

La importancia de la ventilación natural en viviendas sociales de clima cálido-húmedo en tiempos de confinamiento en México.

The importance of natural ventilation in social housing with hot-humid climate in times of confinement in Mexico.

Ignacio A. Guzmán-Hernández, Fidel Franco González, Joan Lluís Zamora i Mestre

Palabras clave: Confort higrotérmico, vivienda social, confinamiento.

Este artículo presenta una revisión bibliográfica de los beneficios para el confort higrotérmico y el control de enfermedades de transmisión aérea, como es el caso del COVID-19, que se pueden lograr aplicando una adecuada ventilación natural en las edificaciones en general, y en específico para el caso de las viviendas sociales en clima cálido-húmedo de México. De igual forma, se muestran los resultados de una serie de simulaciones generadas con el software DesignBuilder para el caso de aplicación, encaminadas a determinar los parámetros óptimos de ventilación, que ayude tanto al confort higrotérmico como a la dispersión de partículas y virus que se transmitan por medio de spray.

Keywords: *Hygrothermal comfort, social housing, confinement.*

This article presents a bibliographic review of the benefits for hygrothermal comfort and the control of airborne diseases, such as COVID-19, which can be achieved by applying adequate natural ventilation in buildings in general, and specifically for the case of social housing in a hot-humid climate in Mexico. Similarly, the results of a series of simulations were generated with the DesignBuilder software for the application case are shown, aimed at determining the optimal ventilation parameters, which helps both hygrothermal comfort and the dispersion of particles and viruses that are transmitted by means of spray.

1 Introducción

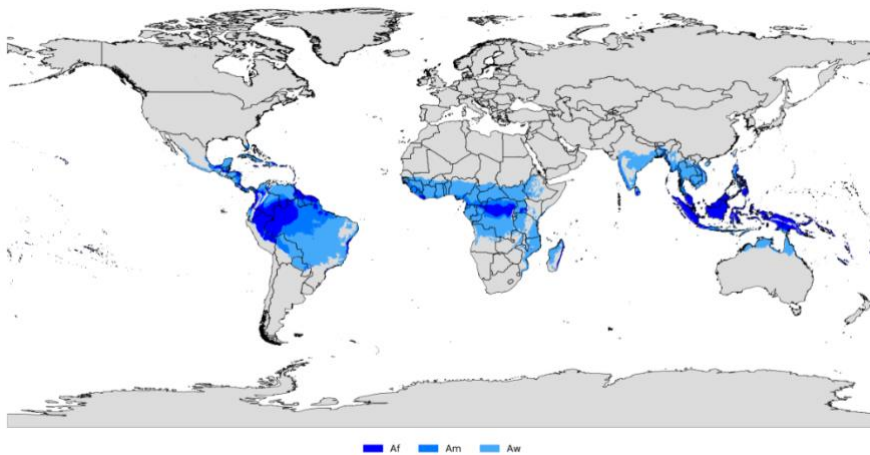
El 11 de marzo del 2020, la Organización Mundial de la Salud declaró el brote de una nueva variante de coronavirus, llamado COVID-19, como una pandemia, por sus alarmantes niveles de propagación y la gravedad de la enfermedad causada por dicho virus (Ghebreyesus, 2020). A partir de ese momento, numerosos países ejercieron diversos instrumentos legales para poder confinar a sus poblaciones en sus viviendas, limitando las salidas a emergencias o actividades comerciales imprescindibles, con la finalidad de evitar una mayor propagación del virus y el colapso de los servicios de salud por la atención a enfermos de gravedad.

Si bien es cierto que es una de las únicas ocasiones que hemos vividos un confinamiento a nivel mundial, existen otros casos precedentes de confinamientos por zonas, cuarentenas, auto-confinamientos y otras situaciones donde también es recomendado permanecer dentro de nuestras viviendas el mayor tiempo posible, incluso sin que haya una pandemia de por medio. Incluso, en situaciones de normalidad, los seres humanos pasamos alrededor del 80% del tiempo en espacios arquitectónicos interiores (Manzano-Agugliaro, Montoya, Sabio-Ortega, & García-Cruz, 2015) y hasta un 65% en nuestras viviendas (Nelson, Ott, & Robinson, 1994), por lo que surgen lógicas interrogantes ¿Son confortables nuestras viviendas para permanecer en ellas tanto tiempo?, ¿Cómo debe ser la ventilación en las viviendas para evitar la propagación del COVID-19?

Para contestar la primera pregunta, primero debemos definir el término confort. La palabra sugiere aquello que produce bienestar y comodidades (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2014). Más específicamente en la arquitectura, se entiende el término de confort higrotérmico, como “la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico y que es juzgado mediante evaluación subjetiva” (ANSI/ASHRAE., 2017), sin preferir condiciones de mayor o menor temperatura (Bustamante Gómez, Rozas Ubilla, Encinas Pino, Martínez, & Cepeda, 2009). Sin embargo, dicha satisfacción mental individual depende de diversos factores, que pueden ser físicos, psicológicos e incluso sociales, y tan específicos como el estado de ánimo, metabolismo, el tipo de ropa o la capacidad de adaptación climática de las personas (Guzmán-Hernández, Franco González, & Roset Calzada, 2019), aunque en los que podemos condicionar a través de la arquitectura son normalmente la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento. Un confinamiento general, como el vivido en el 2020, puede ocasionar un gran impacto negativo físico y psicológico (Balluerka Lasa et al., 2020; Li, Wang, Xue, Zhao, & Zhu, 2020), que se ve acentuado cuando los espacios arquitectónicos interiores no favorecen un confort higrotérmico (Muñiz, Leyva-Picazo, & Monroy, 2020). Para la segunda pregunta, encontramos también numerosos artículos que señalan la importancia de la ventilación natural para evitar la propagación de enfermedades de transmisión aérea con el COVID-19, enmarcando la importancia de favorecer este aspecto en las edificaciones. De igual forma se elabora un modelo para simular varias situaciones en nuestra vivienda del caso de estudio.

