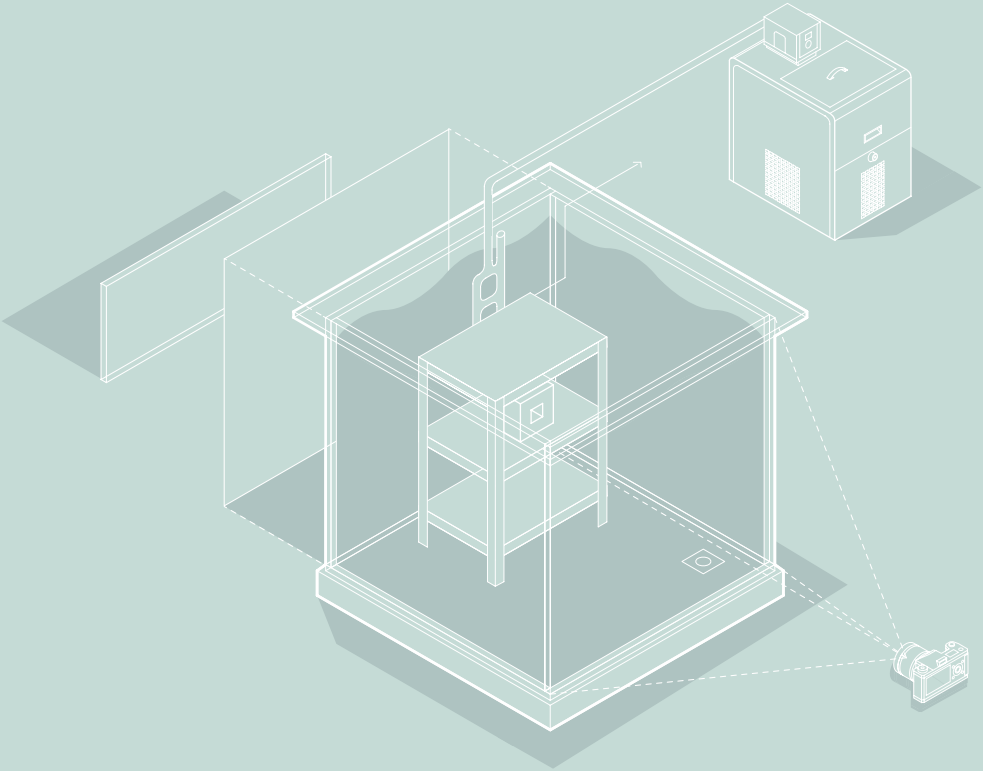


TÉCNICA ÓPTICA EXPERIMENTAL

SCHLIEREN SINTÉTICO

MANUAL DE INSTALACIÓN DEL EQUIPO

Laboratorio de Edificación
Sustentable

Facultad de Arquitectura, Universidad
Nacional Autónoma de México

Realizó:
Dra. Adriana Lira Oliver
Dr. José Antonio Castillo Torres
Luis Francisco López Gutiérrez

PREFACIO

Este manual fue desarrollado con el financiamiento del proyecto PAPIME-UNAM "Conceptos de la transferencia de calor en el marco de la Arquitectura". El desarrollo tecnológico generado, para el estudio de la ventilación natural por efecto térmico en edificios, se compone de un tanque ambiental, una base de soporte y de los sistemas de adquisición de datos de temperatura y de imágenes con la técnica óptica Schlieren Sintético. Este desarrollo se encuentran en el Laboratorio de Edificación Sustentable de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, donde se realizaron las actividades de experimentación como montaje, instalación, calibración y puesta en marcha de los sistemas y de los programas de software necesarios. El manual es una guía rápida de uso y operación.

