

Simulación numérica del comportamiento de las corrientes de aire para el aprovechamiento de aire en la Universidad de América.

G. S. Arciniegas Jiménez, R. F. Sánchez Bonilla

Resumen

En este artículo se muestra el análisis de las corrientes de aire para la universidad de América usando simulaciones numéricas de dinámica computacional de fluidos las cuales tienen un papel importante a la hora de facilitar de forma eficaz y precisa resultados correspondientes al flujo del aire con relación a la velocidad. Se evalúa el comportamiento de las corrientes de aire utilizando ciertos parámetros y condiciones de flujo, como la temperatura, velocidad, densidad y características geométricas. En este documento se muestra el desarrollo de una simulación con un flujo de corriente de aire determinado por la dirección sur y oeste, datos proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), para esto se creó un modelo computacional de la geometría de la infraestructura de la universidad, donde se aplicaron diferentes parámetros relacionados con la discretización del dominio, las condiciones iniciales y las condiciones de frontera, los resultados muestran una velocidad promedio del aire entre 12.45 m/s y 17.79 m/s, de donde se concluye que la implementación de energía eólica en la universidad es viable.

Palabras Claves: Potencial Eólico, Dinámica de Fluidos, Aire, Ansys, CFD, viento.

Abstract-- This article shows the analysis of air currents for the University of America using numerical simulations of computational fluid dynamic which have an important role in providing efficiently and accurately results corresponding to the air flow in relation to speed. The behavior of air currents is evaluated using certain parameters and flow conditions, such as temperature, speed, density and geometric characteristics. This document shows the development of a simulation with an air current flow determined by the south and west direction, the data was provided by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (Ideam), and were use in a computational model of the geometry of the infrastructure of the university, where different parameters related to the discretization of the domain, the initial conditions and the border conditions were applied, the results of this analysis show an average air speed between 12.45 m/s and 17.79 m/s, from where It is concluded that the implementation of wind energy in the university is feasible.

Keywords: Wind Potential, Fluid Dynamics, Air, Ansys, CFD, wind.

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de alternativas sostenibles para la producción de energía a nivel mundial, el viento emerge como un recurso natural con un potencial destacado tanto en las industrias como en la sociedad. La energía eólica, obtenida a partir del aprovechamiento del viento mediante generadores especializados, ha ganado popularidad como una fuente renovable y respetuosa con el medio ambiente. Sin embargo, a pesar de su creciente relevancia, se enfrenta a un desafío significativo en zonas específicas como la Universidad de América debido a la falta de estudios necesarios e información sobre el comportamiento de las corrientes de aire. Esta problemática limita la capacidad de la universidad para aprovechar al máximo el potencial del viento como fuente de energía limpia y renovable.

El viento tiene su origen en el desplazamiento del aire cuando este va desde un punto inicial a uno final. Existen diversos aspectos que pueden dar origen al viento, normalmente esto sucede cuando en dos puntos se establece una cierta diferencia de presión o de temperatura, que se le conoce como “gradiente”, cuando entre dos zonas la presión del aire es desigual, éste se dilata y se traslada desde el área de alta presión a la menor presión [1].

Asimismo, el efecto Coriolis tiene una afectación directa en la dinámica del viento, el cual tiene su origen en la rotación de un sistema de referencia, resultando una aceleración relativa del cuerpo en el sistema de rotación. Dicha aceleración es directamente proporcional al eje de rotación y a la velocidad del sistema [2]. Cuando se habla del efecto Coriolis se habla de un sistema giratorio que determina el cambio de posición con respecto a la Tierra provocado por un retraso de una rotación por día [3].

La mejor manera de evitar daños ambientales tanto locales como internacionales es obtener energía eléctrica a través de plantas de energía eólica. En comparación con otros métodos de producción de energía, como las plantas de energía térmica, esta opción es la más cercana a la sostenibilidad ya que manejan combustibles como el carbón, combustóleo o cualquier derivado del petróleo o gas natural. Además, no consumen agua ni ningún otro recurso natural, no emiten contaminantes al aire, no contribuyen al calentamiento global ni provocan el efecto invernadero [2].

