

Análisis de confort higrotérmico al interior de vivienda unifamiliar mediante CFD

An analysis of hygrothermal comfort inside a single-family home using CFD

Resumen

Se realizó un análisis de confortabilidad higrotérmica al interior de una vivienda unifamiliar en un clima cálido húmedo. Se empleó la dinámica de fluidos computarizada (CFD) en el software Ansys Fluent para la gestión y cálculo de las variables. Se evaluaron dos escenarios, con y sin obstrucción en los vanos de acceso. Se entiende que el uso de CFD en un programa dedicado a ello facilita el análisis en una sola plataforma y ofrece un cálculo más robusto con el uso de distintas variables en un mismo proceso.

Palabras clave: Confort higrotérmico, clima cálido húmedo, simulación cfd, humedad y calor, Tabasco.

Abstract

This paper reports on a hygrothermal comfort analysis performed inside a single-family house located in a warm, humid climate. The study was carried out using the Computerized fluid dynamics (CFD) in the Ansys Fluent software for the management and calculation of variables. Two scenarios were evaluated: with and without obstruction of the entryways. It is understood that the use of CFDs in a dedicated program facilitates analysis on a single platform and provides a more robust calculation through the use of different variables in the same process.

Keywords: Hygrothermic comfort, hot-humid climate, CFD, humidity and heat, Tabasco.

César Iván Heredia García

Universidad Nacional Autónoma de México

Fecha de recepción:

3 de abril de 2023

Fecha de aceptación:

6 de septiembre de 2023

[https://doi.org/10.22201/](https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2023.14.28.87247)

[fa.2007252Xp.2023.14.28.87247](https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2023.14.28.87247)



Este trabajo está amparado por una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial, 4.0

Introducción

Cuando una persona se encuentra en un estado de comodidad o ausente de malestar térmico en donde el entorno no produce tensiones negativas sobre el mecanismo de compensación de calor, se entiende como un estado de confortabilidad higrotérmica.¹ Este estado dependerá de variables como la temperatura de bulbo seco, humedad relativa, velocidad del aire (viento), transferencia de calor y de la misma capacidad de adaptación y actividad humana.² La dinámica de fluidos computarizada (CFD por sus siglas en inglés) es una herramienta computacional empleada en el análisis numérico y estructuras de datos que involucren el flujo de fluidos,³ y se emplea en ramas como la física, ingeniería, aerodinámica y recientemente en arquitectura. En arquitectura, el uso de CFD permite entender el comportamiento en el intercambio de energía entre los componentes de una envolvente y su contexto físico, lo que permite la estimación de las condiciones higrotérmicas al interior o exterior en una escala arquitectónica o urbana.⁴

Los cálculos mediante CFD en arquitectura se basan en el uso de herramientas como *plug-ins* en los *software* de modelado 3D más usados, como lo son Autodesk Revit, Rhinoceros 3D, Grasshopper y Sketchup.⁵ Estos *plug-ins* se pueden clasificar en 4 formas de trabajo: incorporado al diseño, *run-time*, intercambio de archivos e interpretativo. *Run-time* representa la vía más accesible dado que se emplean API dentro de programas como Rhino 3D, Grasshopper y Sketchup, donde se hace uso de los recursos del *hardware*, a diferencia del intercambio de archivos e integrados como los que tienen *software* que requiere de una suscripción y uso de servicios externos. Finalmente, dentro de los *plug-ins* de *run-time*, existen simulaciones con objetivos simples, múltiples o de acoplamiento. Las simulaciones multiobjetivo o de acoplamiento resultan las más

¹ V. Olgay, *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, 1998.

² F. Manzano-Agugliaro, F. G. Montoya, A. Sabio-Ortega y A. García-Cruz, "Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, núm. 49, pp. 736-755, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>.

³ Y. A. Çengel y J. M. Cimbala, *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones* (2ª ed), McGraw Hill, 2012.

⁴ A. Churazova, CFD for AEC (Architecture, Engineering and Construction), SimScale, 2018, <https://www.simscale.com/blog/cfd-simulation-aec/>.

⁵ Y. Hu, Y. Peng, Z. Gao y F. Xu, "Application of CFD plug-ins integrated into urban and building design platforms for performance simulations: A literature review", *Frontiers of Architectural Research*, vol. 12, núm. 1, pp. 148-174, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.06.005>.

completas para en análisis higrotérmico, pero para ello es necesario el uso de distintos *plug-ins*, con computación de distintas variables, interconectados en un mismo objetivo CFD. Esta interconexión de *plug-ins* requiere de un conocimiento avanzado de varias herramientas dentro del mismo lenguaje, así como tener una compatibilidad entre las distintas versiones de cada *plug-in* y entre ellos.⁶

En el diseño arquitectónico el uso de *plug-ins* de cálculo CFD son útiles para la toma de decisiones en la etapa de diseño conceptual debido a la estrecha relación entre el flujo de trabajo e interfaces gráficas, permitiendo la toma de decisiones de forma eficiente. Sin embargo, estas simulaciones basan sus cálculos en un estado estático, el cual omite el tiempo como variable en el cálculo, aquellas simulaciones que lo contemplan se llaman transitorias. *Software* especializado en CFD, como Autodesk CFD o Ansys están enfocados en el cálculo transitorio y cubren de una forma más directa y en una misma plataforma las variables e *inputs* que los *plug-ins* mencionados anteriormente.

