

Tema A4. Termofluidos: Energía

“Simulación numérica de una Chimenea Solar Vertical con Tres Canales de Flujo de Aire”

Tlatelpa-Becerro A^{a,b*}, Rico-Martínez R^c, Reynoso-Jardón E^d, Urquiza G^e, Castro-Gómez L^e, Sánchez E^f, Ojeda A^f, García A^f, Sosa A^f, Luyando U^f

^aDpto. Ingeniería en Robótica, Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla-UAEM, Yecapixtla, Morelos, C.P. 62820, México.

^bDpto. Ingeniería en Tecnologías de Manufactura, Universidad Politécnica de Atlautla, Atlautla, Edo. México, 56970, México.

^cDpto. Ingeniería Química, Instituto Tecnológico de Celaya, Guanajuato, C.P. 38010, México.

^dDpto. Ingeniería en Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Juárez, Chihuahua, C.P. 32310, México.

^eDpto. Ingeniería Mecánica, Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas-UAEM, Cuernavaca, Morelos, C.P. 62209, México.

^fEstudiante de la Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla-UAEM, Yecapixtla, Morelos, C.P. 62820, México.

*Autor contacto:angel.tlatelpa@uaem.mx

RESUMEN

Se propone una configuración de chimenea solar, que consiste en tres canales de flujo de aire divididos por dos placas metálicas, colocadas en el centro de la chimenea entre dos cubiertas de vidrio, conduciendo al flujo de aire simétrico, como una alternativa para el diseño de sistemas de ventilación natural en edificios para zonas climáticas tropicales y subtropicales. Las dimensiones de chimenea solar son 1.5 m de altura, 0.60 m de ancho, y el hueco entre los canales de aire es de 0.20m. Las ecuaciones de Energía, Masa y Momento fueron simuladas numéricamente a través del modelo de turbulencia K-Omega en el software ANSYS Fluent, para evaluar las temperaturas y flujos de la configuración propuesta. Los perfiles de temperaturas calculados para un día típico caluroso en una región tropical revelan que la configuración es más eficiente que la configuración de un solo canal, alcanzando valores de flujo másico cercanos al 0.45 kg/s. La configuración de la chimenea solar propuesta puede ser utilizada con mejores resultados que el diseño tradicional de un solo canal como alternativa de ventilación natural para viviendas residenciales sin un incremento sensible en la inversión de la residencia.

Palabras Clave: Chimenea solar, Ventilación natural, Confort térmico.

ABSTRACT

Solar chimney configuration consisting of three air flow channels divided by two metallic plates, placed in the center of the chimney between two glass covers, leading to symmetric air flow, is proposed as an alternative for the design of natural ventilation systems for buildings in tropical and subtropical climatic zones. The solar chimney dimensions are 1.5 m height, 0.60 m width, and a gap between air channels is of 0.20m. Energy, Mass and Momentum Equations were numerically simulated through K-Omega Turbulent Model in the ANSYS Fluent software to evaluate the temperatures and flow proposed configuration. The temperatures profiles calculated for a typical and hot day, reveal that the configuration is more efficient than the single channel chimney, achieving mass flow values near al 0.45 kg/s. This solar chimney configuration can be used with better results than the traditional design as an alternative for natural ventilation systems in residential buildings without a significant increase in the cost of the residence.

Keywords: Solar chimney, Natural ventilation, Thermal comfort.

Nomenclatura

HF E	Flujo de calor orientación Este
HF O	Flujo de calor orientación Oeste
HF N	Flujo de calor orientación Norte
HF S	Flujo de calor orientación Sur
C1	Canal 1

C1	Canal 2
C1	Canal 3
α	Absortancia
τ	Transmitancia

1. Introducción

La ventilación natural actualmente es considerada uno de los

requerimientos principales en el diseño de casas habitación, edificios e incluso en naves industriales para contribuir al ahorro y uso eficiente de energías convencionales. De esta manera, la reducción de emisiones de gases por efecto invernadero está ganando importancia y por ello, el desafío es buscar nuevos diseños y alternativas. Una aplicación práctica son las chimeneas solares que se describen como una cavidad ventilada alargada y su función principal es la de remover el aire que se encuentra dentro de un recinto y expulsarlo hacia el exterior con fines de confort térmico y obteniendo una mejor calidad de aire [1].

