios o cristales en edificaciones en Venezuela, que respondan a las necesidades de iluminación apropiada a las características y régimen de ocupación de los ambientes, y al mismo tiempo reduzcan las exigencias de aire acondicionado en edificaciones asistidas con sistemas activos de ventilación.

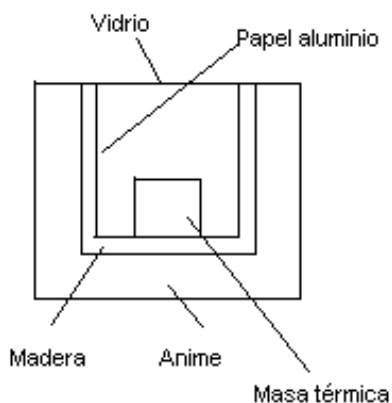
Un objetivo colateral planteado en este trabajo es esbozar algunas orientaciones para el uso racional de las fachadas de vidrio, las cuales se han impuesto en algunas ocasiones de manera indiscriminada, por la falta de políticas y regulaciones que estimulen la construcción de edificaciones de alta eficiencia energética.

Trabajos posteriores como continuación de éste deben enfocarse en plantear soluciones a situaciones concretas existentes y a producir un cambio en las orientaciones de la formación de los arquitectos y en la práctica profesional de los constructores.

## **3. CONDICIONES DEL EXPERIMENTO**

En el estudio experimental que precede a este trabajo, se construyó una caja caliente de forma cúbica, de dimensiones internas de 31x31x31 cm, en madera de 15 mm de espesor, recubierta interiormente con papel de aluminio (lámina). La caja está protegida en 5 de sus lados con láminas de anime (poliestireno expandido) de 100 mm de espesor. La única cara descubierta permite colocar los diferentes tipos de vidrio que se evaluarán. En la simulación esta cara se colocó sucesivamente en los cuatro puntos cardinales, y se determinó los valores internos de temperatura para 3 tipos de vidrio: claro, gris y reflectivo. La medición de la temperatura se realizó sobre un masa térmica conformada por 4 bloques de arcilla de 25x12x6 cm pintados con pintura negra para absorber la mayor cantidad de radiación solar que entra por el vidrio o que se refleja en las paredes interiores, cubiertas de papel aluminio.

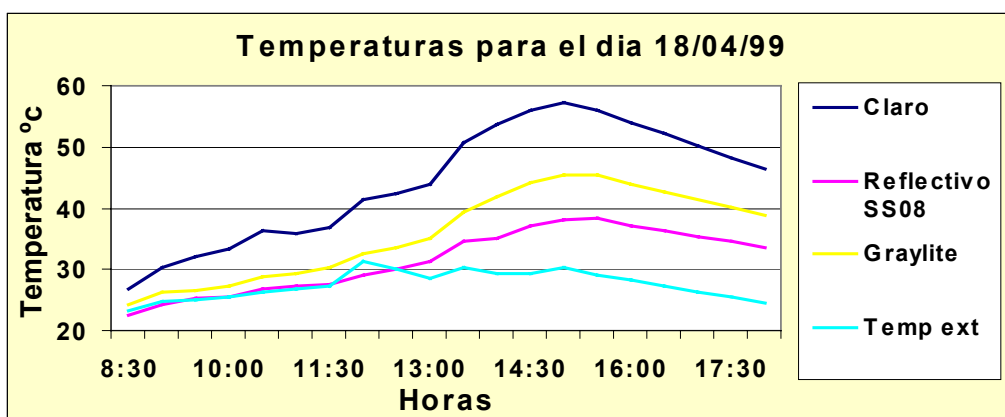
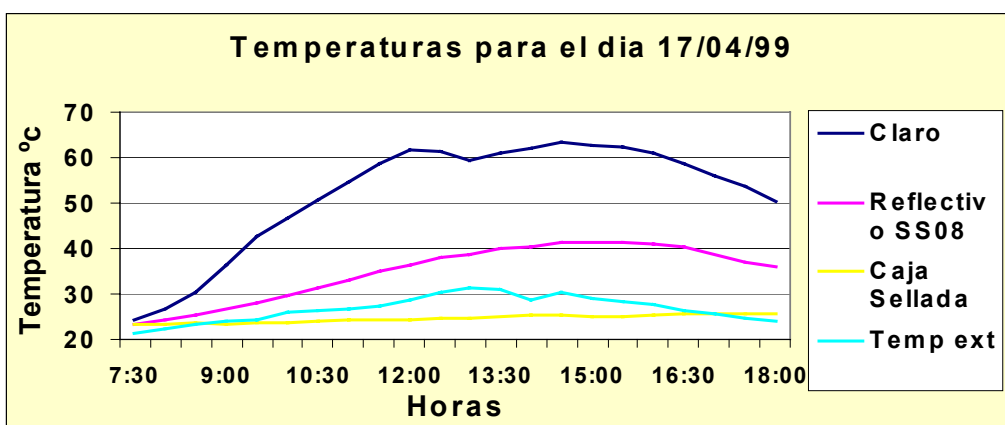
Las condiciones geográficas corresponden a la ciudad de Caracas, Venezuela, 10,6° LN, -66,88 LO, -4 GMT, 835 msnm. Las mediciones se efectuaron el 19 de abril de 1999.