Este estudio se basó en el uso de Ansys Fluent para realizar un análisis de un día completo para una vivienda unifamiliar dentro de un clima cálido húmedo, en el que se involucrará la descripción de las condiciones del aire interior en su temperatura, humedad y velocidad.

Este trabajo tiene como objetivos:

1. Analizar las condiciones interiores de temperatura y humedad relativa de una vivienda en un clima cálido húmedo a partir de la dinámica de fluidos computarizada (CFD).
2. Estimar el comportamiento de la temperatura y humedad relativas a partir de archivos climáticos y el uso de modelos físicos en CFD para la ciudad de Macuspana, Tabasco.
3. Seleccionar el periodo de tiempo con las peores condiciones de temperatura y humedad para el ser humano, así como incluir el escenario aislado y ventilado.
4. Describir el comportamiento de la temperatura y humedad relativa al interior del objeto arquitectónico y emitir recomendaciones.

Materiales y métodos

Caso de estudio

El objeto arquitectónico elegido para este estudio fue una vivienda de tipo unifamiliar de clase media, aislada de otras construcciones

⁶ *Idem*.

a su alrededor, con un área de 150 m² y una cubierta a dos aguas, con una altura máxima de 5.3 m. El programa arquitectónico consiste en un área de estar, tres recámaras y dos áreas semiabiertas al norte y sureste. La orientación del objeto es noroeste-sureste, teniendo su fachada principal al sureste. El objeto arquitectónico carece de vanos en sus fachadas expuestas este y oeste, concentrándolas en los muros protegidos por sus cubiertas voladas al norte y sureste. La vivienda está constituida por muros de ladrillo de barro recocido, recubiertos por pintura de cal y mortero; la cubierta está compuesta por teja de barro recocido soportada en una estructura de madera; el suelo está conformado por un firme de concreto con un espesor de 0.10 m aproximadamente; y los vanos están cubiertos por puertas de doble hoja de madera.

El periodo de estudio se acotó al mes de mayo, debido a que éste presenta las temperaturas promedio mensuales más altas durante todo el año. Se emplearon los valores promedio mensuales, extraídos del archivo climático de Macuspana. El archivo fue proporcionado por el Laboratorio de Entornos Sostenibles (LES) de la Facultad de Arquitectura (FA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y cuyos datos fueron compilados por el *software* Meteororm con licencia comercial v.7.2 en noviembre de 2021 y obtenidos de la Estación Meteorológica Automática (EMA) número 00027031, ubicada en latitud 17° 45' 00" N y longitud 92° 36' 00" O, a una altitud de 10.00 msnm y correspondiente al municipio de Macuspana, Tabasco.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temperatura (°C)	24.9	26	28	29.45	30.8	30	30.6	30.2	29.1	28.4	26.3	25.5
Humedad relativa (%)	74	73	67	66	66	72	69	71	76	75	76	75
Velocidad de viento (m/s)	2.2	2.4	2.4	2.4	2.3	2	2.6	2.1	1.5	1.7	1.8	2

Las propiedades termo físicas de los materiales que componen la vivienda se obtuvieron de las bases de datos de materiales del LES,⁷ así como de una investigación⁸ realizada en el les en 2020, en la cual se realizaron compilaciones y mediciones de las características de materiales como parte de su metodología.

Tabla 1. Temperatura, humedad relativa y vientos promedio para todo el año en Macuspana. Los meses sombreados son los elegidos para el estudio.

Fuente: Elaboración propia.

⁷ LES. *Base de datos de materiales*, Laboratorio de Entornos Sostenibles, 2020.

⁸ S. Vega Torrebanca, *Evaluando confort térmico con adobe, bahareque, ladrillo y block: 3 zonas de estudio en Oaxaca* [Master], Universidad Nacional Autónoma de México, 2020.

Material	k (W/m K)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kg K)	α_S	ϵ_{IR}	Espesor (m)
Tierra vegetal	1.80	1,800.00	920.00	0.700	0.900	0.700
Firme de concreto	1.60	2,400.00	1,000.00	0.600	N/A	0.100
Ladrillo de barro recocido	0.42	1,408.79	913.78	0.191	N/A	0.170
Teja de barro recocido	1.00	2,000.00	800.00	0.650	0.800	0.010
Mortero	0.88	2,800.00	896.00	0.700	N/A	0.019
Pintura	-	-	-	0.410	0.890	0.000
Madera (pino)	0.12	510.00	1,380.00	0.590	0.900	0.025

Análisis CFD

La simulación en CFD experimentará en un mismo periodo de tiempo con las variables de temperatura, humedad relativa, viento, radiación solar, propiedades térmicas de los materiales, así como con la apertura total y nula de los vanos, considerando infiltraciones de una pulgada en los marcos al estar cerrados.

