

Implementación BIM para la gestión de la infraestructura de la unidad Belén: simulación y modelación en CFD del clima en el aula Zamarripa

BIM implementation for the management of the infrastructure of the Belén unit: CFD simulation and modeling of climate in the classroom Zamarripa

Pablo Vizguerra Morales^{1*}, Saúl Villalobos Pérez², Gabriela Pérez Navarrete², Roberto Díaz Cuesta²,
Francisco José Luna Rodríguez²

¹Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Guanajuato, Guanajuato, México. CP. 36020, Tel. 473 732 2291

p.vizguerramorales@ugto.mx

²Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, División de ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.

*Autor de correspondencia

Resumen

Palabras clave: BIM; infraestructura; CFD; ventilación.

Este proyecto es importante y novedoso por el uso de dos herramientas: BIM y CFD, que tienen como objetivo mejorar la ventilación del aula Zamarripa, sede Belén, de la Universidad de Guanajuato. El aula se analizó con la herramienta dinámica computacional de fluidos (CFD, por sus siglas en inglés) se usó el Fluent 18.2. Se observó que el aula Zamarripa puede optimizar su ventilación. El aula Zamarripa por experiencia tiene una muy mala ventilación, se nota más en la época de verano. En primer lugar, se obtuvo el formato .sat (ACIS) de esta aula, luego el dominio se discretizó en una malla en tres dimensiones, se simuló en régimen laminar y turbulento, obteniéndose los perfiles de velocidad y temperatura, también se simuló considerando un aire acondicionado. Se concluye que necesita un sistema de este tipo para mejorar la circulación del aire y optimizar la ventilación del aula.

Abstract

Keywords: BIM; infrastructure; CFD; ventilation.

This project is important and innovative because of the use of two tools: BIM and CFD, which aim to improve the ventilation of the Zamarripa classroom, Belén Campus, of the University of Guanajuato. The classroom was analyzed using the computational fluid dynamics (CFD) tool Fluent 18.2. It was observed that the Zamarripa classroom can optimize its ventilation. The classroom based on experience, it has very poor ventilation. This is more noticeable during the summer months. First, the .sat (ACIS) format of this classroom was obtained, then the domain was discretized into a three-dimensional mesh, and simulations were performed under laminar and turbulent flow regimes, obtaining the velocity and temperature profiles. A simulation was also conducted considering an air conditioner. It was concluded that such a system is needed to improve air circulation and optimize classroom ventilation.

Recibido: 27 de junio de 2024

Aceptado: 03 de julio de 2025

Publicado: 11 de marzo de 2026

Cómo citar: Vizguerra, P.; Villalobos, S.; Pérez, G.; Díaz, R.; & Luna, F. J. (2026). Implementación BIM para la gestión de la infraestructura de la unidad Belén: simulación y modelación en CFD del clima en el aula Zamarripa. *Acta Universitaria*, 36, e4249. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2026.4249>

Introducción

En la actualidad, es importante implementar la metodología BIM (*Building Information Modeling*) en todas las fases del ciclo de vida de los edificios y en la industria de la construcción, esto para mejorar su eficiencia y sostenibilidad (Choclán et al., 2014). BIM es una metodología de colaboración para la gestión, creación y desarrollo de un proyecto de construcción desde su planeación hasta el mantenimiento que requiere en su operación. El objetivo del BIM es centralizar o recopilar toda la información del proyecto en un modelo de información digital (Coloma, 2008).

La novedad de este proyecto radica en que se usa la información de la metodología BIM aplicada en la infraestructura de la sede Belén, Campus Guanajuato, de la Universidad de Guanajuato, para mejorar las condiciones de ventilación en las aulas. La División de Ingenierías es parte de la unidad Belén, que se encuentra en el Campus Guanajuato (municipio de Guanajuato, Gto.), en el centro histórico de la ciudad, y comparte espacios con la División de Arquitectura, Arte y Diseño. Para la recopilación de datos e información de la sede Belén se usaron diferentes herramientas, como Autodesk Revit y AutoCAD, que son comúnmente usadas por arquitectos, ingenieros civiles y diseñadores para realizar el modelado de información de construcción BIM.

Una parte importante en la aplicación del modelo de información para la edificación BIM es el cumplimiento de la norma ISO 19650 para la gestión de la información de todo ciclo de vida de un activo construido. El uso de una representación digital compartida de un activo construido para facilitar los procesos de diseño, construcción y operación proporciona una base confiable para la toma de decisiones (International Organization for Standardization [ISO], 2020).

Al tener información de la aplicación de la metodología BIM, se obtienen archivos .sat de AutoCAD de todas las aulas del departamento de ingenierías, lo que permite realizar modelos en tres dimensiones. Posteriormente, se discretiza el dominio de estos modelos que conforman la sede Belén para diseñar mallas, las cuales permiten hacer simulaciones en CFD (para mejorar las condiciones climáticas y de ventilación).

Antecedentes

Un trabajo relacionado con el presente estudio es el que desarrollaron Song & Meng (2015), quienes buscaron mejorar la ventilación en los edificios escolares en China mediante simulación en CFD para lograr el confort térmico. Este estudio se realizó utilizando el *software* Fluent, buscando mejorar el rendimiento de la ventilación en un salón de clases. Se concluyó que las ventanas de doble fila pueden ayudar a mejorar las condiciones de confort térmico, al igual que los extractores de aire y los ventiladores de techo.

Por su parte, Cuce et al. (2019), se centraron en las estrategias de ventilación sostenible en edificios a través de una investigación desarrollada con CFD. En este artículo se analizó la posibilidad de utilizar una estrategia de ventilación natural en los edificios escolares. También se evaluó el diseño de ventilación natural y la ventilación pasiva cuando se utilizan en bibliotecas, oficinas, auditorios y edificios de dormitorios.

Un estudio más donde se aplicó CFD sobre la ventilación en las aulas de escuelas fue el de Kehler *et al.* (2022). En este, los autores verificaron la seguridad aérea ante el covid-19. Se concluyó que cuando se combina el equipo de protección personal, una ventilación y un reemplazo de aire adecuado, pueden reducir significativamente la propagación de este virus transmitido por el aire.

De igual forma, Subhashini & Thirumaran (2019) realizaron simulaciones de CFD para examinar la ventilación natural en los espacios de aprendizaje de un edificio educativo en Madurai. Para ello, se llevaron a cabo mediciones de campo y estudios experimentales para predecir las condiciones ambientales interiores y exteriores. El estudio numérico se llevó a cabo mediante simulaciones basadas en dinámica de fluidos computacional utilizando Ansys Fluent como solucionador.

