

## VENTILACIÓN NATURAL EN EL AUDITORIO TONATIUH DEL CIE-UNAM

José Antonio Castillo, Jessica Medrano, Ramón Tovar, Guadalupe Huelsz y Jorge Rojas

Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México

Priv. Xochicalco s/n Col Centro, A.P. 34, Temixco, Mor, 62580, México,

Tel/Fax (55) 5622-9741, [jacat@cie.unam.mx](mailto:jacat@cie.unam.mx), [jemer@cie.unam.mx](mailto:jemer@cie.unam.mx), [rto@cie.unam.mx](mailto:rto@cie.unam.mx), [ghl@cie.unam.mx](mailto:ghl@cie.unam.mx), [jrm@cie.unam.mx](mailto:jrm@cie.unam.mx)

### RESUMEN

Se presenta un estudio experimental de la ventilación natural en el auditorio Tonatiuh del CIE-UNAM. Se realizaron dos tipos experimentos, sin y con ventilación, en ambos se obstruyó el paso de la radiación a través de las ventanas. El promedio del cambio de energía térmica del aire al interior del auditorio en un día fue de 0.4MJ para el caso sin ventilación, mientras que con ventilación fue de 3.7MJ. Esto indica que la ventilación aporta el 89% de la transferencia de calor al aire del auditorio y solo el 11% corresponde a la transferencia por conducción-convección a través de la envolvente y por infiltración. Se observan dos regímenes de ventilación, durante la noche el flujo sale por el ducto superior con pocas fluctuaciones y durante el día entra y sale intermitentemente por este ducto.

### ABSTRACT

In this paper we present an experimental study of the natural ventilation of the CIE-UNAM *Tonatiuh* auditorium. Two types of experiments were carried out, without and with ventilation. In both experiments solar radiation through the windows was obstructed. Daily-average increase of the auditorium-air thermal energy was 0.4MJ for the case without ventilation, while it was 3.7MJ for the case with ventilation. This indicates that ventilation provides 89% of the heat transfer and only 11% corresponds to conduction-convection through the envelope and infiltration. We observed two ventilation regimes; during the night the flow leaves the auditorium through the top-vent at increasing flow rate with small fluctuations and during the day the flow intermittently enters and leaves the auditorium through this vent.

Palabras claves: ventilación por diferencias de temperatura y viento, comportamiento térmico de auditorio

### INTRODUCCIÓN

En ciertos climas, el manejo adecuado de la ventilación natural de un edificio puede dar como resultado un ambiente interior confortable para sus ocupantes, en términos de calidad y temperatura del aire, ya que la ventilación es un mecanismo primordial en el transporte de contaminantes y de calor. En climas templados, idóneamente el confort se puede lograr sin consumir energía convencional (no renovable) mediante el uso de sistemas pasivos; en climas cálidos el confort se conseguirá consumiendo una cantidad de energía relativamente pequeña (Givonni 1994).

El auditorio Tonatiuh es una edificación del Centro de Investigación en Energía, con una capacidad de 120 personas. Fue construido en 1983 en Temixco, Mor. donde el clima es cálido sub-húmedo. En su diseño se incluyeron varios sistemas pasivos

de climatización como muros dobles, techo masivo, cielorraso intermedio, ventanas remetidas y un conjunto de aberturas para proveer ventilación natural (Sámano y Vázquez, 1985). Vázquez (1986) y Rojas et al (2009) reportan mediciones y estudios numéricos que refieren el comportamiento térmico de este auditorio. En ambos trabajos se describe el amortiguamiento y defasamiento (tiempo de retraso) de la oscilación de la temperatura interior respecto a la exterior. A partir de sus simulaciones, Vázquez (1986) concluyó que la mayor transferencia de calor en el recinto es por conducción a través de la envolvente. Rojas et al (2009) demostraron numéricamente que mediante ventilación nocturna se puede aumentar considerablemente el tiempo de confort térmico al interior.

En este trabajo se presentan mediciones experimentales que describe el flujo de ventilación natural, causado por diferencias de temperatura y por el viento, y su efecto en el comportamiento térmico del auditorio. En la siguiente sección se presenta la metodología experimental de la investigación, después se presentan los resultados experimentales y al final las conclusiones.

### METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### Instrumentación

Con la finalidad de llevar a cabo el estudio del comportamiento térmico y la ventilación del auditorio, éste fue instrumentado con tres sistemas de medición y adquisición automática de datos. La temperatura promedio del aire interior se obtuvo mediante un termopar representativo colocado verticalmente a 1.00m del piso. La temperatura superficial de un muro representativo se obtuvo con un termopar colocado en la parte central del muro este. La velocidad del flujo de ventilación se midió a la salida del ducto de ventilación colocado en la parte superior del plafón del auditorio utilizando un anemómetro ultrasónico WindSonic. Adicionalmente se contó con una estación meteorológica para monitorear la temperatura del aire al exterior.

#### Experimentación

Para cuantificar la magnitud de la transferencia de calor causada por la ventilación natural se realizaron dos experimentos en el auditorio, sin y con ventilación.

Los experimentos sin ventilación se realizaron manteniendo el auditorio lo más sellado posible durante tres días. Las ventilas se mantuvieron cerradas, se cubrieron con fundas de polietileno y se aislaron térmicamente con placas de poliuretano de 5cm de espesor. La radiación y conducción a través de las ventanas acristaladas se minimizó colocándoles placas de poliuretano. En esta situación se considera que la transferencia de calor es por conducción-convección a través de los muros y el techo de la envolvente y por infiltración.

En los experimentos con ventilación, las ventilas se mantuvieron abiertas y se dejaron las placas de poliuretano en las ventanas durante tres días. En este caso la transferencia de calor es la suma de la conducción-convección a través de los muros y el techo de la envolvente y la advección causada por la ventilación.

En ambos casos la transferencia de calor diaria se puede cuantificar considerando el promedio durante los cuatro días del cambio de energía térmica del aire interior en un día dado como

$$Q = \rho C_p V (T_{max} - T_{min}) \quad (1)$$

donde  $\rho$ , y  $C_p$  son la densidad y el calor específico del aire y  $V=604\text{m}^3$  es el volumen del auditorio.

Otro parámetro que se usa para la comparación entre los dos casos es el factor de decremento de la oscilación de la temperatura interior con respecto a la del exterior, definido como,

$$DF = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{\infty max} - T_{\infty min}} \quad (2)$$

donde  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  son las temperaturas del aire al interior máxima y mínima, respectivamente y  $T_{\infty max}$ ,  $T_{\infty min}$  son las temperaturas del aire al exterior máxima y mínima, respectivamente.

## RESULTADOS

### Experimento sin ventilación

En la Fig. 1 se muestran las temperaturas del aire exterior, del aire interior y de la superficie interior de un muro durante cuatro días. Al principio, las ventilas del auditorio estaban abiertas permitiendo la ventilación, nótese como la temperatura interior sigue a la temperatura exterior una parte del primer día. Cerca de las 12 horas, las ventilas fueron cerradas y la temperatura interior comenzó a disminuir. La condición sin ventilación permaneció durante los siguientes tres días. Se puede observar que la amplitud de la oscilación de la temperatura interior disminuyó durante los tres días. El factor de decremento de esta oscilación es de 0.06. Durante todo el tiempo que permanece cerrado el auditorio, la temperatura del muro es mayor que la temperatura del aire al interior, por lo que este muro siempre transfiere calor al aire interior. En ese tiempo la temperatura promedio interior fue de  $24.9^\circ\text{C}$  y la promedio exterior de  $22.0^\circ\text{C}$ . El aumento de la temperatura interior de  $2.9^\circ\text{C}$  con respecto a la exterior resulta de la asimetría día-noche de la radiación solar. La temperatura promedio del muro fue  $25.2^\circ\text{C}$ , es decir  $0.3^\circ\text{C}$  mayor que el promedio del aire interior. El factor de decremento de la oscilación de la temperatura de la superficie interior del muro con respecto a la temperatura exterior es 0.08. El promedio del cambio de energía térmica del aire al interior del auditorio en un día fue de 0.4MJ.