Para la realización de las simulaciones se emplearon equipos y licencias proporcionadas por el LES. El modelado 3D se realizó con el *software* Rhino 3D v.7.27 en un equipo con Licencia Lab Educativa. Para la simulación CFD se empleó el paquete del *software* Ansys con licencia comercial v.18.1. Específicamente, se empleó Design Modeler para la lectura del modelo geométrico contenido en un archivo de texto ACIS (.sat), Mechanical APDL para el mallado de la geometría, Fluent (CFD Enterprise Solver) para la configuración de los modelos, variables y ejecución de la simulación, y CFD Post para el procesamiento de los resultados.

De acuerdo con Lerma,⁹ quien hizo un análisis en edificios históricos, la metodología de análisis vía cfd comprende los siguientes pasos:

1. El modelado esquemático del objeto arquitectónico a estudiar.
2. La discretización y mallado de la volumetría del modelo.
3. La selección y caracterización de los materiales que comprende el objeto real.

Tabla 2. Materiales considerados para la envolvente y sus propiedades físicas.

Fuente: Elaboración propia a partir de LES (2020) y Torre Blanca (2020).

⁹ C. Lerma, et al., "Evaluation of Hygrothermal Behaviour in Heritage Buildings through Sensors, CFD Modelling and IRT", *Sensors*, vol. 21, núm. 2, 2021, p. 566, <https://doi.org/10.3390/s21020566>.

4. La asignación de condiciones de frontera.
5. La introducción de los métodos y modelos físicos y matemáticos.
6. El procesamiento de los datos para su proyección gráfica.

La discretización consistió en el modelado del volumen interior de la vivienda y la configuración de cada una de las condiciones físicas a las que se encontraría sujeto el modelo al quedar expuesto al ambiente. Se consideraron 0.21 m de espesor promedio de los muros exteriores e interiores, así como 0.10 m en el espesor de la cubierta y un marco promedio de 1 in (0.0254 m) para los vanos perimetrales al estar cerrados. Adicionalmente, se colocaron puntos de medición al centro de los espacios y a una altura de 1.50 m para el registro de los valores promedio de temperatura y humedad de cada espacio y a cada hora.

Se empleó una malla no estructurada, esto fue debido a que la limitación de los recursos del *hardware* empleado impedía lograr una malla cartesiana. Para el caso con ventilación se tuvo una cantidad de 246,300 nodos y 1,328,837 elementos, y para el caso sin ventilación se tuvo una cantidad de 565,882 nodos y 3,052,216 elementos. Para todos los casos se planteó una malla que cubriera todo el cuerpo arquitectónico a analizar, a partir de un cubo cuyas dimensiones fueran de 30 x 30 x 10 m.

Las condiciones de frontera se asignaron a los elementos correspondientes al contexto físico que rodea a la vivienda, así como a los componentes físicos, como muros y cubiertas, del objeto arquitectónico. Se establecieron de la siguiente forma:

Elemento	Tipo	Descripción
Atmósfera	Fluido	Mezcla compuesta de aire y agua (H ₂ O).
Muro interior, piso interior	Pared adiabática sin carga solar	Componentes sin condiciones especiales.
Cubierta, muro exterior	Pared con carga solar	Componentes influenciados por la participación de la carga térmica por parte del Sol.
Puertas interiores, marcos de puertas	Pared adiabática sin carga solar	Componentes sin condiciones especiales con flujo de aire a través de ellos.
Norte, sur, este, oeste	Entrada de velocidad	Componentes correspondientes al volumen que rodea a los espacios a evaluar.

El método de cálculo empleado fue el de volúmenes finitos (FMV), el cual transforma ecuaciones parciales diferenciales, que representan leyes de conservación sobre volúmenes diferenciales, en ecuaciones algebraicas discretas sobre volúmenes finitos o elementos

Tabla 3: Configuración de los elementos de frontera.

Fuente: Elaboración propia.

(celdas). Los modelos físicos empleados para la simulación fueron los de energía, turbulencia, radiación con carga solar y transporte de especies. Para el caso del modelo de energía, se entiende como una expansión de la ecuación de Bernoulli para resolver las pérdidas o adiciones de energía. En el caso del modelo de turbulencia, se empleó el modelo k-epsilon realizable con tratamiento de pared mejorado, el cual es un modelo de dos ecuaciones de transporte y resuelve la ecuación de energía cinética turbulenta (k) y la de velocidad de disipación de la energía cinética (ϵ), es decir, las características del flujo turbulento. El modelo de radiación empleado fue el de superficie a superficie (S2S) para el intercambio de calor entre las paredes interiores y se tuvo una carga solar calculada a partir de las coordenadas geográficas del centro de la ciudad de Macuspana. Igualmente se empleó el modelo de transporte de especies no reactivas para considerar los efectos de la humedad en los intercambios de calor dentro de los espacios.