Theng *et al.* (2024) analizaron la ventilación natural y la calidad del aire interior en edificios escolares domésticos con simulación CFD. Crearon modelos informáticos de un aula utilizando SOLIDWORKS basados en planos de planta del edificio a escala real, y se aplicó para calcular estudios de simulación de flujo a fin de visualizar el patrón de flujo de aire, la distribución de la temperatura, la humedad relativa y el nivel de confort térmico de los ocupantes en las aulas.

Otro trabajo desarrollado por Concilio *et al.* (2024) se realizó una simulación en CFD y análisis experimental de la estratificación del aire interior en un aula sin ventilación. En este, un recinto interior en la Escuela Técnica Superior de Edificación (ETSEM) de Madrid (España) se analiza en función de la temperatura y la distribución espacial del CO₂. Se estableció un modelo numérico de CFD para analizar la calidad del aire. La circulación del flujo se obtiene mediante la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes 3D, junto con el problema térmico.

Por su parte, Hanafi *et al.* (2025) llevaron a cabo el estudio llamado "la optimización del confort térmico y la calidad del aire en las aulas universitarias: un análisis comparativo basado en CFD de configuraciones de HVAC". La investigación fue realizada en el aula 1303 de la Universidad 6 de octubre de Egipto, en esta se utilizaron simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) con ANSYS® fluent para analizar la distribución térmica y del flujo de aire en dos configuraciones. Esta investigación ofrece información valiosa para arquitectos e ingenieros en el diseño de sistemas HVAC que deseen mejorar la calidad ambiental interior en espacios educativos.

El presente trabajo tiene como objetivo principal investigar numéricamente la hidrodinámica y la transferencia de calor en el aula Zamarripa de la Universidad de Guanajuato utilizando la herramienta de CFD, esto para mejorar la ventilación dentro del aula.

Modelo matemático

Ecuaciones de Gobierno

Las siguientes ecuaciones son las que intervienen en la resolución del problema planteado por el fenómeno físico a modelar. Son las ecuaciones de continuidad, de momentum, modelos de turbulencia y la ecuación de la conservación de la energía.

Las ecuaciones que se presentan son la forma exacta del modelo matemático y la solución de cada ecuación se realiza en Fluent 18.2 basado en el método numérico de volumen finito.

La ecuación de conservación de masa o continuidad

La conservación de masa o ecuación de continuidad se presenta a continuación (ecuación 1):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left(\frac{\partial}{\partial x} \rho v_x + \frac{\partial}{\partial y} \rho v_y + \frac{\partial}{\partial z} \rho v_z \right) = S_m \quad (1)$$

Se puede escribir como (ecuación 2):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\nabla \cdot \rho v) = S_m \quad (2)$$

La ecuación anterior es la forma general de la ecuación de conservación de masa y es válida para flujos incompresibles, así como compresibles. El término $(\nabla \cdot \rho v)$

se denomina divergencia de ρv ; este es el vector de la densidad de flujo de materia y representa la velocidad con que disminuye la densidad de flujo de materia por unidad de volumen. El término fuente S_m es la masa agregada a la fase continua de la dispersión de una segunda fase (por ejemplo, debido a la vaporización de partículas de líquido).

La ecuación de conservación de momentum

La conservación del momentum en un marco inercial de referencia (no acelerado) se describe por la ecuación 3:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) = -\nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) - \nabla p - \nabla \cdot \tau + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3)$$

donde p es la presión estática, $\vec{\tau}$ es el tensor de esfuerzos, $\rho \vec{g}$ se refiere a las fuerzas de cuerpo gravitacionales y \vec{F} a las fuerzas de cuerpo externas. \vec{F} También contiene otros términos fuente dependientes del modelo, como medios porosos y fuentes definidas por el usuario. El término $\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v})$ es la velocidad de aumento de cantidad de movimiento por unidad de volumen. El término $-\nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v})$ es la velocidad de ganancia de cantidad de movimiento por convección, por unidad de volumen. El término $\nabla \cdot \tau$ es la velocidad de ganancia de cantidad de movimiento por transporte viscoso por unidad de volumen. El término ∇p es la fuerza de presión que actúa sobre el elemento por unidad de volumen. El término $\rho \vec{g}$ es la fuerza de gravitación que actúa sobre el elemento por unidad de volumen.

El tensor de esfuerzos $\vec{\tau}$ está dado por (ecuación 4):

$$\tau_{xx} = -2\mu \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{2}{3}\mu (\nabla \cdot v) \quad (4)$$

donde μ es la viscosidad molecular.

La ecuación de energía

El flujo de energía térmica de la materia que ocupa una región en el espacio se conoce como transporte de calor. El transporte de calor puede ocurrir de tres diferentes maneras: conducción, convección y radiación.

En Fluent 18.2 se resuelve la ecuación de la energía descrita en la ecuación 5:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) = -\nabla \cdot (\vec{v}(\rho E)) - (\nabla \cdot q) + \rho(v \cdot g) - (\nabla \cdot p v) - (\nabla \cdot [\tau \cdot v]) + S_h \quad (5)$$

donde $\frac{\partial}{\partial t}(\rho E)$ es la velocidad de ganancia de energía por unidad de volumen, $-\nabla \cdot (\vec{v}(\rho E))$ es la velocidad de entrada de energía por unidad de volumen debido a la convección, $-\nabla \cdot q$ es la velocidad de entrada de energía por unidad de volumen debido a la conducción, $\rho(v \cdot g)$ es la velocidad de trabajo comunicado al fluido por unidad de volumen debido a las fuerzas de gravedad, $-\nabla \cdot p v$ es la velocidad de trabajo comunicado al fluido por unidad de volumen debido a las fuerzas de presión, $-\nabla \cdot [\tau \cdot v]$ es la velocidad de trabajo comunicado al fluido por unidad de volumen debido a las fuerzas viscosas y S_h incluye el calor por reacciones químicas.

Modelo $k - \varepsilon$ estándar

Los modelos más completos y simples para flujos turbulentos son los modelos de dos ecuaciones, en los cuales la solución de dos ecuaciones de transporte separadas permite determinar la velocidad turbulenta y la longitud de escala en forma independiente. Es un modelo semiempírico basado en la solución de las ecuaciones de transporte para la energía cinética k y la disipación cinética ε . Sus ecuaciones son (ecuación 6 y 7):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k \mu_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (6)$$

y

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon \mu_i) = & \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) \quad (7) \\ & - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \end{aligned}$$

En estas ecuaciones, G_k representa la generación de turbulencia cinética debido a los gradientes de velocidad promedio, G_b es la generación de energía cinética turbulenta debido a las fuerzas boyantes y Y_M representa la contribución de la dilatación, fluctuante en turbulencia compresible a la velocidad de disipación global.