El estudio de chimeneas solares se ha llevado a cabo y han sido explorados durante los últimos 25 años. Estos han sido acoplados a torres de viento con fines de ventilación, logrando buenas condiciones de enfriamiento para casas habitación [2]. Algunos autores, han utilizado el método de balances globales de energía para estudios similares [3]. Desde estos estudios pioneros, se han utilizado varios modelos y distintos tipos de software de simulación para el análisis de los sistemas de ventilación natural que han estudiado el efecto de la radiación solar directa en una chimenea inclinada [4]. Otros autores han abordado la geometría y la configuración para mejorar la eficiencia de los sistemas [5 - 7]. Sin embargo, todavía faltan directrices claras para el diseño eficiente y la selección de chimeneas solares.

En esta contribución, se desarrolla una simulación numérica computacional para una chimenea solar vertical con tres canales de flujo de aire en 3D. Los flujos se examinan bajo una condición de irradiancia solar, de temperatura y velocidad del aire. Los datos usados corresponden del 21 de junio del 2016 en Yecapixtla Morelos, México con latitud y longitud de 18.852928 LN y -98.869829 LW, respectivamente.

2. Metodología

2.1 Modelo Físico

El modelo físico que representa a la chimenea solar bajo estudio, en su configuración, cuenta con dos elementos principales que son dos placas metálicas colocadas en el centro, entre dos cubiertas de vidrio que forman simétricamente tres canales de flujo de aire. Las placas metálicas se consideran con un acabado de superficie de color negro mate, cuya finalidad es absorber la mayor radiación solar posible. La orientación de las placas metálicas de la chimenea es tal que, durante el mediodía reciba radiación solar en una de sus caras (orientación Este), después del mediodía, la radiación solar incide sobre la otra cara (orientación Oeste), con el fin de aprovechar toda la radiación solar posible durante el día. Así mismo, otras dos cubiertas de vidrio son consideradas con orientación Norte y Sur para cubrir a la chimenea, formando un cubo de vidrio para evitar pérdidas convectivas y radiativas en el sistema. Las dimensiones de la chimenea se muestran en la Figura. 1.