Experimentación

Las simulaciones fueron ejecutadas en 24 pasos de tiempo, correspondientes a una hora de cada día de estudio, con 20 iteraciones por hora de cálculo, cantidad mínima requerida por el *software*. Esta información se tradujo en gráficas lineales para desplegar los valores de temperatura y humedad registrados por los puntos de medición al interior de cada espacio. También se elaboraron gráficas de contornos de colores falsos, donde se visualiza la distribución de humedad y temperatura, y gráficas vectoriales para visualizar las direcciones y magnitudes de la circulación del aire al interior de los espacios.

Temperatura (Temp)

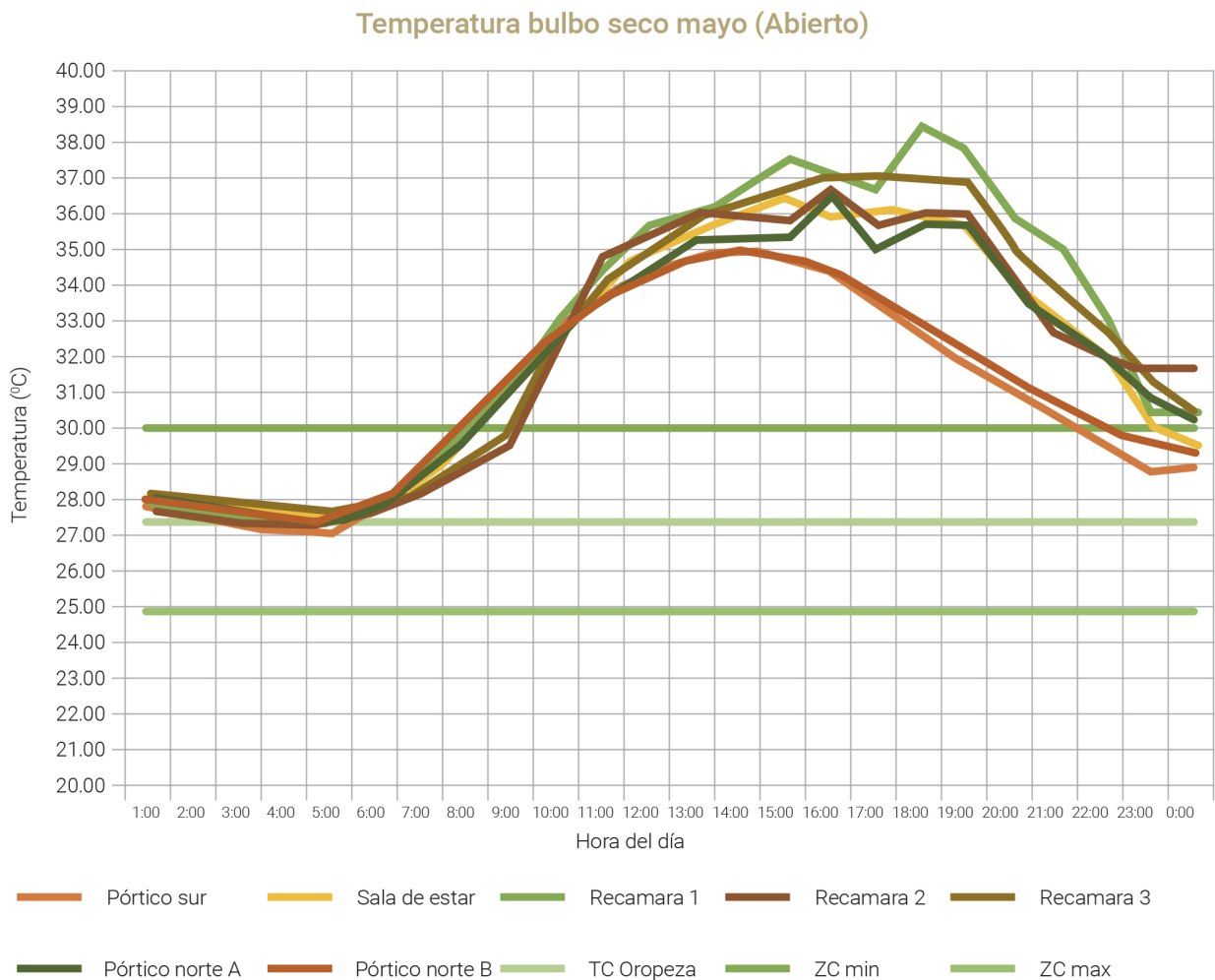
Se empleó el modelo de confort térmico adaptativo ajustado para los principales climas de México para establecer una temperatura de confort (T_c) elaborado por la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP). El modelo establece la fórmula $T_c = 0.38 T_{\text{exterior}} + 17.70$ para clima tropical húmedo en temporada de calor. Este modelo consideró condiciones regulares de PMV y PPD: tasa metabólica de 1.0 a 1.5 met, vestimenta de 0.5 a 1.5 clo, temperatura media radiante igual a la temperatura interior, velocidad de viento de 0 a 6 m/s. Se incrementó 2.5 °C como piso inferior y superior dado a que la oscilación de la temperatura media no es superior a los 13 °C.¹⁰