ÍNDICE

Introducción 2

Experimento de una habitación a escala
- Modelo a escala 6
- Tanque ambiental 6
- Sistema de adquisición de imágenes 7
- Sistema de dquisición de datos de temperatura 7
- Intercambiador de calor 8
- Distribuidor de calor 8
- Baño térmico 8
- Procedimientos para realizar los experimentos 9
- Similitud dinámica agua-aire 10

Discusión 11

Referencias 12

1. INTRODUCCIÓN

Las edificaciones requieren de una gran cantidad de energía para su construcción, operación y demolición. En el mundo, el consumo de energía para la operación de las edificaciones se estima en 30% del consumo total. En nuestro país la energía consumida para la operación de las edificaciones se estima en 18% del consumo total de energía según el Balance Nacional de Energía considerando los sectores residencial, comercial y público (SENER, 2015). Este consumo tiene serias repercusiones en el ambiente ya que más del 94% proviene de la quema de combustibles fósiles (SENER, 2015), responsable de gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero del país. Se estima que la operación de las edificaciones representa el 12% de las emisiones de CO2 a la atmósfera de nuestro país (UNEP, 2009). Para el año de 2008, un estudio estimaba el consumo de energía por uso de sistemas de aire acondicionado para el enfriamiento en el sector residencial del 2.1% del total en dicho sector y el 1.2% para calefacción (SENER-AIE 2015).

Este costo energético puede ser reducido de manera importante; si el edificio está diseñado de acuerdo al clima desde el inicio de su concepción o es intervenido después de su construcción, es decir, que el diseño incorpore estrategias que utilicen sistemas pasivos que funcionen con la energía del mismo medio ambiente como la radiación solar, el viento, diferencias de temperatura, etc., (ver Figura 1).

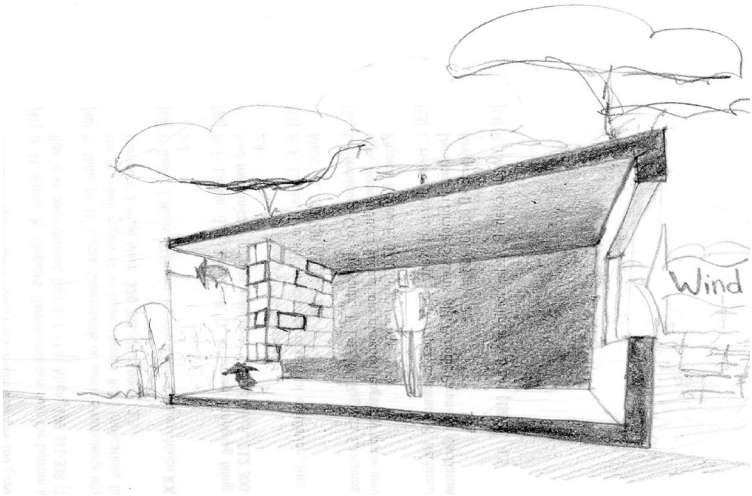
Las estrategias varían de acuerdo al clima de la región y al microclima y al uso del edificio (Olgyay, 1963). Por ejemplo: geometría de la envolvente, orientación y tamaño de vanos y muros ciegos, color exterior de la envolvente, combinación adecuada de masa térmica y resistencia térmica de los materiales que constituyen los sistemas constructivos, entre otros. Al diseño arquitectónico de acuerdo a este conjunto de estrategias se le denomina Diseño Bioclimático. En particular, la ventilación natural es una de las estrategias importantes de Diseño Bioclimático para climas cálidos, que representan dos terceras partes del territorio nacional. Un estudio reciente (Oropeza- Pérez and Ostergaard, 2014) estimó el potencial de ahorro de energía en nuestro país por utilizar la ventilación natural en viviendas en climas cálidos. En este estudio se consideró el ahorro de energía en una vivienda como la diferencia entre el consumo de energía en la vivienda por el uso de un equipo de aire acondicionado de enfriamiento para lograr condiciones de confort sin ventilación y el consumo de energía de la misma vivienda cuando está ventilada en forma natural. El potencial de ahorro de energía se estimó en 54.4% de la demanda de energía eléctrica para enfriamiento en viviendas en el mismo año.