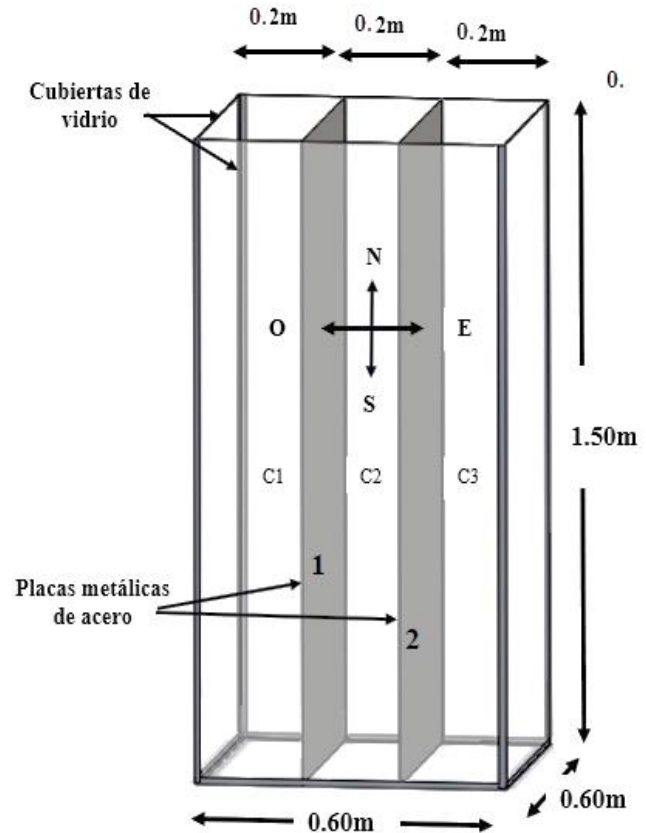


Figura 1. Chimenea solar con tres canales de flujo de aire. Los canales están representados por C1, C2 y C3. El espacio entre placas es de 0.2m. Las cubiertas de vidrio fueron consideradas de 4mm de espesor.

2.2 Modelo Matemático

Las ecuaciones que gobiernan al flujo de fluidos, están basadas en el principio de la conservación de Energía, Masa y Momento [8].

Ecuación de conservación de Masa:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Ecuación de conservación de Momentum:

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho u'_i u'_j \right] - \rho g_i \beta (T - T_\infty) \quad (2)$$

Ecuación de conservación de Energía:

$$\frac{\partial(\rho u_j T)}{\partial x_j} = \frac{1}{c_p} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} - \rho C_p \overline{u'_j T'} \right) \quad (3)$$

En la simulación numérica se utilizó el modelo de turbulencia de la familia $k - \omega$ [9]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad (5)$$

En la simulación, la densidad del aire se consideró la aproximación de Boussineq, ya que considera únicamente el impacto en las fuerzas de flotación en la ecuación de

cantidad de movimiento [10].

$$\rho = \rho_o - \rho_o\beta(T - T_o) \quad (6)$$

2.3 Malla computacional y condiciones de simulación

La simulación numérica fue desarrollada mediante el software comercial ANSYS Fluent 19.2. El mallado se realizó en ICEM y, de tipo estructurada, que para esto se realizó una independencia de malla con cinco tamaños de celda (55839, 54839, 54339, 53339 y 51839). El tamaño de celdas usado para este trabajo de investigación fue de 54839 con un error por debajo del 0.87%.

Las condiciones de frontera en la simulación numérica, fueron consideradas de la siguiente manera:

1. Se consideró pressure inlet y pressure outlet con magnitud de 0.0 Pa, para la entrada y salida del flujo de aire, respectivamente. Esto debido a que no se presentan gradientes de presión externos. Figura 2.
2. La radiación solar usada fue para un día claro y despejado de las 9:00hrs del día 21 de junio del 2016. Tabla 1.
3. Para el cálculo de los flujos de calor (heat flux) para las cubiertas de vidrio como para las placas metálicas, se usaron las propiedades ópticas y las radiaciones solares, Tabla 2. [11] y Tabla 1, respectivamente. Cada dato, fue introducido de acuerdo a la orientación (Este-Oeste) para placas metálicas y (Este-Oeste y Norte-Sur) para cubiertas de vidrio. Tabla 3.