El potencial eólico en Colombia es un recurso renovable que comparado con el resto del mundo no se ha aprovechado lo suficiente, teniendo en cuenta que el país por su ubicación geográfica al noroccidente de América del Sur, es favorecido con buenos vientos, catalogándolos como los mejores de Sudamérica entre zonas que son destacadas por sus buenos vientos como La Patagonia ubicada en Chile y Argentina, los cuales poseen vientos clase siete (vientos por encima de 9 m/s parecidos a los que se encuentran en la región de la Guajira en Colombia [3].

El análisis del potencial eólico para el departamento de Cundinamarca se desarrolla en el presente trabajo en el municipio de Sibaté, ubicado en la provincia de Soacha a 27 km del sur de Bogotá. Ya que no se encuentra una base de datos que describa las características meteorológicas de la zona exacta donde está ubicada la universidad. En este se desarrolló un análisis de datos con ayuda de la información meteorológica de la NASA y el IDEAM, además se calculó la velocidad promedio del viento a una altura aproximada de 10 m, donde se obtuvo como resultado que la

velocidad promedio anual en el municipio es de 2,5 m/s aproximadamente [4].

En un estudio previo Nieto L, Cesar; Mejia A, Ricardo; Agudelo S, John [5] demostraron que factores como la distribución y tamaño de los elementos que conforman la malla en los modelos computacionales, son factores directamente proporcionales a la precisión de la solución al igual que el tiempo y cantidad de recursos necesarios para aplicar el método numérico empleado. Es necesario construir modelos con distribuciones de malla adecuados, en los que la mayor cantidad de elementos se encuentre en zonas en las que se presenten los gradientes de velocidad mayores como lo es la cubierta del modelo [6], [7].

La dirección del viento se despliega con análisis de registros de la estación aeropuerto El Dorado, donde muestran que un 24% del viento viene del oeste. Según datos de la estación El Dorado se establece la velocidad del viento por rangos que evidencian que, aunque en general prevalecen vientos que podrían considerarse normales a nivel del país, existe un porcentaje real alrededor del 10% que supera los 4.5 m/s siendo un valor significativo. La alcaldía mayor de Bogotá realizó un análisis puntual con dos meses en los que habitualmente se presentan los vientos más fuertes (agosto y julio), con relación a los registros de velocidad máxima para agosto, se encontraron valores significativos de ráfagas en zonas de Kennedy y Puente Aranda donde las velocidades son cercanas a los 27 km/h [8].

La simulación numérica se orienta en analizar el aprovechamiento del aire mediante la implementación de una simulación por medio del software ANSYS, buscando la verificación de datos para concluir el porcentaje de aprovechamiento de este recurso en la Universidad de América.

En este trabajo se propone un modelo numérico que representa la infraestructura de la universidad, a la cual se le realizaron simplificaciones en su geometría para permitir una representación más sencilla dentro del software ANSYS Fluent, para esto se realizó un enmallado seguido de una configuración inicial que contiene los modelos matemáticos, las ecuaciones de gobierno, condiciones atmosféricas y parámetros de referencia. Lo anterior permitió caracterizar el potencial eólico en la universidad para la generación de electricidad.

I. MODELO MATEMÁTICO Y CONFIGURACIÓN DE LA SIMULACIÓN

1.1 ECUACIONES DE GOBIERNO

En soluciones CFD la precisión a la hora de la obtención de resultados numéricos dependen a gran escala en las respectivas ecuaciones que gobiernan estos procesos de la siguiente manera [6].

