INCIDENCIA DE LA ALTURA EN LA VENTILACIÓN NATURAL EN TORRES DE VIVIENDA

Laura Molina Botero (1); Santiago Becerra Uribe (2)

(1) Estudiante de arquitectura, lamolinabo@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Arquitectura, Calle 59 A N 63-20 Edificio 24. Medellín, Colombia.

(2) Estudiante de arquitectura, sbecerrau@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Arquitectura, Calle 59 A N 63-20 Edificio 24. Medellín, Colombia.

RESUMEN

La evidencia de una densificación urbana intensiva en las ciudades, especialmente en la vivienda, lleva a preguntarse por la influencia que tiene la altura en la ventilación de los espacios interiores que se desarrollan en torre. La alta demanda computacional que exige desarrollar simulaciones para análisis de ventilación de espacios interiores, que logren una precisión tanto en el contexto urbano como en el diseño arquitectónico, ha llevado a ignorar la estrecha relación que tienen estas dos escalas cuando se habla de viento. Sin embargo, este trabajo propone una metodología simple que, con recursos computacionales básicos, permite mostrar a través de simulaciones CFD, y del cálculo de un perfil de velocidad del viento, en qué medida el cambio en la altura puede infra/sobre ventilar un espacio interior, y cuánto debería disminuir o aumentar un vano de salida de aire para contrarrestar este efecto. La simulación de 48 modelos con combinaciones diferentes (6 alturas, 4 vanos, y 2 direcciones viento), y el cálculo de área ventilada a partir del trazo de polilíneas, permitió identificar la necesidad de un diseño diferencial para los vanos de servicio en las torres de vivienda, debido a las bajas velocidades de viento que se obtuvieron al interior de los pisos inferiores, en comparación a los últimos niveles, en donde las velocidades superaron el rango optimo establecido.

Palabras clave: Ventilación natural en torres de vivienda, perfil de velocidades de viento, simulaciones CFD.

ABSTRACT

The evidence of the intensive urban densification in cities, especially in terms of housing, leads to question about the influence that height has on natural ventilation of the interior spaces. The high computational demand required to develop simulations for the interior space's ventilation analysis, that achieve precision both in the urban context and in architectural design, has led to ignoring the close relationship between these two scales when discussing wind. However, this research work suggests a simple methodology which, using basic computational resources, allows to show through CFD simulations, and the calculation of a wind speed profile, how the height change can under/over ventilate an interior space, and how much an air outlet opening must decrease or increase its ventilation area to counteract this effect. The simulation of 48 models with different combinations (6 heights, 4 openings, and 2 wind directions), and the calculation of the ventilated area for different ranges of velocities through the drawing of polylines, allowed to identify the need of a differential design for the service openings in housing buildings, due to the low wind speed that were obtained inside the lower floors, compared to the upper levels, where the velocities exceeded the established optimal range.

Keywords: Natural ventilation in housing towers, wind speed profile, CFD simulations.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto actual que estamos viviendo, por las consecuencias que ha dejado la pandemia (COVID-19), la vivienda ha tomado un papel protagónico, no solo en las funciones tradicionales de esta, sino que además se ha convertido en el espacio de trabajo y estudio para gran parte de la población, poniendo en evidencia diferentes problemáticas que afectan la habitabilidad de las personas al interior de esta.

A pesar de la aparición de sistemas mecánicos de ventilación, la ventilación natural sigue siendo una estrategia lógica en diferentes tipologías de edificaciones, que no pueden ser equipados con sistemas mecánicos por sus altos costos, por ejemplo, gran parte de los edificios de vivienda de nivel estándar. Adicionalmente, en ciudades como Medellín, en las que la arquitectura no está condicionada por la presencia de estaciones, ni por climas extremos, la ventilación natural parece seguir siendo la opción predilecta para asegurar una calidad óptima del aire interior en las viviendas, y brindar confort térmico a sus ocupantes.

Por otra parte, en los últimos años hemos evidenciado un cambio en la tipología de vivienda en Medellín, dando paso a la edificación en torre. Esta tipología se ha convertido en tendencia para la densificación de la ciudad, sin tener en cuenta las implicaciones de esta en temas como la ventilación natural; y surge la pregunta si deberían tomarse medidas específicas con relación a la altura, para lograr espacios interiores mejor ventilados, teniendo en cuenta que la velocidad del viento se incrementa con la altura (YARKE, 2005).

El desarrollo de medios computacionales para simulación de fluidos (CFD) ha permitido grandes avances en los análisis de ventilación natural, siendo éste un método más cómodo para predecir velocidad de viento, y visualizar de una manera más precisa y clara su flujo en un espacio determinado. Sin embargo, estos programas son una herramienta sofisticada que demandan un alto rendimiento computacional, y conocimientos especializados para su manejo; por esto, en muchas ocasiones, se queda corto para el análisis de ventilación en estudios arquitectónicos. Las investigaciones encontradas en donde se considera la altura como una variable para el análisis de ventilación natural, fueron desarrolladas para una escala urbana (JÓŹWIAK ET AL, 1996) (MEISS ET AL, 2017) (WEERASURIYA, 2013), o específicamente en relación a cambios en el volumen de la edificación (BAKER, ET AL, 2021); estudiar el comportamiento de la velocidad y flujo del viento frente a cambios en la volumetría y densidades de los edificios, a partir de sofisticadas simulaciones CFD, túneles de viento, y modelos matemáticos, ha permitido analizar principalmente espacios y situaciones urbanas, como por ejemplo, el efecto del viento en los peatones (QINGSHAN, 2017), pero no se ha llegado a escalas más pequeñas, para analizar espacios interiores considerando el contexto; y así mismo, gran cantidad de estudios se han hecho para espacios interiores, con altos detalles en fachadas, materiales, y modulaciones internas (DAEMEI, 2018) (GARCÍA, 2018) (RINCÓN, 2019), pero siempre omitiendo variables del contexto, como la densidad urbana, la altura, arborización, entre otros, a pesar que desde su diagnóstico, aportan directamente a la toma de decisiones para el diseño de fachadas.