2. VENTILACIÓN NATURAL COMO ESTRATEGIA DE DISEÑO

Por lo anterior, es importante fomentar el estudio y la enseñanza de la ventilación natural como una estrategia de diseño, para generar espacios confortables, que pueda ser utilizada por las personas involucradas en la industria de la construcción. Los estudiantes de arquitectura de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, llevarán esta estrategia a su vida profesional. Por lo que el desarrollo tecnológico didáctico como el tanque ambiental, los sistemas de adquisición de datos de temperatura y de imágenes con la técnica óptica Schlieren Sintético (SS), son de importancia para el entendimiento adecuado de los fenómenos físicos involucrados en la ventilación natural por parte de los estudiantes.

La técnica de SS está basada en la visualización del flujo de un fluido mediante los índices de refracción. Estas variaciones en los índices de refracción causan que la luz, uniforme desde una fuente, sea refractada en diferentes direcciones al pasar a través del fluido, lo que causa una distorsión en un patrón de referencia colocado entre la fuente de luz y la zona de fluido que se quiere observar (Sutherland, 1999). El SS utiliza un procesamiento digital de imágenes para obtener los gradientes de campos como la temperatura o la densidad.

FIGURA 1. ESQUEMA DE VENTILACIÓN NATURAL POR EFECTO TÉRMICO



3. ARREGLO EXPERIMENTAL DE LA TÉCNICA SCHLIEREN SINTÉTICO

El sistema SS cuenta con una fuente de iluminación (a.), una máscara con los patrones de referencia (b.), una cámara fotográfica digital (j.) , así como equipo y software para el procesamiento de las imágenes. El arreglo del sistema es simple ya que todo debe ser puesto en dirección al campo focal de la cámara como se muestra en la Figura 2. Entonces, sólo es la cámara la que se ajusta para obtener ya sea una mayor sensibilidad, enfocándola al área de estudio o una mejor definición y nitidez de imagen al enfocarla directamente a la máscara.

Este sistema cuenta una lámpara de led de luz blanca marca GENERAL LIGHTING 04678-1 de 40 W, así como una máscara colocada detrás del fluido que sirve como patrón de referencia para las imágenes formadas durante los experimentos.

La máscara es de acetato que tiene impreso un patrón de pequeños puntos transparentes dispuestos en un fondo negro por los que atraviesa la luz al ser iluminados por detrás de manera uniforme por la fuente. La máscara permite observar y cuantificar las variaciones de densidad respecto de un estado inicial sin perturbaciones, capturado en una primera imagen conteniendo un patrón de referencia. Al cambiar la temperatura o densidad del fluido en la zona de prueba se ocasionan desviaciones en la dirección de los rayos de luz, en otras palabra cambios en el índice de refracción, distorsionando el patrón de referencia. Las imágenes producidas son comparadas contra la imagen inicial quedando resaltadas las estructuras no homogéneas provocadas por gradientes locales del índice de refracción en el medio.

