

SIMULACIÓN TÉRMICA Y FLUIDODINÁMICA DE UNA CHIMENEA SOLAR COMO SISTEMA PASIVO DE VENTILACIÓN

THERMAL AND FLUIDYNAMIC SIMULATION OF A SOLAR CHIMNEY AS A PASSIVE SYSTEM OF VENTILATION

HENRY ESPINOZA*, LUIS PATIÑO**, FILIBERTO TOVAR Y YORDY GONZÁLEZ

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Centro de Termofluidodinámica y Mantenimiento (CTYM).

*hespinoza@cantv.net **lpatino@udo.edu.ve

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de la simulación computacional del comportamiento térmico y fluidodinámico de un sistema pasivo de enfriamiento de viviendas conocido como chimenea solar, bajo condiciones climáticas tropicales. El modelo computacional bidimensional se resuelve mediante un software comercial (CFX™-4.3) basado en el método de los volúmenes finitos. El análisis se realiza tomando como datos de entrada, la temperatura ambiental e irradiación solar, medidas experimentalmente y correspondientes a un periodo determinado en la ciudad de Maracaibo. Se realizaron dos series de simulaciones en un local abierto de 3x3x2,5 metros, implementando el uso de la chimenea solar, y se demuestra numéricamente que el uso de estos sistemas pasivos reducen la temperatura del local por debajo de la temperatura ambiental en las horas críticas.

PALABRAS CLAVE: Chimenea solar, ventilación natural, simulación numérica

ABSTRACT

In this work, the results of the computational simulation of thermal and fluidynamic performance of a passive home cooling system, known as solar chimney, are shown under tropical climatic conditions. The bidimensional computational model is solved by means of a commercial software (CFX™-4.3) based on the finite volumes method. The analysis is performed taking as input data, the environmental temperature and solar irradiation, experimentally measured and corresponding to a certain period in the city of Maracaibo, makes the analysis. Two series of simulations were made in an open space of 3x3x2,5 meters, implementing the use of the solar chimney, and it is numerically demonstrated that the use of these passive systems reduce the temperature of the premises below the environmental temperature during critical hours.

KEY WORDS: Solar chimney, natural ventilation, numerical simulation

INTRODUCCIÓN

En un clima tropical como el de Venezuela, es obligatorio buscar la forma de refrescar las viviendas y lugares de trabajo para mantener el cuerpo a una temperatura agradable y así obtener un mejor desempeño en las actividades diarias. El hombre es muy sensible a los cambios de temperatura, con tendencia a preferir las temperaturas constantes. Las temperaturas idóneas en el ambiente interior de las viviendas se encuentran en el entorno de los 20°C con oscilaciones de 6°C. Estas temperaturas, más o menos constantes, no deberían seguir dependiendo de las climatizaciones artificiales que suponen un excesivo consumo energético, contaminaciones

producidas por emisión de CO₂ y un aumento del efecto invernadero. La vivienda, en nuestro mundo desarrollado, alcanza la elevada cifra del 40% del consumo energético total. La climatización de la misma se mueve en torno al 25% de dicho total (Parlamento Europeo, 1994).

Uno de los proyectos de aplicación para este tipo de vivienda es el aprovechamiento de la energía radiante del sol para crear un mecanismo de circulación del aire interior de un local. Este sistema conocido como chimenea solar, consiste en un ducto colocado en la parte superior de la vivienda que por efecto del calentamiento solar permite incrementar el flujo de aire fresco hacia el interior, lográndose mantener el lugar a una temperatura

agradable (Schaich y Robinson, 1995). Este mecanismo de ventilación se fundamenta en el cambio de densidad que manifiesta un fluido cuando se varía su temperatura (Hui *et al*, 1996). Al calentar un fluido, en este caso aire, éste disminuye su densidad y tiende a elevarse por sobre el fluido de baja temperatura. En los trabajos de Bansal *et al* (1993) y Condori *et al* (2001) se presentan modelados teóricos y experimentales de chimeneas solares con aplicaciones a sistemas de ventilación de viviendas

Diferentes trabajos de investigación se han llevado cabo en Venezuela, tales como pruebas experimentales a escala reducida González, (1992); Almao y Rincón, (1993), así como también soluciones computacionales Almao *et al*, (1997), donde se han presentado resultados que muestran que bajo condiciones climáticas locales de Maracaibo – Venezuela (temperatura promedio anual de 29,3 °C, y humedad relativa promedio anual de 60,3 %), la mayor ganancia de calor ocurre a través del techo; y que es posible reducir la carga térmica a través de la superficie exterior utilizando técnicas de enfriamiento pasivo.

