

Evaluación de sistemas de ventilación utilizando la radiación solar

Jovanny Ariel Díaz

Facultad de Ingeniería Mecánica
Universidad Tecnológica de Panamá
jovanny.diaz@utp.ac.pa

Alixelys Caballero

al_y13@hotmail.com

Heizel Chambers

heizel-cham@hotmail.com

Resumen— Sistemas de ventilación solar han sido usados efectivamente basados en el principio de flotabilidad del aire caliente. La luz solar ha sido comúnmente utilizada para el calentamiento de alimentos mediante el fenómeno de reflexión utilizando espejos que concentren rayos solares en un recipiente absorbente. El consumo de energía de aire acondicionado en viviendas por el calentamiento climático excesivo es de gran preocupación. Sin embargo, este consumo puede ser minimizado mediante el uso de sistemas de ventilación solar. El objetivo de esta investigación es evaluar el uso de un sistema de ventilación basado en el principio de Bernoulli y la utilización de la concentración de la energía solar mediante el fenómeno de reflexión el cual contribuya a disminuir el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles e hídricos.

Mediciones de temperatura en el tiempo fueron usadas para determinar la eficacia del sistema de ventilación utilizando la luz solar mediante el fenómeno de reflexión y el principio de Bernoulli. Para determinar la diferencia de temperatura del sistema de ventilación a utilizar, variables de control fueron hechas para comparar las temperaturas alcanzadas en un recinto sin y con el sistema de ventilación. Los resultados indican que el sistema de ventilación que utiliza la energía solar puede provocar una diferencia de temperatura de aproximadamente de más diez (10) grados Kelvin la cual logra que el aire caliente salga y sea reemplazada por aire fresco del exterior aumentando su eficacia con la adición del estrechamiento que produce el efecto de Bernoulli en el tubo.

Palabras Claves— consumo de energía, chimenea solar, flujo de aire caliente, muro trombe, principio de Bernoulli, reflexión, ventilación solar.

Abstract— Solar ventilation systems have widely used effectively based on the buoyancy principle of hot air flow. The solar light has been commonly used for heating foods by the reflection phenomena using mirrors that concentrate the solar rays in an absorbent recipient. The energy consumption of the air conditioning in housing by the excessive weather heating is an environmental concern, but it can be minimized through the use of solar ventilation systems. The objective of this research is to evaluate the use of a new ventilation system based on Bernoulli principle and the concept of the uses of solar energy concentrations by the reflection phenomena which contributes to diminish the energy consumption from fossil fuels and water sources.

Temperature measurements in period of time were used to determine the efficiency of the ventilation system using the solar light by the reflection phenomena and Bernoulli principle. Control variables were used to determine the difference of temperatures between the space with and without the ventilation system. The results indicate that the ventilation system using solar energy could create an approximate difference of ten (10) Kelvin degrees which could let the hot air out and replace it by fresh air from the outside increasing the efficiency by adding a diameter change in the tube to produce the Bernoulli effect.

Keywords— *Bernoulli principle, energy consumption, hot air flow, reflection, solar chimney, solar ventilation, trombe wall.*

Tipo de artículo: *Original*

Fecha de recepción: *15 de septiembre de 2014*

Fecha de aceptación: *19 de noviembre de 2014*

1. Introducción

Sistemas de ventilación solar han sido usados efectivamente basados en el principio de flotabilidad del aire caliente. La luz solar ha sido comúnmente utilizada en el pasado para el calentamiento de alimentos mediante el fenómeno de reflexión utilizando espejos que concentren rayos solares en un recipiente absorbente. El consumo de energía de aire acondicionado en viviendas por el calentamiento climático excesivo es de gran preocupación. Panamá, no es un país ajeno a este problema. El país tiene un consumo de energía del cuarenta por ciento (40 %) por el uso de sistemas de aire acondicionado. Sin embargo, este consumo puede ser minimizado mediante el uso de sistemas de ventilación.

