XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Processamento conjunto da velocidade e direção do vento para melhorar a representatividade da análise CFD

Procesamiento conjunto de velocidad y dirección del viento para mejorar representatividad de análisis CFD

Joint processing of wind speed and wind direction to improve the representativeness of CFD analysis

Clima y planeamiento urbano

María Alejandra Orozco Sosa

Estudiante de arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, morozcoso@unal.edu.co

Jorge Hernán Salazar Trujillo

Msc. Profesor Titular, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, jhsalaza@unal.edu.co

Resumo

Para simulações CFD de ventilação natural, são utilizados valores de velocidade e direção do vento, comumente obtidos de arquivos EPW, que apresentam uma simplificação para fornecer um valor por hora e assumem que um único ponto no solo é representativo de toda a cidade. Este estudo visa melhorar a caracterização do vento usando dados de uma estação meteorológica local. Os registros de velocidade e direção do vento foram processados juntos, classificando-os por ano, mês e hora. Utilizando a exploração gráfica, foram identificados os valores mais frequentes em cada período de tempo. Os resultados mostram que o vento tem linhas predominantes que se repetem ao longo do tempo. Essas informações permitem que os valores de entrada para CFD sejam selecionados com mais precisão, representando melhor as condições reais do vento no local do estudo.

Palavras chave: Velocidade do vento, Direção do vento, Intervalos, Representatividade.

Resumen

Para simulaciones CFD de ventilación natural, se usan valores de velocidad y dirección del viento, comúnmente obtenidos de archivos EPW, estos presentan una simplificación significativa al ofrecer un valor por hora y asumir que un solo punto es representativo de toda una ciudad. Este estudio tiene como objetivo mejorar la caracterización del viento mediante el uso de datos de una estación meteorológica local. Se procesaron conjuntamente registros de velocidad y dirección del viento, clasificándolos por año, meses y horario. A través de una exploración gráfica se identificaron los valores más frecuentes en cada franja horaria. Los resultados muestran que el viento presenta rangos predominantes que se repiten a lo largo del tiempo. Esta información permite seleccionar con mayor precisión valores de entrada para CFD, representando mejor las condiciones reales del viento en el sitio de estudio.

Palabras clave: Velocidad del viento, Dirección del viento, Intervalos, Representatividad.

Abstract

For CFD simulations of natural ventilation, wind speed and direction values, commonly obtained from EPW files, are used. These are significantly simplified to provide hourly values and assume a single ground point is representative of the entire city. This study aims to improve wind characterization by using data from a local meteorological station. Wind speed and direction records were jointly processed, categorized by year, month, and hour. Using graphical exploration, the most frequent values for each hourly period were identified. The results show that the wind has predominant lines that repeat over time. This information allows for more accurate selection of input values for CFD, better representing actual wind conditions at the study site.

Keywords: Wind speed, Wind direction, Intervals, Representativeness.

Introducción

En muchos lugares el viento se caracteriza por presentar una alta variabilidad, lo que complejiza el estudio de la ventilación natural en edificaciones. Idealmente los análisis se hacen en escalas progresivamente decrecientes ya que cada escala influye en las condiciones de contorno de la siguiente. Regularmente el viento se mide en las pistas de los aeropuertos cercanos, pero su velocidad y dirección cambia mucho al interactuar con la trama urbana porque la dirección de las vías, su ancho, el índice de construcción, la altura de las edificaciones, la eventual presencia o no de medianerías y vegetación da lugar a condiciones de viento locales no necesariamente correspondientes con las que se publican en los archivos climáticos oficiales.

Las simulaciones CFD son una herramienta de gran utilidad para realizar análisis de desempeño de la ventilación natural en el urbanismo y la arquitectura ya que permiten visualizar con gran detalle los flujos de aire dentro y alrededor de un edificio bajo diversas condiciones climáticas y escenarios de diseño (Blocken, 2015). Estas simulaciones operan a partir de modelos tridimensionales que pueden llegar a ser muy detallados, pero con dos únicos datos acerca del viento: dirección y velocidad. Es frecuente que en trabajos (Molina, 2022) se utilicen como datos de entrada una sola dirección y velocidad de viento: los promedios anuales, sin embargo, son promedios de dos variables diferentes y nada permite asegurar que ambas se presenten en el mismo instante.

