



Carolina Patiño Vásquez, María Isabel Muñoz Rengifo y Jorge Hernán Salazar Trujillo

Análisis de la ventilación natural en la vivienda social típica en Colombia

Analysis of Natural Ventilation in Typical Social Housing in Colombia

RESUMEN: En el área metropolitana de la ciudad de Medellín, la ventilación natural no se considera como parámetro en el diseño de viviendas de interés social (VIS). Este problema se agrava por la réplica indiscriminada de un mismo modelo de vivienda sin tener en cuenta su ubicación. Esta investigación realiza un análisis de sensibilidad que examina las condiciones de ventilación natural evaluando las diferentes orientaciones y alturas en uno de los diseños más comunes de VIS en varios sectores del área metropolitana. Los datos de ventilación se clasificaron en rangos de velocidad y dirección utilizando los registros obtenidos en varias estaciones meteorológicas. Posteriormente se analizó el comportamiento del viento en espacios interiores mediante simulaciones computacionales utilizando el complemento *Butterfly* de la plataforma *GrassHopper*. Los resultados muestran que el modelo analizado no cumple con más del 40% de deseabilidad en ninguno de los casos estudiados, y que todos se encuentran en condiciones desfavorables.

PALABRAS CLAVE: Ventilación natural, Simulaciones CFD, Vivienda social.

ABSTRACT: In the metropolitan area of the city of Medellín, natural ventilation is not considered as a parameter in the design of social housing (VIS). This problem is aggravated by the indiscriminate replication of the same housing model without taking into account its location. This research performs a sensitivity analysis that examines natural ventilation conditions by evaluating the different orientations and heights in one of the most common VIS designs in various sectors of the metropolitan area. Ventilation data were classified into speed and direction ranges using records obtained at several meteorological stations. The behavior of wind in indoor spaces was subsequently analyzed through computational simulations using the *Butterfly* plugin of the *GrassHopper* platform. The results show that the analyzed model does not meet more than 40% desirability in any of the cases studied, and that all are in unfavorable conditions.

KEYWORDS: Natural ventilation, CFD simulation, social housing.

RECIBIDO: 15 diciembre 2022

ACEPTADO: 20 marzo 2023

Introducción

La solución adoptada para dar respuesta al déficit de vivienda en el contexto colombiano ha seguido la tendencia de considerar esta problemática desde una visión cuantitativa y no cualitativa, ocasionando que aspectos fundamentales como el impacto y la comodidad ambiental sean desatendidos. Específicamente, para los sectores económicamente menos favorecidos se ha implementado un modelo de vivienda de interés social (VIS) como tipología constructiva representativa, la cual se caracteriza por su construcción en plantas típicas apiladas en forma de torres. Los edificios se ejecutan por lo general bajo un esquema estructural de muros de carga, lo que dificulta efectuar cambios posteriores a su construcción, y por ello las adecuaciones y reformas suelen ser arduas o inclusive, poco probables. Adicionalmente, estos edificios presentan una distribución interna que consiste en la agrupación de las unidades habitacionales a ambos lados de una galería de circulación, permitiendo una única fachada abierta hacia el exterior, tal como se muestra en la Figura 1.



- [1] Pérez A. Bases para el diseño de la vivienda de interés social: Según las necesidades y expectativas de los usuarios. Bogotá: Universidad de La Salle; 2013. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1008&context=edunisal_le_arquitectura-urbanismo.
- [2] Falla LM. Vivienda de interés social, el resultado del presupuesto equivocado. Derecho Público [Internet]. 2014 [consultado: 06 de 06 de 2022]; (32):19 p. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4760258>.

Figura 1. Configuración típica. Diagrama de vivienda de interés social en serie, ciudad de Medellín. Fuente: <https://www.aia.com.co/inmobiliarios-venta/amazonika>.

Pérez [1] ahonda sobre los conflictos derivados de este modelo de distribución de las plantas, y afirma que, al tratarse de una tipología funcional, es fácilmente replicable en términos constructivos, y eficientes desde el punto de vista económico. Sin embargo, su emplazamiento u orientación se definen indiscriminadamente, sin tener en cuenta su adaptación al contexto climático, cuando en realidad, su desempeño ambiental varía según las condiciones de ventilación del lugar.