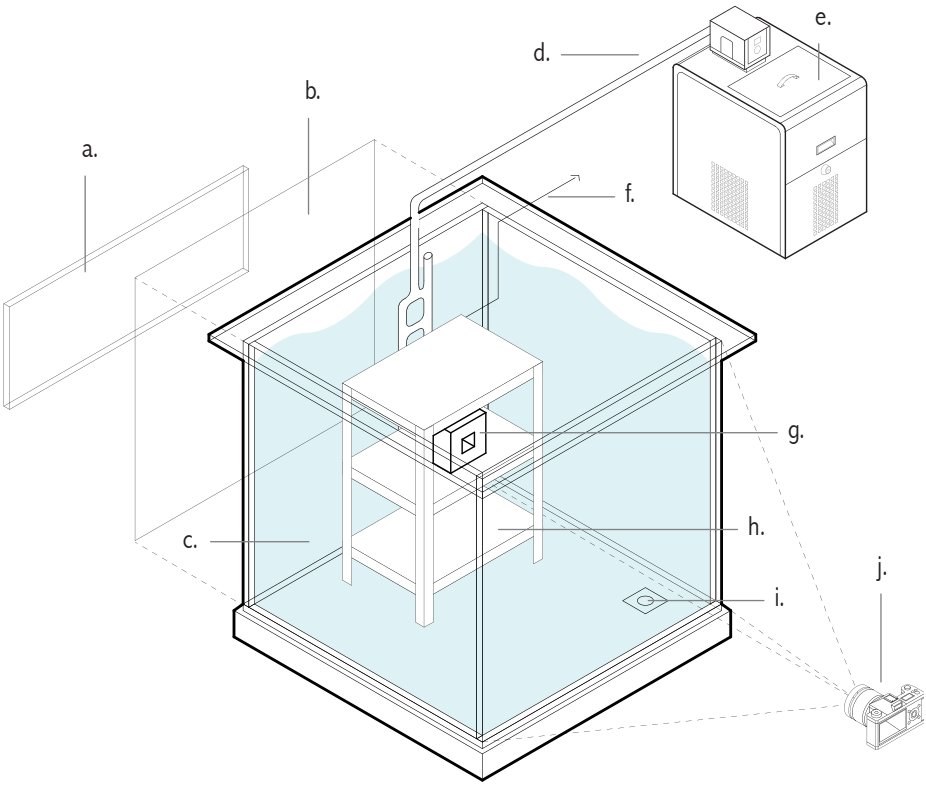


FIGURA 2.
ISOMÉTRICO TANQUE AMBIENTAL

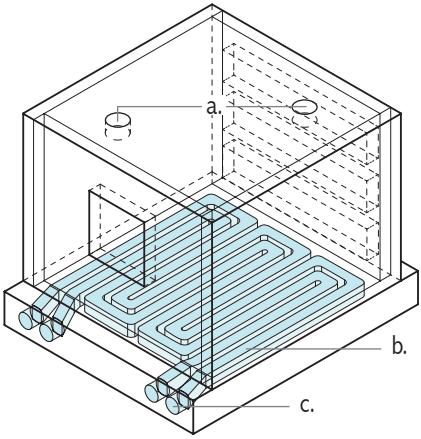
a. Lámpara
b. Máscara
c. Tanque ambiental
d. Distribuidor de agua
e. Baño Térmico
f. Termopares hacia adquisidor
g. Modelo experimental
h. Base de modelo
i. Desagüe
j. Cámara

EXPERIMENTO DE UNA HABITACIONE A ESCALA

1. MODELO A ESCALA

El modelo a escala 1/20 de 15.0 cm × 17.0 cm y 12 cm de altura (ver Figura 3), representa una habitación a escala real de 3.0 × 3.4 y 2.4 m^3. El modelo tiene una ventana centrada en la fachada principal de 5.0 cm × 5.0 cm y tres ventilas horizontales equidistantes en la fachada posterior de 13.0 cm × 2.5 cm. El modelo está fabricado con acrílico transparente de 10 mm de espesor en los muros y techo y de 25 mm en la base. El techo cuenta con dos barrenos de 1/4" con rosca NPT para recibir un tapón con varilla cada uno. Cada varilla de 12.0 cm tiene instalados 6 termopares tipo T, distribuidos de manera equidistante. La base o intercambiador de calor cuenta con cuatro barrenos en la parte frontal para acoplar el sistema de tuberías de distribución de agua (a diferente temperatura con respecto a la condición inicial del tanque ambiental) desde el baño térmico.

FIGURA 3. MODELO A ESCALA DE UNA HABITACIÓN

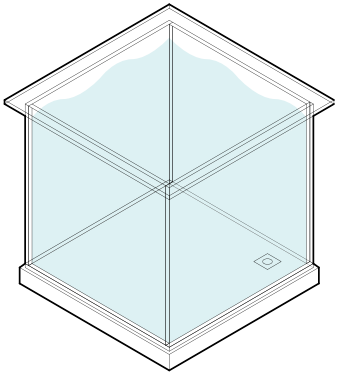


a. Barrenos para acoplar termopares
b. Intercambiador de calor
c. Barrenos para acoplar distribuidor de agua caliente

2. TANQUE AMBIENTAL

El tanque ambiental (ver Figura 4) está construido con acrílico transparente de 25 mm de grosor con medidas interiores de 1.0 × 1.0 × 1.0 m3. Las dimensiones y material son apropiados para utilizar técnicas ópticas para la adquisición de imágenes.