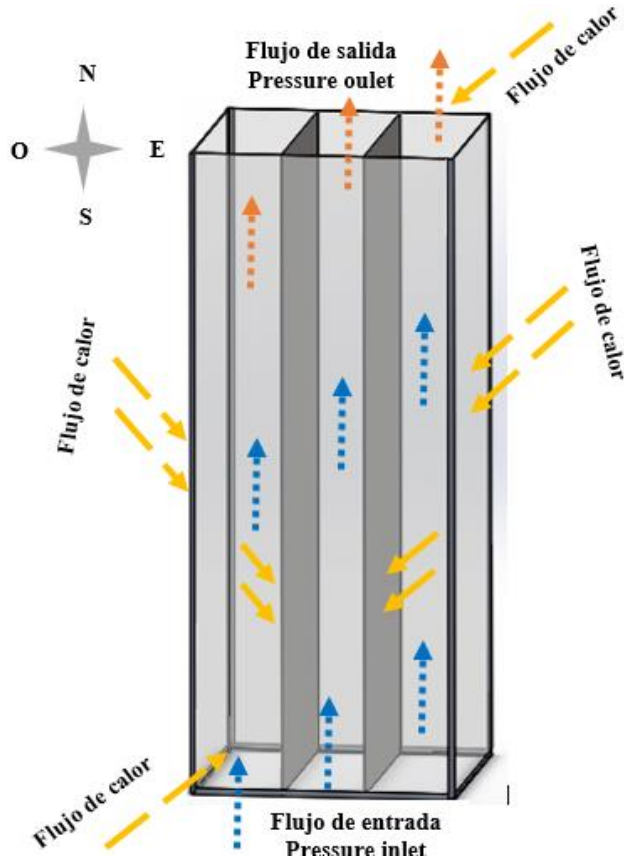


Figura 2. Flujo de calor y flujo de aire sobre la chimenea solar.

Tabla 1. Radiación solar (W/m²).

Hora	Cubierta de vidrio				Placa metálica	
	HF N	HF S	HF E	HF O	HF E	HF O
9:00	334	102	895	102	895	102

Tabla 2. Propiedades ópticas.

Propiedad Óptica	Vidrio	Acero
α	0.14	0.78
τ	--	0.95

Tabla 3. Flujo de calor (W/m²).

Hora	Cubierta de vidrio				Placa metálica	
	HF N	HF S	HF E	HF O	HF E	HF O
9:00	46.76	14.28	125.3	14.28	663.195	75.582

3. Resultados y Discusiones

La simulación numérica fue realizada para un horario específico y un día claro del día 21 de junio del 2016, Tabla 1.

El flujo másico total obtenido en la simulación numérica de la chimenea solar para los tres canales de flujo de aire fue de 0.45 kg/s. Con esto, se demuestra que, la configuración de la chimenea vertical es factible y se puede obtener mayor cantidad de flujo másico si la radiación solar incrementa. Para esto, es necesario realizar un estudio más robusto en la que se lleven a cabo simulaciones numéricas de un día completo con las diferentes radiaciones.

En la Figura 3, se aprecian las magnitudes de las velocidades del aire de la chimenea. En el canal 3, se muestra que se tiene mayor magnitud con un máximo de 1.21 m/s, esto se debe a que la placa metálica en orientación Este, cuenta con mayor temperatura debido a la radiación que le llega a la superficie y esto hace que la velocidad incremente. Para el canal 2, se observa que la velocidad en algunas regiones (cerca a la placa Este) alcanza la misma magnitud de velocidad que en el canal 1, esto se le atribuye a que la placa metálica de acero es muy delgada y es por ello que la temperatura que alcanza la placa del lado Este puede ser igual a la superficie que esta de lado del canal 2, mientras que la magnitud en la región que esta de lado de la placa Oeste es de aproximadamente de 9.0 m/s, debido a que la placa Este su radiación es menor. En el Canal 3, la placa metálica le llega una radiación mínima, pero la magnitud de velocidad del aire se encuentra aproximadamente de 9.0 m/s, esto debido a que se manifiesta intercambio radiativo entre placas y esto hace que la temperatura de este aumente y ayude a que la magnitud de la velocidad no disminuya considerablemente, manteniendo un flujo másico mayor que en otras configuraciones de chimeneas. Para esta configuración de chimenea, se obtienen mayores velocidades de flujo en comparación de las de un solo canal [12].

