

PRÁCTICA 17

CUARTO TÍPICO VENTILADO Y CALENTADO

PRÁCTICA DE VENTILACIÓN NATURAL

Laboratorio de Edificación Sustentable (LES)

Facultad de Arquitectura,

Universidad Nacional Autónoma de México

Realizó:

Br. Luis Francisco López Gutiérrez Dr. José Antonio Castillo Torres Dr. Ramón Tovar Olvera Dra. Adriana Lira Oliver

I. INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta la metodología para desarrollar la práctica experimental de un cuarto típico, una habitación o una oficina, con una ventana abierta y piso caliente. Esta práctica pertenece al campo de estudio de la ventilación natural en edificaciones. Con esta práctica el alumno ampliará su ventilar conocimiento de cómo mediante una ventana un cuarto típico que tiene ganancia térmica desde el piso. Además, el alumno observará los flujos de ventilación que son difícilmente apreciables en la escala natural. Se espera que con esta vivencia mejore sus capacidades para el diseño de la ventilación natural en edificaciones. De la misma manera, el alumno podrá utilizar esta experiencia para diseñar "pisos radiantes".

En esta práctica se utiliza una maqueta a escala 1/20 con las mismas proporciones de un cuarto típico a escala natural. Para la práctica se utiliza agua como fluido de trabajo, que mediante las similitudes dinámica y térmica con el aire se obtienen flujos análogos en ambas escalas.

Esta práctica está diseñada para ser realizada en el Laboratorio de Edificación Sustentable (LES) de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. Se requiere que el equipo, que se detallará más adelante, sea operado y previamente alineado y calibrado por el personal responsable en el LES.

ÍNDICE

l.	INTRODUCCIÓN	2
	VENTILACIÓN NATURAL DE UN CUARTO TÍPICO CON UNA ITANA Y GANANCIA TÉRMICA DESDE EL PISO	
III.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	5
IV.	PASOS DE LA EXPERIMENTACIÓN	9
V.	PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	10
VI.	PROCESAMIENTO DE DATOS DE TEMPERATURA	13
VII.	PREGUNTAS	13
VIII.	ACTIVIDADES Y PREGUNTAS PARA POSGRADO	14
REF	ERENCIAS	15

II. VENTILACIÓN NATURAL DE UN CUARTO TÍPICO CON UNA VENTANA Y GANANCIA TÉRMICA DESDE EL PISO

La ventilación natural (VN) es la renovación del aire interior de una edificación por aire limpio del exterior mediante los mecanismos de viento y de diferencias térmicas (Etheridge y Sandberg 1996). La VN puede aumentar el confort de los ocupantes de las edificaciones, reduciendo o incluso eliminando el uso de sistemas de aire acondicionado en climas cálidos. En esta práctica solo se abordará el mecanismo de diferencias térmicas.

Un cuarto típico se puede definir como aquella edificación con un volumen habitable de 3.0 m (ancho) x 3.0 m (largo) x 2.7 m (alto) con una ventana o vanos que proveen de iluminación y ventilación naturales. La ventana mide 1.0 m de ancho por 1.0 m de alto. Este cuarto típico puede funcionar como un módulo reproducible para conformar edificios o una vivienda y por tanto las estrategias que se desarrollen en él pueden ser reproducibles al resto de los módulos que conforman el edificio o la vivienda (Castillo 2017).

La VN por diferencias térmicas en un cuarto típico con una ventana y un piso caliente (PC) funcionando se produce por la diferencia de densidades entre el aire (caliente) del interior y el aire (frío) del exterior. El aire caliente del interior, menos denso, tiende a subir y salir a través de la parte superior de la ventana, mientras que el aire frío del exterior, más denso, entra por la parte inferior de la ventana reemplazando al que salió. Cuando se tiene calentamiento desde un PC se produce un alto mezclado al interior del cuarto, por lo que se espera una temperatura uniforme. La evolución de la temperatura al interior del cuarto se puede estimar con un balance de energía que considera la ganancia térmica desde el piso, la ventilación natural a través de la ventana y el intercambio térmico con las paredes y el techo (Thomas et al. 2012)