FIGURA 4. TANQUE AMBIENTAL



3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

El sistema de adquisición de imágenes (ver Figura 5) consta de una computadora de escritorio ASUS con un procesador Intel Core i7-6700 de 8 núcleos a 3.40GHz con WINDOWS 10 a 64 bits, memoria RAM DDR3 16GB, una cámara NI-BASLER acA 1300 – 30 um con una C – Mount adaptada a una lente NIKON 80-200mm (ver Figura 5) y el programa de adquisición Grab_jacat_alo.vi (anexo en los documentos electrónicos) desarrollado en la plataforma del software LabView 2016.

FIGURA 5. CÁMARA FOTOGRÁFICA

4. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA

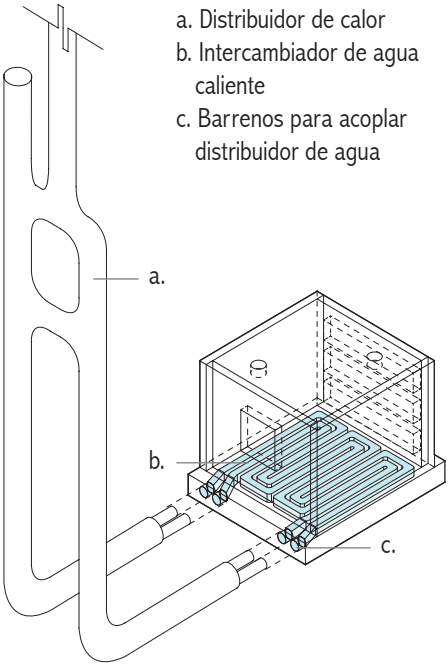
El sistema de adquisición de datos de temperatura (ver Figura 6), se compone de una computadora de escritorio ASUS con un procesador Intel Core i7-6700 de 8 núcleos a 3.40GHz con WINDOWS 10 a 64 bits, memoria RAM DDR3 16GB, un adquisidor National Instruments de datos DAQ mx con 16 canales en un chasis National Instruments cDAQ-9171 con salida USB 3.0, 16 termopares tipo T (cobre-constantán) marca Omega calibre 32 y el programa de adquisición Temperature_jacat_alo.vi (anexo en los documentos electrónicos) desarrollado en la plataforma del software LabView 2016.

FIGURA 6. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURAS CON CONEXIÓN DE UN TERMOPAR AL ADQUISIDOR DE DATOS NATIONAL INSTRUMENTS DAQ MX

5. INTERCAMBIADOR DE CALOR

La base del modelo funciona como intercambiador de calor, ya que cuenta con un arreglo de canales en forma de serpentín donde se hace circular agua a diferente temperatura con respecto a la condición inicial del tanque ambiental. Los canales tienen una sección transversal de 1.0 cm x 0.8 cm.

FIGURA 7. INTERCAMBIADOR DE CALOR



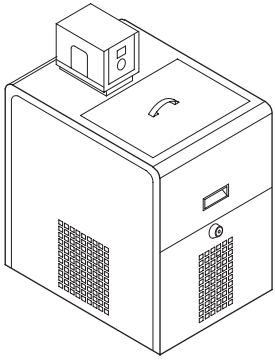
6. DISTRIBUIDOR DE AGUA AL INTERCAMBIADOR

El distribuidor de agua se conforma de tubería del tipo Tuboplus de 1/2" recubierta de aislante para tubería de 3/8" x 3/4" x 6". El sistema cuenta con válvulas de paso utilizadas para purgar las tuberías.

7. BAÑO TÉRMICO

Al intercambiador de calor se le suministra agua a diferente temperatura con respecto a la condición inicial del tanque ambiental, a través del distribuidor de agua desde un baño térmico marca Thermo Scientific con controlador electrónico.