### Experimento con ventilación día y noche

Las temperaturas del aire al exterior y al interior y la de la superficie interior de un muro medidas durante siete días se presentan en la Fig. 2. En el experimento sólo se consideran tres días a partir del 14/04/2012. Como era de esperar, la temperatura del aire al interior presenta mayor oscilación de temperatura que en el caso sin ventilación (Fig. 1). El factor de decremento en el caso con ventilación es de 0.61 y el promedio de la temperatura del aire al interior es  $1.12^\circ\text{C}$  mayor que la del exterior ( $\bar{T}_{int}=26.4^\circ\text{C}$ ,  $\bar{T}_{ext}=25.3^\circ\text{C}$ ). La temperatura promedio del muro fue la misma que del exterior de  $25.3^\circ\text{C}$ .

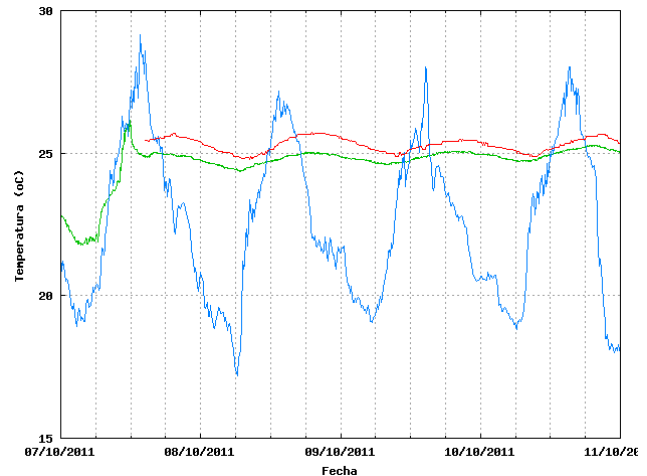


Fig. 1: Temperaturas medidas del aire exterior (línea azul), del aire interior (línea verde) y de la superficie interior de un muro (línea roja) del auditorio sin ventilación.

En la Fig. 2 se observa que la amplitud de la oscilación de la temperatura promedio del muro es menor que la de la temperatura del aire al interior, el factor de decremento de la oscilación de la temperatura de la superficie interior del muro con respecto a la temperatura exterior es 0.26. Debido a la ventilación, para varias horas del día, el muro sirve como una fuente o sumidero de calor por ambos lados, más que como un paso de calor entre el exterior y el interior. El promedio del cambio de energía térmica del aire interior en un día fue de 3.7MJ. Esta cantidad es 9.25 veces mayor que en el caso sin ventilación. Restando la energía transferida al auditorio en el caso con ventilación del caso sin ventilación se puede estimar que en el caso del auditorio con ventilación, la ventilación aporta 3.3MJ, esto es 89% de la transferencia de calor y solo el 11% corresponde a la transferencia por la envolvente e infiltración.

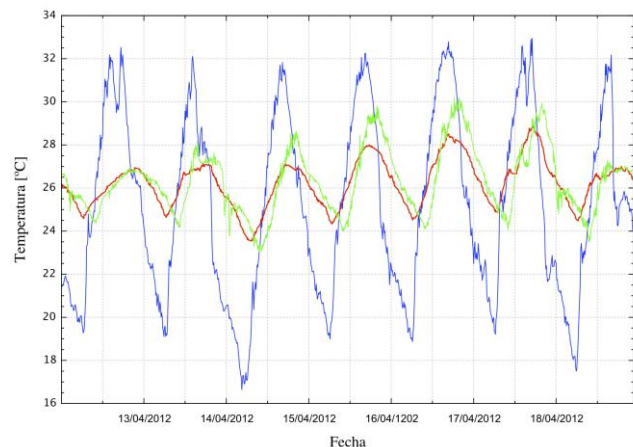


Fig. 2: Temperatura medida del aire al exterior (línea azul) y temperatura del aire al interior medida (línea verde) y temperatura de la superficie interior de un muro (línea roja), para el auditorio con ventilación.

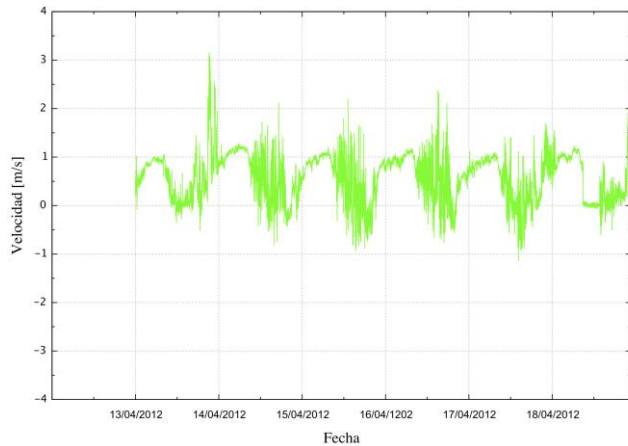


Fig. 3: Velocidad de flujo de ventilación medida.