La ventilación natural ocurre cuando el diseño del local permite que la circulación del aire ocurra sin forzamiento de ningún tipo, es decir de manera natural. La finalidad de este trabajo es conocer la factibilidad técnica de la aplicación de las chimeneas solares para crear condiciones de ventilación y temperatura agradables en una vivienda o local habitable. Para cumplir con este fin se plantea realizar la simulación numérica de las chimeneas solares en un ambiente prototipo de vivienda, mediante un paquete computacional que utiliza el método de volúmenes finitos (CFXTM-4.3) para aplicaciones de ingeniería. El ambiente evaluado es un local de dimensiones 3x3 m de piso y 2.5 m de alto, ubicado en la Universidad del Zulia y construido por la Facultad de Arquitectura de la misma, con el fin de evaluar el comportamiento térmico de edificaciones en climas tropicales, y esta fabricado con materiales de construcción tradicionales en nuestro país.

NOMENCLATURA

- g : es la aceleración de la gravedad. [m/s²]
- β : coeficiente de expansión térmica. [1/K]
- ν : viscosidad cinemática. [m²/s]
- α : difusividad térmica.
- ρ : densidad. [kg/m³]

v_x, v_y : componente vectorial de la velocidad en las direcciones x e y. [m/s]

t : tiempo. [s]

P : presión del aire interno. [Pa]

T : temperatura del fluido interno (aire). [K]

C_v : calor específico del aire. [J/Kg K]

k : Conductividad térmica del aire. [W/mK]

μ : viscosidad absoluta. [Pa s]

I_e, I_o, I_h : es la irradiación en la pared este, oeste y techo. [W/m²]

a_{se}, a_{so} y a_{sh} absorptividad de las paredes este, oeste y techo.

h_w es el coeficiente de transferencia de calor en la superficie exterior. [W/m²K]

T_w es la temperatura de la superficie externa de las paredes. [K]

T_t es la temperatura de la superficie externa del techo. [K]

T_{amb} es la temperatura ambiental [K]

P_o es la presión atmosférica. [Pa]

T_{inf} . Es la temperatura ambiental externa. [K]

T_{wi} . Es la temperatura de la pared interna. [K]

MATERIALES Y MÉTODOS

Modelo Físico

El modelo físico a modelar, consiste en un modulo construido a escala real (figura 1) en la Universidad del Zulia (L.U.Z.), en Maracaibo. Detalles del modelo físico se pueden encontrar en (Almao *et al*, 1997). Este modulo está hecho con materiales de construcción usados comúnmente en Venezuela, y fue diseñado para realizar pruebas sobre el comportamiento térmico de las edificaciones típicas de nuestro país, con las condiciones climáticas locales. Para realizar el estudio numérico de la chimenea solar se colocará en el modelo una abertura de 30 cm de alto y 100

cm de ancho en las paredes Este y Oeste, y una abertura en el techo para la colocación del ducto (chimenea) de ancho y longitud variable. El techo esta conformado por una lámina de poliestireno de 25 cm de espesor, más una placa de concreto de 5 cm de espesor, cubierta en su exterior con 3 mm de manto asfáltico. El piso es una losa de concreto de 5 cm sobre la tierra comprimida (figura 1).

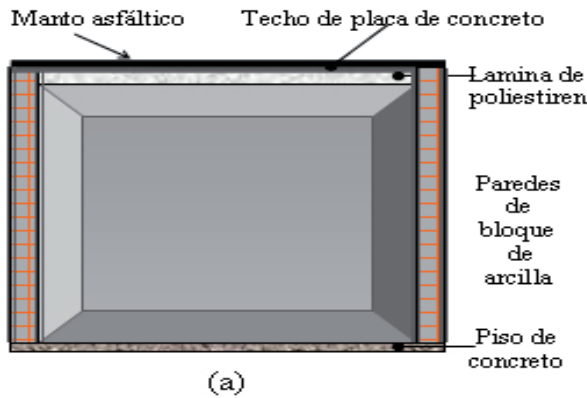
El modulo de referencia tiene dimensiones internas de 3 metros de ancho por 2,5 metros de alto y 3 de profundidad, esta construido con paredes de bloques huecos de arcilla roja, frisadas interior y exteriormente con un friso de cemento y arena, y pintadas de blanco. El techo esta conformado por una lamina de poliestireno de 25 cm de espesor, más una placa de concreto de 5 cm de espesor, cubierta en su exterior con 3 mm de manto asfáltico. El piso es una losa de concreto de 5 cm sobre la tierra comprimida.