Aunque la presente investigación se centre en una población limitada, como lo son las zonas con clima cálido-húmedo de México, en el mundo hay numerosos sitios alrededor del mundo con condiciones similares (Figura 1), donde se podrían aplicar los mismos principios y conceptos analizados en este artículo, y que en su conjunto, afectan alrededor de un tercio de la población mundial (Coffel, Horton, & De Sherbinin, 2017).

Figura 1 – Distribución de los climas tropicales según Köppen-Geiger (Beck et al., 2018)



2 Descripción del caso de estudio

El caso de estudio se ubica en la ciudad de Villahermosa, capital del estado de Tabasco, en el sureste de México (Figura 2), con la finalidad de representar tanto el clima cálido-húmedo con lluvias todo el año, como los efectos de un confinamiento en las viviendas sociales de las ciudades con climas similares. Villahermosa está situada en la latitud 17°59'13"N y la longitud 92°55'10"O, con una altitud promedio de 9 m.s.n.m.

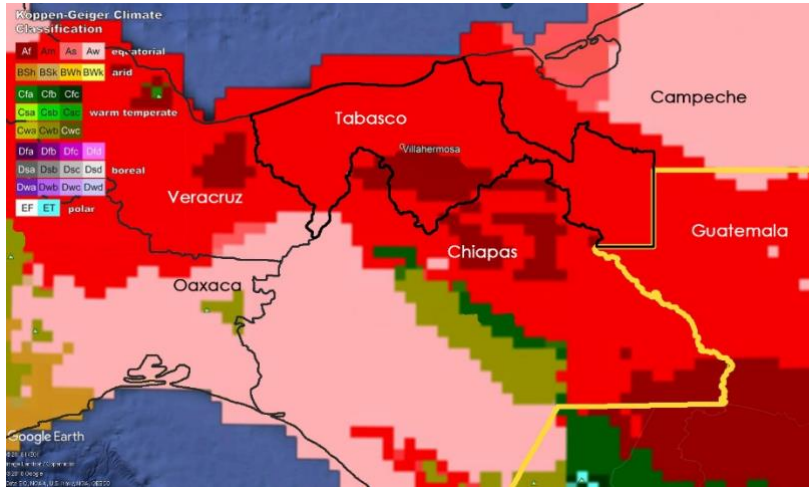
Figura 2 - Ubicación geográfica de Villahermosa. Elaboración propia.



Clima

Villahermosa cuenta con un clima que puede ser catalogado como cálido-húmedo con lluvias todo el año, o también como clima monzónico (Am), por la clasificación Köppen-Geiger, como se puede ver en la figura 3.

Figura 3 - Clima del estado de Tabasco (Kottek, Grieser, Beck, Rudolf, & Rubel, 2006).



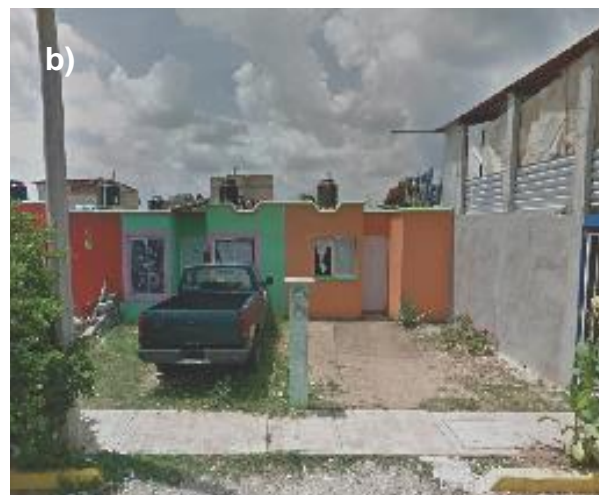
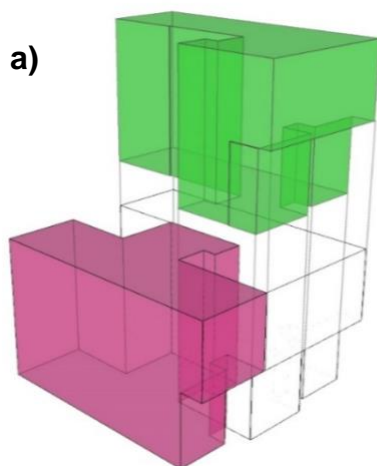
Cuenta con una temperatura media de 27.1°C, con máximas promedio de 31.9 °C y mínimas promedio de 22.3°C (Servicio Meteorológico Nacional, 2010), es decir una amplitud térmica promedio de tan solo 9.6°C; aunque relativamente es común encontrar máximas absolutas de más de 47°C y también encontrar mínimas absolutas de 11°C (MET Norway, 2021), aunque de forma mucho menos común. Los meses más calurosos son abril y mayo, mientras que las menores temperaturas se registran entre diciembre y principios de febrero. En cuanto a la humedad relativa, el promedio anual es de 87%, con máximas absolutas en diciembre y enero con el 90% y mínimos en abril y mayo con el 82% (Weatherbase, 2021), y las mínimas absolutas rara vez descienden del 60%. Las precipitaciones anuales acumuladas son superiores a los 1900 mm, es decir, un promedio de 160 mm mensuales, aunque en los meses de septiembre y octubre sobrepasan los 300 mm (Weatherbase, 2021). En general con respecto a los vientos en sitios con clima cálido-húmedo, debemos diferenciar dos grupos de régimen, el primero en los sitios cerca de las costas, que suelen tener buenos intercambios de aire, y elevadas velocidades de viento, y por otro lado, los sitios de interior, que suelen tener bajas velocidades del viento, incluso llegando a ser casi desventilados (Ahmad, 2008). En el caso específico de Villahermosa, encontramos vientos predominantes del noreste con una velocidad promedio de 9.5 km/h, y una amplitud de varianza de solamente 1 km/h en todo el año (Gelaro et al., 2017).