La Fig. 3 presenta la velocidad del aire medida durante seis días. La velocidad positiva indica que el aire sale del auditorio por el ducto superior, la negativa es que entra por dicho ducto. El sentido del flujo causado por flotación es positivo si  $T > T_{\infty}$  (9pm a 9am) y negativo si  $T < T_{\infty}$  (de 9am a 9pm) (Fig. 2). Durante la noche (de 8pm a 9am) el flujo sale por el ducto superior y durante el día (de 9am a 8pm) entra y sale intermitentemente por este ducto (Fig. 3). Las intermitencias que se observan en la velocidad del flujo se atribuyen a las fluctuaciones del viento que producen cambios de presión en las ventilas, dominando al efecto de flotación térmica.

En general, el viento en la zona del CIE presenta una dirección paralela a las aperturas de las ventilas, por lo que la ventilación a través de ellas se esperara sea debida a las fluctuaciones de la velocidad del viento, más que a su valor promedio (Etheridge 2012). En un futuro se analizará la velocidad y dirección del viento para los días de las mediciones y se buscará hacer un modelo que tome en cuenta la ventilación por viento y la ventilación por flotación térmica. También se evaluará la transferencia de calor por radiación solar a través de las ventanas, que en este estudio fue bloqueada en los dos tipos de experimentos realizados.

## CONCLUSIONES

Se realizó un estudio experimental de la ventilación natural en el auditorio Tonatiuh del CIE-UNAM. Se midieron y analizaron temperaturas del aire interior y del exterior, así como de la superficie interior de un muro. También se midió la velocidad del aire a la salida del ducto de ventilación colocado en la parte superior del plafón del auditorio. Se cuantificó el efecto de la ventilación sobre la transferencia de calor mediante la energía transferida al aire interior y el factor de decremento.

Se realizaron dos tipos experimentos, sin y con ventilación. En el primero se mantuvo cerrado el auditorio y se aislaron térmicamente las aberturas; en el segundo se mantuvieron abiertas las ventilas inferiores y superiores para permitir la ventilación natural durante todo el día y la noche. El efecto de la radiación a través de las ventanas fue minimizado con elementos prácticamente opacos.

En los experimentos sin ventilación el factor de decremento de la temperatura del aire interior con respecto a la del exterior fue de 0.06 y en aquellos con ventilación fue de 0.61. El promedio del cambio de energía térmica del aire al interior del auditorio en un día fue de 0.4MJ para el caso sin ventilación, mientras que con ventilación fue de 3.7MJ. Esto indica que la ventilación aporta el 89% de la transferencia de calor al aire del auditorio y solo el 11% corresponde a la transferencia por conducción-convección a través de la envolvente y por infiltración.

En general, se observan dos regímenes de ventilación, durante la noche el flujo sale por el ducto superior y durante el día entra y sale intermitentemente por este ducto. Las intermitencias se atribuyen a las fluctuaciones del viento.

## Agradecimientos.

Este trabajo fue apoyado el proyecto CONACYT FOMIX- Estado de Morelos 93693. Los autores agradecen la asistencia de Guillermo Hernández, Raúl Oreste Catalán y Jesús Quiñones en la adquisición de datos experimentales.

## REFERENCIAS

- Etheridge D, (2012). Natural Ventilation of Buildings – Theory, Measurements and Design. John Wiley & Sons, West Sussex, U.K.
- Givoni B, (1994). Passive and low energy cooling of buildings. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Rojas J, Huelsz G, Tovar R, Elías P, Alpuche MG, (2009). Confort térmico mediante ventilación nocturna en un auditorio bioclimático en clima cálido-subhúmedo. Memorias de la XXXIII semana nacional de energía solar.
- Sámano DA y Vázquez B, (1985). Operación de un auditorio, diseñado como sistema pasivo en un clima cálido. Memorias de la IX reunión de ANES.
- Vázquez B, (1986). Modelo para establecer el comportamiento térmico de un auditorio. Tesis Facultad de Química UNAM.