El modelo matemático consiste en el modelado de una sección transversal de una edificación en el cual se permite el movimiento interior del aire debido a la diferencia de densidades y la conducción transitoria de calor a través de paredes y techo. Este problema de transferencia de calor por convección libre y flujo de fluidos, es modelado mediante las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y energía, aplicadas a un flujo bidimensional, transitorio, de un fluido no isotérmico y viscoso, con propiedades físicas constantes.

Ecuaciones Gobernantes.

- Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y) = 0 \quad (1)$$



- Ecuaciones de cantidad de movimiento (ecuaciones de Navier-Stokes):

$$x: \rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) = \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial P}{\partial x} \quad (2)$$

$$y: \rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) = \mu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial P}{\partial y} + \rho \cdot \beta \cdot g \cdot T \quad (3)$$

- Ecuación de la energía:

$$\rho \cdot C_v \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = K \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

Condiciones de Contorno.

En el caso bidimensional de la sección transversal del modulo se tiene: flujo de calor por convección debido al viento y radiación solar en las paredes y techo, el piso se considera aislado térmicamente. En la chimenea solar, se consideran condiciones de borde de presión y valores de temperatura ambiente en las aberturas de las paredes y para la cima del ducto. Las condiciones para las paredes y techo son las mismas que para las del caso cerrado (Almao *et al.*, 1997). Para las paredes de la chimenea se utilizan condiciones similares a las de las paredes del local, pero con las características térmicas del hierro galvanizado, que fue el material seleccionado. Ver figura 1.

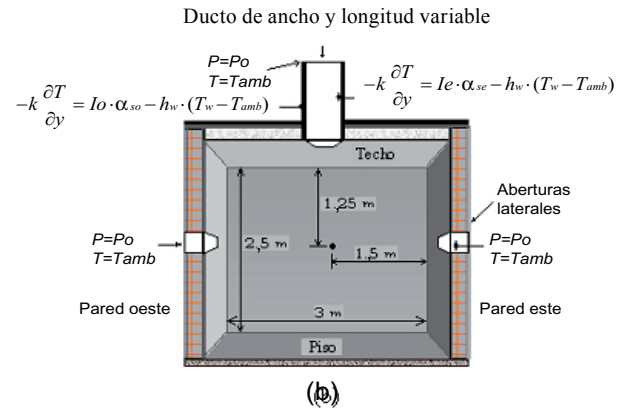


Figura 1 Modulo experimental: (a) Sin chimenea y (b) Con chimenea (mostrando las codiciones de borde)

$$\text{Pared Este: } -k \frac{\partial T}{\partial y} = Ie \cdot \alpha_{se} - h_w \cdot (T_w - T_{amb}) \quad (5)$$

$$\text{Pared Oeste: } -k \frac{\partial T}{\partial y} = Io \cdot \alpha_{so} - h_w \cdot (T_w - T_{amb}) \quad (6)$$

$$\text{Techo: } -k \frac{\partial T}{\partial y} = Ih \cdot \alpha_{sh} - h_w \cdot (T_w - T_{amb}) \quad (7)$$

$$\text{Piso: } \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \quad (8)$$

Detalles de las condiciones de borde descritas pueden encontrarse en el trabajo de (Almao *et al* 1997). En la tabla 1 se muestran las características térmicas y ópticas de los materiales empleados en la simulación de los casos planteados.

Tabla 1. Propiedades térmicas y ópticas de los materiales empleados.