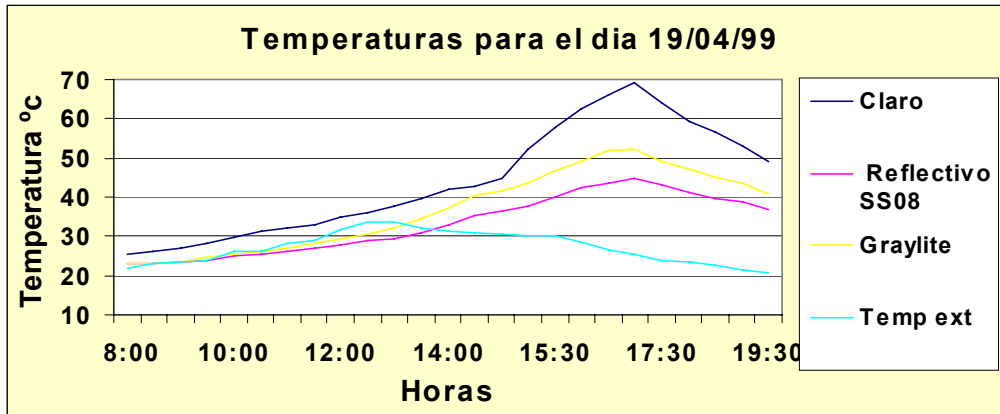


**Fig. 1 Esquema constructivo de la caja térmica**

#### 4. RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS

Las mediciones realizadas durante el experimento referido en la publicación mencionada, se muestran a continuación. El día 17/04/99 la caja caliente se ubicó con la ventana en posición horizontal, mientras que los días 18/04/99 y 19/04/99 la ventana se orientó hacia el oeste.





#### 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Las propiedades de los materiales y de los componentes constructivos, que conforman la caja caliente, utilizados para la corrida del programa EnergyPlus, se resumen en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1. Propiedades de los materiales constructivos de la caja caliente**

Nombre	Rugosidad	Espesor m	Conductividad W/m-k	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Calor específico J/kg-k	Absortividad Térmica	Absortividad solar	Absortividad visible
Anime (poliestireno expandido)	Rugoso	0,1	0,02999	2883	1210	0,5	0,5	0,5
Madera (chapa)	Medio suave	0,015	0,11	544,62	1210	0,9	0,7	0,7
Aluminio (lámina)	Suave	0,001	221,38	2739,5	890	0,9	0,2	0,2
Ladrillos de arcilla	Rugoso	0,24	1,33	2002	920	0,999	1	1