La puesta en práctica de este modelo involucra directamente al mercado como regulador del acceso efectivo a las unidades habitacionales bajo el paradigma de la propiedad privada, como expone Falla [2]. En consecuencia, el interés por su adecuado funcionamiento y confort en términos generales son mínimos, ya que el desarrollo de investigaciones en este sector socioeconómico no es redituable para los constructores ni para el Estado, por lo que las empresas promotoras de estos proyectos de vivienda se enfocan exclusivamente en su rendimiento económico e invierten en el manejo político y en acabados cosméticos, ahorrando al máximo en su

diseño. Esta es la razón por la cual los estudios que abordan la vivienda de interés social desde el enfoque bioclimático sean muy limitados y muy especialmente desde el punto de vista de las condiciones de ventilación natural resultantes.

En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la cual incluye la ciudad de Medellín, este modelo ha sido replicado en diferentes sectores teniendo poco en cuenta la condición microclimática del valle donde se encuentra ubicada. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) [3], el Valle de Aburrá tiene una variación entre 1500 hasta 2500 msnm, en toda la extensión política de su territorio, contabilizando 35550 km² clasificados en clima cálido, 16439 km² en clima templado y 10900 km² en clima frío.

Respondiendo a esas características la diversidad microclimática debería ser un factor fundamental para el diseño de vivienda en su generalidad, como lo exponen Uribe [4] y Arias [5], quienes desarrollan sus investigaciones a partir de la variabilidad de los pisos térmicos y su influencia en el desempeño de la vivienda. El primero propone una serie de estrategias bioclimáticas como criterios de diseño, particularmente en climas cálido-húmedos, mientras que el segundo, desde su disciplina ingenieril, sustenta que la variación de los pisos térmicos son un factor importante para la calibración e instalación de los equipos de aire acondicionado. Siguiendo este enfoque, se considera que es primordial reconocer la influencia de la variación altitudinal en el diseño de la vivienda, a pesar de que el contexto donde se ubican los proyectos se encuentre clasificado en una sola unidad política – administrativa, como es el caso del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

A nivel internacional diversos investigadores, como Ward [6] y Huertas [7], se han preocupado por la adecuación de la vivienda a las condiciones climáticas extremas en climas estacionales. En estos casos de vivienda de interés social, es el Estado quien debe prever la menor inversión en sistemas energéticos adicionales, sin embargo, en el contexto local, y al no existir diferencias excesivas de temperatura, poco se ha investigado en relación con la clasificación micro-climática colombiana y menos aún, en la ventilación natural.

Dentro de las investigaciones desarrolladas en Colombia destacan las de Giraldo [8] enfocadas en el confort térmico de viviendas de interés social para climas cálido - húmedos en la ciudad de Cali, en la que se realizan mediciones de ventilación natural in situ de uno de los modelos más repetidos antes expuestos, y con base a ellos, se proponen estrategias de adecuación pasiva para el mejoramiento de las condiciones térmicas enfocadas en la ventilación. Por otro lado, Carabalí [9] realiza un trabajo de campo en el mismo contexto, aplicando una metodología tanto cuantitativa como cualitativa, en la que hace mediciones in situ en viviendas, junto con encuestas a la comunidad que las habita. En ambos casos, los autores intentan resolver problemas a partir de la infraestructura existente, es decir, en edificios ya construidos. Contrariamente, esta investigación se preocupa por la evaluación de las condiciones de ventilación natural de forma predictiva, antes iniciar la ejecución de las obras, con vistas a evitar errores, a través de medidas de diseño.

En este orden de ideas, y en materia metodológica, se partió de reconocer que el viento tiene un comportamiento variable que ha demostrado ser difícil de precisar y caracterizar, y que la utilización de herramientas computarizadas para simular su comportamiento ha demostrado ser

- [3] IDEAM [Internet]. [consultado: 7 de junio de 2022]. Disponible en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>.
- [4] Uribe S. Propuesta de estrategias bioclimáticas como criterio de diseño en una vivienda social en el clima cálido – húmedo [tesis de pregrado]. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana; 2020. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/5449>.
- [5] Arias AF. Influencia de los pisos térmicos en la implementación de la Norma Iso 16358-1 para el cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento en Colombia [tesis de pregrado]. Pereira (Colombia): Universidad Tecnológica de Pereira, 2022. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/12377>.
- [6] Ward IC. The Potential Impact of the New (UK) Building Regulations on the Provision of Natural Ventilation in Dwellings - A Case Study of Low Energy Social Housing. *International Journal of Ventilation* [Internet]. 2008 [consultado: 11 de mayo de 2022]; 7(1):[77-88 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/14733315.2008.11683801>.
- [7] Bienvenido-Huertas D, Sánchez-García D, Rubio-Bellido C, Solís-Guzmán J. Using adaptive strategies of natural ventilation with tolerances applied to the upper limit to improve social dwellings' thermal comfort in current and future scenarios. *Science and Technology for the Built Environment* [Internet]. 2022 [consultado: 11 de mayo de 2022]; 28(4):[527-46 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/23744731.2022.2040884>.
- [8] Giraldo W, Herrera CA. Ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial. *Ingeniería y Desarrollo* [Internet]. 2017 [consultado: 17 de abril de 2022]; 35(1):[77-101 pp.]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v35n1/2145-9371-inde-35-01-00077.pdf>.
- [9] Carabali HJ, Palomino JE. Confort térmico en el trópico húmedo. Caso de estudio viviendas de interés social del Distrito de Buenaventura. En: Parra Ocampo J, editor. *Resiliencia Urbana. Una mirada académica desde el Pacífico*. Cali: Universidad Santiago de Cali; 2020. p. 109-163. <https://libros.usc.edu.co/index.php/usc/catalog/view/100/180/2562>.