Material	L (m)	K (w/m k)	α
Friso concreto	0,015	2,092	-
Bloque de arcilla hueco	0,150	1,28	-
Placa concreto	0,050	2,8	-
Manto asfáltico	0,003	0,17	0,9
Lamina poliestireno	0,250	0,028	-
Hierro galvanizado	0,001	52,0	-
Pintura blanca mate	-	-	0,3
Pintura negra mate	-	-	0,9

Solución Numérica

Las ecuaciones diferenciales con sus respectivas condiciones de borde e iniciales descritas en el modelo matemático fueron resueltas a través de un código comercial para la Dinámica de los Fluidos Computacional (CFD). El Software utilizado fue el CFX, versión 4.3 (CFX, 1999), el cual basa la solución en el método de los Volúmenes Finitos utilizando una discretización estructurada coincidente con las fronteras, para detalles de esta metodología ver (Maliska 1995). Los flujos convectivos y difusivos en las interfaces de los volúmenes se calculan a través del

esquema de interpolación Híbrido y el procedimiento de acoplamiento Presión – Velocidad, en las ecuaciones de Navier-Stokes, utilizado fue el SIMPLE (Semi – Implicit Pressure Linked Equation), detalles de este método pueden observarse en (Patankar 1980). El régimen transitorio fue implementado a través de un esquema totalmente implícito y el criterio de convergencia fue establecido tomando el máximo residuo en la ecuación de continuidad.

Para la solución del campo de flujo correspondiente a un dominio bidimensional, se seleccionaron mallas uniformes de: 8440, 8730, 9070 y 9400 (0, 100, 200 y 300 cm de alto) para los casos de 30 cm de ancho del ducto, y mallas de 8524, 9045, 9623 y 10184 para los ductos de 50 cm de ancho. Este número de elementos se determinó, después de realizar una serie de simulaciones (análisis de sensibilidad), en las cuales se monitorea una variable (temperatura) en un punto del local (centro geométrico, ver figura 1); luego se realizan simulaciones aumentando el número de elementos y se observa si el valor de la variable cambia. Cuando el valor de ésta deja de variar se selecciona ese número de elementos como el apropiado. Se empleó un incremento de tiempo de 15 minutos, suficiente para satisfacer la conservación de la masa en cada volumen de control, para cada paso de tiempo. Para determinar este tamaño de intervalo de tiempo se realizaron simulaciones con diferentes intervalos de tiempo arrojando como resultado que un intervalo de 15 minutos representa un óptimo tamaño de intervalo, ya que para valores menores a 15 minutos los resultados no varían considerablemente, estos detalles pueden verificarse en la figura 2. En esta figura se aprecia la distribución transitoria de temperatura en el centro geométrico del local para diferentes intervalos de tiempo, observándose que para intervalos de tiempo menores o igual a 15 minutos la solución del modelo no varía apreciablemente. El tiempo de computación para las simulaciones depende del número de elementos que posea cada caso a estudiar. Para el caso de 50x300, que es el que posee un mayor número de elementos, el tiempo total de simulación es de 9 horas 14 minutos. Para el resto de las pruebas el tiempo aproximado de simulación es de 9 horas. El equipo utilizado para las simulaciones fue un ordenador Pentium 450 MHz con 256 Mbytes de memoria RAM. El punto de monitoreo de la temperatura corresponde con un punto ubicado en el centro del modelo, ver figura 2.

Casos Simulados.

Se realizaron dos series de simulaciones para evaluar

el comportamiento térmico en una sección rectangular incluyendo la chimenea, ambas bajo las condiciones climáticas del mes de agosto de 1996 (Almao *et al*, 1997).

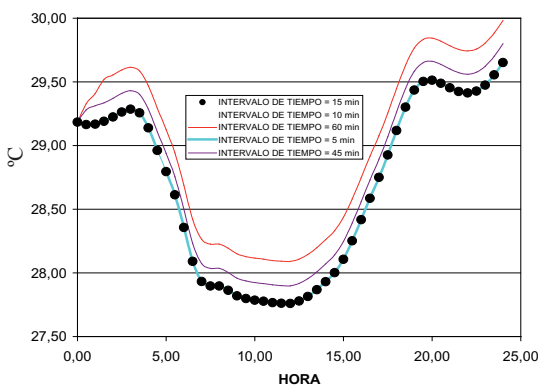


Figura 2. Analisis de sensibilidad para la determinación del intervalo de tiempo óptimo.

En la primera serie se simulan los locales abiertos de 3x2.5 metros de sección transversal, con aberturas en las paredes de 30 cm a manera de ventanas y en el techo una abertura de 30 cm, que es donde se coloca el ducto (chimenea) de hierro galvanizado. Se estudian los siguientes casos: orificio de 30 cm de ancho sin chimenea; ducto de 30 cm de ancho por 100 cm de longitud; ducto de 30 cm de ancho por 200 cm de longitud; ducto de 30 cm de ancho por 300 cm de longitud.