Balance de masa (Ecuación de continuidad)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0; \quad (1)$$

Ecuación de momento

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\tau_{ij}); \quad (2)$$

Ecuación de energía

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho e_t) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho h_t u_j) = \frac{\partial}{\partial x_i}(\tau_{ij} u_i - q_i) \quad (3)$$

Nomenclatura

Donde e_t es el total de energía, h_t es el total de entalpía, u_i es la Velocidad en dirección hexagonal (m/s), u_j es la velocidad en dirección y (m/s), τ_{ij} es el Esfuerzo cortante (N/m²), q_i Flujo de calor en la dirección x (W/m²).

1.2 MODELO MATEMÁTICO DE TURBULENCIA

Según Teodosiu[9] y Wang[10] se establece que los investigadores optan por el modelo $k-\epsilon$ que en comparación con los resultados experimentales dan más precisión. El modelo estándar $k-\epsilon$ concierne a la categoría de las dos ecuaciones de turbulencia y de transporte [11].

Ecuación para energía cinética turbulenta k

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_K; \quad (4)$$

Ecuación para disipación ϵ

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon; \quad (5)$$

Tanto G_b y G_k , simbolizan la generación de energía cinética turbulenta debido a la flotabilidad y la velocidad de fluctuación, individualmente, Y_M representa la función de dilatación de la turbulencia comprensible, S se refiere al termino fuente y las constantes del modelo se definen con valores predeterminados. Donde k Energía cinética turbulenta (J/kg), ϵ Tasa de disipación de energía cinética turbulenta (J/kg.s), G_k : Generación de energía cinética turbulenta, σ_k y σ_ϵ son los números de Prandtl turbulentos para k y ϵ respectivamente.

1.3 PARÁMETROS DE FLUJO

Para esta investigación se usan varios parámetros en la solución de esta simulación donde se obtienen datos importantes del flujo, en este caso aire, como la densidad, viscosidad, la velocidad y temperatura promedio que se desarrollan en la ciudad de Bogotá [8]. Los valores de los parámetros requeridos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Parámetros de configuración en la simulación

<i>PARÁMETROS</i>	<i>VALOR</i>
<i>DENSIDAD, kg/m³</i>	<i>1.225</i>
<i>VISCOSIDAD, kg/(m/s)</i>	<i>1.784 e-05</i>
<i>TEMPERATURA, °C</i>	<i>15</i>
<i>VELOCIDAD, m/s</i>	<i>7.5</i>
<i>FLUIDO</i>	<i>AIRE</i>
<i>MOVIMIENTO</i>	<i>ESTACIONARIO</i>

Nota. En esta tabla se encuentran los parámetros iniciales para el desarrollo de la simulación.

1.4 CONSTRUCCIÓN DE LA SIMULACIÓN

La simulación se llevó a cabo en la Universidad de América, ubicada en las coordenadas [4°36'07"N 74°03'43"O](#), zona urbana de Bogotá DC, Colombia, donde para este estudio se realizó con la topografía aledaña y construcciones pertenecientes al claustro universitario con la finalidad de tener resultados precisos, para este caso se desarrollaron las simulaciones en esta ubicación ya que no se encuentran registros acerca de las corrientes de aire y velocidad. En esta simulación no se tuvo en cuenta el perímetro circunvecino en cuanto a la densa naturaleza perimetral de las instalaciones del Claustro Universitario siendo este un factor importante a la hora de analizar los resultados ya que puede generar una falla en la predicción de los resultados obtenidos por este desarrollo.

El primer paso para ejecutar este trabajo se realizó una caracterización del objeto a estudiar por parte del Arq. Rodrigo Flores, en este caso el componente de estudio es la estructura principal de la Universidad de América y cierta topografía aledaña como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Elemento 3D Universidad de América