Las herramientas computacionales para el análisis de la ventilación natural han experimentado un acelerado desarrollo, refinando los análisis de ventilación en edificaciones, pero las herramientas con las que se analiza el viento no son objeto de un refinamiento similar. Este enfoque simplificado responde a las altas demandas computacionales de un paquete de simulaciones en CFD, siendo poco práctico calcular métricas dinámicas de ventilación natural; y se opta por seleccionar valores considerados representativos del comportamiento del viento en un lugar (Maklad, 2014) (Liu, 2025). Para elevar la representatividad de un estudio de ventilación hace falta un acercamiento más detallado acerca del viento a diferentes franjas horarias y en diferentes temporadas del año con el propósito de considerar de esta forma una variabilidad que siempre se anuncia, pero que rara vez se aborda.

La velocidad y dirección del viento que se utilizan como variables de entrada para una simulación comúnmente provienen de archivos tipo EPW en los que se mezclan registros de diferentes años lo que podría generar inconsistencias en los valores impidiendo identificar el comportamiento representativo anual (Zeng, 2025) (Ma'bdeh, 2025). Lugares como Medellín requieren una aproximación más detallada, en la ciudad las condiciones de viento varían significativamente entre años: durante el año niño predominan días secos y soleados con viento del norte; durante años niña, los días suelen ser fríos, lluviosos y con poco o nulo viento, a veces desde el sur. Ante condiciones de valle profundo el tema se complejiza porque los vientos anabáticos y catabáticos se alternan diariamente y el viento tiene horario, regularmente con direcciones contrarias según la hora del día. Un archivo climático estándar ofrece una resolución temporal insuficiente para estudiar un fenómeno con una variabilidad tan alta como la del viento.

Este trabajo aprovecha la existencia de una red de monitoreo ambiental en la ciudad de Medellín, operada por el Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA, 2025), que registra minuto a minuto las condiciones meteorológicas. Las estaciones están distribuidas en sectores distintos al del aeropuerto, y sus datos —de acceso público en línea— acumulan más de diez años de mediciones, sin embargo, hasta el momento poco se aprovechan para el diseño arquitectónico de la ciudad. Su integración en el diseño representa una oportunidad valiosa, ya que la amplia distribución de estaciones permitiría conocer el nivel de representatividad de una pareja de datos de dirección y velocidad de viento para diferentes sectores y utilizar estos datos como una fuente más confiable para las simulaciones.

Objetivo

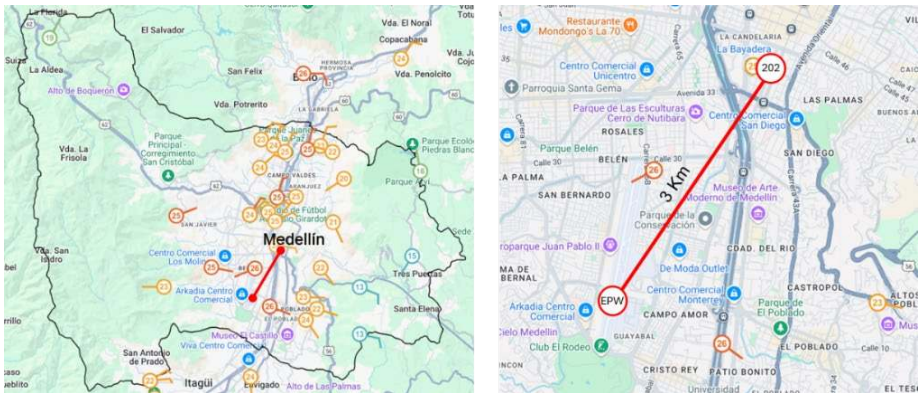
Caracterizar el comportamiento del viento mediante el análisis conjunto de registros históricos de velocidad y dirección, clasificados en intervalos definidos, para seleccionar valores representativos como datos de entrada en simulaciones CFD.