Actualmente, lograr una simulación que integre de manera detallada todas las variables que implicaría un estudio cuidadoso de la ventilación de un espacio interior, tanto para edificios existentes como para la fase de diseño, podría considerarse computacionalmente imposible. Inclusive, desde la teoría y modelos matemáticos, aún es complejo entender de manera detallada el comportamiento del viento, considerando todas las variables que pueden afectarlo (DANIELS, 1997), y es por esto que, en estudios de pequeña escala, se recurre a la simplificación de las variables urbanas ya mencionadas.

Este trabajo busca entender en qué medida el efecto que tiene la altura en el cambio de la velocidad del viento, puede infra/sobre ventilar un espacio interior, y determinar cuánto debería aumentar o disminuir el tamaño de una ventana de salida de aire, para contrarrestar este efecto, dependiendo de la altura a la que se encuentre. Es importante anotar que la eficiencia de un vano está determinada por su tamaño, proporción, y posición en la fachada, pero siendo el tamaño el factor más evidente a la hora de medir cambios en la ventilación natural, esta investigación se centrará en esta variable, manteniendo las otras dos como constantes.

Para esto, se decide hacer un análisis a partir de simulaciones CFD, considerando un perfil de velocidad en relación a la altura de cada módulo de vivienda, que se explicará en detalle más adelante. Como se mencionó anteriormente, hacer un análisis de ventilación del espacio interior de una torre, detallando tanto el contexto urbano como el diseño arquitectónico interior de los módulos de vivienda, es altamente demandante, por esto el contexto urbano no fue incluido en la simulación, éste solo se tuvo en cuenta desde el cálculo del perfil de velocidad, y se consideraron como constantes las dimensiones de antepecho y dintel de los vanos, y la distribución interior del módulo.

Finalmente, parte de la metodología del trabajo tuvo como base la investigación de García (2016), sobre la incursión del viento y la iluminación en aulas infantiles, en donde estableció valores porcentuales de área ventilada para cada una de las combinaciones de vanos que fueron estudiados, a partir de simulaciones CFD, y del dibujo de polilíneas cerradas alrededor de los sectores en donde se encontraron velocidades mayores a 0.3 m/s; y a partir de unos rangos de porcentaje de área ventilada establecidos, logró determinar si la ventilación era óptima, aceptable, o deficiente en el interior.

2. OBJETIVO

Analizar las implicaciones de la altura en la ventilación natural de viviendas en torre, calculando en qué medida estas pueden infra/sobre ventilar un espacio interior, y determinar cuánto debería aumentar o disminuir el tamaño de una ventana de salida de aire que se ventila hacia un corredor, para contrarrestar este efecto, dependiendo de la altura a la que se encuentre, comprobando la necesidad de un diseño diferencial para los vanos de servicio, en una torre de vivienda que se ventila en su totalidad de manera natural.

3. METODO

3.1. Definición del caso de estudio, variables, y variaciones para el análisis

Este trabajo se realizó a partir de un modelo teórico de una torre de vivienda localizada en la ciudad de Medellín. El diseño del módulo analizado está basado en un apartamento real de vivienda, ubicado en la Urbanización Villa de Santa Teresa, Medellín, Colombia (Figura 1), la cual cuenta con 7 torres de 16 niveles de apartamentos, y punto fijo central, cada una.



Figura 1 –Imagen satelital tomada de la plataforma digital MAPGIS donde se señala la Urbanización Villa de Santa Teresa en Medellín, Colombia. El módulo analizado se resalta con naranja, se marca el norte, y las direcciones de viento que se tuvieron en cuenta para la investigación.

Cada torre cuenta con 7 apartamentos por piso, de estos se seleccionó el que se encuentra ubicado en el centro de la fachada, como se muestra en la Figura 2; esto con el fin de controlar los efectos por el cambio de presión. El apartamento cuenta con una sola fachada libre, característica común en la mayoría de las torres de vivienda que cuentan con más de dos módulos por piso, y manejan un sistema de circulación de punto fijo central y corredor. Esto quiere decir que, para lograr una ventilación cruzada, se dispone de vanos que responden solo a los servicios (en este caso la cocina), con salida a un corredor. Estos vanos generalmente tienen una menor área que los vanos en la fachada, y se disponen a una altura mayor de 1.80 m, para evitar el registro visual.

El módulo seleccionado tiene un área de 82 m², y una altura libre de 2.4 m. Cuenta con 3 habitaciones, 2 baños, sala – comedor, y cocina integrada. Para este trabajo se tuvo en cuenta sólo el área de la sala - comedor y cocina, que suman una superficie de 31.86 m², y un volumen total de 76.46 m³. En esta zona se disponen 3 vanos; el balcón en la sala, y 2 ventanas, una en la zona de ropas (V1), y otra en la cocina (V2) con salida al corredor, como se muestra en la Figura 3.

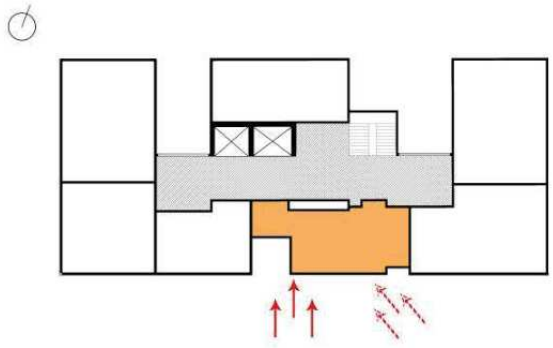

Figura 2 – Planta típica de la torre de vivienda. Se resalta el módulo central seleccionado para el análisis, señalando el norte y las direcciones del viento que se tuvieron en cuenta para el trabajo.