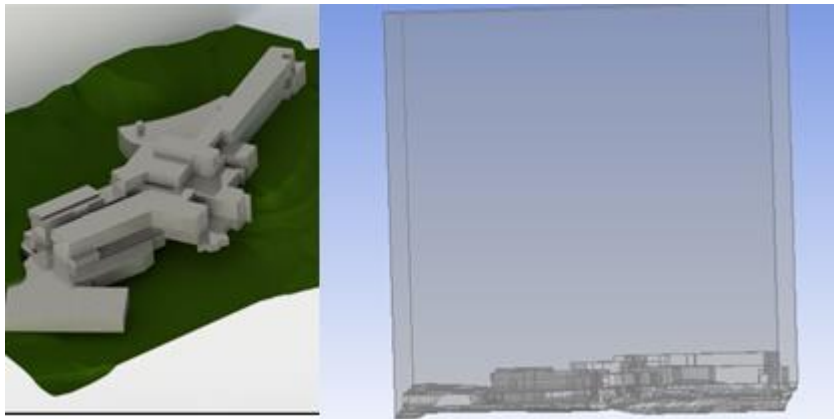


Nota. Vista superior de la Universidad de América. Imagen obtenida en Revit, Tomado de: <https://earth.google.com/web/@4.60071621,-74.06144028,2700.23908359a,282.15883329d,35.00000009y,354.29078623h,0t,0r> (accessed Jul. 05, 2023). Google Earth[12]

A partir de la estructura de la figura 1, se extraen las medidas y características requeridas para la creación del dominio de fluido. Para llevar a cabo la simulación se realizó un ajuste de la geometría eliminando elementos que no son necesarios como ventanas, tuberías, circuitos eléctricos, columnas internas, entre otros, haciendo que la geometría se simplifique al contorno de la estructura de la figura 2.

Figura 2

Modelo CAD y Volumen de estudio



Nota. Esta imagen muestra el modelo completamente terminado al igual que el túnel de viento.

El análisis derivado de la interacción del aire con la estructura de la universidad se realizará en un volumen que cubre la estructura de la universidad elaborada anteriormente y en donde para ello se utilizaron las recomendaciones de Abu-Zidan Y, Mendis P, Gunawardena T, donde se manifiesta que toma 5 veces la altura de la estructura para el tamaño dominio computacional [7]. Las medidas del volumen de estudio son 188 m largo, 105 m ancho y 200 m de alto. Finalmente se evaluaron los comportamientos generados en esta interacción.

Para iniciar la simulación se exportó la geometría, a ANSYS WORKBENCH ajustando los parámetros iniciales necesarios. El desarrollo de esta simulación se trabaja en el solucionador FLUENT. Para ello se definen las condiciones de frontera con base a los puntos cardinales teniendo como referencia la ubicación geográfica de la Universidad de América. En este caso, se nombra las superficies para identificar las caras donde se ubican condiciones de frontera las cuales son condiciones de entrada que se establecieron en las paredes de coordenadas sur y oeste con velocidad de 7.5 m/s y las salidas son las 3 caras restantes que se establecieron con presión atmosférica en las coordenadas norte, este y la cara superior del volumen de estudio, que se encuentran representadas en la figura 4.