Metodología

Para este estudio, se utilizaron los datos del SIATA de velocidad y dirección del viento registrados en la estación 202 AMVA ubicada en el centro de la ciudad. Se descargó la base de datos de los años 2021, 2022, 2023 y 2024, con registros minuto a minuto desde las 00:00:00 hasta las

23:59:00. La elección de La estación 202 AMVA se debe a su proximidad al aeropuerto, donde se ubica la estación utilizada para construir el archivo climático EPW de la ciudad de Medellín. Esta cercanía permitió realizar una comparación de los datos medidos por ambas estaciones (Figura 1).

Figura 1: Izquierda: Ubicación estaciones de medición del SIATA en el área metropolitana. Derecha: Distancia entre la estación 202 AMVA y estación del aeropuerto.



Fuente: SIATA, 2025.

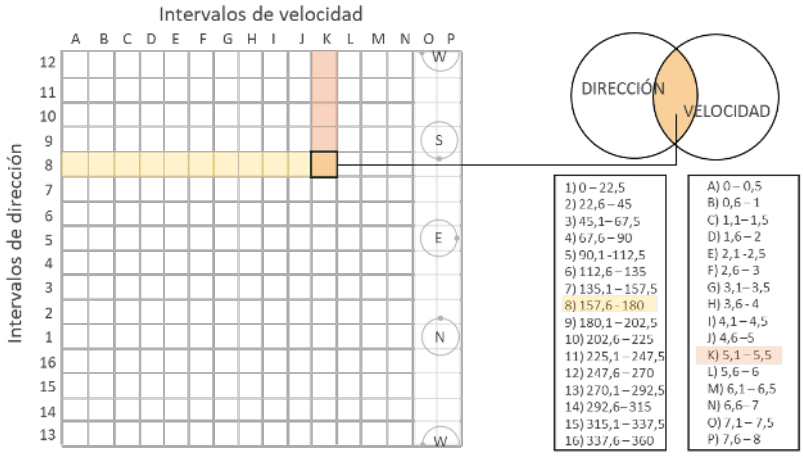
El procesamiento tradicional de los registros de viento suele realizarse de manera separada para la velocidad y la dirección, obteniendo el promedio de cada variable y estos valores son los utilizados en los análisis. Este enfoque no garantiza que la velocidad y la dirección seleccionadas ocurran simultáneamente, lo que puede afectar posteriormente la representatividad de los resultados. Se propone un refinamiento en el procesamiento de los datos de viento mediante la creación de grupos representativos que asocien conjuntamente la velocidad y la dirección, asegurando que el par de valores de velocidad y dirección utilizados en los análisis correspondan al mismo instante de medición.

El procesamiento de datos se realizó en Rhinoceros 3D, con la plataforma de programación visual Grasshopper, esta herramienta no suele utilizarse para el procesamiento de listas, sin embargo, presenta grandes ventajas al permitir trabajar con bases de datos de gran tamaño y realizar tareas de clasificación y procesamiento de los registros climáticos a partir de la redacción de un algoritmo.

El algoritmo, construye una matriz que agrupa los datos de viento según su velocidad y dirección. Para esto se establecieron intervalos para cada variable con el fin de clasificar los datos en grupos. Para la dirección del viento, se crearon 16 grupos numerados del 1 al 16, con intervalos de 22° cada uno, cubriendo así los 360°. El mismo procedimiento se aplicó a la velocidad del viento, generando 16 grupos identificados con las letras de la A a la P. En este caso, los intervalos aumentan en 0,5 m/s, abarcando un rango de 0 m/s a 8 m/s. (Figura 2).