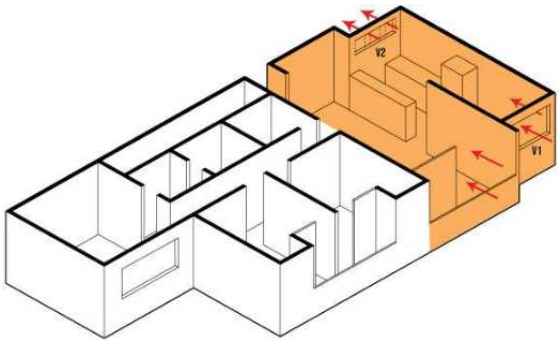

Figura 3 – Isométrico de la planta típica del módulo de vivienda escogido para el análisis, con un área de 84 m². Se resalta la zona de cocina y sala – comedor, con un volumen de 76.46 m³.

Es importante tener en cuenta que esta planta típica fue solo una base que, por su área y distribución, se consideró un modelo representativo de la vivienda en torre, pero en el desarrollo del trabajo, se le aplicaron una serie de variaciones, de acuerdo con las siguientes tres variables: altura, dirección del viento, y ancho del vano de salida.

Para los valores de altura, se tuvo en cuenta que las velocidades del viento generalmente son medidas en aeropuertos a una altura de 10 m por encima del suelo (YARKE, 2005), y a partir de esto, se seleccionaron seis alturas: la altura referente para la velocidad promedio del viento exterior en Medellín según el IDEAM (2020), 10 m, una altura por debajo de este nivel, 2 m, y cuatro alturas por encima del nivel de referencia, 20 m – 30 m – 40 m – 50 m.

Para cada altura se mantuvo el vano de entrada (V1) constante, y se estudiaron cuatro vanos de salida (V2), en donde el sillar y el dintel se consideraron constantes, y sólo se hicieron variaciones en el ancho de las ventanas, como se observa en la Figura 4.

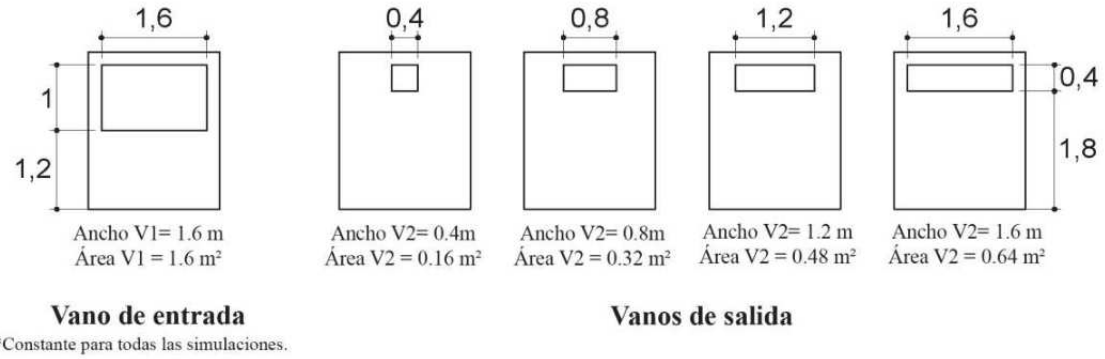

Figura 4 – A la izquierda se muestra un alzado del vano de entrada (V1) ubicado en la zona de ropas, y a la derecha, los alzados de las variaciones aplicadas al vano de salida (V2), ubicado en la cocina.

Por último, teniendo en cuenta que la dirección del viento varía constantemente, se decidió analizar dos direcciones con respecto a la fachada: 90° y 45°, obteniendo como resultado 48 combinaciones diferentes (6 alturas, 4 tipos de vanos, y 2 direcciones de viento).

3.2. Obtención y procesamiento de datos

Durante esta investigación se usó el software Autodesk CFD para realizar las simulaciones. Este es un programa utilizado principalmente por ingenieros, para predecir el comportamiento de líquidos y gases. El modelo del caso de estudio, se construyó con el software Revit de Autodesk, y fue exportado como un archivo SAT para la simulación. El túnel de viento se modeló dentro del programa CFD, utilizando las dimensiones recomendadas por Weerasuriya (2013).

Como se mencionó anteriormente, realizar una simulación CFD en donde pueda integrarse con precisión tanto variables de una escala urbana (contexto urbano y altura), como detalles del diseño arquitectónico (fachadas y modulación interior), es computacionalmente demandante, por lo que, al no tener las herramientas necesarias, se propuso simular un solo nivel de la torre, como se muestra en la Figura 5, ingresando diferentes datos de velocidad de viento, que se obtuvieron a partir de un perfil de velocidad teórico, en donde se tiene en cuenta la altura y la rugosidad del terreno. De esta manera, los valores de

entrada corresponden a datos de velocidad normal constante, con una magnitud que responde a la altura de cada variación; y presión constante (0 Pa), que se aplicó en la dirección opuesta al viento.