$$\frac{dT}{dt} = \lambda \alpha_T^{2/3} \left(\frac{g\beta}{\nu}\right)^{1/3} (T_{pr} - T)^{4/3} \frac{1}{H} + U_L \frac{A_{UL}(T_{\infty} - T)}{\rho C_p V} + \frac{\kappa A_v \left(g\beta h_v\right)^{1/2}}{V} (T_{\infty} - T)^{3/2}$$
(1)

donde T [°C] es la temperatura del cuarto, t [s] el tiempo transcurrido, λ [-] la constante del PC, α_T [m²/s] la difusividad térmica del fluido, g [m/s²] la aceleración de la gravedad, β [1/°C] el coeficiente de expansión térmica del fluido, v [m²/s] la viscosidad cinemática del fluido, T_{pr} [°C] la temperatura del PC, T_{pr} [°C] la temperatura del PC, T_{pr} [°C] la temperatura del exterior, T_{pr} [°C] la temperatura del exterior, T_{pr} [°C] la temperatura del exterior, T_{pr} [°C] la suma de las áreas de las paredes y el techo, T_{pr} [°C] la densidad del fluido, T_{pr} [°C] la temperatura del exterior, T_{pr} [°C] la temperatura del exterior T_{pr} [°C] la temperatura del exterior

[J/kg°C] el calor específico del fluido, V [m³] el volumen interior del cuarto, κ [-] el coeficiente experimental de descarga para ventilación, A_V [m²] el área de la ventana y h_V [m] altura de la interface de la estratificación.

III. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En esta sección se presenta el tanque ambiental, el sistema de adquisición de imágenes, el sistema de adquisición de datos de temperatura, el sistema óptico de Schlieren Sintético (SS), la maqueta a escala del cuarto típico con PC, el sistema de distribución de agua caliente y las similitudes dinámica y térmica del agua con el aire.

1. TANQUE AMBIENTAL

El tanque ambiental es un tanque de agua que tiene medidas interiores de $1.0 \times 1.0 \times 1.0$ m³ (ver Figura 1). Está construido con placas de acrílico transparente de 25 mm de grosor. Las dimensiones y material son apropiados para utilizar técnicas ópticas para la adquisición de imágenes. Este tanque ambiental simula al aire circundante que tendría el cuarto típico a escala natural.

2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

El sistema de adquisición de imágenes se utiliza para observar y grabar las perturbaciones en el índice de refracción, con respecto a un estado de referencia, que se producen por los cambios de densidad del fluido. Este sistema 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 telefoto NIKON 80-200mm (ver Figura 2). Para la adquisición de las imágenes se utiliza el programa de adquisición *Grab_jacat_alo.vi* (Castillo 2017) desarrollado en la plataforma LabView 2016.

3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA

El sistema de adquisición de datos de temperatura se utiliza para obtener mediciones puntuales al interior de la maqueta (ver Figura 3). Se compone de una Laptop DELL con un procesador Intel Core i7-6700 de 2 núcleos a 2.70GHz con WINDOWS 10 a 64 bits, memoria RAM DDR3 8GB, 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 (Castillo 2017) desarrollado en la plataforma LabView 2016.

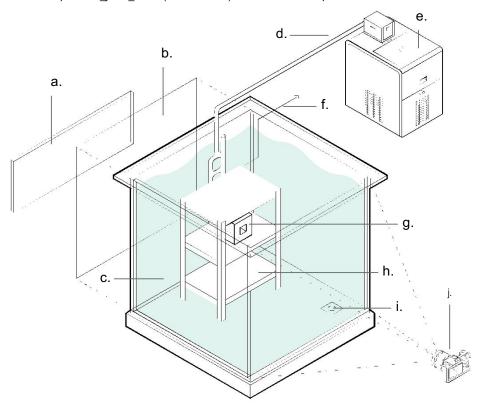


Figura 1. Isométrico del arreglo experimental

- a. Lámpara led
- b. Máscara
- c. Tanque ambiental
- d. Distribuidor de agua caliente
- e. Baño Térmico
- f. Termopares
- g. Maqueta
- h. Base de la maqueta
- i. Desagüe
- ^lj. Cámara



Figura 2. Fotografía de la cámara BASLER con una lente tipo telefoto fijada a la plataforma.