Para la segunda serie se tienen las mismas características de la primera serie, con la diferencia de que la abertura del techo es de 50 cm. Se estudiarían los siguientes casos: orificio de 50 cm de ancho sin chimenea; ducto de 50 cm de ancho por 100 cm de longitud; ducto de 50 cm de ancho por 200 cm de longitud; ducto de 50 cm de ancho por 300 cm de longitud.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la Serie 1.

Para conocer el efecto de la chimenea solar como sistema pasivo de ventilación, es necesario realizar una serie de pruebas, mediante las cuales se encuentre una relación que nos permita establecer una base teórica acerca de su selección. En esta serie de pruebas el ancho de 30 cm se mantuvo constante, variándose solamente la longitud de la chimenea, en longitudes de 0, 100, 200 y 300 cm. En la figura 3 se muestra la simulación para el

mes de agosto de las diferentes longitudes de ducto, en comparación con la temperatura interna del local para el caso cerrado (T_{local}) y la temperatura ambiental. Se observa que el uso de la chimenea ayuda a disminuir la temperatura interna al permitir la entrada de aire fresco. El ducto que reduce en mayor proporción la temperatura es el de 100 cm, en un rango entre 3 y 4 °C en las horas más críticas (cuando la temperatura ambiental es mayor que la interna experimental). El ducto de 200 cm reduce entre 2 y 3 °C en el mismo periodo, observándose la misma tendencia de la curva que la anterior. Para la longitud de 300 cm, la curva de temperatura mantiene valores entre los 29 y 30 °C y no varía en la misma forma que las anteriores, siendo esta configuración la que menos disminuye la temperatura del local, este comportamiento se debe a que la longitud del ducto es mayor y al calentarse no genera la succión necesaria para extraer el aire del interior.

Para el caso sin chimenea, se tiene una curva de tendencia similar a la experimental, pero con valores mayores que para el ducto de 100 cm.

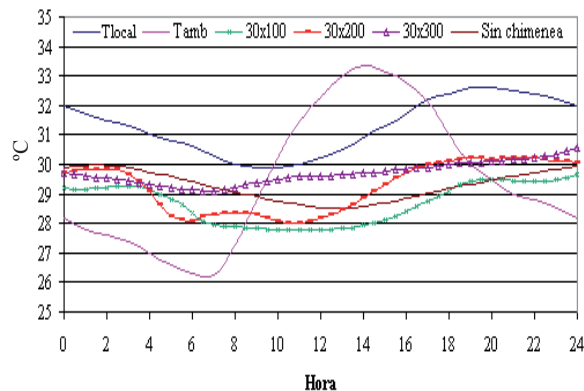


Figura 3. Simulaciones para el mes de agosto 96, implementando la chimenea solar de 30 cm de ancho.

En las imágenes de la figura 4, del campo de flujo y perfil de temperaturas para la configuración de 30 por 0 cm, se puede observar el movimiento del aire interior creado por las corrientes de convección libre. El aire se mueve con mayor agitación en horas de la mañana, que en la tarde cuando están más calientes las paredes y entonces el flujo de aire se realiza por la superficie de éstas hasta el techo, escapando por la abertura superior; este proceso se realiza debido a las corrientes de convección libre creadas por el calentamiento solar. Aun así el aire que se escapa a través de esta abertura no es suficiente para

disminuir la temperatura de interior como se muestra en la grafica anterior.

En la figura 5 se muestra el perfil de temperaturas para el caso del local con la chimenea de 30 por 100 cm, durante el mes de agosto, y su comportamiento térmico y dinámico a lo largo del día. En horas de la mañana el aire penetra con mayor velocidad a través del lado Oeste, aumentando su velocidad a medida que la pared este se calienta. El aire caliente se queda atrapado en el techo y es extraído ligeramente en horas de la mañana. Al mediodía el proceso se invierte y comienza entrar aire por la pared este y disminuye la velocidad del aire en la pared oeste. El aire es extraído suavemente por el ducto del techo al calentarse el aire cercano a las paredes de este, debido a las corrientes de convección que ocasionan que el aire caliente en el techo sea sacado fuera del local y permitiendo así el refrescamiento con el aire de entrada. No existe oposición al flujo por lo que este es continuo hasta el exterior a lo largo del día.