altamente infectivo. En la actualidad se suelen emplear registros EPW y TMY que son poco confiables dado que ofrecen un único dato de velocidad y dirección del viento por hora, simplificando excesivamente la variabilidad del fenómeno. En el presente estudio, por ejemplo, la aplicación de esta metodología ignoraría la diferenciación según la variación de la altura sobre el nivel del mar, porque toda la ciudad se representa con un único archivo climático, aplanando las diferencias relativas entre unos y otros sectores del Valle.

A partir de lo expuesto anteriormente, la presente investigación tuvo como propósito principal determinar las variables y tendencias de la ventilación natural en uno de los modelos típicos de las VIS más repetidos en la ciudad de Medellín para realizar un análisis de sensibilidad en cuatro sectores de su Área Metropolitana. Para ello se partió de una metodología que utiliza los datos de entrada del sistema de monitoreo ambiental de la ciudad (SIATA) [10] que recopila 60 registros de velocidad y dirección del viento por hora y que tiene instaladas estaciones meteorológicas en la altitud correspondiente a cada uno de los cuatro casos de estudio seleccionados. Con esto se podía hacer una caracterización predictiva sobre el comportamiento de la ventilación natural en este esquema de vivienda en los diferentes sectores analizados.

Materiales y métodos

La metodología empleada partió de un análisis de sensibilidad debido al bajo costo computacional implicado y los beneficios de interpretación de los resultados predictivos en la aplicación al contexto local. El análisis de sensibilidad consiste en mover una variable de entrada manteniendo las otras en sus valores de referencia [11]. Se consideraron como variables de entrada cuatro diferentes sectores, diferenciados por sus características geográficas, y en cada uno de ellos se evaluó el comportamiento de una torre típica de vivienda de interés social, que en todos los casos se analizó bajo tres parámetros estables de referencia: misma altura, orientación y dos rangos horarios fijos. Para su análisis se hizo uso de simulaciones computarizadas CFD (Dinámica de Fluidos Computacional por sus siglas en inglés) de ventilación, evaluando en primera instancia, la relación con el entorno inmediato, realizando simulaciones exteriores para obtener bajo esos resultados, la información básica de dirección y velocidad de viento sobre la fachada en cada uno de los contextos, punto de partida para la realización de las simulaciones de ventilación al interior de cada vivienda.

Criterios de selección

Caso de estudio: Cada lugar de emplazamiento fue seleccionado a partir de su ubicación estratégica dentro del Área Metropolitana, eligiendo cuatro sectores representativos: norte, sur, centro oriental y centro occidental de la ciudad (Figura 2). La elección de los emplazamientos tuvo que ver con la existencia de algún sensor de monitoreo ambiental del sistema SIATA¹ en la

- [10] Orozco MJ, Orozco MA, Molina L, Salazar J. Window design to improve natural ventilation performance including climate-based metrics and human factor analysis. 36th PLEA Conference, Santiago; 2022. [citado en diciembre de 2022]. Disponible en: <https://plea2022.org/wp-content/uploads/2023/03/PROCEEDINGS-ONSITE-FINAL-MARZO.pdf>.
- [11] Tian W. A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [Internet]. 2013 [consultado: 01 de 04 de 2022]; 20:[411-9 pp.]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.014>

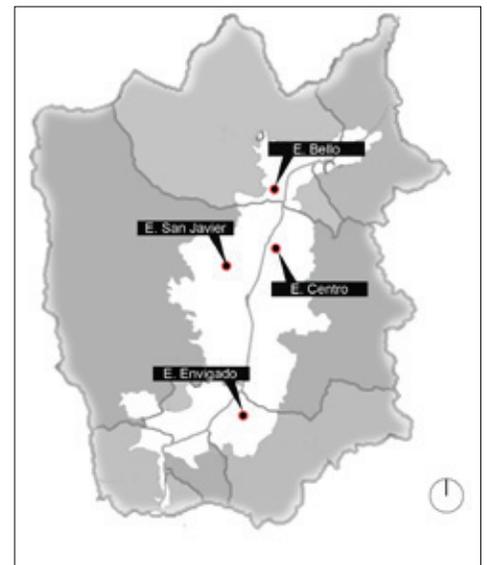


Figura 2. Localización de los casos de estudio en el Área Metropolitana de la ciudad de Medellín. Fuente: Creación Propia.