Es importante resaltar que, al no realizar la simulación con el modelo de la torre completa, ni con un contexto urbano más preciso, se simplifican efectos de turbulencia y ráfagas, bastante comunes alrededor de edificios en altura, que podrían afectar especialmente los resultados de los pisos inferiores (DANIELS, 1997). Sin embargo, los perfiles de velocidad para la corrección por altura, son una aproximación teórica para observar en qué medida la velocidad del viento cambia en correspondencia con la altura. Tener la posibilidad de simular estas variaciones en el interior de un módulo de vivienda con cambios en su fachada interior, es un primer acercamiento a datos cuantitativos, que permitan determinar el nivel de sensibilidad con que el área de un vano de salida, afecta la ventilación al interior de un apartamento, dependiendo de la altura a la que se encuentre; y, demostrar la importancia de prestar atención a esta variable, desde el diseño arquitectónico en las edificaciones en altura, que se ventilan de manera natural.

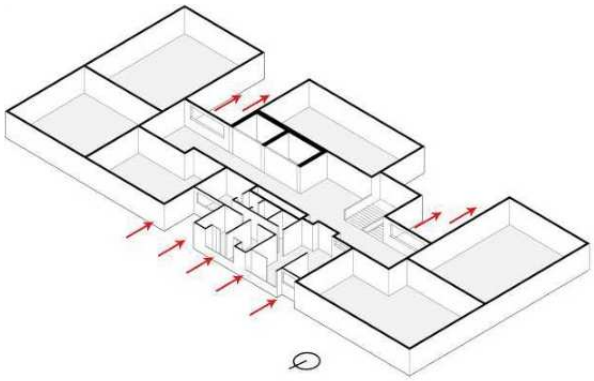

Figura 5 – Modelo 3D usado para las simulaciones CFD

Para la simulación de la ventilación al interior de los módulos de vivienda, se realizó la corrección de la velocidad del viento con relación a la altura (Ecuación 1), propuesta por Yarke (2005).

$$v(z) = v(z_0)\left[\frac{z}{z_0}\right]^{\alpha}$$

Ecuación 1

Donde:
v(z) es la velocidad del viento a una altura determinada z [m/s];
v(z0) es la velocidad de referencia [m/s];
z es la altura a la que se espera hallar la velocidad del viento [m];
z0 es la altura de referencia [m];
α exponente que depende de la rugosidad del terreno

En este caso se utilizó un coeficiente α de 0.45, que responde a un contexto urbano de alta densidad, y una velocidad de viento de referencia de 2.0 m/s, siendo esta la velocidad promedio en Medellín medida a 10 m sobre la superficie según el IDEAM (2020). Las velocidades resultantes con sus respectivas alturas se observan en la Figura 6.

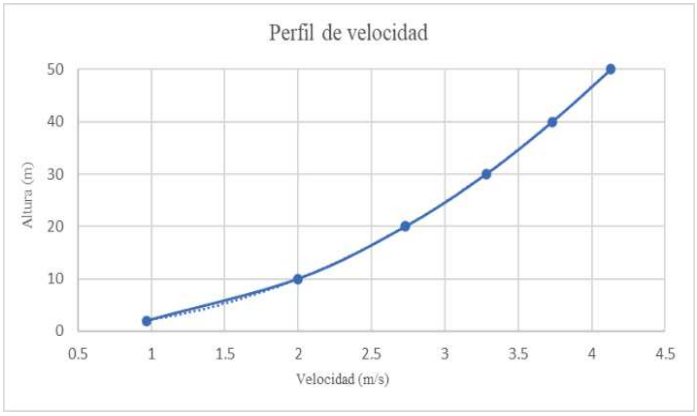

Figura 6 – Velocidad del viento simulada correspondiente a cada altura, a partir del perfil de velocidad de viento.

Ahora, a partir de las imágenes obtenidas de las simulaciones realizadas, se dibujaron polilíneas, como se muestra en la Figura 7, encerrando los siguientes 4 rangos de velocidades del viento al interior: x < 0.3m/s, 0.3m/s - 0.5m/s, 0.5m/s - 0.7m/s, 0.7m/s < x; y, utilizando la metodología ya mencionada, propuesta por García (2016), se dividió el área de cada polilínea por la superficie del espacio evaluado (31.86 m²), calculando así, los valores porcentuales del área correspondiente a cada rango de velocidad del viento (Tabla 1), y se repitió el proceso para cada una de las 48 combinaciones propuestas.

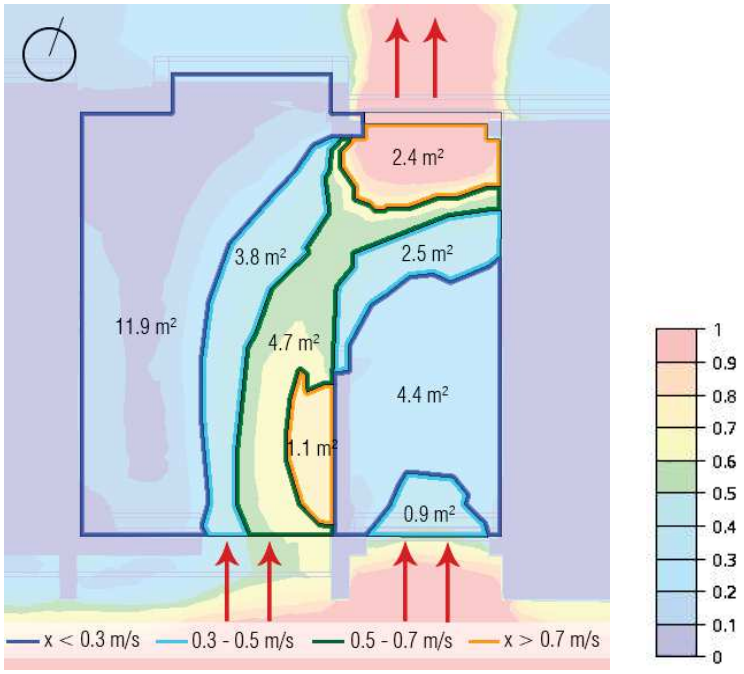

Figura 7 – Imagen extraída de Autodesk CFD. Muestra en el fondo una de las simulaciones que se realizaron (Altura 30m, vano de salida 1.6 m de ancho, viento 90°) a partir de un corte en planta. Y en primer plano, las polilíneas que se trazaron para medir el área ventilada, para cada uno de los 4 rangos de velocidades establecidos. A la derecha se muestra las convenciones para las velocidades de viento que se obtuvieron en la simulación en m/s.