Una vez definidos estos intervalos, el algoritmo recibe dos listas de datos: una de velocidad y otra de dirección del viento, cada una con un total de 525.600 registros correspondientes a un año completo. Se aplicó un chequeo cruzado en las listas de datos: primero, cada dato de dirección pasa por un filtro para determinar su condición de pertenencia a uno de los 16 intervalos; luego, se realiza el mismo procedimiento con los grupos de velocidad. Cuando un dato coincide en ambos intervalos, queda clasificado dentro de la intersección correspondiente. De esta manera quedan distribuidos todos los datos, cada dato corresponde a un instante, de esta manera cada grupo representa la condición de viento en x cantidad de instantes.

Figura 2: Proceso metodológico de creación de grupos representativos de velocidad y dirección del viento. En la retícula las ordenadas se encuentran organizadas en función del viento de Medellín.



Fuente: Autoría propia, 2025.

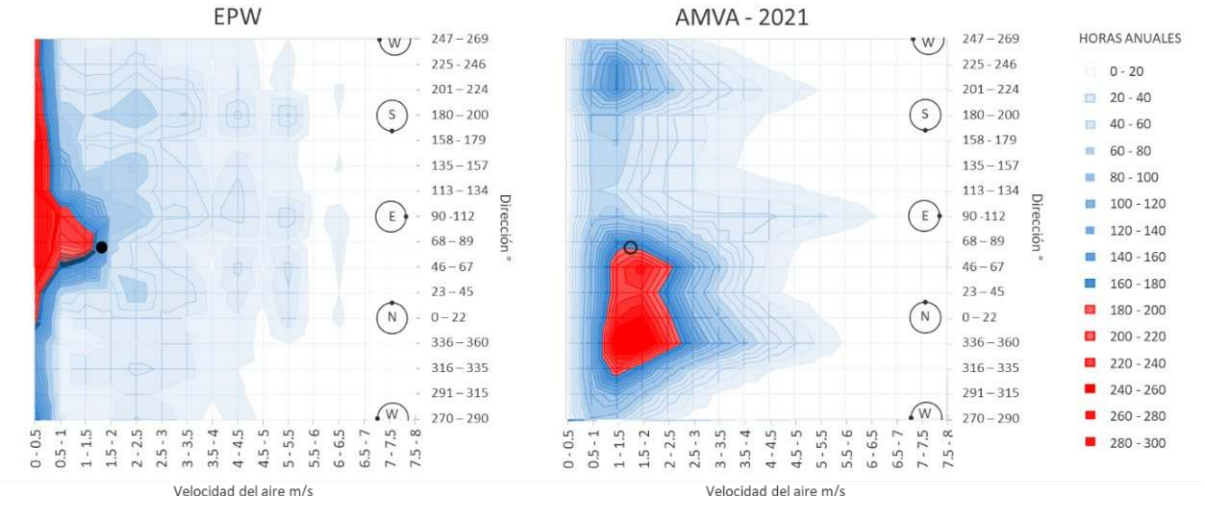
Los resultados se representaron por medio de un gráfico de superficie, en donde las franjas de color representan los rangos de frecuencia anual de viento, los grupos con mayor cantidad de datos se representan en rojo, los grupos con valores ubicados por el percentil 50 se representaron en la gama de azules y por debajo del percentil 10 en blanco.

En primer lugar, se comparó el archivo EPW de One Building, construido con datos TMY de los años 2007-2021 de Medellín, con los registros de la estación AMVA correspondientes al año 2021. Posteriormente se llevó a cabo un análisis decreciente con datos anuales, mensuales y horarios, para identificar la variabilidad del viento a lo largo del tiempo utilizando los registros históricos disponibles.