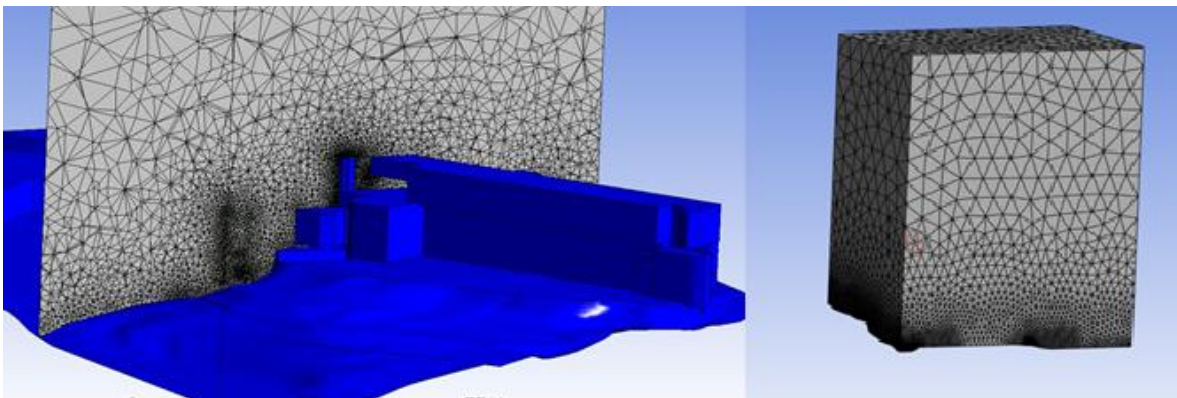
Discretización del dominio de fluido

Para el dominio de fluido planteado debido a su complejidad se genera una malla automática, los datos de calidad ortogonal y oblicuidad obtenidos por la malla anterior se consideran como no precisos ya que no se establecen entre los rangos de la Tabla 3, por lo que se deben modificar algunas características logrando asegurar la obtención de una solución precisa del flujo. Teniendo en cuenta la información digital disponible, se modifica el tipo de malla a generar, el tamaño y relevancia de elementos, utilizando elementos tetraédricos y un suavizado alto dando como finalidad la malla que se observa en la figura 3.

Se recomienda generar una malla con el mayor número de elementos posibles y una geometría sencilla para resultados de gran precisión. Además se requiere de un hardware adecuado para ejecutar el software de forma adecuada y reducir los tiempos de espera para obtener los resultados.

Figura 3

Dominio de fluido discretizado



Nota: En esta imagen se ilustra la malla generada por el programa donde se evidencia los elementos y los nodos en la superficie de la geometría.

Para la obtención de una malla con calidad óptima se tuvieron en cuenta los rangos establecidos en la Tabla 3, donde se muestran los valores ideales en la relación de simetría y en la calidad ortogonal. Para la malla estipulada en este trabajo se determinó una cantidad específica de nodos y elementos dentro del modelo a estudiar. Con estas

características, se alcanzan los resultados estipulados de la Tabla 2 donde se observan los resultados óptimos y promedios para validar la calidad del mallado en los rangos de la Tabla 3.

Tabla 2

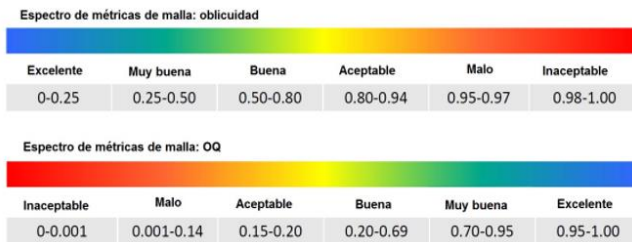
Características mallado

Nodos	1369289		
Elementos	7248296		
Métrica y estadístico del mallado	Relación de asimetría	Calidad ortogonal	Calidad del elemento
Mínimo	7,3359e-005	3,0849e-003	2,286e-003
Máximo	1	0,99723	0,99996
Promedio	0,2492	0,85028	0,82385
Desviación estándar	0,13551	9,1354e-002	0,10449

Nota. En esta tabla se encuentra los datos para validar la calidad de la malla.

Tabla 3

Recomendaciones De Mallado



Nota: Relación de asimetría (Skewness) y la calidad ortogonal (Orthogonal Quality).

Configuración de la simulación

Posteriormente se definieron los parámetros del trabajo donde se obtuvieron resultados de velocidad para un fluido de forma estacionaria; De acuerdo con los requerimientos fue necesario emplear el modelo ($k-\varepsilon$) de dos ecuaciones. Se establece aire como fluido de trabajo y condiciones atmosféricas de intemperie, se definió el flujo como incompresible considerando datos reales de densidad y viscosidad que se adecuan a una temperatura promedio de 15°C manejada en la ciudad de Bogotá [8]. Para configurar el sólido se especifican condiciones zonales que se pueden aplicar a cada mallado como el tamaño de elemento, calidad de la malla como el suavizado y tipo de elemento, dependiendo el requerimiento al definir material o régimen de movimiento particular. También se proyecta las condiciones de frontera como nombres de ingreso y salida creadas en el modelo de diseño, el cual indica la ocupación de cada

superficie del modelo tridimensional por lo que se deben insertar estas condiciones adecuadas correspondientes a la condición de la superficie.