Se usó el modelo laminar y el modelo de $k - \varepsilon$ estándar para ver la diferencia de transferencia de calor en el aula a diferentes velocidades del aire. También se usó el modelo de radiación de Rosseland para la transferencia de calor (ANSYS Inc., 2016).

Modelo Rosseland

La aproximación de Rosseland o difusión para la radiación es válida cuando el medio es ópticamente denso; se recomienda su uso en problemas donde el espesor óptico es mayor que 3. Puede derivarse de las ecuaciones del modelo P-1, con algunas aproximaciones. El vector de flujo de calor radiativo en un medio gris se puede aproximar mediante la ecuación 8:

$$q_r = -\Gamma \nabla G \quad (8)$$

y Γ está dado por la ecuación 9:

$$\Gamma = \frac{1}{(3(a+\sigma_s) - C\sigma_s)} \quad (9)$$

donde a es el coeficiente de absorción, σ_s es el coeficiente de dispersión, G es la radiación incidente y C es el coeficiente de la función de la fase anisotrópica lineal.

El modelo de radiación de Rosseland difiere del modelo P-1 en que este último asume que la intensidad es la intensidad del cuerpo negro a la temperatura del gas (De hecho, el modelo P-1 calcula una ecuación de transporte para G .) Por lo tanto, se presenta la ecuación 10:

$$G = 4\sigma\Gamma n^2 T^3 nG \quad (10)$$

así, q_r se representa por la ecuación 11:

$$q_r = -16\sigma\Gamma n^2 T^3 \nabla T \quad (11)$$

El flujo de calor radiativo tiene la misma forma que la ley de conducción de Fourier. Entonces, es posible escribir la ecuación 12 y 13:

$$q = q_c + q_r \quad (12)$$

$$q = -(k + k_r)\nabla T \quad (13)$$

$$k_r = 16\sigma\Gamma n^2 T^3 \quad (14)$$

La ecuación 14 representa la conductividad térmica radiactiva (k_r) y la k es la conductividad térmica.

El presente trabajo establece los siguientes objetivos:

1. Encontrar el modelo matemático de hidrodinámica y transporte de calor que represente la ventilación y las condiciones de confort térmico en el aula Zamarripa.

2. Realizar la simulación con Fluent 18.2 en estado transitorio del aula con flujo turbulento para velocidades altas del aire de alimentación y laminar para velocidad baja de aire, simular el aula con aire acondicionado, esto para sugerir y gestionar este sistema para optimizar la ventilación el aula Zamarripa.

Materiales y métodos

Planteamiento del problema

El aula que se analizó se encuentra en la sede Belén del Campus Guanajuato de la Universidad de Guanajuato (Figura 1).



Figura 1. Sede Belén, campus Guanajuato.
Fuente: Elaboración propia.

El aula Zamarripa se encuentra dentro de la sede en el tercer piso (Figura 2).



Figura 2. Aula Zamarripa, aula de estudio en CFD.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se muestran sus dimensiones. Este trabajo surgió de la aplicación de la metodología BIM, ya que es importante la digitalización 3D del edificio de la División de Ingenierías, sede Belén, así como su planificación, diseño, modificación o preservación. De aquí surgió mejorar la ventilación del aula Zamarripa, por lo que se aplicó la herramienta de CFD para conocer la ventilación interna del aula, a partir de lo cual se propondrá un proceso para optimizar su ventilación.

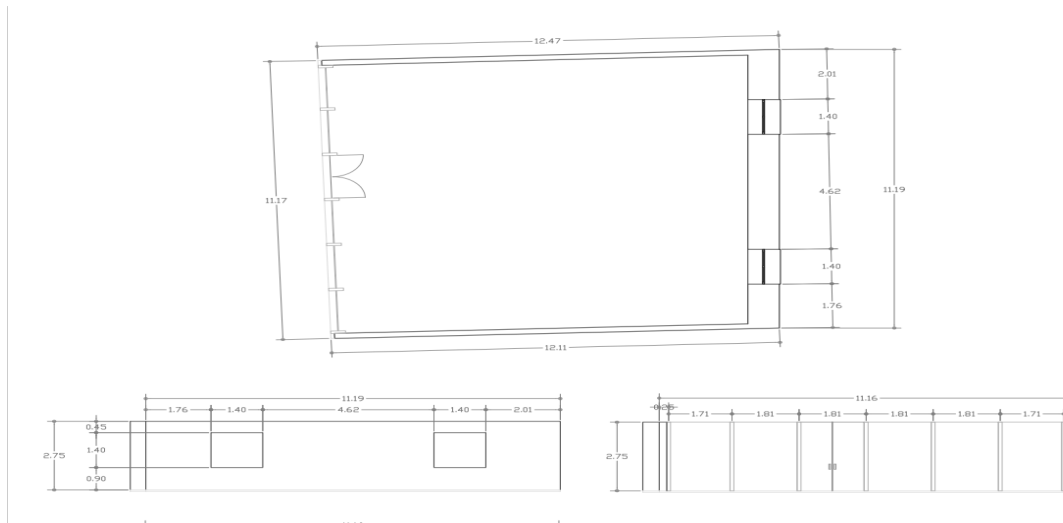


Figura 3. Dimensiones del aula Zamarripa.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo anterior, es importante conocer el comportamiento de la hidrodinámica y transferencia de calor con el fin de mejorar el rendimiento de la ventilación en el salón de clases, ya que este tiene una muy mala ventilación y condiciones de confort térmico deficientes. Se tomaron en cuenta dos casos: 1) flujo laminar para velocidad de alimentación de aire lenta que se alimenta por las ventanas y 2) flujo turbulento para velocidad de entrada del aire grande. Se consideró sin bancas y escritorio para que el número de celdas no creciera y evitar que el trabajo computacional aumentara.

El estudio de la hidrodinámica y transferencia de calor se realizó con Fluent versión 18.2. Este arrojó resultados de contornos y perfiles de temperatura y velocidad. Se utilizó una computadora con memoria RAM de 12 GB y un procesador AMD A 8. Los puntos esenciales para realizar este estudio fueron: obtener una malla del dominio del aula Zamarripa y proponer modelos en Fluent para representar nuestro proceso (modelo turbulento, modelos de radiación y modelo energía).