¹ SIATA es el Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá, realiza el pronóstico del estado del tiempo basados en un modelo numérico meteorológico (WRF) que se ejecuta diariamente, el cual se complementa con información en tiempo real de la red de monitoreo hidrometeorológico instalada en el valle y sensores remotos. [Internet]. [Consultado el 19 de junio de 2022]. Disponible en: https://siata.gov.co/siata_nuevo/.

zona, para procurar la mayor veracidad posible en los datos de entrada para las simulaciones computarizadas. En este orden de ideas los parámetros variables son:

A. La estación Bello, ubicada en el norte del Valle de Aburrá, en un sector caracterizado por una morfología poco densa pero con la presencia de edificaciones de gran altura y una altitud promedio de 1600 msnm.

B. La estación Envigado, ubicada en el sur, y caracterizada por la presencia de edificios de poca altura, pero con una trama urbana muy densa, con una altitud aproximada de 1567 msnm.

C. La estación San Javier, ubicada en el occidente del Valle de Aburrá, con una mixtura de edificaciones densas y vivienda de baja altura, con una altitud de 1563 msnm.

D. La estación Centro, ubicada en la zona centro oriental, emblemática por su trama urbana histórica, su elevada densidad y la mixtura de edificaciones, con una altitud de 1412 msnm.

Parámetros de análisis: Cada parámetro de análisis se aplicó a todos los casos de estudio, valores estables de referencia que permitieron la comparabilidad entre cada caso.

A. Altura: cada caso de estudio se evaluó a una altura de 54 m sobre la línea de implantación de la edificación, valor que corresponde a la planta número 18 de la torre de vivienda. La selección de este nivel en particular se debe a que es representativo de las condiciones de elevación de la configuración típica de las torres de vivienda las cuales suelen tener hasta 25 niveles.

B. Orientación: la dirección de los vientos en la ciudad de Medellín es predominantemente de norte a sur, por lo cual se seleccionó la orientación norte como variable estática para cada objeto de estudio.

C. Rangos horarios: se seleccionaron dos rangos horarios principales: mañana (de 8:00 a.m. a 11:59 a.m.), y tarde (de 12:00 p.m. a 5:00 p.m.)

Herramientas

La clasificación de la base de datos meteorológica se realizó por medio de un algoritmo personalizado a través la plataforma *GrassHopper*², que es el interfaz de programación gráfica de Rhino3D. De igual forma, para la simulación CFD de ventilación exterior e interior se utilizaron las herramientas *OpenFOAM*³ y *Butterfly* que operan en este mismo entorno computacional.

Métricas

Para definir los rangos óptimos de ventilación, se usó la métrica integrada del algoritmo que trae por defecto la interfaz de *Butterfly*, siendo entonces:

- De 0 a 0,99 m/s: velocidad insuficiente para obtener condiciones óptimas de ventilación.
- De 1 a 1,99 m/s: velocidad deseable.
- De 2 a 4,99 m/s: velocidad de exceso moderado.
- De 5 a 10 m/s: velocidad de exceso absoluto.

Información básica preliminar

De cada una de las estaciones meteorológicas elegidas se descargaron los registros anualizados de dirección y velocidad de viento correspondientes al año 2021, información que se obtiene con una resolución para cada minuto, y para el año completo. En primera instancia, y para mantener la

² *GrassHopper*. Editor de algoritmos generativos integrado a Rhinoceros 3D. [Consultado en enero de 2022]. Disponible en: <https://www.grasshopper3d.com/>.

³ *OpenFOAM*. Software de modelación CFD. [Consultado: 1 de diciembre de 2021]. Disponible en: <http://www.openfoam.com/>

comparabilidad entre variables, se definieron seis grupos de velocidad para cada caso de estudio, tal como se muestra en la Figura 3.