En la adquisición de los datos experimentales para el flujo de aire, se manejó una densidad de 1.225 kg/m^3 , viscosidad de $1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$, de igual manera se manejó una temperatura promedio de 15°C y una velocidad promedio de 7.5 m/s , dato tomado de un estudio realizado por la alcaldía de Bogotá, donde las condiciones de borde se establecieron entradas por las paredes negras y las salidas corresponden a las coordenadas noreste, reflejadas en las paredes transparentes (figura 5) y teniendo en cuenta la presión atmosférica correspondiente en las paredes con coordenadas norte, este y cara superior del volumen de estudio.

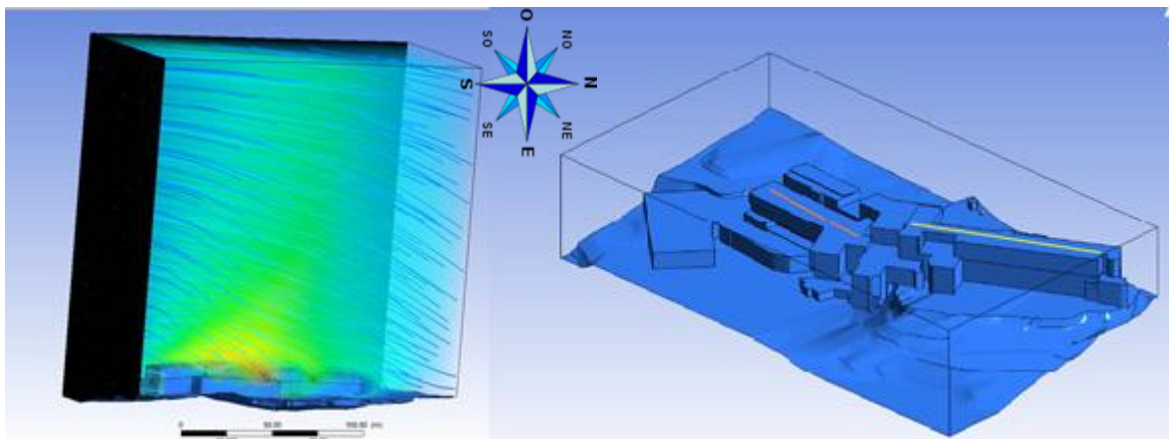
Para los resultados de los valores de referencia, donde se establecieron los datos iniciales de la simulación como parámetros de viscosidad, temperatura y densidad. Al finalizar la configuración de las superficies se establecieron 1000 interacciones y se ejecutó la simulación del modelo.

II. RESULTADOS

Se buscan diferentes comportamientos presentes en las corrientes de aire localizadas en la zona donde está construida la Universidad de América, la simulación se definió como suroeste donde se realizó el estudio en la superficie delimitada con una línea color amarillo y la superficie delimitada con una línea de color rojo, el flujo ingresa por las coordenadas sur y oeste como lo indica la Figura 5.

Figura 4

CFD-POST



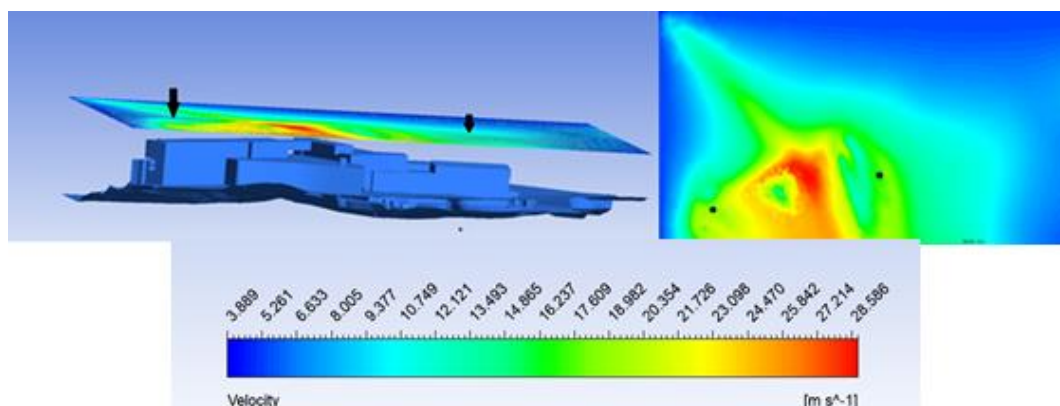
Nota: Comportamiento del aire en la simulación.