Esta combinación de altas temperaturas, altos niveles de humedad relativa, bajas velocidades del viento y abundantes lluvias, hace que las ciudades con este tipo de climas tengan problemas en las viviendas para lograr alcanzar adecuados niveles de confort higrotérmico, así como implementar sistemas pasivos de climatización, y teniendo que recurrir, en muchas ocasiones, a sistemas activos de enfriamiento y deshumidificación, que representan aproximadamente el 18.5% del gasto eléctrico de los hogares (INEGI, 2016). Este último aspecto es de gran importancia, ya que los lugares que tienen climas cálidos-húmedos se encuentran actualmente de forma predominante en países en vías de desarrollo (Chen, 2007), por lo que sus pobladores suelen encontrarse en condiciones económicamente precarias y no pueden costear plenamente ni los equipos de climatización o deshumidificación ni el consumo energético que estos ocasionan; por esto es doblemente importante que se busquen soluciones técnicas más ecológicas y económicas para los usuarios de estas viviendas.

Viviendas

La vivienda analizada para este artículo es de tipología social, que en México es una clasificación definida como aquella que tiene un precio de venta al público máximo de 5,400 veces la Unidad de Cuenta de la Ciudad de México (GDF, 2010), es decir \$377,514.00 (m.n.) en la actualidad. Suelen ser viviendas de carácter progresivo auto-construido. Las superficies de construcción pueden variar, pero suelen tener entre 35 y 58 m² en su primera etapa. Específicamente, para éste estudio, se analizan viviendas del fraccionamiento “27 de octubre”, situado en las afueras de la ciudad de Villahermosa. Dichas casas son de tipo dúplex, en forma de rompecabezas, tal como se observa en la figura 4, donde dos viviendas comparten un lote de 9 metros de frente, por 15 de fondo y con tan solo 2.40 metros de altura interior al entresuelo o losa final.

Figura 4 – a) Diagrama volumétrico de viviendas duplex populares del caso de estudio. b) Viviendas del fracc. Gracias México (Google., 2013)

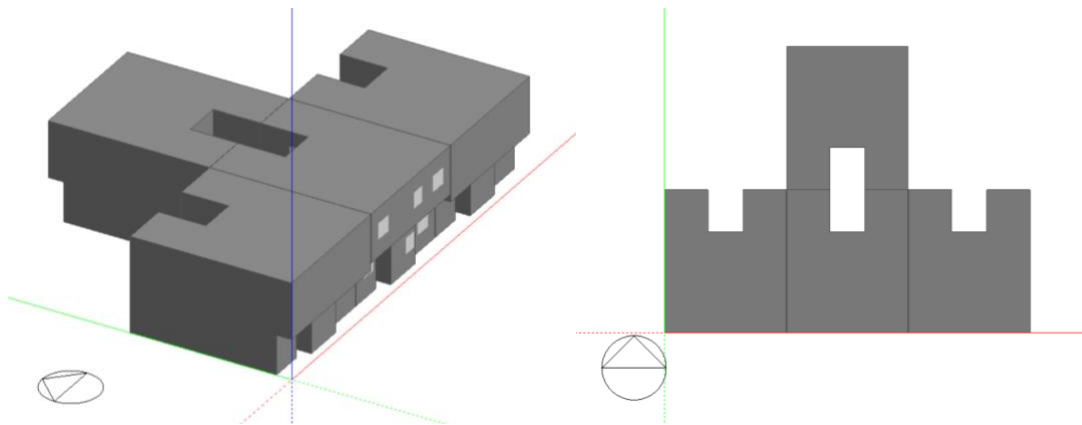


3 Metodología

Este artículo divide su metodología en dos partes, la primera de las cuales incluye la revisión exploratoria de numerosos artículos que han estudiado tanto los efectos físicos y psicológicos del confinamiento en los seres humanos, como la importancia de la ventilación natural, en general para buscar niveles de confort higrotérmico y también, en particular, para combatir virus y bacterias.

La segunda parte, se desarrolla mediante simulación, con un modelo virtual de la vivienda tipo aplicado en el software Designbuilder, y se analizan alternativas de elementos constructivos, así como de funcionamiento y horarios de la ventilación natural, con la finalidad de mostrar los beneficios potenciales que se pueden obtener. Se modelan tanto las viviendas dúplex, como las colindantes, para obtener resultados más fieles y cercanos a la realidad (Figura 5).

Figura 5 - Imágenes conceptuales del modelo de análisis de vivienda popular tipo dentro de Designbuilder.



Las diversas modificaciones alternativas se realizan por separado y cambiando poco a poco sus variables, con la finalidad de encontrar el funcionamiento óptimo del modelo, tanto para lograr niveles adecuados de confort higrotérmico, como para favorecer la ventilación natural cruzada en el interior de la vivienda.