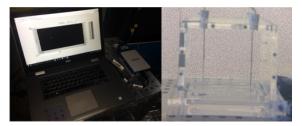


Figura 3. Fotografía del sistema de adquisición de temperaturas, (izquierda) con la laptop conectada al adquisidor de datos National Instruments DAQmx y (derecha) las dos columnas de termopares en la maqueta.

4. SISTEMA ÓPTICO DE SCHLIEREN SINTÉTICO

Este sistema permite observar de manera indirecta los gradientes de densidad (o temperatura). Tiene una lámpara de led de luz blanca marca GENERAL LIGHTING 04678-1 de 40 W, una máscara de acetato con una impresión digital láser en negro con un patrón de puntos transparentes. La máscara está adherida sobre toda la superficie de la pared trasera del tanque ambiental (ver Figura 1).

5. MAQUETA A ESCALA DEL CUARTO TÍPICO CON PC

La maqueta tiene una ventana de 5 cm de ancho por 5 cm de alto. El PC está formado por un serpentín hecho en una placa de acrílico de 2.5 cm de espesor (ver Figura 4). Las medidas interiores de la maqueta son 15 cm (ancho) x 15 cm de (largo) x 12 cm (alto) que en escala natural representan 3.0 m (ancho) x 3.0 m (largo) x 2.7 m (alto). Las paredes y el techo son de acrílico transparente de 1 cm de espesor.

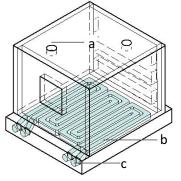


Figura 4. Esquema de la maqueta

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

6. SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE

El sistema de suministro de agua caliente se encarga de proveer y recircular agua de mayor temperatura. Se conforma de una disposición de tuberías tipo TuboPlus de 3/4" desde un baño térmico marca Thermo Scientific modelo HAAKE A25B con controlador electrónico HAAKE SC100 (ver Figura 5).



Figura 5. Fotografía del sistema de suministro de agua desde el baño térmico hasta la conexión con el piso radiante.

7. SIMILITUDES DINÁMICA Y TÉRMICA DE FLUJOS DE AGUA CON LOS DEL AIRE

En esta práctica se utiliza agua como fluido de trabajo para tener condiciones de similitud dinámica y térmica entre los flujos de agua (maqueta) y los de aire (cuarto). Los números adimensionales de Reynolds (Re) y Grashof (Gr) fueron calculados para las condiciones de esta práctica. El primero, Re, relaciona las fuerzas viscosas e inerciales de un fluido. El segundo, Gr, relaciona las fuerzas de flotación térmica con las fuerzas viscosas. Se corroboró que el Re y el Gr tienen valores mayores a los valores críticos reportados en la literatura; por lo que los resultados que se observan en la maqueta corresponden a los que se tendrían en el cuarto típico a escala natural.