Para evaluar los resultados se tomó como referencia los puntos más altos de la edificación los cuales son el techo del octavo piso y el techo de la biblioteca; el sexto piso tiene una altura óptima para el análisis, pero la inclinación de la superficie no permitiría la implantación de un aerogenerador, razón por la cual la altura de la biblioteca fue una mejor opción. Como se muestra en la figura 4 los resultados de la simulación proyectan ciertos colores producto de la

intensidad de la velocidad y el comportamiento de las corrientes de aire, desde un color rojo que describe mayor velocidad, hasta un color turquesa que muestra menor velocidad, según los puntos más altos podemos estimar una velocidad del viento promedio, la cual se interpreta como una velocidad óptima para el aprovechamiento de energía eólica. Las zonas analizadas en esta figura dieron como resultado una velocidad puntual de 17.79 m/s para la cubierta del octavo piso y una velocidad puntual de 12.45 m/s para la cubierta de la biblioteca, estos estudios se realizaron a una altura de 5 m por recomendaciones de “enair” [7], teniendo en cuenta que para llegar a los valores mencionados se utilizaron datos específicos de la Tabla 1 y valores específicos como la velocidad y la temperatura suministrados por un estudio realizado por la alcaldía mayor de Bogotá [8].

Figura 5

Resultado



Nota: Análisis de la velocidad promedio a una altura de 5 m respecto al techo del 8vo piso y 5to piso, comportamiento del aire en la simulación.

Los resultados de las simulaciones indican un menor flujo de aire en el nivel inferior o en el contorno de la edificación, principalmente los espacios con libre movimiento y zonas abiertas en varios de los extremos de la universidad se presentan valores mínimos entre 2 y 10 m/s, la velocidad en comparación entre el octavo piso y el quinto piso (biblioteca) genera una mayor concentración de flujo en la zona del último piso debido a las zonas cercanas por donde ingresa el aire y a los vacíos presentes en la edificación. haciendo estos resultados viables según el estudio realizado por la alcaldía de Bogotá[8] donde manifiestan que la velocidad promedio en la ciudad de Bogotá esta entre los 7.5 y 8.5m/s y que se encuentran entre los rangos de producción del aerogenerador 70-pro [13].

III. CONCLUSIONES

En esta investigación, gracias al programa Ansys Fluent se elaboró un análisis que permite observar la concentración de las corrientes de aire en la Universidad de América a partir de condiciones iniciales y configuración de diseño con el que se evaluó la velocidad en un volumen respectivo de estudio en diferentes posiciones y a una altura de 5m para la inserción de aerogeneradores.

El comportamiento del aire que se encuentra en el análisis de viento, ubicado en la Universidad de América se puede aprovechar, ya que predominan corrientes de aire con velocidades puntuales de 17.79 y 12.45 m/s, con

dirección de entrada por coordenadas sur y oeste respectivamente. Dichos resultados se obtienen a una altura de 5 m a partir del techo de la institución. Según con los datos obtenidos en este trabajo investigativo se sugiere un aerogenerador marca Enair - 70pro de imán permanente con eje horizontal, ya que las condiciones de su funcionamiento según su ficha técnica descrita en la Tabla 4, cumplen con las especificaciones meteorológicas de la zona donde está ubicada la Universidad de América y alturas proporcionadas por “enair”[13].