Resultados y discusión

La comparación entre el archivo EPW y los datos de la estación AMVA del año 2021 evidencia discrepancias notorias en los grupos representativos del viento, los cuales no coinciden en ambos gráficos. Se observa una diferencia significativa en las direcciones más frecuentes, y las velocidades del EPW son notablemente más bajas. Además, en el archivo EPW no se registra la presencia de ráfagas. Es importante considerar que los datos de los archivos EPW son modificados: las ráfagas son eliminadas de entrada y las mediciones provienen de pistas de aeropuertos, entornos abiertos sin edificaciones ni variaciones topográficas. Este contexto es poco representativo en comparación con la estación AMVA, que se encuentra en un entorno edificado con condiciones urbanas reales. (Figura 3)

Figura 3: Comparación archivos climáticos EPW - AMVA 2021. Se señala el valor medio de velocidad con la dirección más frecuente según el EPW para la ciudad de Medellín

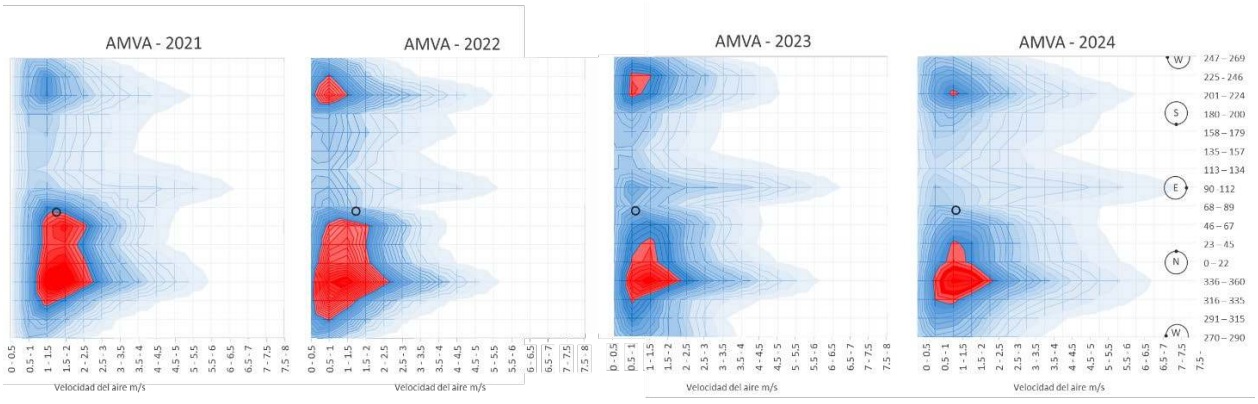


Fuente: Autoría propia, 2025.

Dado que los valores de velocidad y dirección del viento utilizados en simulaciones CFD suelen obtenerse de archivos EPW, es común emplear la velocidad media y la dirección más frecuente como condiciones representativas. Este procedimiento fue aplicado y se indicó con un punto negro en el gráfico (Figura 3). Sin embargo, los resultados muestran que la combinación derivada del archivo EPW (1,7 m/s, 68°) no representa con precisión los registros reales. En efecto, los datos más frecuentes corresponden a velocidades entre 0 y 1,5 m/s, lo que evidencia que el valor promedio calculado se ubica en una región del gráfico donde esta combinación específica ocurrió muy pocas veces. Esta discrepancia limita su utilidad para un análisis detallado del comportamiento del viento en entornos reales.

Al realizar las comparaciones anuales (Figura 4) se identifica la presencia de grupos representativos bien definidos que mantienen consistencia cada año, destacándose la dirección norte con velocidades entre 1 y 2 m/s. En 2021, se identificaron dos rangos de frecuencia significativos, y fue el año en el que los valores se aproximaron más a los promedios comúnmente utilizados. En contraste, durante 2022 y 2023, hubo un aumento en la presencia de vientos provenientes del este, sin embargo, no alcanzan una frecuencia suficiente para ser considerados representativos. En 2023 y 2024, la dirección norte mostró una ocurrencia más definida, a diferencia de 2021 y 2022, donde presentó una mayor variabilidad, abarcando un rango desde el noreste hasta el noroeste. Esto hizo necesario considerar más combinaciones de valores para representar adecuadamente la variabilidad del viento en estos años.