IV. PASOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

Tiempo [min]	Actividad
	Corroborar que la válvula de la tubería de suministro de agua caliente esté
	cerrada.
-20	•Encender y programar el baño térmico a una temperatura recomendada de
	50°C.
	•Encender lámpara de led de luz blanca.
-10	Apagar las luces del laboratorio.
	•Ejecutar los programas Grab_jacat_alo.vi y Temperature_jacat_alo.vi para
-5	obtener imágenes a cada 5 segundos y adquirir datos de temperatura cada
	segundo, respectivamente.
0	Abrir la válvula de la tubería de suministro de agua caliente.
	Detener los programas Grab_jacat_alo.vi y Temperature_jacat_alo.vi.
10	•Encender las luces del laboratorio.
10	Cerrar la válvula de la tubería de suministro de agua caliente.
	•Apagar la lámpara de led de luz blanca.
	Procesar las imágenes de Schlieren Sintético en el programa DIGIFLOW con
	la herramienta Qualitative Preview (para más detalles ver la siguiente sección
	V).
	•Elegir una imagen representativa para 4 instantes de tiempo diferentes que
	ejemplifiquen la ventilación natural de un cuarto típico que tiene una ventana
15	y un "piso radiante".
	•Graficar los datos de temperatura en función del tiempo en una hoja de
	cálculo (para más detalles ver la sección VI).
	•Señalar en la gráfica, en qué tiempo la temperatura ya no varía con el tiempo.
	Contestar las preguntas de la sección VII
	•Realizar la sección VIII en caso de ser una práctica para posgrado.

*RECOMENDACIONES

- -Moverse con cautela desde el tiempo -5 min.
- -Pisar de forma suave para eliminar vibraciones.
- -No cruzarse entre la cámara y el tanque ambiental.
- -No utilizar agua a una temperatura mayor a 50 °C.
- -Eliminar corrientes de aire en el laboratorio.
- -Eliminar cualquier fuente de luz diferente a la lámpara de led de luz blanca.

V. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El programa *Grab_jacat_alo.vi* genera imágenes en formato .bmp. Las imágenes son guardadas en la carpeta seleccionada. El procesamiento de las imágenes se realiza con el programa DIGIFLOW con la herramienta Qualitative Preview, seguir la siguiente ruta para ejecutar dicho procesamiento: **Analyse > Synthetic Schlieren > Qualitative Preview** (ver Figura 6).

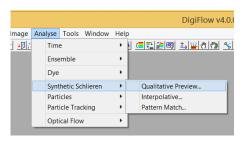


Figura 6. Captura de pantalla de DIGIFLOW para ejecutar el análisis por Qualitative Preview

Se abrirá la ventana **Inputs** (ver Figura 7), en ella se dará click en el botón **File** de la sección **Experiment**.



Figura 7. Captura de pantalla de DIGIFLOW para seleccionar los archivos de imágenes

En la siguiente ventana **Select Input sequence to be processed** se seleccionará el primer archivo de imagen que se creó en la práctica. Posteriormente se activará la casilla **Number as ####** (ver Figura 8) para que el programa seleccione automáticamente todos los archivos de imagen generados.

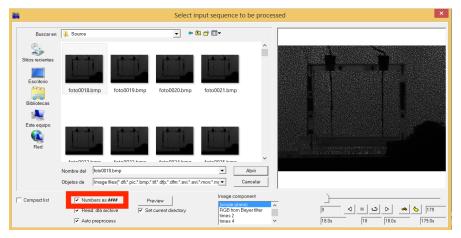


Figura 7. Captura de pantalla de DIGIFLOW para seleccionar la secuencia de los archivos de imágenes.

Como último paso se abrirá la ventana de **Qualitative Synthetic Schlieren Preview** (ver Figura 8). En esta ventana se elegirá el procesamiento **Difference**. Con los botones de la sección **Action** y la barra de tiempo se podrá ver el procesamiento en diferentes tiempos. Para guardar cualquier imagen se debe utilizar el ícono **Save** (Disquete).

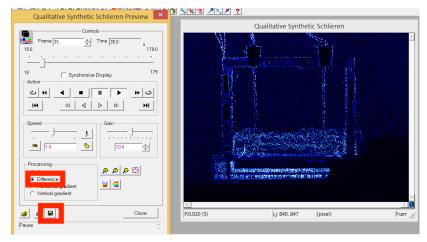


Figura 8. Captura de pantalla de DIGIFLOW con la ventana Qualitative Synthetic Schlieren Preview.

