



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**MODELADO Y SIMULACIÓN DE CONFORT HIGROTÉRMICO EN  
INSTALACIONES INDUSTRIALES MEDIANTE EL USO DE LA DINÁMICA DE  
FLUIDOS COMPUTACIONAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniería Industrial

Autores: Camalle Segovia Sofía Michelle; Quinga Nasimba Diego Andrés

Tutor: Cuji Cuji Cristian Cristóbal

Quito- Ecuador

2024

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Sofia Michelle Camalle Segovia con documento de identificación N° 1722994355 y Diego Andrés Quinga Nasimba con documento de identificación N° 1726703471; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación

Quito 22 de Julio del 2024

Atentamente,



---

Sofia Michelle Camalle Segovia  
1722994355



---

Diego Andrés Quinga Nasimba  
1726703471

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Sofía Michelle Camalle Segovia con documento de identificación N° 1722994355 y Diego Andrés Quinga Nasimba con documento de identificación N° 1726703471, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico, **MODELADO Y SIMULACIÓN DE CONFORT HIGROTÉRMICO EN INSTALACIONES INDUSTRIALES MEDIANTE EL USO DE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito 22 de Julio del 2024

Atentamente,



---

Sofía Michelle Camalle Segovia

1722994355



---

Diego Andrés Quinga Nasimba

1726703471

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Cristóbal Cuji Cuji, con documento de identificación N° 1718002221 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **MODELADO Y SIMULACIÓN DE CONFORT HIGROTÉRMICO EN INSTALACIONES INDUSTRIALES MEDIANTE EL USO DE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL**, realizado por: Sofia Michelle Camalle Segovia con documento de identificación N° 1722994355 y por Diego Andrés Quinga Nasimba con documento de identificación N° 1726703471, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico, que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 22 de Julio del 2024

Atentamente,



---

Cristian Cristóbal Cuji Cuji

1718002221



## Índice General

1	Introducción .....	1
2	METODOS Y MATERIALES .....	2
2.1	Instalación Industrial.....	2
2.2	Optimización de Procesos en Instalaciones Industriales .....	2
2.3	Caracterización de Escenarios .....	3
2.3.1.	Temperatura y Radiación en Quito.....	3
2.4	Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	3
2.5	Comfort Higrotérmico .....	4
2.5.1.	Comfort higrotérmico en instalaciones industriales.....	4
2.5.2.	Estimación comfort higrotérmico .....	4
2.6.	La dinámica de fluidos computacional (CFD).....	5
2.7.	Análisis CFD y Comfort higrotérmico.....	5
2.8.	Ecuaciones de Navier-Stokes.....	6
2.8.1.	Ecuación de Conservación de la masa .....	6
2.8.2.	Ecuación de la Energía (Transferencia de calor) .....	6
2.8.3.	Ecuación de Momento (Conservación del momento).....	7
2.8.4.	Flujo de aire en espacios cerrados .....	7
2.8.5.	Mecanismos de Transferencia de Calor .....	7
2.9.	Fundamentos físicos de la ventilación natural.....	9
2.9.1.	Maneras de ventilar el ambiente .....	10
2.9.2.	Funciones de la ventilación natural.....	11
2.10.	Normativa requerimiento de ventilación .....	11
2.10.1.	Climatización radiante .....	13
2.11.	Descripción del escenario de estudio.....	14
2.12.	Bosquejo o modelo .....	14
2.13.	Simulación fluidodinámica computacional CFD.....	15
3.	RESULTADOS.....	17
4.	Conclusiones .....	32
5.	Referencias.....	34