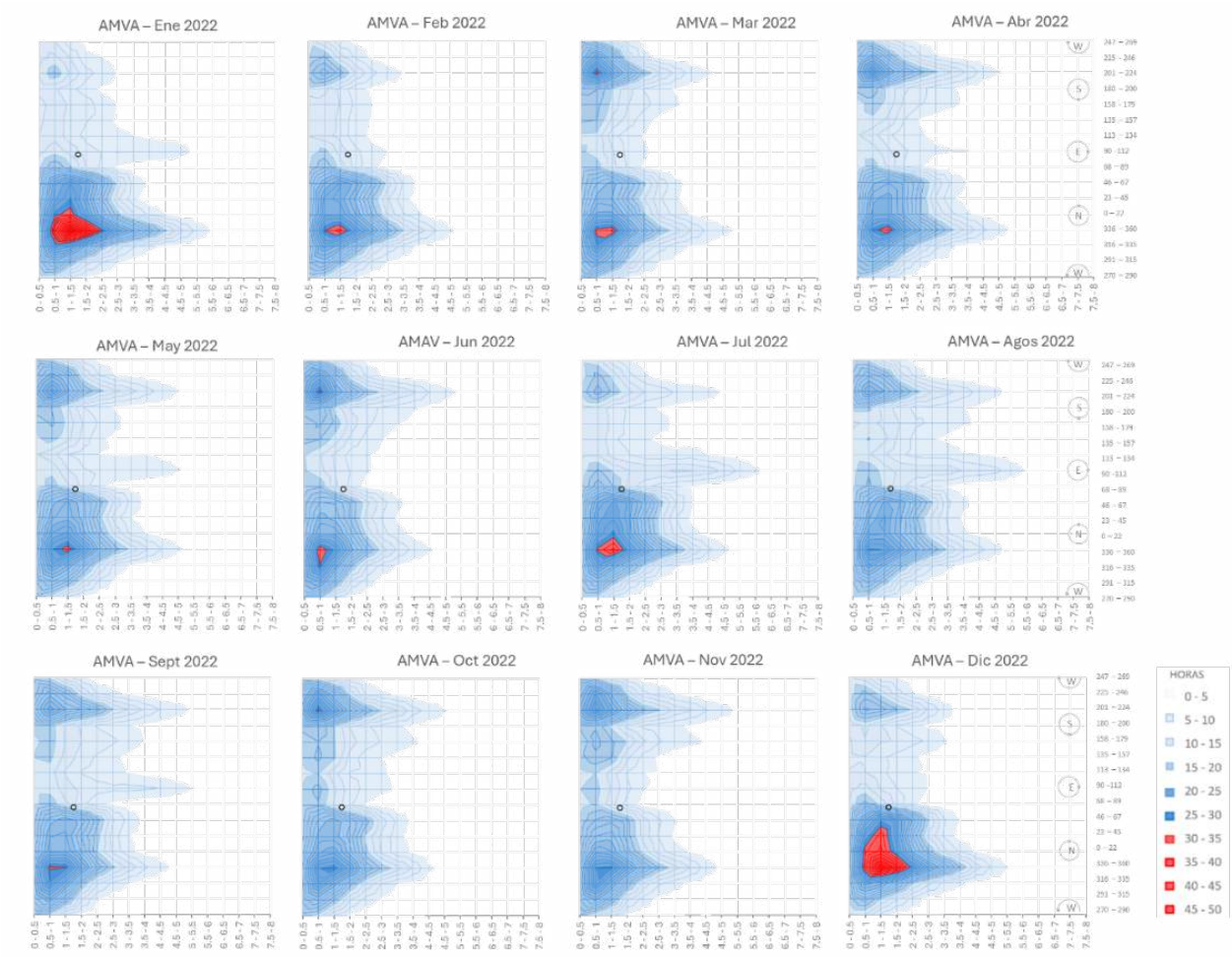
Figura 4: Comparaciones anuales estación AMVA. El circulo negro hace referencia al valor de velocidad, con la dirección más frecuente según el EPW para la ciudad de Medellín



Fuente: Autoría propia, 2025.