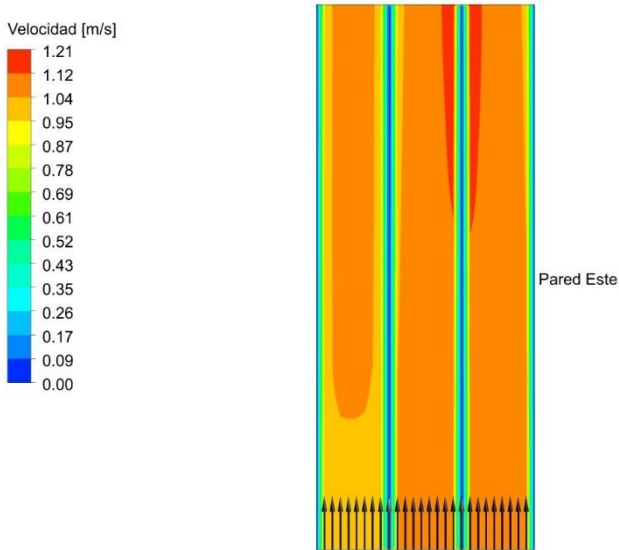


Figura 3. Perfil de velocidad en la chimenea solar.

En la Figura 4, muestra el perfil de temperaturas de las cubiertas de vidrio y placas metálicas de acero (Este - Oeste). Para el lado Este, se consideró la incidencia de un flujo de calor de $663.195 \frac{W}{m^2K}$. Aquí, la primera pared, que corresponde a la cubierta de vidrio alcanzó temperaturas de $50 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que para la placa metálica fue de $120 \text{ }^\circ\text{C}$. Para el lado Oeste, el flujo de calor que incide sobre las paredes fue considerado de $75.582 \frac{W}{m^2K}$. Aquí las temperaturas alcanzaron 37 y $60 \text{ }^\circ\text{C}$, para la cubierta de vidrio y placa metálica, respectivamente. Esto, debido a que el flujo de calor fue muy pequeño en comparación del lado Este.

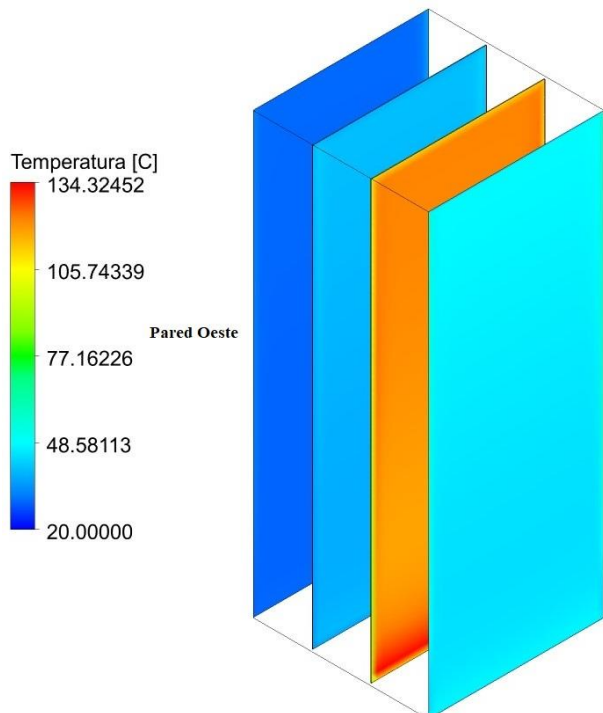


Figura 4. Perfil de las cubiertas de vidrio y placas metálicas temperaturas en la chimenea solar.

En la Figura 5, se muestra un perfil de temperaturas del flujo de aire para los tres canales. Como se puede observar, en la placa metálica 2 que es la que tiene mayor temperatura, el flujo que está más cercano a la pared tanto para el canal 2 y 3 alcanza una temperatura máxima de $50 \text{ }^\circ\text{C}$, esto debido a que la placa es considerada muy delgada y, hace que la incidencia de flujo de calor en la cara Este, sea la misma para la que da hacia la orientación Oeste de la misma placa. Mientras que, para la placa 1 ubicada entre el canal 1 y 2, la temperatura máxima del flujo de aire cercana a la pared fue de $43 \text{ }^\circ\text{C}$.