Experimental

En la parte experimental se realizó la medición de la velocidad del aire y de temperaturas dentro del aula y en las ventanas de alimentación de aire fresco, con un anemómetro marca Traceable CC - 3651.

Simulación en CFD

Preprocesamiento

Del trabajo BIM se obtuvo el dibujo del aula Zamarripa, este se trabajó en el software Autodesk Fusion 360 para obtener el archivo .sat también conocido como archivo ACIS SAT 3D model file del dominio del aula (Figura 4). Se consideró la malla sin las bancas ni el escritorio porque el diseño en BIM se realizó de esa manera. En estas mismas condiciones se hizo la simulación para no generar una malla tan grande, lo que requiere mayor trabajo computacional. El software es versión estudiante y está limitado por el tamaño de la malla.

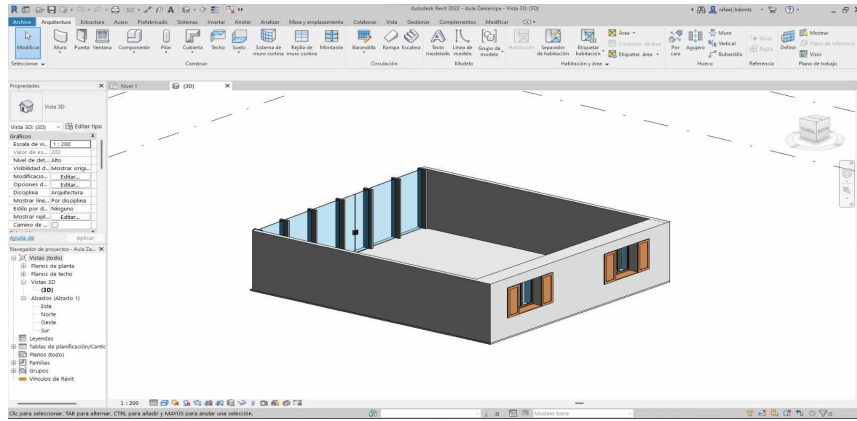


Figura 4. Archivo SAT del aula Zamarripa.
Fuente: Elaboración propia.

El archivo .sat se desarrolló en el software Gambit 2.4.6, y se diseñó la malla del aula discretizando el archivo .sat en celdas hexaédricas con una cantidad de 778207 celdas, como se muestra en la Figura 5.

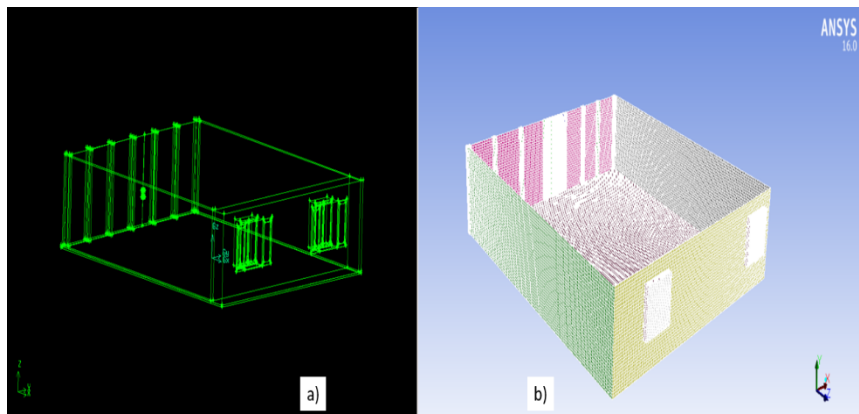


Figura 5. a) Archivo sat y b) Malla del aula Zamarripa
Fuente: Elaboración propia.

Se agregan las condiciones de frontera en la malla del aula Zamarripa (Figura 6).

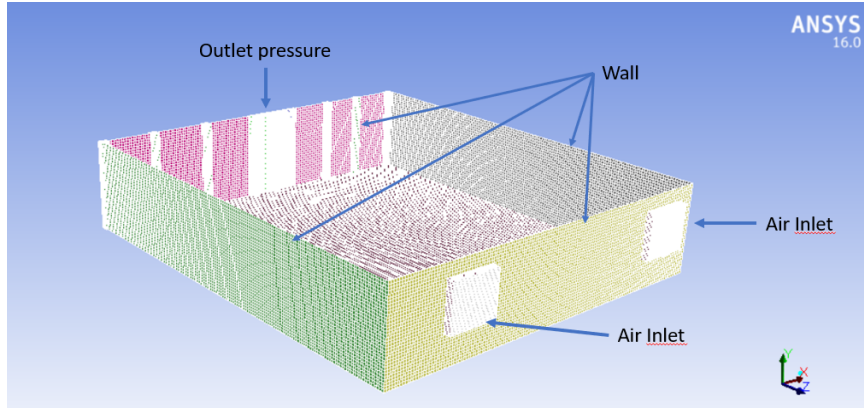


Figura 6. Condiciones de frontera del aula Zamarripa.
Fuente: Elaboración propia.

También se realizó un estudio de calidad de malla con tres diferentes tamaños de malla con estructura hexaédrica con tres tamaños: 390000, 778207 y 1556414 celdas. En la Figura 7 se muestra el perfil de magnitud de velocidad para los tres tipos de mallas y se observó poca variación en su comportamiento, por lo cual se tomó la malla de 778207 celdas para el estudio, reduciendo así el trabajo computacional.

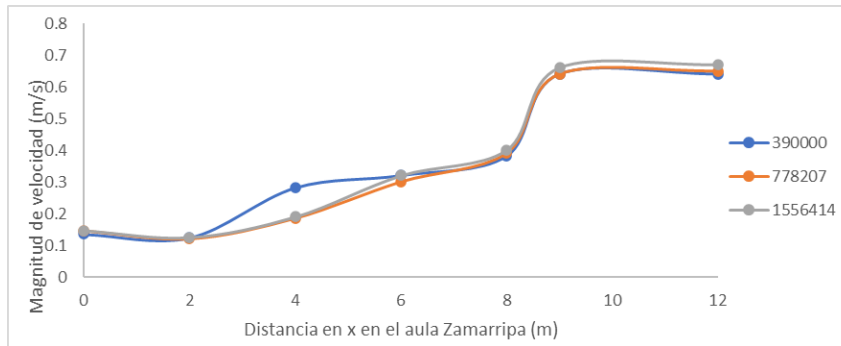


Figura 7. Análisis de calidad de malla.
Fuente: Elaboración propia.