Tabla 1. Ejemplo de cálculo del porcentaje de área ventilada para cada rango de velocidad.

Ancho del vano de salida 1.6 m - Altura 30 m - Viento 90°		
Rangos	**Área (m²)**	**% Área**
x < 0.3 m/s	16.32	51.22%
0.3 m/s - 0.5 m/s	7.25	22.76%
0.5 m/s - 0.7 m/s	4.77	14.97%
x > 0.7 m/s	3.52	11.05%
Área total	31.86 m²	100%

Desde la normativa nacional es muy poco lo que se habla de ventilación natural en espacios interiores de vivienda, y dentro de lo que se encontró, no se habla en términos de velocidad del viento; en esta, solo se establece una cantidad de renovaciones por hora mínima, enfocada principalmente en asegurar una aceptable calidad del aire al interior, dejando a un lado temas de confort y habitabilidad del usuario (ICONTEC, 2003). Calcular el porcentaje de área que se ventila de acuerdo a las velocidades del viento, permitió distinguir si el espacio estaba infra ventilado, sobre ventilado, o tenía una adecuada ventilación, para cada una de las alturas estudiadas, desde una perspectiva diferente a lo establecido en la norma. Velocidades muy bajas al interior (x<0.3 m/s), afectan de manera negativa el confort térmico de los usuarios, además de influir en la mala calidad del aire al interior por la concentración de elementos contaminantes. Por otro lado, el efecto opuesto, altas velocidades (x>0.6 m/s), afectan también los niveles de confort de los usuarios; el ruido fuerte del silbido del viento, la inestabilidad al colgar un cuadro, una lampara, o cualquier elemento decorativo que se ponga sobre una mesa, ráfagas de viento que generan un ambiente incomodo con bajas temperaturas, obligando al usuario a mantener su apartamento totalmente cerrado la mayor parte del tiempo.

A partir de esto, se estableció que un espacio estaba infra ventilado, cuando en la simulación se obtuvo menos del 20% del área total (31.86 m²), con velocidades por encima de los 0.3 m/s; y, por el contrario, que estaba sobre ventilado, cuando se encontró que la suma entre el porcentaje de área con velocidades por encima de los 0.7 m/s, y la mitad del porcentaje de área con velocidades entre los 0.5 m/s – 0.7 m/s, daba como resultado más del 15% del área total, como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Ejemplo de cálculo para determinar si el espacio está infra/sobre ventilado, o se encuentra en condiciones óptimas. Este proceso se hizo para las 48 variaciones estudiadas, determinando en qué condiciones de altura y dirección de viento, las dimensiones de vano eran suficientes para lograr una buena ventilación de la vivienda.

<table>
<tr><th colspan="6">Ancho de vano de salida 1.6 m - Altura 30 m - Viento 90°</th></tr>
<tr><td>Rangos</td><td>Área (m²)</td><td>% Área</td><td>Infra ventilación</td><td>Sobre ventilación</td><td rowspan="6">ESPACIO SOBRE VENTILADO</td></tr>
<tr><td>x < 0.3 m/s</td><td>16.32</td><td>51.22%</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>0.3 m/s - 0.5 m/s</td><td>7.25</td><td>22.76%</td><td rowspan="3">22.76% + 14.97% + 11.05% = 48.78%</td><td></td></tr>
<tr><td>0.5 m/s - 0.7 m/s</td><td>4.77</td><td>14.97%</td><td rowspan="2">(14.97%/2) + 11.05% = 18.44%</td></tr>
<tr><td>x > 0.7 m/s</td><td>3.52</td><td>11.05%</td></tr>
<tr><td>Área total</td><td>31.86 m²</td><td>100%</td><td>48.78% > 20%</td><td>18.44% > 15%</td></tr>
</table>

4. RESULTADOS

Como se observa en las Figuras 8 y 9, tanto en las simulaciones con el viento a 45° como a 90°, el apartamento ubicado a 2 m de altura, con las cuatro variaciones en el vano de salida, tiene solo entre el 0.5% y el 3% de su área total, con velocidades por encima de los 0.3 m/s. Resultados similares se observaron en las simulaciones realizadas para apartamentos a 10 m de altura, para los cuatro tipos de vanos, en las dos direcciones, solamente entre el 3% y el 15% del área ventilada contaba con velocidades por encima de los 0.3 m/s; con una excepción del vano de salida de ancho 1.6 m, dimensión máxima analizada, que cuando el viento se simuló con dirección de 90° con respecto a la fachada, el área ventilada con velocidades por encima de los 0.3 m/s aumentó a un 25%, considerando así, una ventilación optima

Es clara la diferencia que se percibe en la ventilación al interior, al tener una fachada que recibe el viento en dirección 45°, que con viento perpendicular; vanos de salida con un ancho menor o igual a 0.8 m resultaron insuficientes, incluso para los niveles superiores, cuando se simuló con viento a 45°, obteniendo así, resultados óptimos para esta dirección, solo por encima de los 20 m de altura usando un vano de 1.6 m de ancho, o por encima de los 30 m, con vanos de ancho mayor a 1.2 m; mientras que, cuando la dirección de viento que predomina es 90°, los vanos con un ancho mayor o igual a 0.8 m, parecen ser suficientes para ventilar apartamentos ubicados a partir de los 20 m de altura.