**Tabla 2. Propiedades de los vidrios evaluados**

NOMBRE	CLARO	GRIS	REFLECTIVO
<b>Espesor (m)</b>	0,003	0,003	0,003
<b>Transmitancia solar</b>	0,837	0,626	0,066
<b>Reflectancia solar (frente)</b>	0,075	0,061	0,341
<b>Reflectancia solar (atrás)</b>	0,075	0,061	0,493
<b>Transmitancia visible</b>	0,898	0,611	0,080
<b>Reflectancia visible (frente)</b>	0,081	0,061	0,410
<b>Reflectancia visible (detrás)</b>	0,081	0,061	0,370
<b>Transmitancia hemisférica</b>	0,0	0,0	0,0
<b>Emisividad hemisférica difusa (frente)</b>	0,84	0,84	0,84
<b>Emisividad hemisférica Difusa (detrás)</b>	0,84	0,84	0,4
<b>Conductividad (W/m-k)</b>	0,9	0,9	0,9

## 5. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Se efectuaron simulaciones en las siguientes condiciones:

1. 4 simulaciones de la caja caliente con **vidrio claro**, orientada al oeste, norte, este y sur, con las siguientes variables evaluadas:
  - a. Temperatura exterior de bulbo seco
  - b. Temperatura de cada una de las caras internas de la caja: paredes, techo, piso y vidrio.
  - c. Temperatura de la masa térmica
2. 4 simulaciones de la caja caliente con **vidrio gris**, orientada al este, oeste, norte y sur con la variable temperatura de masa térmica evaluada.
3. 4 simulaciones de la caja caliente con **vidrio reflectivo**, orientada al este, oeste, norte y sur con la variable temperatura de masa térmica evaluada.

Los resultados se muestran en las figuras 2 a la 9.

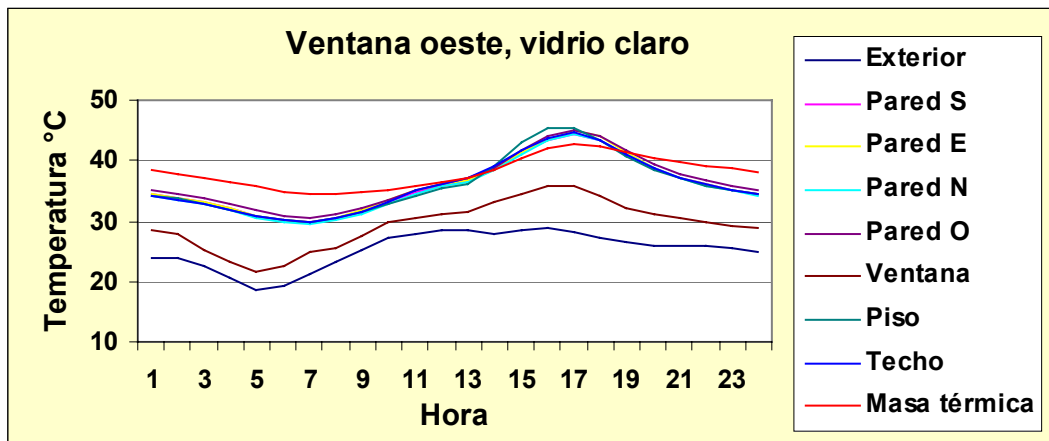


Fig. 2 Temperaturas interiores con vidrio claro orientado hacia el oeste

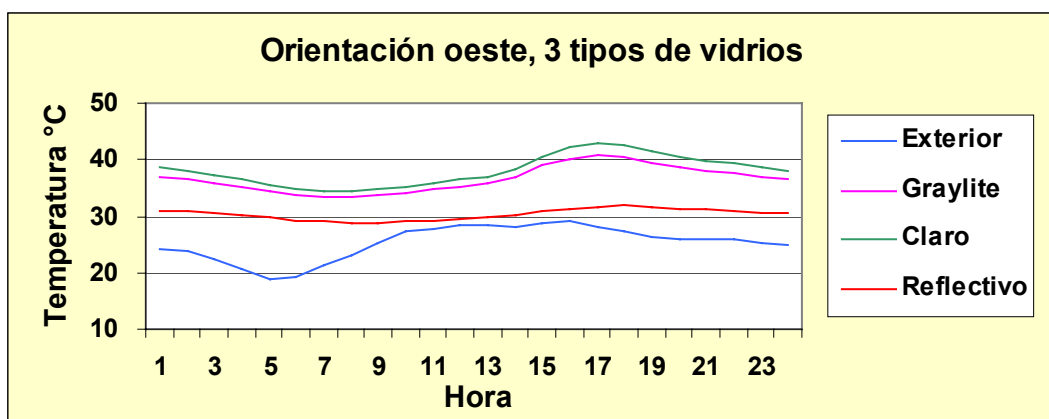


Fig. 3 Temperatura de la masa térmica para 3 tipos de vidrio orientados hacia el oeste