También se hizo el estudio de calidad de malla con referencia a la temperatura (Tabla 1). Estos resultados indican que, para los tres tamaños de mallas a partir de 778207 celdas, la diferencia de los resultados al variarlos es mínima, lo que permite tomar la decisión de utilizar la malla con este número de celdas para reducir el tiempo de cómputo requerido. En la Tabla 2 se muestran las características de la malla usada para la simulación en CFD.

Tabla 1. Estudio de calidad de malla con referencia de la temperatura.

Tamaño de malla (celdas hexaédricas)	Error (%) Temperatura
390000	2
778207	1.5
1556414	1.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Características de la malla del modelo geométrico.

Detalles	Tamaño
Nodes	823131
Elements	778207
Orthogonality	
Minimum	0.3722
Maximum	0.9996
Skewness	
Minimum	0.0016
Maximum	0.8915

Fuente: Elaboración propia.

Procesamiento

La simulación se realizó en el *software* Fluent versión 18.2 de Ansys en tres dimensiones; X, Y, Z, estado transitorio, usando el modelo viscoso laminar y el modelo $k - \epsilon$ estándar según la velocidad del aire de alimentación. Se consideró el modelo $k - \epsilon$ estándar porque es el método más completo y simple para flujos turbulentos. Es una de las principales herramientas en el cálculo de flujos para ingeniería, muy útil para simulación de flujos y transporte de calor. Esto se debe a su robustez, economía y exactitud razonable para un gran rango de flujos turbulentos. Cabe mencionar que la transferencia de calor tomó en cuenta la transferencia por conducción, convección y radiación; para la radiación se usó el modelo de radiación de Rosseland.

Los valores de las condiciones de frontera se alimentan en Fluent 18.2. Se muestran para condiciones de flujo laminar y para flujo turbulento (Tabla 3). Se supuso condiciones de verano, donde la temperatura de corriente fue de 35 °C (308 K), la velocidad del aire fue de 0.005 m/s en flujo laminar y para flujo turbulento de 0.75 m/s, la temperatura del aire de entrada fue de 40 °C (313 K) y la temperatura externa fue de 45 °C (318 K), con una emisividad de 0.5 para la radiación.

Tabla 3. Condiciones de frontera usadas en la simulación.

Zonas	Veloc. (m/s)	presión (Pa)	Temperatura (K)	Temp. Corriente (K)	Emisividad	Temp. Externa (K)
Entrada de aire 1	0.05 o 0.75	0	313			
Entrada de aire 2	0.05 o 0.75	0	313			
Salida	0	0	315			
Pared Izquierda				308	0.5	318
Pared derecha				308	0.5	318
Techo				308	0.5	318
Pared Frontal				308	0.5	318
Pared trasera				308	0.5	318

Nota. Condiciones de frontera en Fluent.

Fuente: Elaboración propia.

Los criterios de convergencia fueron de 0.001 para todas las ecuaciones, con 1800 segundos de simulación.

Post procesamiento

Se obtuvieron los perfiles y contornos de temperatura y velocidad del aire en el aula Zamarripa, así como las líneas de corriente de la corriente del aire. Se validará con los datos experimentales medidos dentro del aula. Se reportan los resultados con el aire acondicionado.

Resultados

Se obtuvo el contorno de velocidad dentro del aula Zamarripa considerando un modelo viscoso como laminar a una velocidad de alimentación de 0.005 m/s, donde se observa una baja velocidad del aire dentro del aula con un número de Reynolds de 1810.34 (Figura 8).

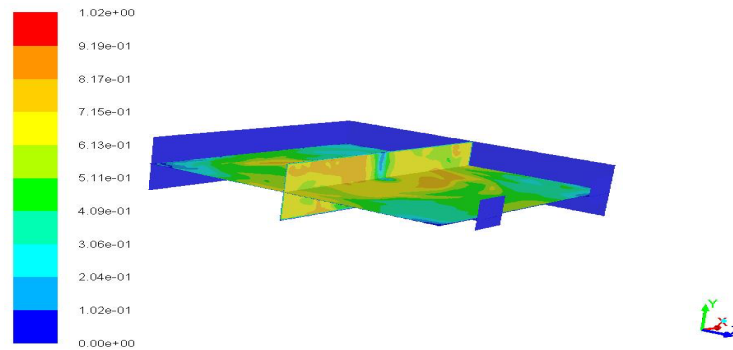


Figura 8. Contorno de velocidad con modelo laminar.
Fuente: Elaboración propia.

El contorno de temperatura estática para el flujo laminar se muestra en la Figura 9, donde se observa que hay un calentamiento lento con poca transferencia de calor; la temperatura del aula tiende a crecer.

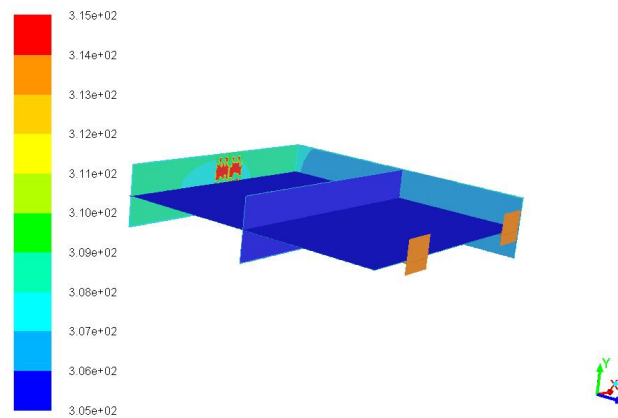


Figura 9. Contorno de temperatura estática con modelo laminar.
Fuente: Elaboración propia.

Las líneas de corriente del aire dentro del aula se muestran en la Figura 10, y los perfiles de temperatura en la parte central del aula se observan en la Figura 11.

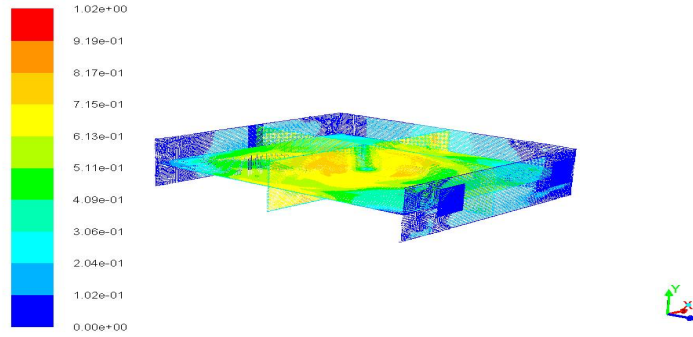


Figura 10. Líneas de corriente de la velocidad en el aula con el modelo laminar.
Fuente: Elaboración propia.