En las figuras 1 y 2 se pueden observar las temperaturas registradas para ambos casos. En estas gráficas se observa que se cuenta con

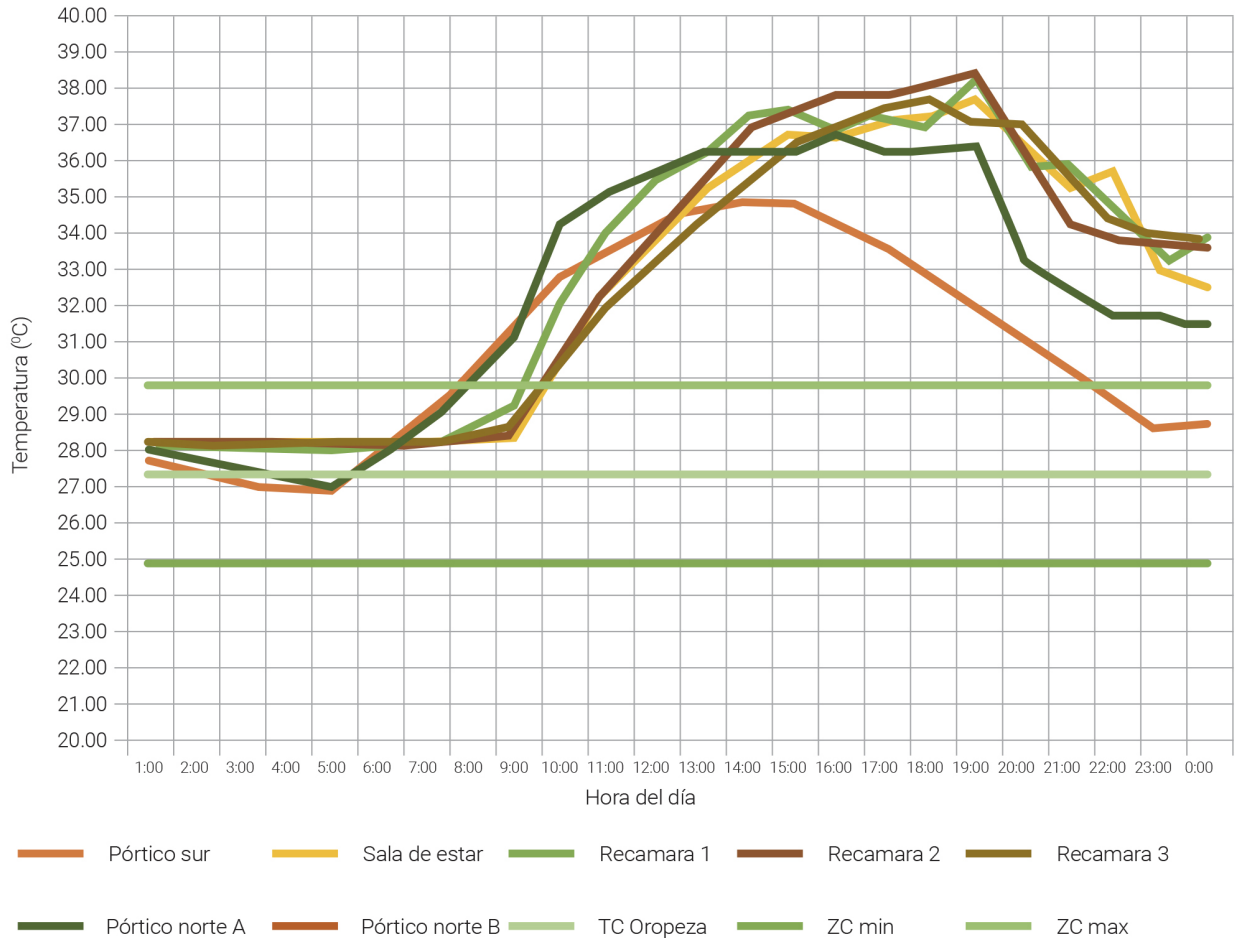
¹⁰ D. Morillón Gálvez, *Atlas del Bioclima en México*, Instituto de Ingeniería UNAM, 2004.