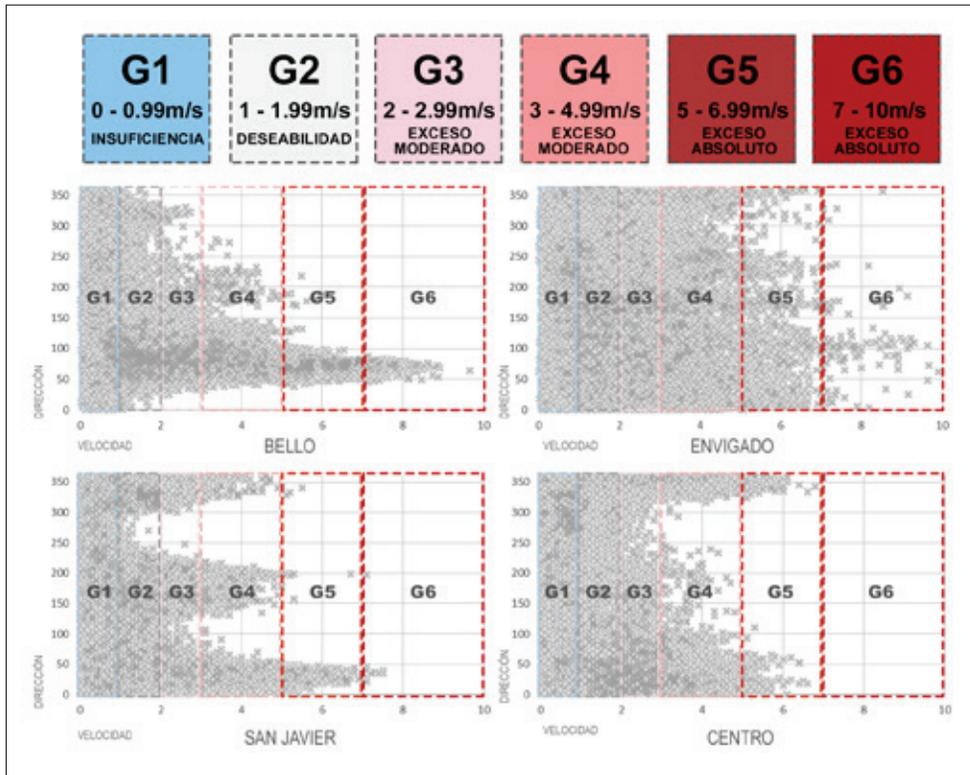


Figura 3. Base de datos anual del SIATA de cada sector. Definición de rangos de velocidades, sin filtración. Fuente: Elaboración Propia.

Posteriormente se filtraron, clasificaron y seleccionaron los datos a través GrassHopper, aplicando el método que implementan Orozco y otros [11], lo que permitió aislar de la base de datos meteorológica principal aquellos registros correspondientes al rango horario seleccionado. Por otra parte, el algoritmo permitió extraer las direcciones representativas de cada sector para cada rango horario, al igual que el porcentaje de representatividad de cada rango de velocidad, como se muestra en la Figura 4.

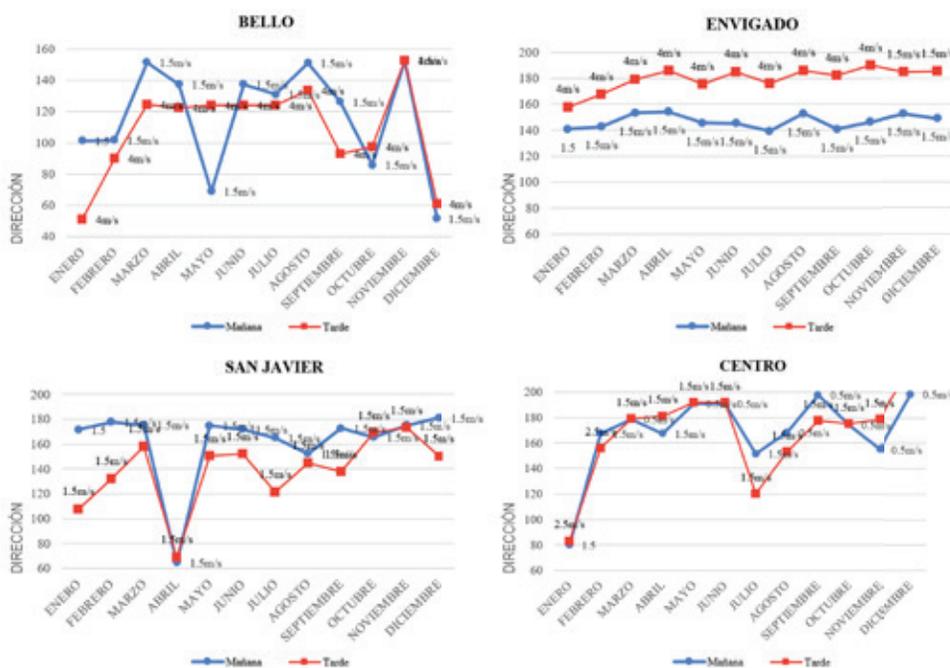


Figura 4. Base de datos para las simulaciones de CFD. Velocidad y dirección representativa del viento para cada mes y cada una de las cuatro localizaciones en estudio. Fuente: Elaboración propia.