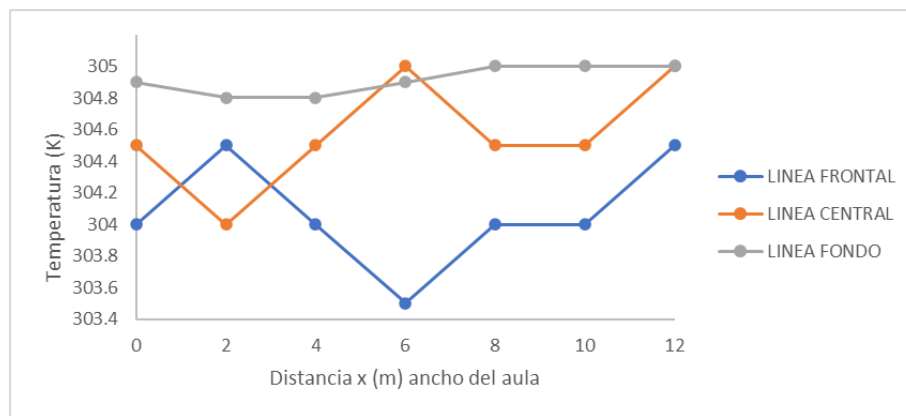


Figura 11. Perfiles de temperatura en el aula con modelo laminar.
Fuente: Elaboración propia.

Considerando flujo turbulento a una velocidad de alimentación del aire de 0.75 m/s con un número de Reynolds de 271551.72, se aplicó un modelo de turbulencia $k - \epsilon$ estándar. Se obtuvieron los contornos de velocidad dentro del aula Zamarripa, donde se observan algunas turbulencias y remolinos en el aula (Figura 12).

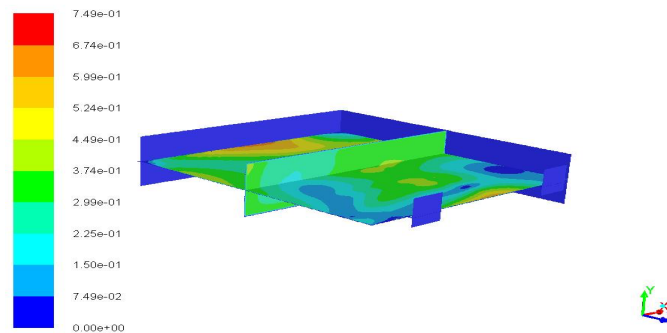


Figura 12. Contornos de magnitud de velocidad con el modelo de turbulencia $k - \epsilon$ estándar.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 13 se muestran los contornos de temperatura estática para este modelo de turbulencia $k - \epsilon$ estándar.

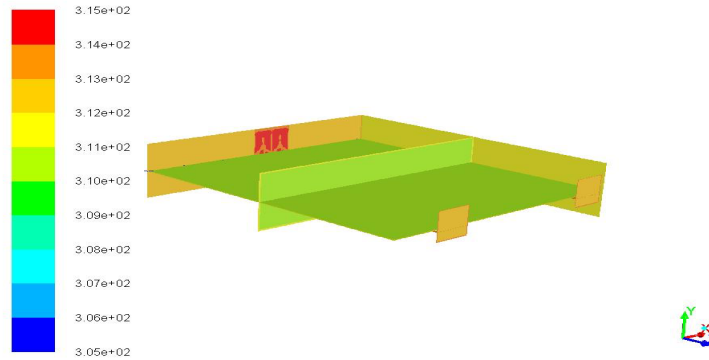


Figura 13. Contornos de temperatura estática con el modelo de turbulencia $k - \epsilon$ estándar.
Fuente: Elaboración propia.

Las líneas de corriente de la velocidad usando el modelo de turbulencia $k - \epsilon$ estándar se muestran en la Figura 14.

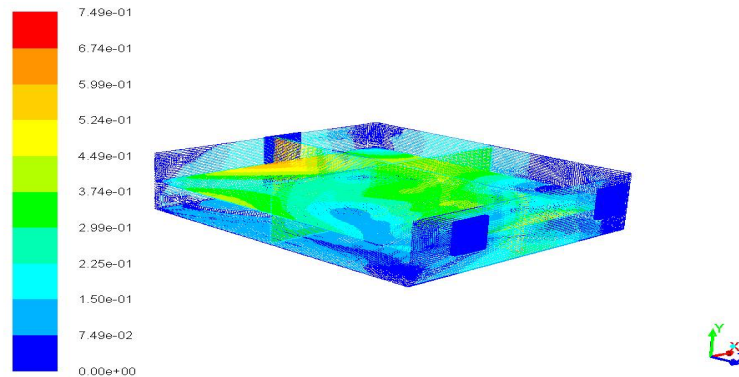


Figura 14. Líneas de corriente de la velocidad del aire con el modelo de turbulencia $k - \epsilon$ estándar.
Fuente: Elaboración propia.

Los perfiles de temperatura se observan en la Figura 15. Son los perfiles de temperatura en las tres líneas de estudio: frontal, central y fondo del aula Zamarripa.

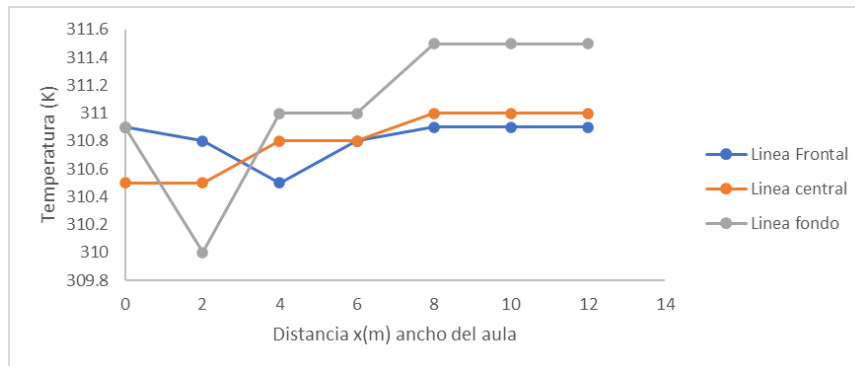


Figura 15. Perfiles de temperatura con el modelo de turbulencia $k - \epsilon$ estándar.
Fuente: Elaboración propia.