4 Desarrollo

Revisión exploratoria

Está reconocido que la ventilación natural adecuada ayuda a disminuir el discomfort higrotérmico dentro de las edificaciones, y las más recientes investigaciones muestran que también ayudan a reducir el riesgo de transmisión de enfermedades como el COVID-19. Sin embargo, en los climas

cálidos-húmedos alcanzar un adecuado confort higrotérmico es un problema más complicado, ya que los altos niveles de humedad relativa entorpecen notablemente la disipación de calor del cuerpo humano (Griffin, 1999). Una de las estrategias más empleadas en estos climas es la ventilación natural con una adecuada velocidad del aire. Esta alternativa es también útil para acercarnos a edificios de cero consumo (Sakiyama, Mazzaferro, Carlo, Bejat, & Garrecht, 2021). Para ello se deben de abrir y cerrar ventanas de día y/o de noche dependiendo de los niveles de temperatura y humedad, tanto exterior como interior. Por ejemplo, en días calurosos y noches frescas, es conveniente el cerramiento de las ventanas en las primeras horas de la mañana, para mantener dentro del edificio la temperatura nocturna (Mustieles et al., 1998). En cuanto a tipología de esta ventilación natural, se sabe que para obtener mejores resultados la ventilación debe de ser cruzada, con una apertura en barlovento y otra en sotavento (Moreno Juanche, 2011), aunque se pueden añadir adicionalmente otros elementos como una chimenea solar para combinar con la flotabilidad térmica y extraer aire caliente del interior (Beltrán Correa & Castillo Estévez, 2015). Los requerimientos básicos de ventilación para lograr confort en climas cálidos húmedos pueden ser calculados dependiendo de la temperatura exterior, estableciendo límites mínimos y máximos (Freixanet & Viqueira), dichas fórmulas se integran al software de simulación.

Por lo que respecta al contagio de enfermedades de transmisión aérea, existen numerosos factores de los cuales depende, aunque los principales son: el patrón y tipo de contacto, la susceptibilidad de los individuos, los factores socioeconómicos y el ambiente en el que se produce (Kucharski, 2020). En este último aspecto afectaría la caracterización de la ventilación natural, ya que una de las formas de transmisión del COVID-19 es por medio de aerosol en el aire (Moreno Grau et al., 2020). Al ser una enfermedad nueva, cada día nos encontramos con información nueva del COVID-19, pero todo parece indicar que el uso de mascarillas, el distanciamiento social, la desinfección de superficies, una higiene adecuada y una iluminación y ventilación adecuada reducen notablemente el riesgo de transmisión de la enfermedad (Marín García, 2020).

Ya desde el año 2010, una revisión sistemática realizada por la Organización Panamericana de la Salud, encontró que la falta de ventilación natural en espacios interiores, están directamente relacionadas con mayores tasas de infección de enfermedades de transmisión aérea (Atkinson, Chartier, Pessoa-Silva, Jensen, & Li, 2010), y que, aunque no había aún datos suficientes para demostrarlo, todo parecía indicar que el flujo de aire de renovación elevado, ayudaría a la dilución de partículas en el aire desde la fuente contaminada. Actualmente muchas investigaciones se centran en la descripción de ambientes y condiciones óptimas para evitar el contagio en interiores (Bhagat, Wykes, Dalziel, & Linden, 2020; Ma et al., 2020; Sun & Zhai, 2020), ya que se sabe que el virus puede quedar activo y suspendido en el aire mucho tiempo, sobretodo en espacios sin una adecuada ventilación.

Se recomienda, al menos 5 o 6 renovaciones del volumen de aire interior por hora para lugares de hasta 100 m² de superficie, y preferentemente tener abiertas las ventanas de manera continua,

así como favorecer la ventilación cruzada, garantizando con ello un barrido eficaz del espacio (García, 2021).

Una serie de simulaciones realizadas por investigadores del ITCS Lorgna-Pindemonte en Verona, demostraron que la apertura continua de las ventanas en un salón de clases puede reducir hasta la mitad el riesgo de transmisión aérea del virus (Zivelonghi & Lai, 2021) y que, sumada a otras técnicas complementarias de mitigación, como el uso correcto de mascarillas y la reducción del aforo, se puede reducir el riesgo casi por completo, incluso con la presencia de dos fuentes de contagio. Resultados similares se obtuvieron en otro análisis usando modelos matemáticos compuestos (Park, Choi, Song, & Kim, 2021).

Simulación

En este apartado del artículo se hicieron una serie de simulaciones modificando paso a paso las variantes de ventilación natural poco a poco, para encontrar los niveles óptimos para el confort higrotérmico. Los parámetros simulados fueron: proporción relativa de las dimensiones de oberturas a barlovento y sotavento, temporalidad de las aperturas y funcionamiento cruzado. Las simulaciones se realizaron en el mes de abril, ya que es un mes muy caluroso y húmedo que retrata la situación más extrema de buena manera.

Temporalidad

Se generaron cuatro modelos de simulación variando las condiciones de la ventilación natural, en el primer modelo se estableció una ventilación constante de día y de noche, en el segundo modelo se cierran todas las aperturas las 24 horas al día, el tercer modelo se permite solamente ventilación nocturna, de 20:00 a 06:00 horas y el último modelo permite solo ventilación diurna, es decir de 06:00 a 20:00 horas.

Proporción de dimensiones de aperturas.