Simulación

1. Simulación exterior: inicialmente se modeló la torre típica de vivienda para cada uno de los contextos, y a partir de la implantación de esta, se procedió a modelar su entorno inmediato en un radio de aproximadamente 160 m a la redonda. El modelo se realizó de forma simplificada, con superficies adiabáticas y volúmenes extruidos, sin orificios ni perforaciones. Las especificaciones de la simulación exterior se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones empleadas en la simulación exterior.

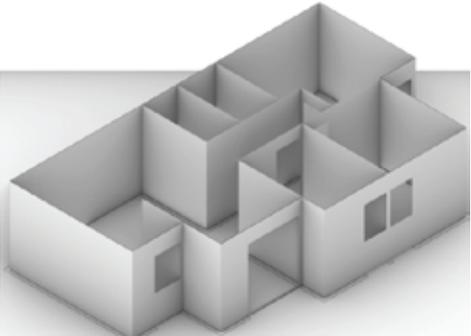
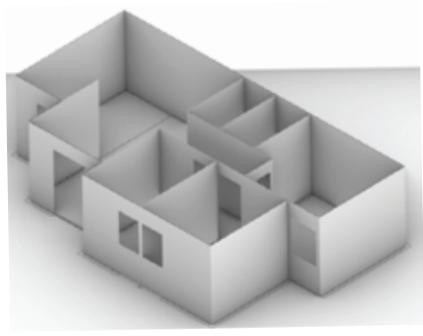
Bello	Envigado	San Javier	Centro	
				
Parámetros de simulación Butterfly Outdoor				
A) Variables				
Sector	Bello - Envigado - San Javier - Centro			
Grupos horarios	Mañana	Rango de velocidad representativo (Por cada mes)		
		Dirección Representativa (Por cada mes)		
	Tarde	Rango de velocidad representativo (Por cada mes)		
		Dirección Representativa (Por cada mes)		
B) Constantes				
Punto base	Orientación		Altura	
	Norte		54 m	
Datos de entrada	Velocidad representativa del mes y dirección promedio arrojada por la simulación anterior			
Vector	$U_y = u^* \cdot \text{sen}(\alpha)$		$U_x = u^* \cdot \text{cos}(\alpha)$	
Túnel de viento	Winward X	Top	Sides	Leeward
	1.5	3	3	7.5

Fuente: Elaboración propia.

2. Simulación interior: Como resultado de la etapa de simulación exterior se obtuvieron los vectores que determinan la velocidad y dirección del viento sobre cada edificación. En todos los casos se eligieron únicamente los resultados correspondientes a un punto de análisis que está ubicado a una altura de 54 m sobre la fachada norte y que corresponde a la ubicación del ingreso de aire en cada vivienda estudiada, datos de entrada para la simulación interior.

3. El modelo del interior del apartamento que fue utilizado en la simulación tipo *indoor* también se simplificó con superficies adiabáticas, pero en este caso sí se realizaron perforaciones, las cuales corresponden a las ventanas y puertas. Estas últimas se simularon con el 100% de abertura. Las especificaciones de la simulación interior se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones Simulación Interior.

Parámetros de simulación Butterfly Indoor				
				
Superficies		Adiabáticas		
Túnel de viento	Winward_X	Top	Sides	Leeward
	3	5	5	15

Fuente: Elaboración propia.

Resultados y Discusión

Cada simulación interior arrojó 96 resultados, cada uno describe el comportamiento de la ventilación natural en un punto diferente en el interior de la vivienda de acuerdo a la velocidad y dirección del viento dentro de la misma. En las figuras se muestran los mejores resultados obtenidos para cada caso de estudio. (Figuras 5 y 6)