La comparación mensual para el año 2022 (Figura 5) confirma que el viento sigue patrones temporales definidos a lo largo del año. Se identifican direcciones predominantes del norte y suroeste, que se mantienen constantes en la mayoría de los meses. En julio, agosto y septiembre, se observa un aumento en los vientos provenientes del este; sin embargo, su frecuencia no es lo suficientemente significativa como para considerarse representativa. Por otro lado, en enero y diciembre, la dirección norte es notablemente más frecuente en comparación con el resto del año. En los demás meses, el viento muestra una mayor variabilidad direccional, con datos distribuidos entre el noroeste y el noreste.

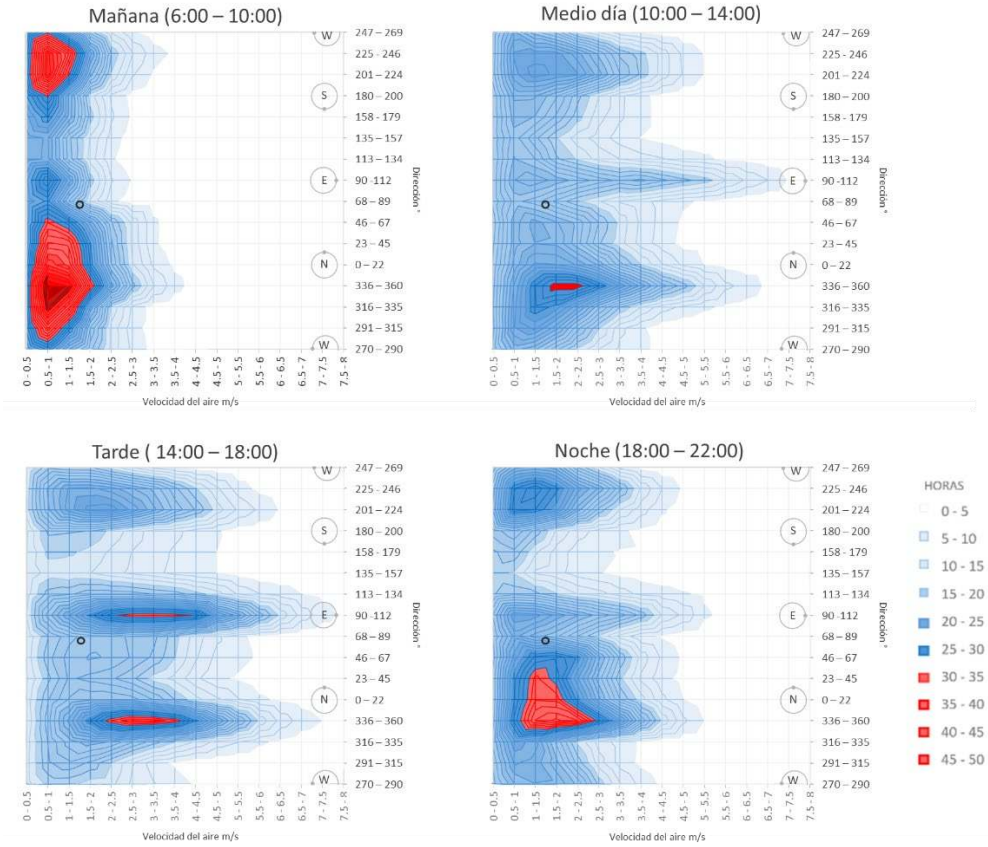
Figura 5: Clasificación mensual para la estación AMVA en el año 2022.



Fuente: Autoría propia, 2025.

Por último, la comparación por franjas horarias para el año 2023 (Figura 6) revela que, entre las distintas clasificaciones utilizadas para analizar el comportamiento del viento, la clasificación horaria muestra la mayor variabilidad. Esto confirma que el viento es un fenómeno con patrones específicos a lo largo del día. En Medellín, las mañanas se caracterizan por condiciones de viento en calma. A partir del mediodía y en las tardes, los vientos provenientes del este se intensifican. Durante la tarde, el viento presenta su mayor variabilidad, con tres direcciones predominantes y las velocidades más altas del día. Finalmente, en la noche, el viento del este disminuye y vuelve a predominar la dirección norte

Figura 6: Clasificación horaria estación AMVA - 2023. Los datos de 22:00 a 5:00 se filtraron para la organización de las franjas horarias, dado que en la ciudad de Medellín no ventéa en las noches y madrugadas



Fuente: Autoría propia, 2025.