El proyecto utiliza la energía del sol concentrada mediante la refracción para calentar el aire dentro de un tubo o chimenea buscando una manera efectiva y económica de mantener las viviendas más frescas. Similarmente, la luz solar también ha sido utilizada desde el siglo XX para el calentamiento de alimentos mediante la reflexión utilizando espejos para concentrar los rayos solares en un recipiente absorbente. La chimenea solar está compuesta principalmente de un hueco negro que actúa como masa térmica con abertura en la parte superior para la salida del aire caliente y en la parte inferior para introducir el aire de la habitación. Las chimeneas solares fueron basadas bajo el principio de flotabilidad del aire caliente. El aire caliente sube y crea un efecto de succión. Este efecto reemplaza el aire de la habitación por aire ambiente [1]. Utilizando este argumento sustentado y el efecto

de Bernoulli [2], lo que se busca es aplicar este principio de concentración por reflexión a un tubo de chimenea a fin de crear el efecto de succión en una chimenea solar aumentando su eficacia con la adición del estrechamiento que produce el efecto de Bernoulli en el tubo. El objetivo de esta investigación es evaluar el uso de un sistema de ventilación basado en el principio del Bernoulli y la utilización de la concentración de la energía solar mediante el fenómeno de reflexión el cual contribuya a disminuir el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles e hídricos.

El proyecto de investigación busca evaluar la eficiencia del sistema de ventilación solar utilizando una reducción de área en el tubo aplicando el principio de Bernoulli. Esta investigación utiliza la energía solar para calentar el aire dentro de un tubo de chimenea. Utilizando el principio de menor peso, se provoca la succión del aire caliente en la parte inferior del mismo logrando el principio de ventilación aplicable a cualquier estructura. Seguidamente, se utiliza el efecto de Bernoulli para que el flujo de aire sea constante y a su vez mantener el espacio en estudio con una temperatura baja.

2. Marco Teórico

Una de las opciones más predominantes y exitosas aplicando el principio de flotabilidad del aire caliente es el uso de los sistemas de ventilación solar. Dos grandes logros deben ser asociados con la creación de un sistema de ventilación solar eficiente: 1) crear un sistema que pueda calentar el aire de manera efectiva y económica 2) apoyar la minimización del uso de la energía eléctrica por su alto costo y daños al ambiente. La principal preocupación es unir ambos conceptos óptimamente.

Sistemas de ventilación solar y chimeneas fueron usados efectivamente en el pasado. Estudios en el muro Trombe fueron realizados para evaluar su utilización como sistema de ventilación solar. El muro Trombe es un muro edificado hacia el sol

el cual utiliza la diferencia de densidad del aire caliente y frío con el fin de producir corrientes de flujo de aire. Estas corrientes de aire caliente o templado calientan o refrescan el recinto en el cual el muro Trombe ha sido instalado. El manejo de la flotabilidad del aire caliente por convección ha sido ampliamente estudiado mediante este sistema de ventilación [2]. Investigaciones relacionadas al manejo de la convección de aire forzada entre láminas paralelas fueron reportadas [3]. Las investigaciones fueron realizadas utilizando un pequeño sistema de ventilación a escala con paredes de 24 centímetros (cm) de altura. Otras investigaciones fueron realizadas cambiando el flujo del aire y medio [4-6]. El agua fue utilizada como medio alternativo para realizar experimentos que ayudaron a entender el funcionamiento del muro Trombe [7].

Seguidamente, estudios en el muro de Trombe fueron reportados como sistema de ventilación [8]. Se tomaban medidas de velocidad de flujo y perfiles de temperaturas para demostrar la eficiencia del sistema de ventilación. Sin embargo, se tiene poca información de mediciones específicas bajo condiciones controladas tanto en este sistema de ventilación como en las chimeneas.

La chimenea solar está compuesta principalmente de espacio hueco de cuerpo negro que actúa como masa térmica con abertura en la parte superior para la salida del aire caliente y en la parte inferior la entrada del aire permitiendo reemplazar el aire de la habitación por aire ambiente o fresco [1]. Similarmente, se estudiaba el flujo del aire a través del techo montada sobre una chimenea sola utilizando un analizador de gases [9]. Sin embargo, estos estudios también fueron desarrollados mediante condiciones no controladas. Consecutivamente, evidencia de la efectividad de la forma de techos Venturi basado en la aplicación del principio de Bernoulli fueron desarrollados a fin de generar una presión negativa significativa para inducir el movimiento del aire

[11]. Finalmente, se investigó el desempeño de una torre de ventilación natural a través de un análisis empírico en condiciones climáticas húmedas y calientes [12].