Finalmente, se observa que un vano de salida de un ancho tan pequeño como lo es 0.4 m, solo resulta efectivo para alturas mayores a 40 m, cuando la dirección del viento es perpendicular a la fachada.

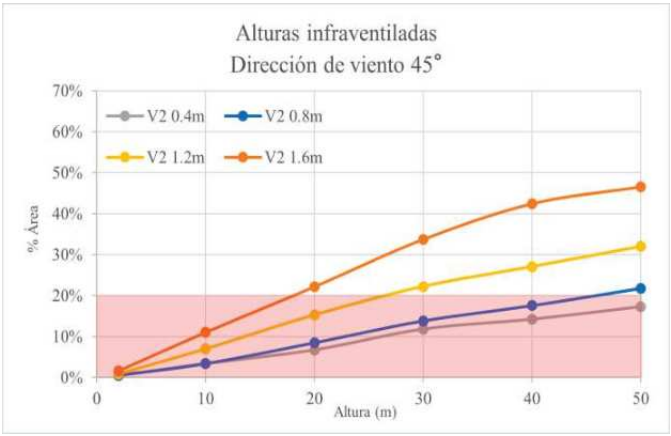

Figura 8 – Porcentaje de área ventilada interior con velocidad de viento x > 0.3 m/s, relacionada con la altura, para cada tipo de vano, cuando se simula con dirección de viento 45° con respecto a la fachada. Se señala con rojo los puntos que están por debajo del 20%, y se refieren a espacios con una ventilación deficiente.

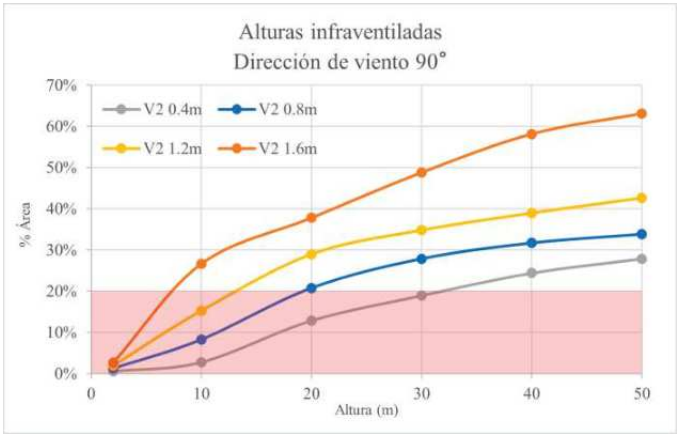

Figura 9 – Porcentaje de área ventilada interior con velocidad de viento x > 0.3 m/s, relacionada con la altura, para cada tipo de vano, cuando se simula con dirección de viento 90° con respecto a la fachada. Se señala con rojo los puntos que están por debajo del 20%, y se refieren a espacios con una ventilación deficiente.

Por otro lado, al graficar los porcentajes de áreas ventiladas con velocidades por encima de los 0.6 m/s, como se muestra en las Figuras 10 y 11, se observó que; cuando se simularon los 4 vanos para las diferentes alturas, con dirección de viento 45°, este porcentaje de área ventilada no superó el 15% del área total para ninguno de los casos, por lo que, con esta dirección, ninguno de los espacios resultaría sobre ventilado. Mientras que, cuando se realizaron las simulaciones con dirección 90°, se encontró que usar el vano de 1.6 m de ancho, implicaba sobre ventilar el espacio del módulo de vivienda, cuando estaba en un nivel igual o superior a los 30 m; y que para los niveles superiores (50 m) resultaba excesivo usar, inclusive, vanos de 1.2 m, por lo que el ancho máximo aceptable para estos niveles era 0.8 m, con el que se lograba un porcentaje de área ventilada, con velocidades mayores a 0.6 m/s, del 10%.

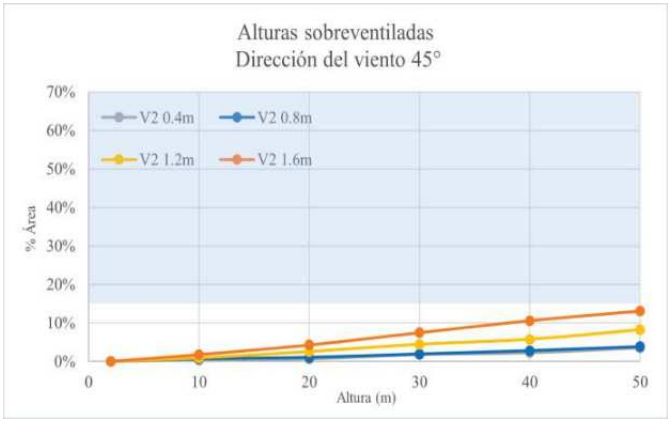

Figura 10 – Porcentaje de área ventilada interior con velocidad de viento 0.6 m/s< x, relacionada con la altura, para cada tipo de vano, cuando se simula con una dirección de viento de 45° con respecto a la fachada. Se señala con azul los puntos que están por encima del 15%, y se refieren a espacios sobre ventilados.