Conclusiones

Realizar simulaciones CFD para cada uno de los 525.600 instantes del año resulta poco práctico debido a la enorme demanda computacional que implicaría. No obstante, reducir el análisis a una única simulación basada en la velocidad media y la dirección más frecuente representa una simplificación excesiva y poco realista. En respuesta, el método propuesto permite identificar condiciones representativas del viento para un sitio específico, ofreciendo una alternativa eficiente para estudios en contextos donde los patrones de viento se mantienen relativamente estables a lo largo del año. Esto resulta especialmente valioso en la Zona Ecuatorial, donde la ausencia de grandes cambios estacionales favorece una caracterización más consistente del viento.

El método propuesto en este trabajo asegura que las variables de dirección y velocidad del viento sean procesadas de manera conjunta, generando pares de valores que corresponden al mismo instante de medición. Esta asociación evita asociaciones erróneas entre las variables y aumenta la representatividad de las condiciones reales en los análisis de ventilación. Además, se demostró que el uso del par promedio derivado de archivos EPW aplana la variabilidad natural del viento y resulta insuficiente para caracterizar con precisión su comportamiento en el entorno urbano de Medellín y muy posiblemente también en otras localidades ubicadas en el Trópico Andino.

La resolución temporal proporcionada por las redes meteorológicas rara vez se aprovecha en el análisis de la ventilación natural. Cuando se dispone de registros de estaciones meteorológicas, estos resultan más confiables que un archivo EPW para dicho análisis. Sin embargo, es necesario complementarlos con simulaciones CFD, ya que solo estas permiten analizar cómo el viento interactúa con la morfología urbana. La combinación de registros locales de alta resolución con simulaciones CFD representa una estrategia más robusta para evaluar el comportamiento del viento en entornos construidos.

Referencias

Blocken, Bert. Computational Fluid Dynamics for urban physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations. **Building and Environment**, Vol 91, 2015. pp 219-245.

Molina, L. Orozco, MJ. Orozco, MA. Salazar, J. Windows design to improve natural ventilation performance including climate based metrics and human fator analysis. En: **CONFERENCIA INTERNACIONAL PLEA – WILL CITIES SURVIVE?**, 36., 2022, Santiago.

Maklad, Y.Generation of an annual typical meteorological wind speed for armidale NSW, Australia, **IOSR J**. Eng. 4, 2014, pp 9–14.

Liu, Rui. Wang, Yuxiang. Zhang, Yu. Peng, Zhixing. Chen, Hankai. Li, Xiang. Li, Hang, Li, Weiyue. Analysis of the city-scale wind environment and detection of ventilation corridors in high-density Metropolitan areas based on CFD method, **Urban Climate**, Vol 59, 2025.

Zeng, Zhaoyun. Stackhouse, Paul. Kim,Ji-Hyun (Jeannie). Muehleisen, Ralph T.. Development of typical solar years and typical wind years for efficient assessment of renewable energy systems across the U.S., **Applied Energy**, Vol 377, Part D, 2025.

Ma'bdeh, Shouib Nouh. Hamasha, Asia Ali. Al-Shawabkeh, Majd. Alali, Razan Omar. Almomani, Rahaf Mohammad. Obeidat, Laith M. Alrebei, Odi Fawwaz. Enhancing office air quality: The role of window to wall ratio with window-wind catchers using CFD analysis. **Energy Reports**, Vol 13, 2025, pp1508-1524.

SIATA. Sistema de Alerta Temprana del valle de Aburrá [online]. 2025 [accessed. 2025-01-20]. Available at: https://siata.gov.co/siata_nuevo/