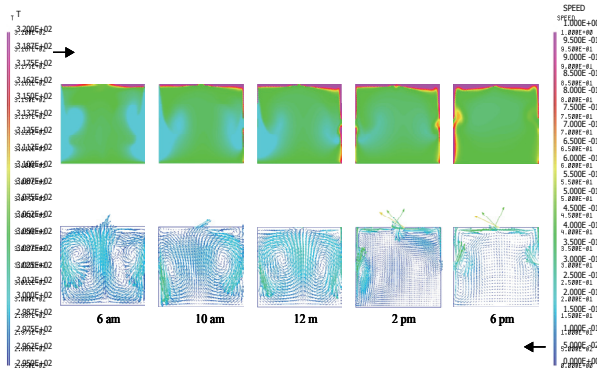


Figura 4. Perfiles de temperatura y campo de flujo para la prueba de 30 cm de ancho y 0 cm de longitud sin chimenea.

En las figuras 5 y 6, de las configuraciones de 30 cm de ancho por 100 y 300 cm de largo respectivamente, se observa un movimiento de aire mayor que las configuraciones anteriores. El aire penetra desde la cima del ducto al interior del local. Esto ocurre debido a que el aire exterior es más frío que el interno, y al ser mas pesado tiende a desplazar al más caliente hacia las aberturas de las paredes, produciendo un efecto de sifón. Al transcurrir el día se pueden observar las corrientes de convección desde las paredes al techo, que producen oposición al flujo entrante desde arriba, hasta que en horas de la tarde el flujo sale por el ducto extrayendo el aire caliente.

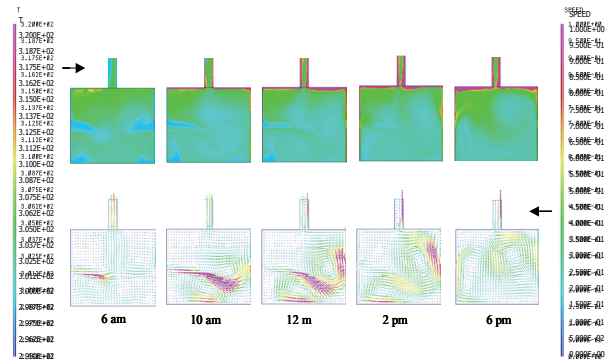


Figura 5. Perfiles de temperatura para la prueba de 30cm de ancho y 100 cm de longitud

Se puede notar, por el movimiento más brusco de aire interno, que la configuración de 300 cm crea mayor estancamiento que la de 100 cm, en vista de la mayor longitud del ducto. Esto se puede comprobar con la figura 2, en donde se observa que para el ducto de 100 cm, la temperatura interna es parecida a la de 100 cm hasta la hora 12 (12 m), aun entrando aire desde arriba del ducto, no así la de 300 cm cuya temperatura es mayor que las otras configuraciones. También se observa, según la gráfica, que el efecto de enfriamiento en las horas mas criticas (alrededor de las 2 pm) es menor que la de 100 cm, debido al estancamiento producido por la longitud del ducto.

En las figuras 5 y 6, se observa que a partir de las 14 horas (2 p.m.) no se observa una disminución de la temperatura interna, puesto que el aire que entra por arriba del ducto desde horas de la mañana hasta el mediodía, arrastra el aire caliente del interior del ducto (imagen de las 12 m) hacia el interior del local y esto produce un calentamiento interno. Alrededor de las 6 pm es cuando se produce la salida del aire por la cima del ducto, producto de la diferencia en la densidad del aire atrapado en el interior y el aire externo más frío, lo contrario de lo que ocurre en horas de la mañana.

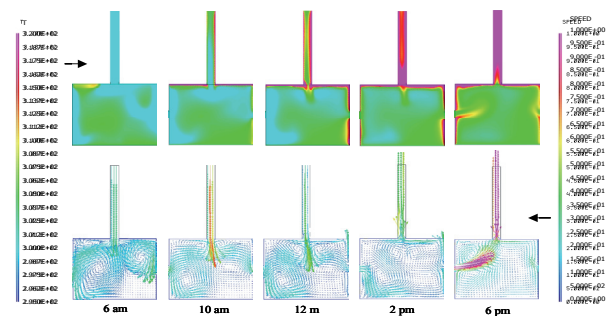


Figura 6. Perfiles de temperatura para la prueba de 30 cm de ancho y 300 cm de longitud

Resultados de la Serie 2.