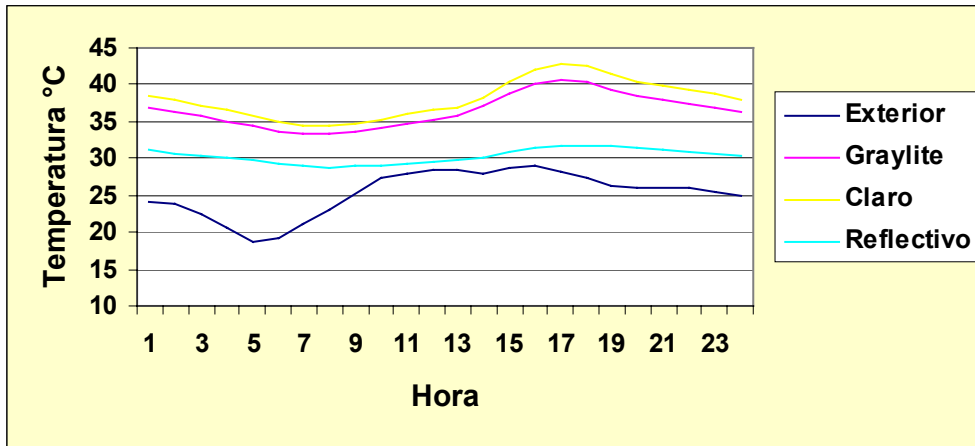


Fig.4 Temperaturas interiores con vidrio claro orientado hacia el norte

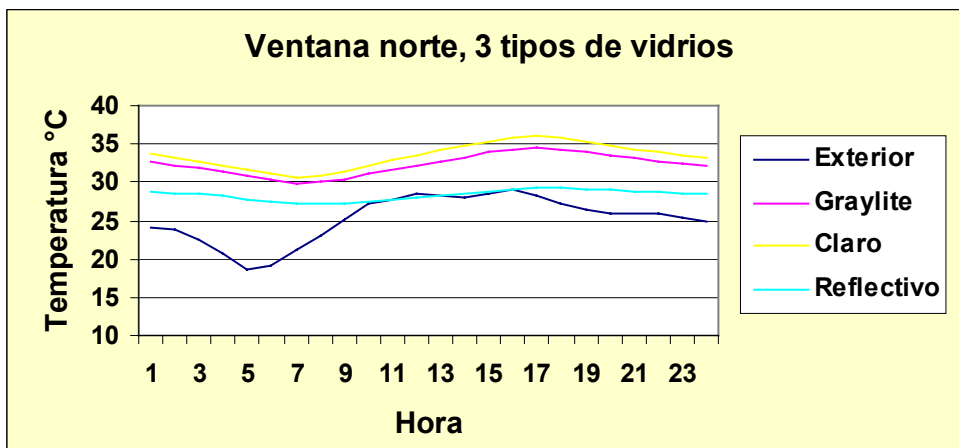


Fig. 5 Temperatura de la masa térmica para 3 tipos de vidrio orientados hacia el norte