3. Metodología

El proyecto fue basado en el análisis comparativo del comportamiento de temperatura. Se deseaba comprobar al realizar el prototipo que la colocación de un reflector en forma cónica alrededor del tubo de la chimenea provocaba positivamente la concentración de los rayos solares sobre el tubo ocasionando que dentro del mismo se elevara la temperatura del aire a por lo menos entre 323 K y 333 K, cuando la temperatura ambiental estaba entre los 303 K a 308 K.

La elevación de la temperatura estableció una diferencia de densidad suficiente para crear circulación; con lo que se permitió la renovación del aire dentro de una vivienda. A su vez, con la aplicación de la ecuación de Bernoulli al reducir el área de la tubería, se aumentó la velocidad del aire al subir creando mayor succión del aire caliente produciendo así más eficiencia en este sistema. Las variables del sistema fueron definidas como una variable experimental y una variable de control. La variable experimental reflejaba un recinto con el prototipo diseñado mientras que la variable de control reflejaba un recinto cerrado simulando una estructura o vivienda sin ventilación exterior. Se procedió a diseñar un sistema de ventilación solar. El sistema de ventilación solar consistió de un tubo de lámina de zinc galvanizado de 15.2 centímetros (cm) de diámetro y una altura de 1.50 metros (m). En el centro del tubo, primero se llevó el angostamiento para el efecto Bernoulli. En este punto, el tubo se redujo al diámetro de 13 centímetros (cm). Segundo, el tubo se pintó de color negro para mejorar la radiación en el sistema de ventilación solar. Luego, se construyó una estructura de tubo de acero galvanizado de 1.2 centímetros (cm) y una platina de acero de 1 por

1.5 centímetros (cm). Para la pantalla reflectora, se utilizó la lámina de zinc galvanizado. Se procedió a calcular la particularidad de la pantalla reflectora concentrando todos los rayos solares en un punto. Se eligió un foco o punto y de allí se calculó la forma cónica parábola [13].

Para medir el efecto del sistema de ventilación se construyó dos recintos de iguales medidas. Estas medidas son 60 por 60 cm de ancho y 50 cm de altura. Estos recintos fueron totalmente cerrados y colocados a 5 centímetros sobre el suelo para que la renovación de aire se haga a nivel del suelo. En la figura 1 se muestra el prototipo experimental y el modelo de control. El primer modelo realizado es el prototipo del sistema de ventilación. El segundo recinto será el modelo de control. Para la medición de la temperatura se utilizó un termómetro de mercurio. Se tomaron medidas de la temperatura cada treinta (30) minutos entre las 10:30 a. m a 3:00 p. m en ambos recintos en el ambiente, a la sombra y en el tubo del sistema de ventilación. Debido a que no existe antecedentes investigativos sobre este artefacto, se utilizó el método experimental de obtención de datos mediante la medición de la temperatura en intervalos de tiempos definidos de 30 minutos.

Se tomaron como muestra la medición de las temperaturas en los dos recintos tomando en cuenta que uno posee el sistema de ventilación y el otro está totalmente cerrado. Por otra parte, se obtuvieron las temperaturas en el tubo del sistema y el ambiente. Se recopilaron estas mediciones por espacio de 30 días en las horas donde el sol es más fuerte a fin de evaluar si el sistema de ventilación cumple con el funcionamiento que se tenía planeado. Se debe tomar en cuenta que estas muestras fueron tomadas a la misma hora durante los treinta (30) días de experimentación.



Figura 1. Estructuras Finales: Recinto Cerrado de Control versus Recinto con Sistema de Ventilación.