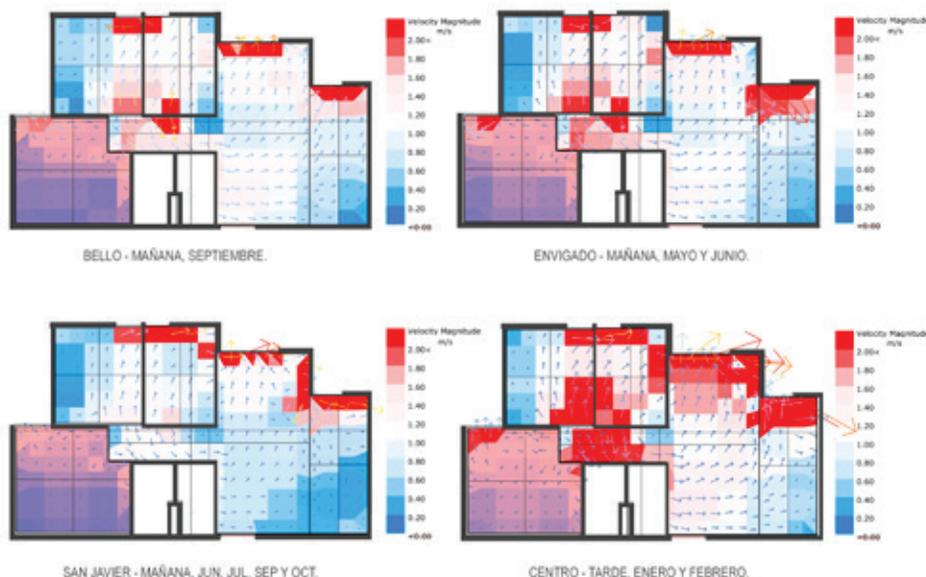


Figura 5. Resultados más favorables de Bello y Envigado respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Resultados más favorables de San Javier y Centro respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, y con el propósito de comparar los resultados de las simulaciones en el interior de los apartamentos, a cada conjunto de estos se le hizo una valoración, asignándole una clasificación de acuerdo al porcentaje de área que se ubicó en los rangos de insuficiencia, deseabilidad o exceso de ventilación, tal como se evidencia en la información gráfica adjunta (Figuras 7 y 8). El análisis de los resultados a menor escala evidencia una carencia importante de ventilación en la habitación principal de la vivienda, aún en los más favorables y deseables. Es evidente la precariedad de ventilación natural en esta alcoba, situación que en gran medida puede deberse a la insuficiencia de ventilación cruzada. Contrariamente, el resto de las habitaciones cuentan con un flujo continuo, una entrada por las ventanas que dan hacia la fachada, y una salida por las puertas de las mismas habitaciones y por tal motivo resultan siendo los sectores mejor ventilados.

Los resultados indican que en el sector Bello la deseabilidad es mucho mayor en las mañanas en comparación con las tardes, hasta en un 81% en las condiciones más favorables. Por el contrario, en el sector Centro la meta de deseabilidad se alcanza mayoritariamente en las tardes, hasta en un 61% en las mejores condiciones anuales. Envigado y San Javier muestran resultados semejantes de insuficiencia de ventilación natural en ambos rangos horarios.

A nivel global, destaca que durante los meses comprendidos entre julio y diciembre se presentan los mejores desempeños en todos los casos de estudio, casi siempre en el intervalo matutino. El sector Bello presentó los resultados de indeseabilidad más reducidos en comparación con el resto de configuraciones, presentando un mejor desempeño (Figura 9). Durante las tardes su deseabilidad disminuye en un 30% aproximadamente, no obstante su valor global se diferencia del sector Centro por tan solo un 2%, panorama que refleja las desventajas de la construcción de este tipo de vivienda en los sectores sur y centro- occidentales del Área Metropolitana. Se pudo observar que la variación menos efectiva es sin duda la implantación de este tipo de vivienda en el sector Envigado.

Conclusiones

La metodología desarrollada permitió estimar, minuto a minuto, la dirección y velocidad de la ventilación anual sin necesidad de desarrollar mediciones in situ. Del mismo modo, la filtración y clasificación de los datos de acuerdo con rangos horarios y de velocidad facilitó condicionar el estudio de caso y analizar sólo la información provechosa, metodología que permitió

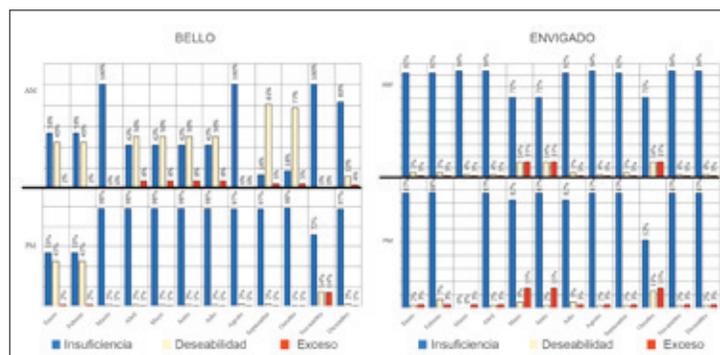


Figura 7. Resultados del caso de estudio Bello y Envigado respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