Se generan 3 modelos de simulación, la primera dejando las dimensiones originales de las oberturas del edificio estudiado, que son de dimensiones similares en las orientadas de fachada a sotavento y barlovento, la segunda combinación aumenta las dimensiones de las oberturas a sotavento un 50% y disminuye dimensiones de las oberturas de barlovento en un 50%, quedan con una proporción 3:1 de superficies de ventilación, la tercera combinación plantea la proporción inversa que la segunda, quedando en proporción 1:3 de superficies de ventilación.

Ventilación cruzada

Se generan dos modelos de simulación, una con la vivienda sin modificaciones, con ventilación todo el día, y la segunda añadiendo unas nuevas oberturas sobre las puertas interiores de las habitaciones de la planta alta, con la finalidad de aumentar la ventilación cruzada sin afectar con la privacidad de los habitantes.

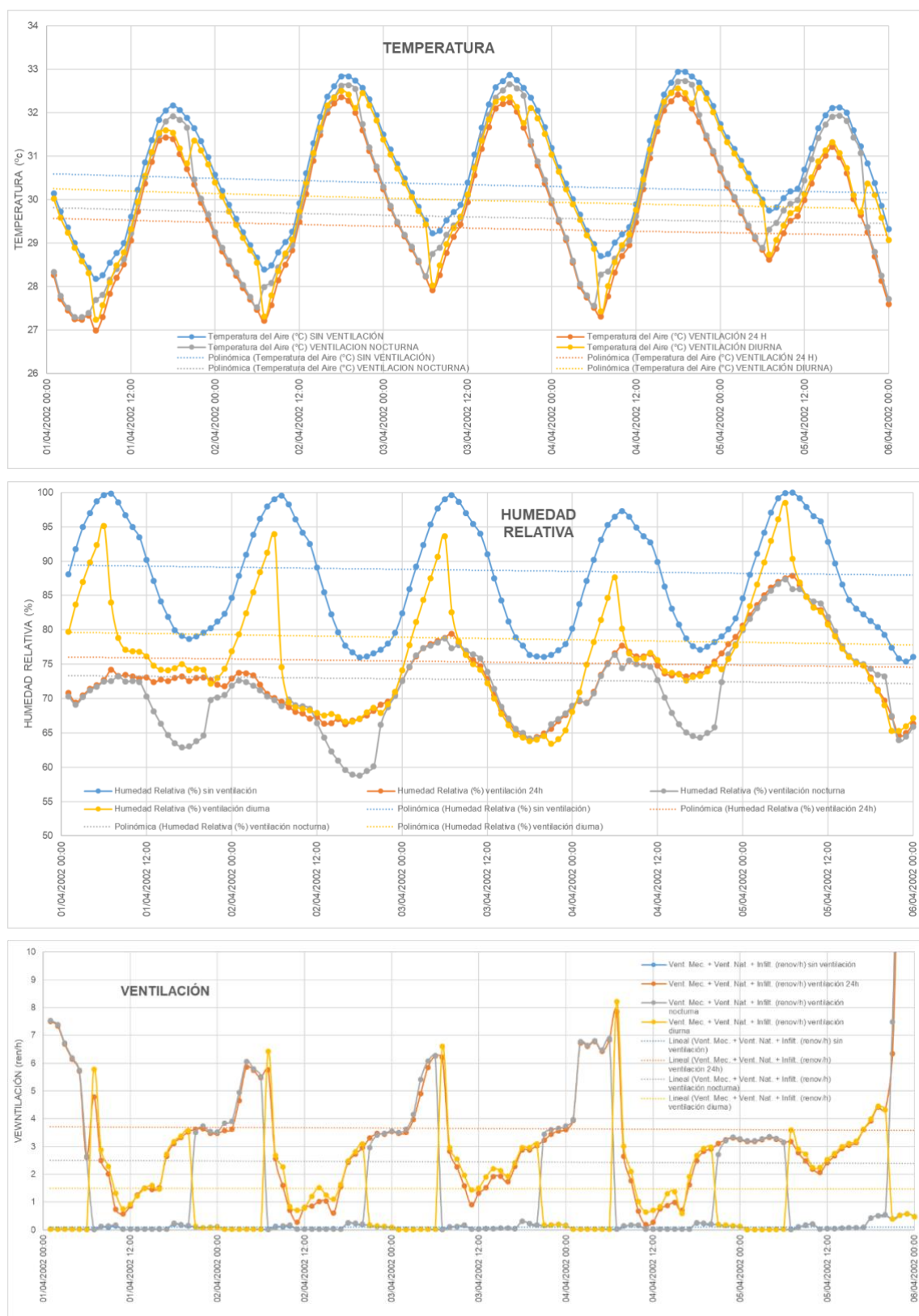
5 Resultados de las simulaciones

A continuación, se muestran los resultados de las simulaciones generadas en Designbuilder en los tres apartados anteriormente citados, simulados por separado, modificando una variable a la vez, con la finalidad de obtener los valores óptimos de cada bloque.

Temporalidad

Como se observa en las gráficas de la figura 6, variando tan solo la temporalidad de la ventilación, se pueden obtener mejoras apreciables en el confort higrotérmico y la renovación del aire interior. En el caso de la ventilación nocturna se baja medio grado la temperatura promedio y la humedad relativa hasta un 16%. En el caso de la ventilación constante, se reduce un 14% la humedad relativa. Con la ventilación diurna se reduce un 11% la humedad relativa. De igual forma se aumenta la ventilación promedio al interior significativamente, variando de 0.1 ren/h con las ventanas cerradas, 3.3 ren/h con ventilación las 24 horas, 2.15 ren/h con ventilación nocturna y 1.45 ren/h con la ventilación diurna. Los modelos de ventilación temporal que funcionan de mejor manera, tomando en cuenta esos tres factores son el que tiene ventilación constante las 24 horas al día y el modelo 3, con ventilación nocturna.