Los perfiles de temperatura se observan en la Figura 16. Se simuló usando un aire acondicionado con un flujo de aire de 36000 BTU y se observó la mejora al usar un aire acondicionado.

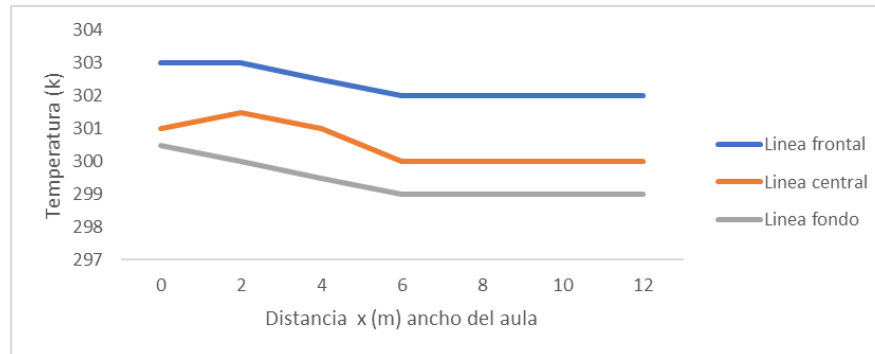


Figura 16. Perfiles de temperatura con aire acondicionado.

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

La implementación de la metodología BIM es de gran relevancia para la comunidad universitaria, ya que se hace uso de los conocimientos de la industria de la arquitectura, las ingenierías, la construcción y la operación en un ambiente colaborativo, como realmente se hace en la vida profesional y apegados a los estándares internacionales establecidos en la ISO 19650. Este trabajo nos permite interpretar resultados obtenidos de procesos, herramientas y tecnología de la metodología BIM. Es importante continuar con las actividades como son de levantamiento topográfico y recopilación de información BIM de la sede Belén Campus Guanajuato y asentar un Plan de Ejecución BIM que estandarice los procesos para el desarrollo y administración de la información que se genere, la cual servirá para la gestión de la sede Belén en nuevos proyectos que puedan ser generados por su propia comunidad. Este trabajo se enfocó en la optimización de la ventilación del aula Zamarripa de la sede Belén aplicando la herramienta de análisis CFD, donde se puede conocer el comportamiento de ventilación dentro del aula o proponer y gestionar mejoras en el aula.

Se analizaron dos enfoques, uno considerando el flujo de aire laminar y otro el flujo de aire turbulento. Para el flujo laminar, en el contorno de velocidad dentro del aula se observa una baja velocidad del aire en el aula Zamarripa que va de 0.102 m/s a 0.60 m/s. Esto quiere decir que puede transferir menos calor para enfriar el salón. Para el flujo turbulento, y usando el modelo $k - \epsilon$ estándar, se tienen velocidades de 0.374 m/s a 0.6744 m/s. Es decir, hay más turbulencia, generación y disipación de energía cinética turbulenta en el caso $k - \epsilon$ estándar, lo cual significa que se puede transmitir más rápido la temperatura fresca para enfriar el aula. Las líneas de corriente también indican los mismos valores de velocidad y formación de remolinos con el modelo de $k - \epsilon$ estándar.

Al analizar los contornos de temperatura estática, se tiene que, para el flujo laminar, el aula se calienta desde una temperatura de 303 K a una de 305 K debido a que la alimentación de aire por la ventana es caliente y no enfría el salón; y para el flujo turbulento, el calentamiento va de 308 K a 311 K. Esto sugiere que, a mayor turbulencia o velocidad de aire, hay mayor transferencia de calor por convección. Si el aire fuera frío, enfriaría más rápido el aula Zamarripa.

Los perfiles de temperatura se estudian en diferentes líneas en el aula. La primera está colocada a 2 m de las ventanas (llamada línea frontal), la segunda línea de estudio se coloca en el centro del aula (llamada línea central) y la tercera línea está a 2 m de la puerta de entrada (llamada línea de fondo). Para todos los casos, respecto al flujo laminar, la temperatura aumenta de 304 K a 304.4 K para la línea de frontal; para la línea central aumenta un poco más, de 304.4 K a 305 K; y en la línea de fondo del salón, la temperatura se mantiene constante a 305 K.

Para el flujo turbulento, la temperatura mínima de las líneas es de 308 K, y esta aumenta al recorrer el aula. Para la línea frontal, la temperatura máxima alcanzada es de 310.8 K, para la línea central crece hasta 311K y para la línea del fondo la temperatura aumenta hasta 311.5 K, en 1600 segundos de simulación. Otra parte importante fue la simulación del aula Zamarripa, suponiendo un aire acondicionado de 36 000 BTU y bajando las temperaturas en todas las líneas. La línea de fondo bajó a 299 K, la línea central a 300 K y la línea frontal hasta 302 K. Es decir, la temperatura bajó con la ayuda de aire fresco y con el flujo turbulento, ya que el aire fresco circuló más eficientemente en todo el entorno del aula Zamarripa.

Este trabajo es importante y novedoso puesto que con el uso de las dos herramientas (BIM y CFD) se observó y analizó la importancia de mejorar la ventilación en el aula Zamarripa de la División de Ingenierías de la Universidad de Guanajuato. Con BIM se obtuvo acceso al diseño del dominio del aula Zamarripa con mayor rapidez, y con la herramienta CFD, usando el Fluent 18.2 se analizó la hidrodinámica, la transferencia de calor por convección, la conducción y la radiación en el aula Zamarripa. Para el caso en flujo laminar y turbulento, también nos ayudó a estudiar el uso del aire acondicionado en esta aula.

Estos análisis de CFD tienen una aplicación directa en casos físicos, como es el aula Zamarripa, y nos ayudan a diseñar los edificios para mejorar sus condiciones climáticas dentro de ellos, ya que nos da suficiente información para gestionar equipos de aire acondicionado con el fin de optimizar la temperatura ambiente en las aulas.

En ambos casos se tiene calentamiento por el flujo de corriente de aire a cierta temperatura y por la falta de alimentación de aire fresco, por lo que es necesario gestionar un sistema de aire acondicionado para mejorar el confort térmico en el aula Zamarripa.

Una diferencia entre otros trabajos y el presente estudio es que aquellos solo consideraron transferencia de calor con convección, mientras que en este trabajo se agregó transferencia de calor por radiación usando el modelo Rosseland.