FIGURA 8. BAÑO TÉRMICO



8. PROCEDIMEINTO PARA REALIZAR EXPERIMENTOS

En esta subsección se presentan los pasos para realizar los experimentos:

7.1 Se esperaba a la noche para tener un ambiente carente de fuentes de iluminación.

7.2 Se cerraban las puertas para impedir corrientes de aire.

7.3 Se encendía el baño térmico a una temperatura de 90 oC y la lámpara led con 2 horas y 20 minutos de anticipación, respectivamente.

7.4 Se iniciaba la toma de imágenes y adquisición de datos de temperatura al momento de iniciar el cronómetro.

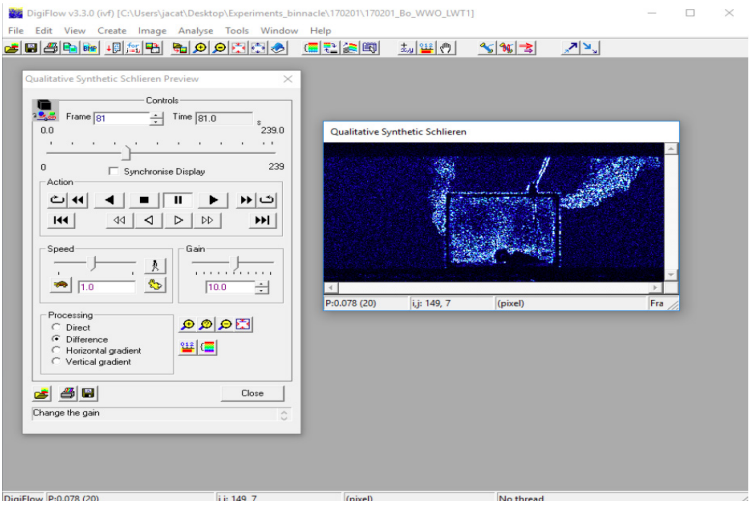
7.5 Se suministraba agua caliente a la pipeta de plumas cuando el cronómetro indicaba 60 segundos.

7.6 Se continuaban la toma de datos y de temperaturas por un tiempo total de 20 minutos.

7.7 Se detenía el experimento después de los 20 minutos deteniendo el suministro de agua caliente, apagando la lámpara de led, deteniendo la adquisición de imágenes y temperaturas.

Posteriormente se procedía al procesamiento de las imágenes en el programa DIGIFLOW (ver Figura 8) y al análisis de las mediciones de temperatura en una hoja de cálculo. Los videos del procesamiento se entregan en los documentos electrónicos.

FIGURA 9. PROCESAMIENTO CUALITATIVO DE SCHLIEREN SINTÉTICO EN EL PROGRAMA DIGIFLOW



9. SIMILITUD DINÁMICA AGUA – AIRE

En los experimentos se cuidó que la razón entre las fuerzas involucradas en el agua tuvieran el mismo valor con respecto a un caso en escala real, a esto se le conoce como similitud dinámica y térmica. Para obtener ambas similitudes, se calcularon los números adimensionales de Reynolds y Grashof, en ambas escalas (real y reducida) para comprobar que los resultados obtenidos en el modelo de laboratorio corresponden a los que se tendrían a un edificio a gran escala.

El número de Reynolds (Ecuación 1) está definido por la razón de las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas:

$$Re = \frac{UL}{\nu}$$

en donde, U [m/s] es la velocidad del fluido en la salida de la pipeta, L [m] es la altura característica del edificio, para nuestro estudio se toma como la altura interior del cuarto y v [m2/s] es la viscosidad cinemática del fluido.

Además se verificó que el comportamiento térmico en el experimento correspondiera a lo que se espera en la escala real, para lo que se calculó el número de Grashof (Ecuación 2) que se define como la relación entre las fuerzas de flotación y las fuerzas viscosas en el fluido.

$$Gr = \frac{\beta g L^3 (T_w - T_r)}{\nu}$$

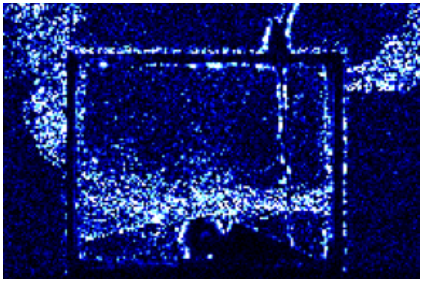
Donde β es el coeficiente de expansión térmica [K-1], g = 9.81 m/s2 es la aceleración de la gravedad, Tw es la temperatura en la superficie caliente y Tr es la temperatura de referencia. Se corroboró que el valor de Gr experimental fuera mayor al valor crítico Gr = 1 × 109 reportado en la literatura.