En esta serie de pruebas el ancho de 50 cm se mantendrá constante, y se variará nuevamente la longitud de la chimenea, en 100, 200 y 300 cm.

En la figura 7 se muestran las variaciones de la temperatura interna, para los casos de un ancho de ducto de 50 centímetros. Se puede observar que las curvas de temperatura siguen la misma tendencia que los valores experimentales del local cerrado Almao *et al.*, (1997) excepto para la prueba de 0 cm de longitud (sin chimenea) y la de 200 cm que permanecen casi constantes en las primeras horas de la mañana. Esto se debe a que no se produce el efecto de succión para desplazar el aire al exterior.

La chimenea de 100 cm es la que produce una reducción mayor en la temperatura interna, disminuyendo entre 2 y 4 °C en horas de la tarde seguida por la de 200 cm con una diferencia entre los 2 y 3 °C.

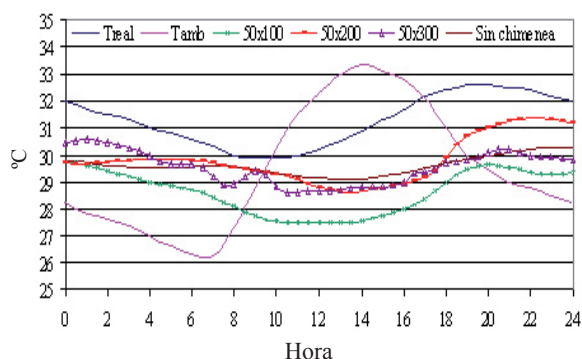


Figura 7. Simulación para configuraciones de 50 cm de ancho y diferentes longitudes para el mes de agosto 96

En la figura 8, se observa que la temperatura interior de los locales a estudiar durante la hora más crítica del día (2 pm, la hora en que la temperatura exterior es mas alta) en función de una relación longitud-ancho de ducto (L/A) para establecer una base teórica de selección. Se observa que el valor mas bajo de temperatura interna se obtiene con una relación de L/A= 2, correspondiente al ducto de 50x100 cm, seguido por el de 30x100 cm. Estos valores se producen debido a que los ductos de 100 cm de largo sufren menos pérdidas de flujo por estancamiento que los más largos. El ducto de 50 cm de ancho permite extraer más flujo que el de 30 cm por su mayor abertura, aunque sea este el que permite calentar mas fluido en el área transversal de la chimenea. Para una relación de L/A=

0, la temperatura alcanzada es cerca de 29 °C (1,5 más alta que la mínima obtenida), esto se produce por la poca extracción de aire caliente a través del techo, ya que no existe una zona caliente sobre este que permita continuar con la corriente de convección libre proveniente de las paredes del local, creando un mínimo flujo de aire caliente hacia el exterior. La relación de L/A= 10 (correspondiente al ducto de 30x300) produce la menor disminución de temperatura interior producto de la mayor longitud y el menor ancho de ducto lo que ocasiona mayores pérdidas. Se verificaron relaciones de aspecto menores a 2 observándose que para estos casos la temperatura calculada es mayor que la temperatura alcanzada con una relación de aspecto igual a 2. (ver figura 8).

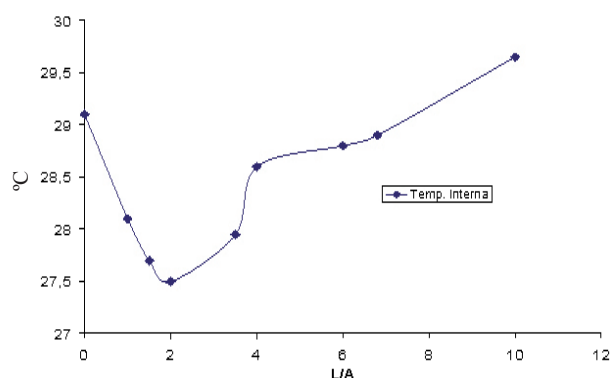


Figura 8. Relación longitud-ancho en relación con la temperatura interna a la hora mas critica