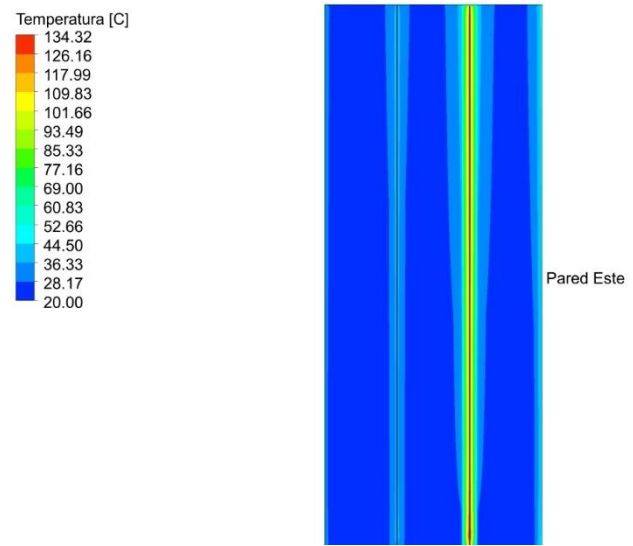


Figura 5. Perfil de temperaturas del flujo de aire en la chimenea solar.

En este estudio se encontró que, las temperaturas de las placas aumentan conforme se incrementa su longitud y, la velocidad del flujo de aire aumenta conforme las placas metálicas aumentan su temperatura.

4. Conclusiones

Se ha desarrollado una simulación numérica en 3D de una chimenea solar con tres canales de flujo de aire en el software ANSYS Fluent 19.2 Académico. Los resultados mostraron que las temperaturas de las placas metálicas, el aire y las del vidrio aumentan con la radiación solar.

El flujo másico obtenido fue de $0.45 \frac{kg}{s}$, considerando solo el flujo de calor de un horario en específico de un día claro. Esta configuración exhibe un rendimiento mucho mejor que las chimeneas de un solo canal que han presentado flujos de $0.02 \frac{kg}{s}$ [13].

La configuración parece ser una alternativa viable para el diseño de sistemas de ventilación natural para reducir el

consumo de energía convencional en edificios y puede aplicarse también a edificios industriales.

REFERENCIAS

- [1] K. S. Ong, *Renewable Energy* **28** (2003) 1047-1060.
- [2] N. K. Bansal, R. Mathur, M. S. Bhandari, *Building and Environment* **29** (1994) 495-500.
- [3] J. Hirunlabh, W. Kongduang, P. Namprakai, J. Khedari, *Renewable Energy* **18** (1999) 109-119.
- [4] A. A. Imran, J. M. Jalil, S. T. Ahmed, *Renewable Energy* **78** (2015) 236-244.5] S. K. Patel, D. Prasad, M. R. Ahmed, *Energy Conversion and Management* **77** (2014) 424-431.
- [5] S. K. Patel, D. Prasad, M. R. Ahmed, *Energy Conversion and Management* **77** (2014) 424-431.
- [6] N. Saifi, N. Settou, B. Dokkar, B. N. Nasreddine Chennouf, *Energy Procedia* **18** (2012) 1289 – 1298.
- [7] K. E. Amori, S. W. Mohammed, *Energy and Buildings* **47** (2012) 450-457.
- [8] G. E. Ovando, S. L. Ovando, J. C. Price, A. Rodriguez, C. García. G. Ibañez, Memoria del XXV Congreso SOMIM 2017.
- [9] ANSYS, 2016, ANSYS FLUENT 19.2. Theory Guide, ANSYS, Inc.
- [10] H. Pstohr, O. Komadt, K. Gürlebeck, *Int. J. Energy Res.* **28**,2004, 495-510.
- [11] Y.A. Cengel, A.J. Ghajar, *Tranferencia de calor y masa* (4ta ed.). New York: McGraw-Hill.
- [12] K. S. Ong and C. C. Chow, *Solar Energy*, **74** (2003) 1 – 17.
- [13] J. Hirunlabh, W. kongduang, P. Namprakai, J. Khedari, *Renewable Energy* **18** (1999) 109 – 119.