DISCUSIÓN

1. ESTADO DE RESULTADOS

Los resultados de temperatura experimentales carecen de calibración debido a que el Laboratorio de Edificación Sustentable no contaba con el equipo necesario, al momento de realizar este manual. Por lo que se aconseja repetir los experimentos con la metodología experimental desarrollada y los programas desarrollados para las necesidades de los experimentos e incluir esa información en este manual. Además, se recomienda la instalación de un medidor de flujo en la tubería de distribución de agua caliente del baño térmico a la pipeta de generación de plumas térmicas.

FIGURA 10. VISUALIZACIÓN DEL SISTEMA SCHLIEREN SINTÉTICO EN EL PROGRAMA DIGIFLOW



REFERENCIAS

Castillo J. A., Cruz-Salas M., Huelsz G. y Tovar R. (2016). Ventilación natural: su importancia en la eficiencia energética de edificaciones. Revista esencia y espacio de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, Enero-Junio de 2015, Vol. 40, p. 51-63.

Comisión Federal de Electricidad (CFE) (2009). Tabla de consumo de electrodomésticos. http://www.cfe.gob.mx/casa/ahorroenergia/Paginas/ Tabladeconsumo.aspx. Accessed: 2015-05-10.

Franke, J., Hellsten, A., Schlünzen, H., Carissimo, B. (2007). Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment, COST office.

International Energy Agency (IEA) (2011). Technology Road- map. Energy-efficient Buildings: Heating and Cooling Equipment. http://www.iea.org/publications/ freepublications/publication/ buildings_roadmap-1.pdf. Accessed: 2016-04-10.

Menter, F., (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineer- ing applications, AIAA Journal, 32, 1598–1605.

Montero, A. (2017). Remoción de microorganismos y zonas de estancamiento en edificios naturalmente ventilados. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Estudios Zaragoza UNAM, pp. 95.

Olgyay, V. (1963). Design with Climate. Bioclimatic approach to Architectural Regionalism.

Oropeza-Pérez, I. and Ostergaard, P. A. (2014). Energy saving potential of utilizing natural ventilation under warm conditions: A case study of Mexico. Applied Energy, 130:20–32.

Peralta, E. D. (2015). Implementación del schlieren sintético para el estudio de la ventilación natural en edificaciones. Tesis de Ingeniería en Tecnología Ambiental, Universidad Politécnica de Morelos, pp. 59.

Sutherland, B. R., Dalziel, S. B., Hughes, G. O., Linden, P. F. (1999), Visualization and measurement of internal waves by synthetic schlieren. Part 1: Vertically oscillating cylinder. Journal of Fluid Mechanics, 390, 93–126

T. van Hooff, B. Blocken (2010). Coupled urban wind flow and indoor natural ventilation modelling on a high-resolution grid: A case study for the amsterdam arena stadium, Environmental Modelling and Software 25, 51–65.

Secretaría de Energía (SENER) (2015). Balance Nacional de Energía 2014.
Secretaría de Energía y Agencia Internacional de Energía, (SENER-AIE) (2015). Indicadores de Eficiencia Energética en México: 5 sectores, 5 retos. http:// www.energia.gob.mx/taller/res/1858/iee_mexico.pdf. Accessed: 2015-05-10.

United Nations Environment Programme (UNEP) (2009). Greenhouse Gas Emission Baselines and Reduction Potentials from Buildings in Mexico. A Discussion Document. http://www.unep.org/sbci/pdfs/ SBCI-Mexicoreport.pdf. Accessed: 2016-04-10.

UNAM • Facultad de Arquitectura • Julio 2017