4. Discusión de resultados

El proyecto busca utilizar el fenómeno de concentración de rayos solares por reflexión aplicándolo a un tubo a fin de crear un efecto de succión de una chimenea solar aumentando así su eficacia con la adición del estrechamiento que produce el efecto de Bernoulli en el tubo. Por ello, la eficacia del sistema de ventilación por radiación solar es probada inicialmente mediante la medición de temperaturas de las variables de control y experimentación así como la temperatura en el tubo. Los resultados obtenidos de las mediciones en promedio de temperatura a largo de los días de prueba mostrados en la figura 2 demuestran que el sistema de ventilación solar el cual consiste de un tubo calentado mediante la refracción solar logra elevar la temperatura de salida del aire hasta 10 grados Kelvin por encima de la temperatura ambiente.

Este sistema también mantiene la temperatura del recinto donde está incorporado en 2.5 grados Kelvin por debajo de la temperatura del recinto de control.

Se observan las diferencias de temperaturas promedio a lo largo de las horas del día de mayor radiación solar, de 10:30 a. m. a 3:00 p. m. En las tablas de los días estudiados encontramos una variación que va de 1 a 7 grados Kelvin. Estos resultados indican que la diferencia de temperatura del aire entre la entrada del sistema de ventilación en este caso la del ambiente y la de salida en el tubo

del sistema es suficiente para provocar la salida de aire. Similarmente, se puede apreciar que la temperatura promedio en el recinto de control se mantuvo en todo momento por encima de la temperatura promedio del recinto con el sistema de ventilación. Estos resultados nos indican que el sistema de ventilación logró, por el calentamiento del aire mediante la radiación concentrada en el tubo por la pantalla, mantener un flujo de aire constante y por lo tanto reemplazar el aire caliente dentro del recinto por aire más frío del exterior.

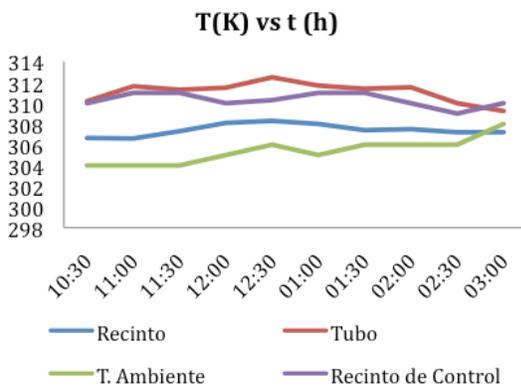


Figura 2. Distribución de las Temperaturas Promedio Medidas del Recinto, Tubo, Ambiente y Recinto de Control.

Finalmente se puede apreciar que las temperaturas de todas las muestras mantienen una relación ya que todas dependen de la radiación solar. Cabe mencionar que no teníamos equipo para medir la radiación solar, así que las medidas de temperaturas se tomaron despreciando la influencia del viento y la nubosidad parcial que también tienen influencia sobre la misma. Todos estos resultados fueron promedios de las temperaturas tomadas durante los treinta días de medición.

5. Conclusiones

Los datos recolectados producto de las mediciones en las variables de control y experimentación muestran positivamente el cumplimiento de los objetivos generales y específicos demostrando

que se pudo crear un sistema de ventilación el cual utiliza la energía solar como energía alternativa. El sistema de ventilación solar que consiste en un tubo calentado mediante la refracción solar logró elevar la temperatura de salida del aire de hasta 10 grados Kelvin por encima de la temperatura ambiente. Simultáneamente, este sistema también mantiene la temperatura del recinto donde está incorporado en 2.5 grados Kelvin por debajo de la temperatura del recinto de control. Los resultados indican que el sistema de ventilación que utiliza la energía solar puede provocar una diferencia de temperatura de aproximadamente de más de diez (10) grados Kelvin el cual logra que el aire caliente salga y sea reemplazada por aire fresco del exterior aumentando su eficacia con la adición del estrechamiento que produce el efecto de Bernoulli en el tubo. Este ensayo comprueba, entre el recinto de control y el de experimentación, una gran diferencia en las temperaturas y su eficiencia de acuerdo a las investigaciones realizadas al efecto de Bernoulli y el principio de aire caliente.