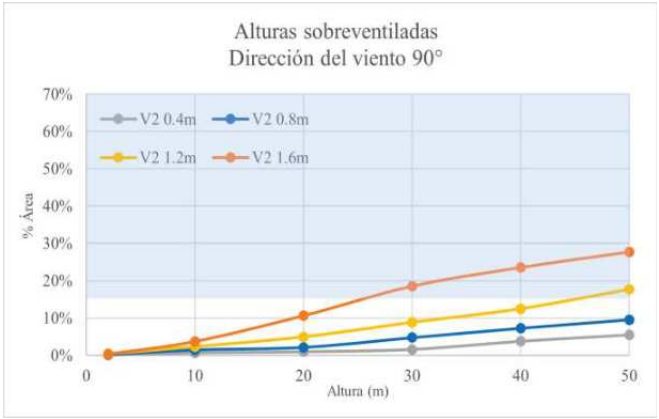

Figura 11 – Porcentaje de área ventilada interior con velocidad de viento 0.6 m/s< x, relacionada con la altura, para cada tipo de vano, cuando se simula con una dirección de viento de 90° con respecto a la fachada. Se señala con azul los puntos que están por encima del 15%, y se refieren a espacios sobre ventilados.

Asimismo, se establecieron los rangos de dimensiones optimas para los vanos de salida de los apartamentos en las diferentes alturas, para las dos direcciones de viento, como se observa en la Figura 12, a partir de los resultados presentados en los gráficos anteriores (Figuras 8, 9, 10, y 11). En primer lugar, se observó que, para los niveles inferiores a 10 m, es necesario buscar una solución alternativa, probablemente desde la fachada exterior, pues modificar las dimensiones del vano de salida, no parece ser suficiente para lograr una ventilación optima al interior, teniendo en cuenta las restricciones de registro visual que tiene un vano de servicio, lo que impide aumentar su área por encima de las dimensiones ya estudiadas.

Se resalta además la clara diferencia entre el área mínima necesaria de ventilación, en los pisos inferiores y en los superiores, principalmente cuando el viento tiene una dirección de 90° con respecto a la fachada. Para un apartamento por encima de los 40 m, se necesitaría solo un 25% del área de ventilación mínima usada para un apartamento ubicado a 10 m de altura, y entre los 20 m y 30 m, se requeriría solo el 50% del área de esta ventana. Caso similar, pero con diferencias menos marcadas, cuando se simula con dirección 45°, en donde apartamentos entre los 30 y 40 m necesitarían un área mínima de ventilación del 75% del área usada en apartamentos a 20 m, y en los niveles superiores (50 m) se requeriría solo el 50%.

Finalmente, vale la pena mencionar, que utilizar el ancho máximo para el vano de servicio en todos los niveles, tampoco parece ser la solución acertada, pues el área máxima de ventilación en los pisos superiores debe ser del 50% para evitar sobre ventilar los espacios, inclusive, desde los 30 m de altura, usar vanos de salida del ancho total del muro podría llevar a tener grandes porcentajes de altas velocidades de viento al interior. Sin embargo, esta situación solo se observa con la dirección del viento perpendicular a la fachada; con dirección 45° usar el área máxima del vano en cualquiera de las alturas, no implica sobre ventilación, pero como se mencionó anteriormente, sigue siendo insuficiente para apartamentos por debajo de los 20 m de altura.

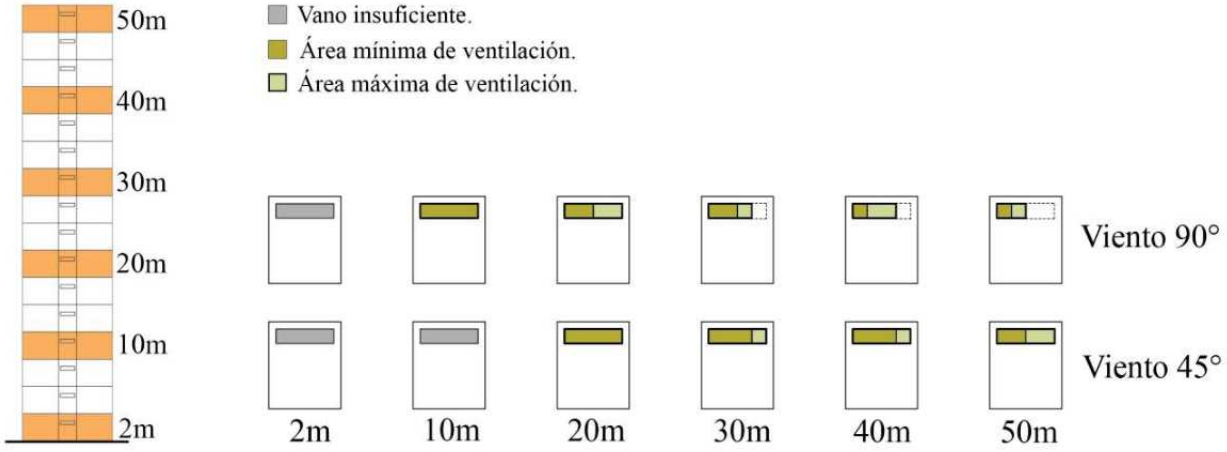

Figura 12 – A la izquierda se presenta un esquema con las alturas evaluadas. La otra parte del gráfico, corresponde a las dimensiones de vanos que se encontraron optimas para cada altura y dirección de viento, marcando el área mínima y máxima de apertura que debe tener la ventana, para evitar la infra/sobre ventilación del módulo de vivienda. Y, teniendo en cuenta que el ancho máximo que permite el muro donde está ubicado el vano evaluado es de 1.60 m, se señalaron con gris aquellas condiciones en las que ni siquiera el ancho máximo de ventana fue suficiente.