En la Figura 9 se muestra un ejemplo de imágenes ya procesadas para la maqueta que representa el cuarto típico con piso caliente en los tiempos 69 s, 114 s, 147 s y 483 s.

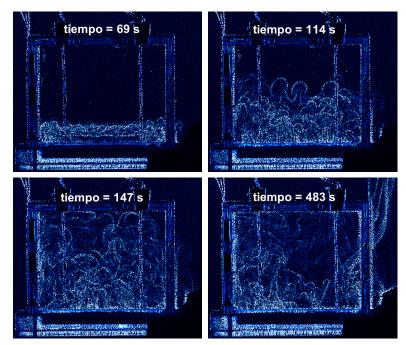


Figura 9. Imágenes procesadas con el Qualitative Synthetic Schlieren Preview para los tiempos 69 s, 114 s, 147 s y 483 s.

VI. PROCESAMIENTO DE DATOS DE TEMPERATURA

El programa *Temperature_jacat_alo.vi* genera un archivo de datos con extensión .csv. El procesamiento de estos datos se puede realizar en cualquier hoja de cálculo (Excel, OpenOffice, Libre Office o Numbers, entre otros). La Figura 10 muestra una gráfica de la evolución de la temperatura con respecto al tiempo al interior de la maqueta.

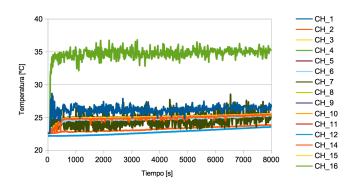


Figura 10. Evolución de la temperatura en función del tiempo al interior de la maqueta que representa un cuarto típico cerrado con un piso caliente.

VII. PREGUNTAS

- 1. ¿Cuánto tiempo tarda el frente térmico en llegar al techo una vez que se desprende del piso?
- **2.** ¿En cuánto tiempo la temperatura interior de la maqueta (cuarto típico) ya no varía con el tiempo?
- 3. ¿En cuánto tiempo se forma un flujo a través de la ventana?
- **4.** ¿Qué harías para mejorar la VN por efecto térmico en el cuarto típico con una ventana?
- 5. Con lo observado en este experimento ¿cuáles serían tus recomendaciones de diseño para un cuarto típico ubicado en la Ciudad de México.

VIII. ACTIVIDADES Y PREGUNTAS PARA POSGRADO

- Reportar en escala natural las temperaturas medidas en la maqueta utilizando el número adimensional de Grashof o Rayleigh.
- 2. Calcular el número de Reynolds en la maqueta.
- 3. Realizar una estimación de la temperatura que alcanzaría el cuarto típico a escala natural, usando en la Ecuación 1 un valor adecuado de U_{ι} para un sistema constructivo de tabique, λ =0.166 [-], κ =0.25 [-] y una temperatura superficial en el piso acorde a la reportada por los proveedores de "Pisos Radiantes".

REFERENCIAS

Castillo, J. A. (2017), 1er Reporte semestral de la estancia posdoctoral para desarrollar el proyecto *Ventilación natural por efectos térmicos: aplicación para contribuir a la sustentabilidad de los edificios,* Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje, Facultad de Arquitectura UNAM, Beca DGAPA-UNAM, pp. 21-26.

Etheridge, D. W. y Sandberg, M. (1996). *Building ventilation: theory and measurement*, volumen 50. John Wiley & Sons Chichester, UK.

Gladstone, C. y Woods, A. W. (2001), On buoyancy-driven natural ventilation of a room with a heated floor, Journal Fluid Mechanics **441**, pp. 293–314.

Linden, Paul, F., (1999), "The fluid mechanics of natural ventilation", Annu. Rev. Journal Fluid Mechanical **31**, pp. 201-238.

Thomas, L. P., Marino, B. M., Tovar, R., Castillo, J. A. (2012). Modelado analítico de la ventilación de una habitación con cielorraso enfriado y fuente de calor, conectada al exterior. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Argentina **16**, pp. 08.57-08.64.