Teniendo en cuenta que los materiales utilizados para crear este sistema son accesibles y su facilidad en la confección del dispositivo de ventilación solar pueden producir un ahorro energético en las viviendas. Cabe mencionar que no se tenían equipos para medir la radiación solar, así que las medidas de temperaturas se tomaron despreciando la influencia del viento y la nubosidad parcial que también tienen influencia sobre la misma. Sin embargo, se recomienda realizar mayores mediciones de temperatura y flujo de aire con equipos de mayor exactitud que puedan determinar con precisión los datos que puedan ser obtenidos de la experimentación con el fin de comprobar la eficiencia energética producto de la utilización de este sistema de ventilación utilizando la radiación solar. Es importante medir el flujo de aire que expulsa el sistema de ventilación de acuerdo a la radiación solar en el momento. De igual manera, se recomienda variar la curvatura de

la pantalla reflectora a fin de estudiar la posibilidad de mejorar la eficiencia del dispositivo. Esta investigación es un estudio básico del sistema. Los recursos limitados no permitieron obtener datos más precisos que ayuden en la adecuación del prototipo.

Este dispositivo es un fuerte candidato en promover un ahorro energético en las viviendas a fin de disminuir la introducción de tecnologías de refrescamiento de energía eléctrica produciendo a largo plazo un ahorro de consumo energético.

Referencias Bibliográficas

- [1] S. Lal, C. Kaushik and P. K. Bhargava. "A study on stack ventilation system and integrated approaches", 2012.
- [2] Burek, S. A. M., and A. Habeb. "Air flow and thermal efficiency characteristics in solar chimneys and Trombe Walls.", *Energy and Buildings* 39.2, 2007: 128-135.
- [3] W. Elenbaas, "Heat dissipation of parallel plates by free convection", *Physica*, 9(1), 1942: 1-24.
- [4] W. Aung, L. S. Fletcher, and V. Sernas, "Developing laminar free convection between vertical flat plates with asymmetric heating", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 15, 1972: 2293-2308.
- [5] B. W. Webb, and D. P. Hill, "High Rayleigh number laminar natural convection in an asymmetrically heated vertical channel", *Transaction of ASME, Journal of Heat Transfer* 111, 1989: 649-656.
- [6] M.A. Habib, S.A.M. Said, S.A. Ahmed, and A. Asghar, "Velocity characteristics of turbulent natural convection in symmetrically and asymmetrically heated vertical channels", *Experimental Thermal and Fluid Science* 26, 2002: 77-87.
- [7] E. M. Sparrow, and L.F.A. Azevedo, "Vertical channel natural convection spanning between the fully developed limit and the single plate boundary layer limit", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 28 (10), 1985: 1847-1857.
- [8] C.J. Hocevar, and R.L. Casperson, "Thermocirculation data and instantaneous efficiencies to Trombe Walls", in: *Proceedings of the Fourth National Passive Solar Conference*, Kansas City, Missouri, USA, 1979, pp. 163-167.
- [9] C. Alfonso, and A. Oliveira, "Solar chimneys: simulation and experiment", *Energy and Buildings* 32 (2000) 71-79.
- [10] Blocken, B., et al. "On natural ventilation and thermal comfort in compact urban environments – the Old Havana case." *Building and Environment* 44.9, 2009: 1943-1958.
- [11] Van Hooff, T., et al. "PIV measurements and analysis of transitional flow in a reduced-scale model: ventilation by a free plane jet with Coanda effect". *Building and Environment*, 56, 2012: 301-313.
- [12] Lim, C. H., et al. "Performance of wind-induced natural ventilation tower in hot and humid climatic conditions", 9th WSEAS international conference on environment, ecosystems and development (EED'11). Montreux Switzerland: WSEAS. Vol. 31. 2011
- [13] M. Carlos, G. Enrique, Web extension to Escuela Universitaria Politécnica de Valladolid, www.eis.uva.es/energias-renovables/trabajos_07/COCINA-SOLAR.pdf [Consulta: 14 de enero de 2014].