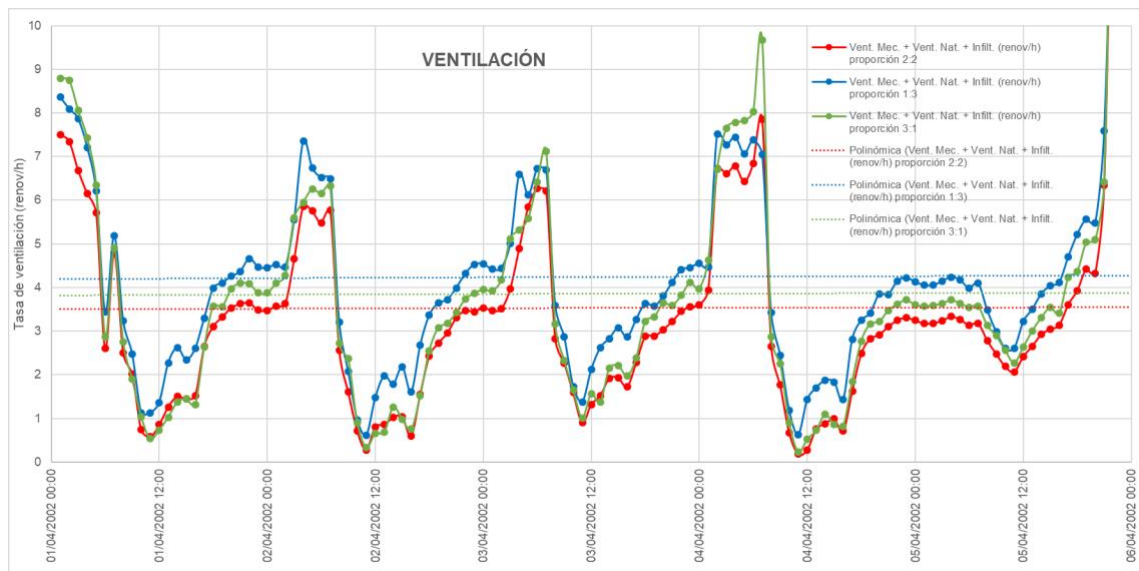
Figura 6 - a) Gráficas de comparación de los valores de la temperatura, humedad relativa y ventilación modificando temporalidad de ventilación para el mes de abril en vivienda tipo social. Elaboración propia.



Proporción

El comparativo de los resultados de las simulaciones de modelos en los que variaban las proporciones de las aperturas de entrada y salida de la ventilación natural tuvieron poca diferencia por lo que respecta a los valores de la temperatura y humedad relativa en los espacios interiores, sin embargo, la tasa de ventilación se ve sustancialmente aumentada, hasta en 0.4 ren/h, al disminuir la dimensión de las ventanas de barlovento y aumentando las de sotavento (Figura 7), esto genera una mayor presión de entrada del aire, provocando corrientes internas y haciendo que el aire salga con una menor presión de con la que entró.

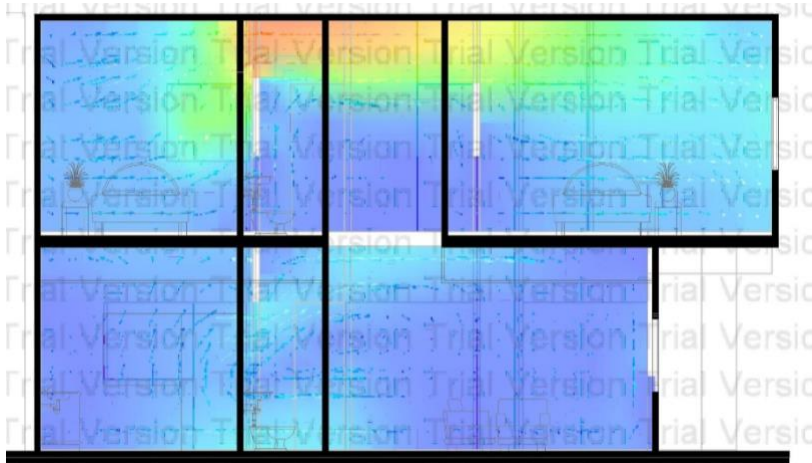
Figura 7 - de tasa de ventilación en vivienda social modificando proporción de aperturas. Elaboración propia.



Ventilación cruzada

La creación de pequeñas aberturas sobre las puertas de las habitaciones, que ayudan al aire a transitar con mayor facilidad dentro de la vivienda, tiene un efecto positivo en la tasa de renovación de aire, sin embargo, tiene efecto nulo en bajar niveles de temperatura y humedad relativa. La tasa de renovación promedio cambia de 3.30 a 4.40 renovaciones por hora, de igual forma cambia el comportamiento del aire, como se puede ver en la figura 8, ya que el aire existe mayor dispersión del aire entre las habitaciones.

Figura 8 - CFD de ventilación natural en vivienda generando ventilación cruzada. Elaboración propia.



6 Conclusiones

La bibliografía revisada coincide en destacar la importancia de la ventilación natural dentro de las viviendas y los edificios en general. La importancia radica en que es una estrategia probada y verificada para mejorar el confort higrotérmico de los residentes, aunque su efectividad en lugares muy húmedos se ve notablemente reducida, ya que no permite alcanzar una correcta disipación del calor del cuerpo humano, ya que el aire de ventilación se encuentra saturado de humedad. De igual forma, la revisión exploratoria de la bibliografía sugiere que la ventilación es uno de los métodos más efectivos contra el COVID-19, ayudando a disipar los virus transportados en el aire.