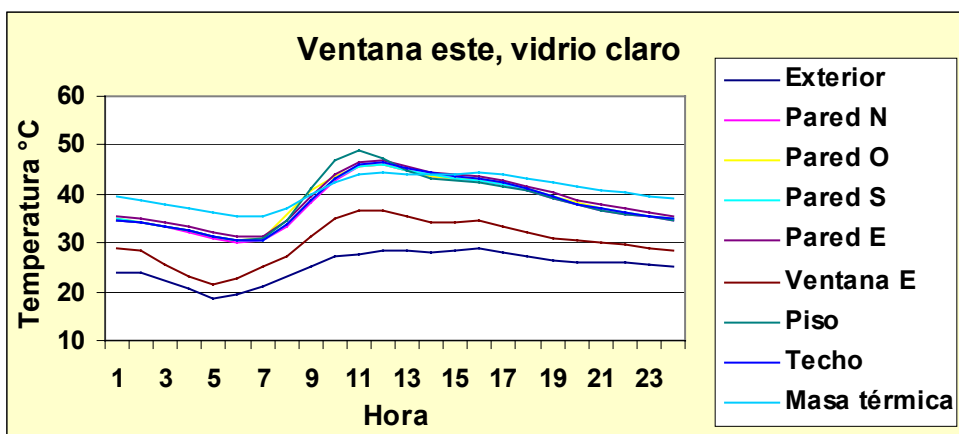


Fig. 6 Temperaturas interiores con vidrio claro orientado hacia el este

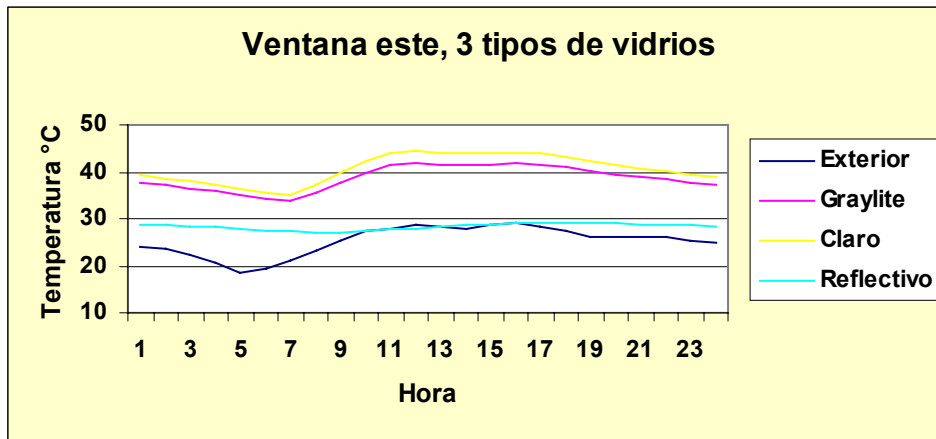


Fig. 7 Temperatura de la masa térmica para 3 tipos de vidrio orientados hacia el este