12 horas aproximadamente fuera del intervalo de confort, entre las 9 y 21 horas. Se puede apreciar un descenso no uniforme de la temperatura para la sala de estar, recámaras 1, 2 y 3, así como el pórtico norte A. Esto podría deberse que se usaron pasos de tiempo largos (una hora) y esto podría disminuir con la reducción del tiempo en los mismos pasos. También se debería a que los espacios que presentaron esos picos son aquellos con mayor confinamiento, evitando así un flujo más uniforme del viento, que traería consigo una distribución homogénea de la temperatura y humedad. Adicionalmente, podría ser que la distribución de temperaturas tenga una mayor variación al centro de los espacios, que fue donde se colocaron los puntos de medición.

Figura 1. Temperaturas interiores con la zona de confort (zc), caso con vanos abiertos.
Fuente: Elaboración propia.



Temperatura bulbo seco mayo (Cerrado)



Humedad relativa (HR)

Se indica que los pisos para la humedad relativa recomendada para el ser humano deben estar entre el 40 % o 45 % y el 60 % en el ambiente.¹¹ El Código de Edificación de Vivienda,¹² en su tercera edición, indica un techo máximo de 60 % de humedad relativa para el interior de viviendas.

Se puede observar que en ambos casos se rebasa el máximo establecido en las primeras horas del día y en la noche. Al igual que en el caso de la temperatura, únicamente el pórtico sur y el norte A

Figura 2. Temperaturas interiores con la zona de confort (ZC), caso con vanos cerrados.

Fuente: Elaboración propia.

¹¹ V. Olgay, *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, 1998.

¹² Conavi, "Código de edificación de vivienda", en *Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano*, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Comisión Nacional de Vivienda, 3ª ed., 2017.

tienen un comportamiento uniforme, en ambos casos se mantiene dentro del límite del 60 % entre las 10 y las 19 horas. En el caso ventilado se rebasa el límite a partir de las 21 horas, mientras que en el caso cerrado únicamente el pórtico norte A rebasa el límite a las 20 horas.

Humedad relativa mayo (Abierto)

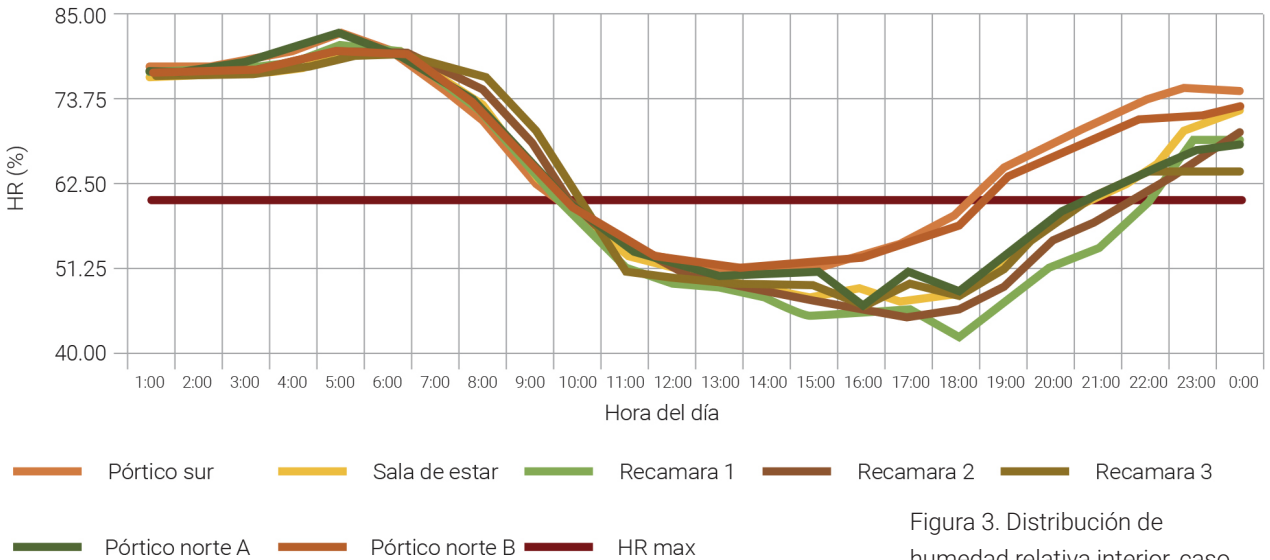


Figura 3. Distribución de humedad relativa interior, caso con vanos abiertos.
Fuente: Elaboración propia.

Humedad relativa mayo (Cerrado)