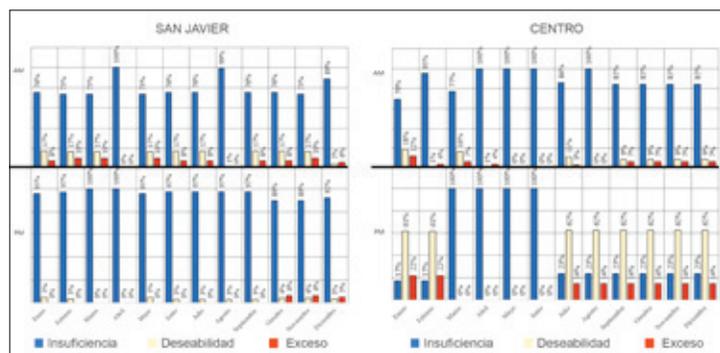


Figura 8. Resultados del caso de estudio San Javier y Centro respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

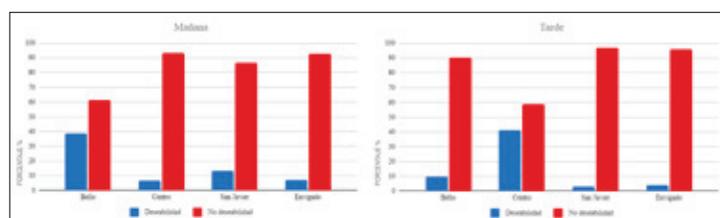


Figura 9. Resultados globales para cada sector en ambos rangos horarios. Fuente: Creación Propia.

acrecentar el número de variables que suelen tomarse para la evaluación de la ventilación natural, y enriquecer la investigación sin perder eficacia.

Con respecto al planteamiento inicial relacionado con los inconvenientes que genera la repetición indiscriminada de un mismo edificio de vivienda en diversos sectores de una misma zona urbana, los resultados evidencian que, efectivamente, las condiciones específicas del lugar donde se implante esta configuración de torre tienen una repercusión directa en las condiciones de ventilación interior de las viviendas. Por tal razón, es necesario pensar en estrategias que optimicen su desempeño en los sectores menos favorecidos, por tener una oferta de viento menor. Se comprueba, no obstante, que en ningún caso esta configuración típica cumple con más del 40% del rango de deseabilidad, y que por el contrario, en la mayoría de las ocasiones se encuentra en condiciones desfavorables, hasta un 95% del tiempo en algunos de los casos de estudio. Por consiguiente, basados únicamente en estas cuatro zonas, es posible inferir que el rendimiento del modelo de vivienda objeto de estudio en relación con la ventilación natural es precario y carece de funcionalidad.

En relación con los casos de estudio se pudo concluir que la situación más favorable es la combinación Sector: Bello, Rango horario: Mañana, Mes: Septiembre. No obstante, a pesar de presentar los mejores resultados en comparación con el resto de las variaciones realizadas, un 20% del espacio de la vivienda todavía no logra satisfacer las condiciones mínimas de deseabilidad y por ello se puede afirmar que el tamaño y distribución de los vanos para este tipo de vivienda se debería replantear dado que no resultan apropiados para las condiciones microclimáticas del Valle de Aburrá.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer especialmente al Grupo de investigación EMAT de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín por hacer posible la realización de esta investigación.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que pudieran representar un riesgo para la publicación del artículo.

DECLARACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Carolina Patiño Vásquez: Conceptualización, fundamentación metodológica, investigación, software, interpretación de resultados, visualización, edición, redacción y revisión de la versión final.

María Isabel Muñoz Rengifo: Conceptualización, fundamentación metodológica, investigación, software, interpretación de resultados, visualización, edición, redacción y revisión de la versión final.

Jorge Hernán Salazar Trujillo. Conceptualización, administración del proyecto, adquisición de recursos, validación, visualización y revisión de la versión final.



Carolina Patiño Vásquez
Arquitecta. Egresada de la Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia.
E-mail: cpatinov@unal.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-5367-1156>



María Isabel Muñoz Rengifo
Arquitecta. Egresada de la Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia.
E-mail: mimunozre@unal.edu.co
<https://orcid.org/0009-0009-7890-9023>



Jorge Hernán Salazar Trujillo
MSc. Arquitecto, Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia Medellín, Medellín Colombia.
E-mail: jhsalaza@unal.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-1075-0406>