Los resultados mostrados en la investigación realizada mediante la modificación simulada de las variables básicas de ventilación para una vivienda social tipo en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, con un clima cálido-húmedo, describen mejoras tanto para el confort higrotérmico general de los habitantes, así como para generar mayores tasas de ventilación, y por ende mayor dispersión de partículas y posibles virus que se transmitan por este medio.

Figura 9 - Dimensionamiento estratégico de ventanas.

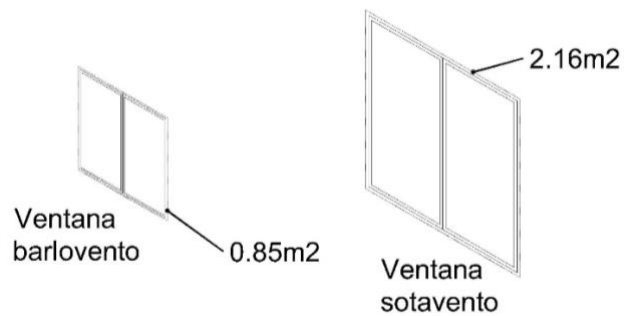
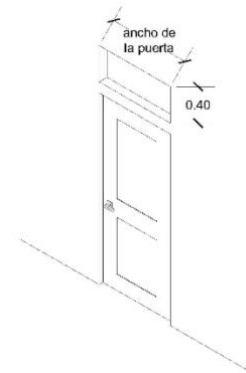
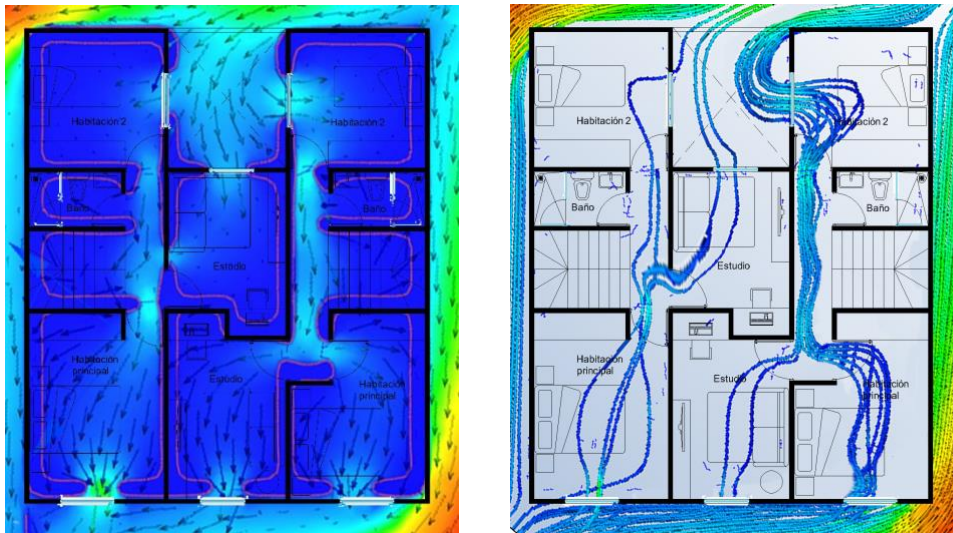


Figura 10 – Aberturas sobre puertas interiores.



Dependiendo si existen enfermos dentro de la vivienda o no, se pueden combinar o variar los parámetros de ventilación, sin embargo, el mejor funcionamiento para el confort involucraría mantener una ventilación constante o nocturna (dependiendo de la temporada del año), modificar la proporción relativa de las ventanas situadas a barlovento y sotavento (figura 9), para que las de barlovento sean mayores que las de sotavento, y añadir y operar estratégicamente unas oberturas sobre las puertas de la planta alta, para enfatizar la ventilación cruzada (figura 10), esto aumentaría la velocidad del viento al interior de la vivienda así como el flujo total que pasaría, como se puede ver la figura 11.

Figura 11 – Simulación de ventilación interior en la vivienda, Velocidad y flujos. Elaboración propia.