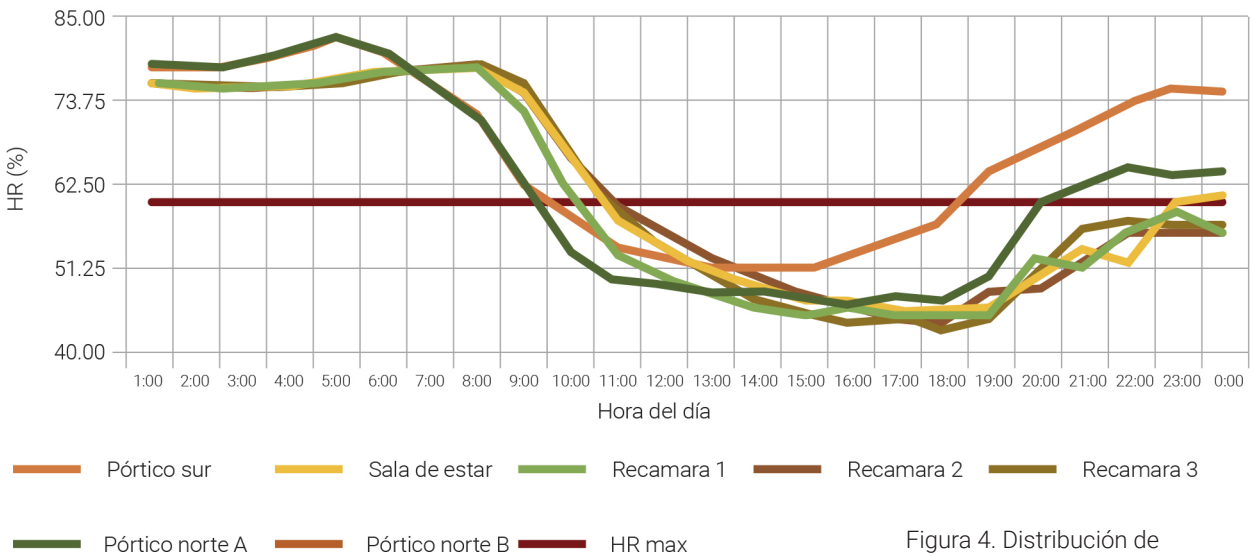


Figura 4. Distribución de humedad relativa interior, caso con vanos cerrados.
Fuente: Elaboración propia.

Temperatura, humedad y viento

En las gráficas de colores falsos, figuras 5 a 7, correspondientes a la hora crítica (15 horas), se observa una correspondencia de la distribución de temperaturas y humedad. En este escenario se entiende que en los muros perimetrales, principalmente al noroeste y oeste, se conserva una cantidad de calor lo cual disminuye la humedad en los contornos y la concentra al centro del espacio. Si a esto se anexa la lectura de las corrientes de aire, se observa un estancamiento al

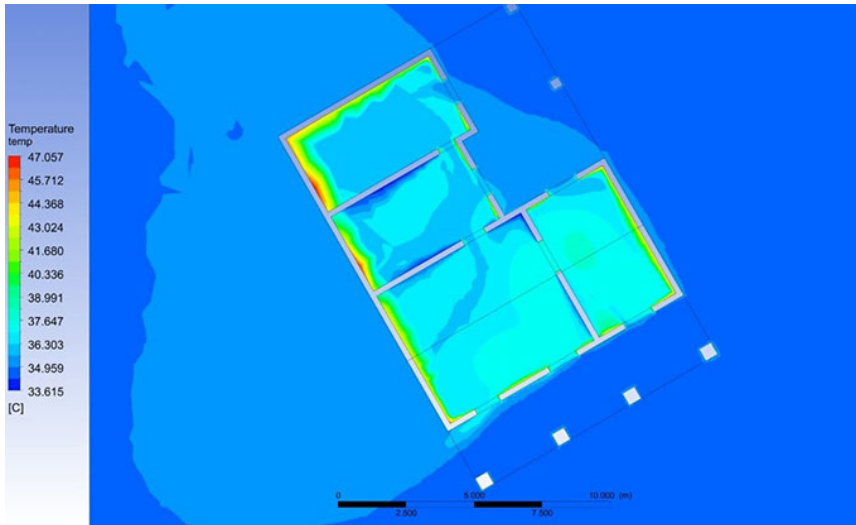


Figura 5. Gráfica de colores falsos correspondiente a temperaturas interiores para hora crítica (15:00 p. m.).
Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Gráfica de colores falsos correspondiente a humedad interior para hora crítica (15:00 p. m.).
Fuente: Elaboración propia.

centro de los espacios, existiendo circulaciones únicamente en las zonas cercanas a los vanos apuntando al norte o noroeste. La concentración de humedad depende entonces de la falta de circulación de aire al interior de los espacios o de un aislamiento con paredes, como lo es la escuadra en la parte norte.