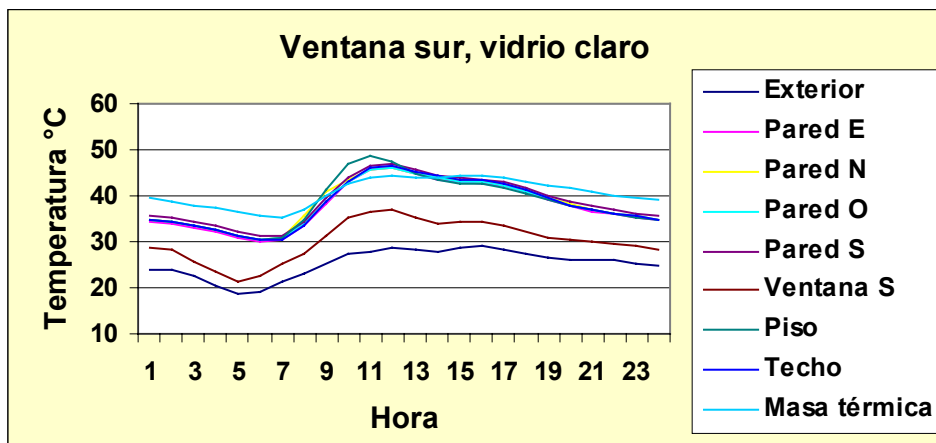


Fig. 8 Temperaturas interiores con vidrio claro orientado hacia el sur

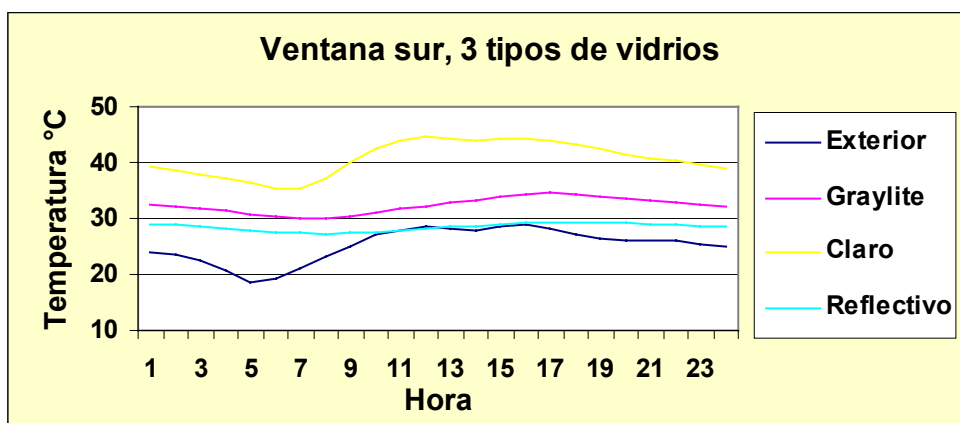


Fig. 9 Temperatura de la masa térmica para 3 tipos de vidrio orientados hacia el sur

## 6. CONCLUSIONES

Tal como se puede evidenciar de los resultados, las orientaciones este y oeste para las entradas de radiación solar son las más desventajosas, en comparación con las fachadas norte y sur. Se comprobó igualmente que los vidrios con algún tipo de elemento filtrante de la radiación solar tales como los casos empleados para la simulación, como el vidrio gris y el reflectivo, reducen la ganancia de calor. Es necesario tomar en cuenta también la calidad de la iluminación en cada caso, en relación a las necesidades del ambiente.

La realización de este trabajo nos presentó una buena oportunidad de experimentar la aplicabilidad del programa de simulación EnergyPlus™, para evaluar el comportamiento térmico de algunos vidrios en diversas condiciones en una caja caliente. Los resultados se asemejan a los obtenidos por métodos experimentales, realizados en un trabajo anterior, sin embargo las diferencias encontradas en los resultados pueden tener diversos orígenes. Por ejemplo, los valores asignados a las propiedades de los materiales para efectos de la simulación, son tomados de la documentación internacional, sin embargo se requeriría de una certificación rigurosa de las especificaciones de materiales nacionales, para producir resultados válidos y aplicables.

Es necesario destacar que los resultados experimentales corresponden a tres (3) días particulares, con grandes variaciones de la insolación debido a la lluvia intermitente y la variable nubosidad. Por el contrario el modelo de simulación emplea una base de datos que corresponde a lecturas de varios años, lo cual se refleja en un comportamiento más regular de la temperatura exterior. En nuestro programa de investigación hemos incluido otros experimentos en diferentes épocas del año para cotejarlos con nuevas simulaciones y así afinar las diferencias que aparezcan.

Por otro lado, es importante resaltar el gran impacto que tienen el área y orientación de las ventanas y fachadas de vidrios (curtain wall), en los costos económicos y energéticos de las edificaciones, por lo cual se requiere una estrategia de diseño racional que tome en cuenta la orientación y ubicación de los ambientes en función de las actividades realizadas allí y del régimen de ocupación

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMSTOCK, J.S. (1997) Handbook of Glass Construction, McGraw-Hill.
- ARNOLD, D. (1999) Air Conditioning in Office Buildings After World War II. ASHRAE Journal.
- ASHRAE (1997), Fundamentals Handbook.
- CARMONY, J., SELKOWITZ, S., HESCHONG, L. (1996), Residential Windows, W.W. Norton&Company
- ENERGYPLUS REFERENCE MANUALS (2002), The Board of Trustees of The University of Illinois and The Regents of The University of California, USA.
- KREIDER, J.K., KREITH, F.(1981), Solar Energy Handbook, McGraw-Hill
- NEDIANI, G. (2000) Evaluación experimental en “cajas calientes” del comportamiento a la radiación solar de vidrios. CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE CONFORT Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE EDIFICACIONES-COTEDI 2000, Maracaibo, Venezuela, p 151-156.
- NFRC, National Fenestrations Rating Council (2000), Draft N° 4, Standard Test Method for Measuring The Solar Heat Gain Coefficient of Fenestration System Using Calorimetry Hot Box Methods.