En la figura 9, se obtiene la comparación entre los sistemas pasivos implementados en el modulo de estudio, para el mes de agosto. Es importante resaltar que la temperatura del aire interior reflejada en las figuras 3, 7, 8 y 9 se refieren al centro geométrico del local simulado (ver figura 1). Se muestra el comportamiento térmico del techo de agua “roofpond” utilizado en la Universidad del Zulia Almao & Rincón, (1993) y el correspondiente al uso de la chimenea de 50 por 100 cm, por ser la que disminuye la temperatura interna en mayor proporción. Se observa de esta grafica que el efecto producido por la chimenea es efectivo para la reducción de la carga térmica del local en estudio. El sistema pasivo del techo de agua se instaló en el techo del modulo experimental del local cerrado, para realizar una investigación en dicha universidad, sobre la implementación de sistemas pasivos de enfriamiento en nuestro país, observando la temperatura interna de la misma forma que se hizo con el modulo de referencia sin el techo de agua (Almao *et al.* 1997). De esta comparación se pretende obtener un punto de referencia para evaluar el sistema pasivo de ventilación natural, con otro sistema, bajo las condiciones climáticas de nuestro país.

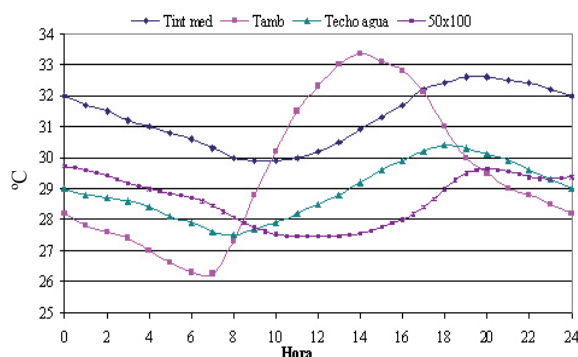


Figura 9. Comparación entre las configuraciones que disminuyen en mayor medida la temperatura interna

CONCLUSIONES

A través de resultados numéricos de un modelo matemático propuesto, se ha realizado un análisis del comportamiento térmico y fluidodinámico de un local cerrado en el cual se ha implementado un sistema de ventilación pasivo llamado chimenea solar, y las conclusiones obtenidas son las siguientes:

- Como sistema pasivo de ventilación, el uso de la chimenea solar es efectivo para la reducción de la carga térmica, en un clima tropical como el nuestro.
- Para los casos estudiados, la configuración de chimenea solar que más disminuye la temperatura (aproximadamente 2% menos) es la 50 cm de ancho por 100 cm de longitud (relación $L/A=2$), para el local estudiado.
- La temperatura obtenida con el empleo de la chimenea solar, muestra valores casi constantes en las horas más calurosas del día.
- Para los casos analizados, los ductos largos producen un estancamiento del aire caliente interior, que impide la extracción de este por la diferencia de densidad.
- La entrada del aire desde la cima del ducto al interior del local impide la disminución de la temperatura en el ambiente interior en las horas críticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMAO, N & RINCÓN J. 1993. Alternative designs for passive cooling home for Venezuela. ASME Journal of solar Energy Engineering. 115: 161 – 168.
- ALMAO, N., GONZÁLEZ E. Y RINCÓN J. 1997. Estudio numérico y experimental de un sistema de enfriamiento de viviendas. Memorias del Segundo Congreso Nacional de Ingeniería. Mecánica, Merida, Venezuela.
- BANSAL, N., MATHUR, R. & BHANDARI, M. 1993. Solar chimney for enhanced stack ventilation. Building and Environment. 28, 3: 373-377.
- CFX 4.3. 1999: CFX 4.3 Flow Solver User Guide, AEA Technology, Oxfordshire, UK.
- CONDORI, M., MEALLA, L. Y SARAVIA, L. 2001. Estudio y modelización de un nuevo diseño de chimenea solar. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 5: 85-94.
- GONZÁLEZ E. 1992, Evaluation de systemes passifs de rafraichissement en climat tropical humide et etude des matériaux pour la conception architecturale bioclimatique. Rapport de recherche en énergétique CENERG-EMP.
- HUI, H., FONG, T. & LAI, K. 1996. Passive solar design in architecture. University of Hong Kong.
- MALISKA, C. R. 1995. Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional – Fundamentos Generalizadas. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, Brazil.
- PARLAMENTO EUROPEO. 1994. Resolución A3-0054/94. 1994.
- PATANKAR, S. 1980. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere Publishing Corporation, Mc Graw-Hill. Washinton.
- SCHAICH, J. & ROBINSON, M. 1995. Solar Chimney. United Kingdom.