5. CONCLUSIONES

Para torres de vivienda con un sistema de circulación de punto fijo central y corredor, ventilación natural cruzada a partir de un vano de servicio (dintel fijo a 1.8 m), y con las condiciones de viento encontradas en la ciudad de Medellín; se identificó que una ventana de servicio ubicada en un apartamento a 10 m de altura, debe ser 4 veces más grande, que la misma, ubicada por encima de los 40 m, principalmente cuando la dirección del viento que predomina es perpendicular a la fachada. Para pisos por encima de los 30 m, no se recomienda usar vanos de salida con áreas por encima de los 0.32 m², pues podría provocar que entre el 20% y el 30% del área interior se ventile con velocidades más altas de 0.6 m/s, causando un efecto de sobre ventilación al interior. Asimismo, se advierte que este sistema de ventilación cruzada a través de vanos de servicio, y ventanas de dimensiones típicas en la fachada exterior, resulta insuficiente para apartamentos ubicados por debajo de los 10 m, pues más del 85% del área total interior se ventila con velocidades por debajo de los 0.3 m/s, por lo que se vuelve necesario estudiar estos primeros niveles con más detalle, con el fin de buscar una alternativa desde el cambio de dimensión, proporción, o posición de los vanos ubicados en la fachada exterior, que pueda lograr niveles de ventilación óptimos al interior de estos apartamentos.

A pesar de la simplificación de algunas variables del contexto que podrían tener efecto sobre el viento en el desarrollo de la simulación, se logró demostrar la necesidad de un diseño diferencial que responda a la altura, para las fachadas interiores y exteriores de las torres de vivienda. Sin embargo, se reconoce que la posibilidad de simular la torre completa con un contexto urbano más detallado en futuras investigaciones, podría mejorar la precisión de los resultados obtenidos en este trabajo, aportando datos sobre los efectos de turbulencia y ráfagas que se generan cerca del suelo y en la parte superior de los edificios en altura, y su influencia en las velocidades de viento al interior de cada nivel.

Tener un sistema de vanos que desde su instalación permita establecer un rango de apertura fijo, que varíe según el nivel donde se encuentre el apartamento, parece ser una solución más acertada, pues permitiría al usuario escoger cuánto abrir su ventana, pero siempre dentro de un rango que asegure niveles óptimos de ventilación al interior. Sin embargo, se reconoce la existencia de casos en los que el diseño del vano solo le ofrece dos opciones al usuario, apertura o cierre total. En estos casos, no sería posible determinar rangos óptimos de apertura, pues ante eventos como ráfagas o lluvias, el usuario solo tendría la opción de cerrar completamente la ventana. Se recomienda para próximas investigaciones, considerar la aparición de estos eventos; y, precisar el diseño de la ventana, o incluirlo como una variable adicional.

Finalmente, tener la posibilidad de hacer un análisis de ventilación para un espacio interior combinando variables tanto del diseño arquitectónico (fachada), como del contexto urbano (altura), permite obtener resultados más acertados y precisos, acercándose a la realidad del comportamiento del viento frente a una edificación y su interior. Simplificar variables como la altura, puede llevar a la estandarización de las fachadas, beneficiando solo a unos cuantos niveles dentro de la torre, y afectando a otros gravemente. Esta metodología, se considera un primer paso para demostrar, este efecto, y la necesidad de trabajar en otros métodos, que permitan estudiar esta variable en otras escalas además de la urbana.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BAKER, W., DEVIN, A., LOMBARDO, F., MOORJANI, R., RAY, S., YOUNG, B. Influence of vented floors on the across-wind response of tall buildings. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 209, 104480. 2021.

DAEMEI, A. O. Study on Vernacular Architecture Patterns to Improve Natural Ventilation Estimating in Humid Subtropical Climate. Civil Engineering Journal, Vol. (4) No. 9, 2097-2110. 2018.

DANIELS, K. The technology of ecological building: basic principles and measures, examples and ideas: Alemania Birkhauser. 1997.

GARCÍA, A. A. Evaluación de la incursión del viento y la iluminación a través de los vanos en aulas de jardines infantiles en Medellín, Colombia. Arquitectura y Urbanismo, Vol. (XXXVII). 2016.

GARCÍA, A. A. Evaluación integrada de iluminación natural, ventilación y ruido en tres aulas infantiles de Medellín, Colombia. MACDES 2018. Quinto Congreso Internacional en Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable. Habana, Cuba. 2018.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). NTC 5138: Ventilación para una calidad de aire aceptable en espacios interiores. (s.f).

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Atlas de Viento de Colombia. Recuperado en noviembre de 2020, de: http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html

JÓŹWIAK, R., KACPRZYK, J, ŻURAŃSKI, J.A. Influence of wind direction on natural ventilation of apartment buildings. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol 60. 167-176. 1996.

MEISS, A.; PADILLA-MARCOS, M. A.; FEIJÓ-MUÑOZ, J. Methodology Applied to the Evaluation of Natural Ventilation in Residential Building Retrofits: A Case Study. Energies, 10, 456. 2017.

QINGSHAN, Y., TAMURA, Y., YOSHIDA, A., XU, X. Characteristics of pedestrian-level wind around super-tall buildings with various configurations. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 166. 61-73. 2017

RINCÓN, J. L. (2019). Incidencia del porcentaje de abertura de las ventanas en la ventilación natural y el ruido de fondo en tres tipos diferentes de aulas de básica primaria en Medellín, Colombia. Recuperado de http://bibliotecadigital.usb.edu.co.

WEERASURIYA, A. U. Computational Fluid Dynamic (CFD) Simulation of Flow around Tall Buildings. ENGINEER, Vol. (XXXXVI), No. 03. 43-54. 2013.

YARKE, E. Ventilación natural de edificios Fundamentos y Métodos de Cálculo para aplicación de Ingenieros y Arquitectos. Buenos Aires, Argentina: Nobuko. 2005.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los profesores Jorge Hernán Salazar Trujillo y Lucas Arango Díaz, por el apoyo y el acompañamiento constante durante el proceso de la investigación.