7 Referencias

- Ahmad, S. (2008). Kuala Lumpur: A hot humid climate. *Bioclimatic housing: Innovative designs for warm climates*, 269-293.
- ANSI/ASHRAE. (2017). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy: ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 55-2013) Includes ANSI/ASHRAE Addenda Listed in Appendix N*: ASHRAE.
- Atkinson, J., Chartier, Y., Pessoa-Silva, C. L., Jensen, P., & Li, Y. (2010). Ventilación natural para el control de las infecciones en entornos de atención de la salud. *Organización Panamericana de la Salud*.
- Balluerka Lasa, M. N., Gómez Benito, J., Hidalgo Montesinos, M. D., Gorostiaga Manterola, M. A., Espada Sánchez, J. P., Padilla García, J. L., & Santed Germán, M. Á. (2020). Las consecuencias psicológicas de la COVID-19 y el confinamiento. Informe de investigación.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5, 180214.
- Beltrán Correa, R. D., & Castillo Estévez, J. P. (2015). *Optimización energética para el aprovechamiento de ventilación natural en edificaciones en climas cálidos de Ecuador*. Quito, 2015.,
- Bhagat, R. K., Wykes, M. D., Dalziel, S. B., & Linden, P. (2020). Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19. *Journal of Fluid Mechanics*, 903.
- Bustamante Gómez, W., Rozas Ubilla, Y., Encinas Pino, F., Martínez, P., & Cepeda, R. (2009). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social.
- Chen, V. F. (2007). *The encyclopedia of Malaysia Vol 5: architecture* (Vol. 5): Archipelago Press.
- Coffel, E., Horton, R. M., & De Sherbinin, A. M. (2017). Temperature and humidity based projections of a rapid rise in global heat stress exposure during the 21st century.
- Freixanet, V. F., & Viqueira, M. R. VENTILACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA.
- García, A. S. (2021). Cómo ventilar un espacio cerrado para evitar el contagio por Coronavirus.
- GDF. (2010). Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. *Artículo 3º*.
- Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M. J., Todling, R., Molod, A., Takacs, L., . . . Reichle, R. (2017). The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *Journal of Climate*, 30(14), 5419-5454.
- Ghebreyesus, T. (2020). WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19-2020. In.
- Google. (Cartographer). (2013). Streetview, Calle Jalisco #8, Fracc. 27 de octubre, Municipio Centro, Tabasco.
- Griffin, M. E. S. (1999). *Ventilación natural efectiva y cuantificable: confort térmico en climas cálidos-húmedos* (Vol. 62): CDCH UCV.

- Guzmán-Hernández, I. A., Franco González, F., & Roset Calzada, J. (2019). Problemática de los sistemas pasivos de climatización en zonas tropicales cálido-húmedas. *Aula. Revista de Humanidades y Ciencias Sociales/Santo Domingo*, 64(4), 73-86.
- INEGI. (2016). *Encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares 2016*. Retrieved from México:
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263.
- Kucharski, A. (2020). *Las reglas del contagio*: Capitán Swing Libros.
- Li, S., Wang, Y., Xue, J., Zhao, N., & Zhu, T. (2020). The impact of COVID-19 epidemic declaration on psychological consequences: a study on active Weibo users. *International journal of environmental research and public health*, 17(6), 2032.
- Ma, Y., Zhao, Y., Liu, J., He, X., Wang, B., Fu, S., . . . Luo, B. (2020). Effects of temperature variation and humidity on the death of COVID-19 in Wuhan, China. *Science of the Total Environment*, 724, 138226.
- Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., & García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and sustainable energy reviews*, 49, 736-755.
- Marín García, D. (2020). Del COVID-19-SARS-CoV-2-y su relación con la ventilación y la climatización en edificación. *Aparejadores*(87), 43-50.
- MET Norway. (2021). Datos de The Norwegian Meteorological Institute. Retrieved 21 de junio 2020
- Moreno Grau, S., Álvarez León, E., García dos Santos Alves, S., Diego Roza, C., Ruiz de Adana, M., Marín Rodríguez, I., . . . van der Haar, R. (2020). Evaluación del riesgo de la transmisión de SARS-CoV-2 mediante aerosoles. Medidas de prevención y recomendaciones. Documento Técnico. Ministerio de Sanidad.
- Moreno Juanche, E. (2011). *Análisis de la ubicación de vanos para determinar el flujo de aire adecuado, en el interior de un espacio de vivienda*. Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco . . . ,
- Muñiz, G. D., Leyva-Picazo, V., & Monroy, H. O. (2020). IMPORTANCIA DEL CONFORT HIGROTÉRMICO EN VIVIENDAS EN TIEMPOS DE CONFINAMIENTO POR COVID-19. *TOPOFILIA, Revista Científica de Arquitectura, Urbanismo y Territorios*(21), 98-116.
- Mustieles, F., Machado, M., Indriago, J., La Roche, P., Oteiza San José, I., & González, R. (1998). Cerramientos bioclimáticos para climas cálidos húmedos: la cuarta vivienda.
- Nelson, W. C., Ott, W., & Robinson, J. P. (1994). *National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): Use of nationwide activity data for human exposure assessment*. Retrieved from
- Park, S., Choi, Y., Song, D., & Kim, E. K. (2021). Natural ventilation strategy and related issues to prevent coronavirus disease 2019 (COVID-19) airborne transmission in a school building. *Science of the Total Environment*, 789, 147764.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, R. (Ed.) (2014) Diccionario de la lengua española, 23.^a edición.

Sakiyama, N., Mazzaferro, L., Carlo, J., Bejat, T., & Garrecht, H. (2021). Natural ventilation potential from weather analyses and building simulation. *Energy and buildings*, 231, 110596.

Servicio Meteorológico Nacional, S. M. N. (2010). Normales Climatológicas 1951-2010, Villahermosa, Tabasco. In.

Sun, C., & Zhai, Z. (2020). The efficacy of social distance and ventilation effectiveness in preventing COVID-19 transmission. *Sustainable cities and society*, 62, 102390.

Weatherbase. (2021). Clima para Villahermosa, Tabasco. Retrieved 21 de junio de 2021

Zivelonghi, A., & Lai, M. (2021). Mitigating Covid-19 aerosol infection risk in school buildings: the role of natural ventilation, classroom volume, occupancy. *medRxiv*.

Sobre los autores

Ignacio A., GUZMÁN-HERNÁNDEZ, Estudiante de doctorado del programa de Tecnología en la Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya, España, ignacio.alejandro.guzman@upc.edu

Fidel, FRANCO GONZÁLEZ, Profesor titular en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, España, fidel.franco@upc.edu

Joan Lluís, ZAMORA I MESTRE, Profesor titular en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, España, joan.lluis.zamora@upc.edu