Tabla 4

Ficha técnica E-70PRO

Tipo	Imán permanente
Poder max	5,5 kW
Potencial nominal	4 kW
Configuración	Eje horizontal
Numero de cuchillas	3
Material cuchilla	Fibra de vidrio
Longitud de la hoja	2.15 m
Diámetro del rotor	4.3m
Área barrida	14.5m ²
Velocidad nominal del rotor	250 rpm
Velocidad de corte	2 m/s
Velocidad del viento nominal	11 m/s
Velocidad de corte	60 m/s
Velocidad de supervivencia	70 m/s

Nota. En esta tabla se encuentran las características técnicas del aerogenerador E-70Pro.

REFERENCIAS

- [1] A. Chunga E. Rocio, "Universidad peruana unión facultad de ingeniería y arquitectura escuela profesional de ingeniería ambiental," dec. 2019, accessed: mar. 07, 2023. [online]. Available: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/4204/elizabeth_tesis_licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isallowed=y
- [2] M. E. González-ávila, I. F. Beltrán-morales, e. Troyo-diéguez, and a. Ortega-rubio, "Potencial de aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales de México," *interciencia*, vol. 31, no. 4, pp. 240–245, 2006, accessed: mar. 07, 2023. [online]. Available: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0378-18442006000400002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [3] J. José and S. Gutiérrez, "Desarrollo de la energía eólica en Colombia," 2016, accessed: mar. 07, 2023. [online]. Available: <http://52.0.229.99/bitstream/20.500.11839/624/1/5082005-2016-2-ga.pdf>
- [4] J. Camilo C. Andrade and M. Arcila D, "Diseño y simulación de un sistema eólico para una red de alumbrado público en el," 2022.
- [5] C. N. Lodoño, R. M. Alvarez, and J. R. A. Santamaria, "Dinámica de fluidos computacional aplicada al estudio de regeneradores térmicos," *año*, vol. 71, pp. 81–93, 2004.
- [6] O. R. Kummitha, R. V. Kumar, and v. M. Krishna, "CFD analysis for airflow distribution of a conventional building plan for different wind directions," *j comput des eng*, vol. 8, no. 2, pp. 559–569, apr. 2021, doi: 10.1093/jcde/qwaa095.
- [7] Y. Abu-zidan, P. Mendis, and t. Gunawardena, "Optimising the computational domain size in CFD simulations of tall buildings," *heliyon*, vol. 7, no. 4, apr. 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06723.
- [8] Alcaldía Mayor de Bogotá, "Subdirección de análisis de riesgos y efectos del cambio climático caracterización climatológica de Bogotá, como un aporte al fortalecimiento de la red hidrometeorológica de Bogotá (rhb)," Bogotá, nov. 2019. Accessed: jun. 22, 2023. [online]. Available: <https://www.idiger.gov.co/>
- [9] C. Teodosiu, C. Llie, and R. Teodosiu, "Appropriate CFD turbulence model for improving indoor air quality of ventilated spaces," *mathematical modelling in civil engineering*, vol. 10, no. 4, pp. 28–42, dec. 2014, doi: 10.2478/mmce-2014-0020.
- [10] M. Wang and Q. Chen, "Assessment of various turbulence models for transitional flows in enclosed environment (rp-1271) ASHRAE student member ASHRAE fellow."
- [11] O. R. Kummitha, R. V. Kumar, and v. M. Krishna, "CFD analysis for airflow distribution of a conventional building plan for different wind directions," *j comput des eng*, vol. 8, no. 2, pp. 559–569, apr. 2021, doi: 10.1093/jcde/qwaa095.
- [12] "Google Earth." <https://earth.google.com/web/@4.60071621,-74.06144028,2700.23908359a,282.15883329d,35.00000009y,354.29078623h,0t,0r> (accessed jul. 05, 2023).

[13] Enair, "Wind technology", accessed: jul. 10, 2023. [online]. Available: www.enair.es