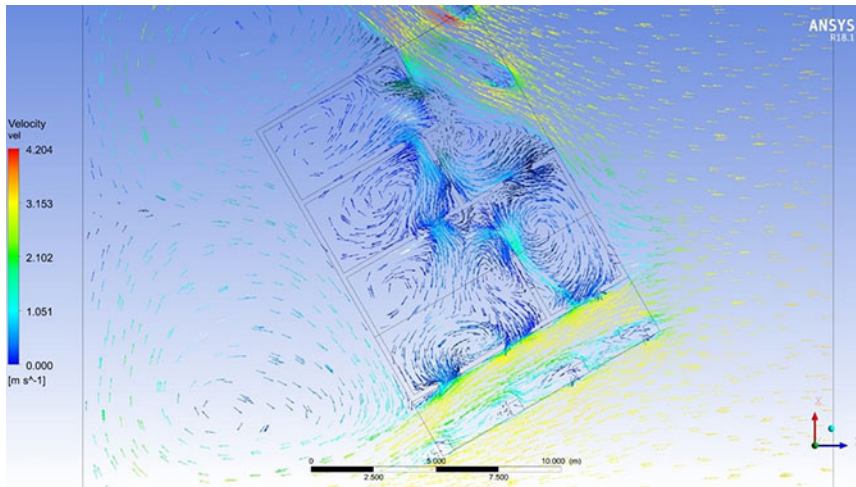


Figura 7. Gráfica de colores falsos correspondiente a velocidad y vectores de viento al interior para hora crítica (15:00 p. m.). Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Ansys Fluent resulta ser una herramienta útil y aceptada para el análisis de las condiciones higrotérmicas mediante el uso de simulaciones CFD. Si bien ofrece resultados considerando el estado transitorio, es recomendable realizar el mismo análisis en estado estacionario en Ansys y en otras herramientas de CFD, como *plug-ins* para otros programas, para analizar las diferencias. Finalmente, se recomienda comparar ambos resultados con mediciones en sitio, ya sea con el objeto arquitectónico real o en otros ambientes, como puede ser un túnel de viento; esto con el motivo de calibrar los modelos y comprobar la fidelidad de los resultados de las simulaciones.

En cuanto los resultados, la vivienda se encuentra en un 50 % del tiempo fuera de los intervalos de temperaturas de comodidad térmica. Se aprecia que las temperaturas rebasan hasta un máximo de 7 °C en durante el periodo diurno; mientras que, en humedad, rebasa por un 22 % lo recomendado. Para el caso de la HR, se puede adaptar algún modelo que considere los intervalos promedio de la región para así observar si existe un grado mayor de tolerancia en su porcentaje.

Las gráficas de contornos de colores falsos indican que es necesaria una redistribución de temperaturas, humedad y viento del aire al interior del espacio. Es recomendable la adición de elementos de control de flujo de aire, como ventanas o celosías en la envolvente y en muros interiores para aprovechar las corrientes de aire provenientes del norte y una posible corriente de aire proveniente del suroeste, a partir de los cambios de dirección del aire resultantes del impacto de éste contra el edificio, para así evitar la concentración de aire y humedad en el centro de la vivienda y de los espacios interiores. También es necesaria la protección de los muros con orientación oeste y noroeste para evitar la concentración de la ganancia solar en ellos.

Referencias

- ÇENGEL, Y. A. Y J. M. CIMBALA
 2012 *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*, 2ª ed., McGraw Hill.
- CHURAZOVA, A.
 2018 *CFD Simulation for Architecture, Engineering and Construction (AEC)*, SimScale, <https://www.simscale.com/blog/cfd-simulation-aec/>.
- CONAVI
 2017 "Código de edificación de vivienda", en *Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano*, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Comisión Nacional de Vivienda, 3ª ed.
- HU, Y., Y. PENG, Z. GAO Y F. XU
 2023 "Application of cfd plug-ins integrated into urban and building design platforms for performance simulations: A literature review", *Frontiers of Architectural Research*, vol. 12, núm. 1, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.06.005>.
- LERMA, C., ET AL.
 2021 "Evaluation of Hygrothermal Behaviour in Heritage Buildings through Sensors, cfd Modelling and IRT", *Sensors*, vol. 21, núm. 2, <https://doi.org/10.3390/s21020566>.
- LES
 2020 *Base de datos de materiales*, Laboratorio de Entornos Sostenibles.
- MANZANO-AGUGLIARO, F., F. G. MONTOYA, A. SABIO-ORTEGA Y A. GARCÍA-CRUZ
 2015 "Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, núm. 49, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>.
- MORILLÓN GÁLVEZ, D.
 2004 *Atlas del Bioclima en México*, Instituto de Ingeniería UNAM.
- OLGYAY, V.
 1998 *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili.

VEGA TORREBANCA, S.

2020 *Evaluando confort térmico con adobe, bahareque, ladrillo y block: 3 zonas de estudio en Oaxaca* [Master], Universidad Nacional Autónoma de México.

César Iván Heredia García

Universidad Nacional Autónoma de México, México

csr.ivn@comunidad.unam.mx

<https://orcid.org/0009-0008-1501-5850>

Arquitecto por la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), campus Ciudad Universitaria. Actualmente cursa la maestría en el Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura por parte de la UNAM en el campo de conocimiento de tecnologías con el proyecto titulado preliminarmente “Dinámica de fluidos aplicada en el diseño bioclimático de vivienda contra inundación y confort en clima cálido húmedo”. Sus líneas de investigación se centran en evaluación arquitectónica con criterios bioclimáticos, diseño asistido por *software* generativo y CFD, confortabilidad higrotérmica y ventilación natural.