Conclusiones

Se concluye que la metodología BIM permite interpretar resultados obtenidos de procesos, herramientas y tecnología. Es importante continuar con las actividades y eficientizar el mantenimiento y operación que realiza el personal administrativo. Se requiere involucrar a la comunidad estudiantil y académica para practicar y difundir los resultados de BIM, con la finalidad de mejorar continuamente y aprovechar los esfuerzos en aplicaciones reales, como lo es el mantenimiento preventivo, la gestión de los espacios y la optimización de los recursos universitarios.

El uso de las dos herramientas (BIM y CFD) nos ayuda a diseñar y mejorar los edificios para mejorar sus condiciones climáticas, ya que nos da suficiente información para gestionar equipos de aire acondicionado para optimizar la temperatura ambiente en las aulas. La herramienta de CFD, en especial el Fluent 18.2, se puede aplicar para analizar y optimizar el clima de ciertas estructuras, edificios, aulas o salones donde se requiera mejorar las condiciones de clima o el confort térmico.

En este trabajo se presentó el análisis del aula Zamarripa, ya que con mediciones experimentales de temperatura se sabe que presenta problemas de ventilación en la época de verano. Se observó que no tiene buena hidrodinámica, lo que deriva en una mala transferencia de calor. Se analizaron dos casos, uno con modelo laminar y otro con modelo turbulento debido a que la velocidad del aire no es constante -a veces es muy lento y otras veces turbulento. En los dos casos tiende a subir la temperatura de aula conforme pasa el tiempo; es decir, en estado transitorio, con el modelo laminar subió hasta 305 K (32 °C) y para el modelo de turbulencia $k - \epsilon$ estándar subió hasta 311.5 K (38.5 °C) debido a una mayor velocidad de transferencia de aire caliente que circula dentro del aula Zamarripa. Para ambos casos se realizó una simulación de 1600 segundos. También, en CFD se analizó el aula Zamarripa con aire acondicionado de 36 000 BTU, bajando la temperatura considerablemente en el aula, hasta una temperatura mínima de 299 K.

Se puede concluir que el aula Zamarripa necesita mejorar su sistema de ventilación colocando otra ventana en el lado del pasillo interno, o bien, un clima que alimente con aire fresco para optimizar el confort térmico del aula. Se tiene trabajo a futuro, como analizar otras aulas y el auditorio de la División de Ingenierías, ya que tienen problemas con su clima. No se debe olvidar que hay muchas áreas de acción del CFD en el área de construcción y que se puede apoyar esta información con la metodología BIM con la finalidad de conocer y mejorar todas las áreas, y así poder optimizarlas en cuestión del clima o confort térmico en las aulas de la sede Belén.

El vínculo de este trabajo simulación en CFD con la metodología BIM es que nos enriquece de información porque se obtiene el modelo matemático de la distribución del clima dentro del aula Zamarripa, lo que permite que se puedan implementar las acciones propuestas ya mencionadas. Con esta información se puede realizar la gestión en este espacio de trabajo.

Agradecimientos

Agradecimiento al Grupo Implementación Procesos BIM unidad Belén de la División de Ingenierías, Campus Guanajuato, por su apoyo en este trabajo, así como al CMP+L del IPN y al Conahcyt por su apoyo en este proyecto.

Conflictos de interés

En nombre de todos los autores, el autor correspondiente declara que no existe ningún conflicto de intereses. Ninguno de los autores tiene intereses económicos que estén directa o indirectamente relacionados con el trabajo presentado para publicación.

Referencias

- ANSYS Inc. (2016). *ANSYS Fluent User's Guide*.
https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/main_pre.htm
- Choclán, F., Soler, M., & González, R. J. (2014). Introducción a la metodología BIM. *Spanish Journal of Building Information Modelling*, 4–10.
https://www.researchgate.net/profile/Ramon-Jesus-Gonzalez-Marquez/publication/284159764_INTRODUCCION_A_LA_METODOLOGIA_BIM/links/564cbc6b08aeafc2aaaf73c2/INTRODUCCION-A-LA-METODOLOGIA-BIM.pdf
- Coloma, E. (2008). *Introducción a la tecnología BIM*. Departament d'Expressió Arquitectónica, Universitat Politècnica de Catalunya.
<https://upcommons.upc.edu/entities/publication/8ec04a5e-5dc8-4a30-8d79-407c93fa696e>
- Concilio, C., Aguilera, P., Piña, C., & Viccione, G. (2024). CFD simulation study and experimental analysis of indoor air stratification in an unventilated classroom: a case study in Spain. *Heliyon*, 10(12), e32721.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32721>
- Cuce, E., Sher, F., Sadiq, H., Cuce, P. M., Guclu, T., & Besir, A. B. (2019). Sustainable ventilation strategies in buildings: CFD research. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 36, 100540.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100540>
- Hanafi, A. M., Abdo, T. A., Abbass, N. A., Abd elfatah, M. G., Diab, Y. M., & Ibrahim, M. A. (2025). Optimizing thermal comfort and air quality in university classrooms: a CFD-Based comparative analysis of HVAC configurations. *International Journal of Engineering and Applied Science*, 2(1), 17–31.
<https://doi.org/10.21608/ijeasou.2025.346313.1030>
- International Organization for Standardization (ISO). (2020). *Norma ISO 19650-1*.
<https://www.bsigroup.com/es-ES/iso-19650/>
- Kehler, P., Chaves, C., García, A., Centurion, H., Escobar, A., Lopes, L., Aquino, S., Ferreira, N., & Kurita, J. (2022). Ventilation CFD analysis at a classroom as a tool for air safety verification under COVID19 context, a case study. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 73785.
<https://doi.org/10.1115/IMECE2021-73785>
- Song, J., & Meng, X. (2015). The improvement of ventilation design in school buildings using CFD simulation. *Procedia Engineering*, 121, 1475–1481. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.073>
- Subhashini, S., & Thirumaran, K. (2019). CFD simulations for examining natural ventilation in the learning spaces of an educational building with courtyards in Madurai. *Building Services Engineering Research & Technology*, 41(4). <https://doi.org/10.1177/0143624419878798>
- Theng, A. S., Voon, C. C., Lee, Y., Hing, K., Chia, C., & Joseph, A. (2024). Natural ventilation and indoor air quality in domestic school building: CFD simulation and improvement strategies. *CFD Letters*, 16(3), 1-14.
<https://doi.org/10.37934/cfdl.16.3.114>