## Índice de figuras

Figura 1 Dinámica de fluidos computacional (CFD).....	2
Figura 2 Incidencia del viento sobre la envolvente del edificio (Kastillo & Beltrán, 2015).....	10
Figura 3 Formas de ventilación (6).....	10
Figura 4 Caudal de aire necesario a renovar según el destino del local (4).....	11
Figura 5 Localización de la empresa INMOBILIARIA FUEGOVERDE S.A .....	14
Figura 6 Geometría 2D del galpón.....	14
Figura 7 Geometría 3D del galpón.....	15
Figura 8 Datos meteorológicos del área de estudio mayo 2024.Se muestra la temperatura (°C), la humedad relativa (%), la precipitación (mm) y la velocidad del viento (km/h). Fuente: Meteoblue, 2024.....	15
Figura 9 Flujograma desarrollo.....	16
Figura 10 Flujograma.....	17
Figura 11 Confort higrotérmico .....	18
Figura 12 Vista Superior plano de construcción.....	18
Figura 13 Vista Lateral plano de construcción .....	19
Figura 14 Escenario 1 .....	20
Figura 15 Vista superior escenario 1 .....	21
Figura 16 Vista superior flujo aire escenario 1 (escala 10 m/s).....	21
Figura 17 Vista lateral flujo aire escenario 1 .....	22
Figura 18 Vista lateral flujo aire escenario 1 (escala 10 m/s).....	22
Figura 19 Vista isométrica trayectorias escenario 1 .....	23
Figura 20 Vista isométrica temperatura escenario 1 .....	23
Figura 21 Vista isométrica de humedad escenario 1 .....	24
Figura 22 Escenario 2 .....	24
Figura 23 Vista superior isométrica escenario 2.....	25
Figura 24 Vista lateral escenario 2.....	25
Figura 25 Vista isométrica trayectorias escenario 2 .....	26
Figura 26 Vista isométrica humedad escenario 2 .....	26
Figura 27 Vista isométrica temperatura escenario 2.....	27
Figura 28 Escenario 3 .....	27
Figura 29 Vista superior isométrica escenario 3.....	28
Figura 30 Vista superior flujo aire escenario 3 (escala 10 m/s).....	28
Figura 31 Vista lateral flujo aire escenario 3 .....	28
Figura 32 Vista lateral flujo aire escenario 3 (escala 10 m/s).....	29

Figura 33 Vista isométrica trayectoria de flujo aire escenario 3 .....	29
Figura 34 Vista isométrica Temperatura escenario 3 .....	30
Figura 35 Vista isométrica humedad escenario 3 .....	30

## **Índice de tablas**

Tabla 1 Escala de valoración térmica Fanger .....	12
Tabla 2 Variables y unidades de medida .....	12
Tabla 3 Parámetros de simulación .....	20
Tabla 4 Resumen de resultados.....	31

## **Índice de ecuaciones**

Ecuación 1 Ecuación de Conservación de la masa .....	6
Ecuación 2 Ecuación de la Energía (Transferencia de calor) .....	6
Ecuación 3 Ecuación de Momento (Conservación del momento).....	7
Ecuación 4 Flujo de aire en espacios cerrados.....	7
Ecuación 5 Ley de Fourier .....	8

# **MODELADO Y SIMULACIÓN DE CONFORT HIGROTÉRMICO EN INSTALACIONES INDUSTRIALES MEDIANTE EL USO DE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL**

## **Resumen:**

El presente estudio investiga la aplicación de la Dinámica Computacional de Fluidos (CFD) para optimizar el confort higrotérmico en instalaciones industriales. Este confort, relacionado con la temperatura y la humedad, es crucial para la productividad de los trabajadores y la eficiencia de los procesos industriales. El estudio enfrenta retos como la modelización precisa de las interacciones entre el flujo de aire, la ocupación humana y la transferencia de calor. Resalta la importancia de la CFD para simular y predecir los efectos de los flujos de aire y las distribuciones de temperatura en los ambientes interiores, vital para el diseño de sistemas de calefacción, aire acondicionado y ventilación. Al evaluar estrategias de control ambiental a través de simulaciones, se busca evitar errores costosos y reducir gastos operativos. Mantener condiciones higrotérmicas óptimas puede mejorar la concentración de los trabajadores, reducir errores y accidentes, y fomentar la eficiencia energética, alineándose con objetivos de sostenibilidad. La investigación incorpora datos sobre las condiciones climáticas de Quito y destaca la incorporación de fuentes de energía renovable para mejorar la eficiencia energética en sistemas industriales de climatización. Las recomendaciones de este estudio contribuyen a mejorar los ambientes industriales, aumentar el bienestar de los trabajadores y apoyar prácticas sostenibles. El uso de modelos CFD es una herramienta indispensable para lograr estos objetivos mediante simulaciones detalladas y precisas.

## **Palabras Clave:**

- Dinámica de Fluidos Computacional (CFD): Rama de la mecánica de fluidos que utiliza análisis numérico y algoritmos para resolver y analizar problemas que involucran flujos de fluidos .
- Confort Higrotérmico: Es el nivel de bienestar humano percibido en relación con la temperatura y humedad del ambiente interior.
- Simulación Computacional: Uso de programas informáticos para replicar el comportamiento de sistemas en el mundo real, permitiendo la predicción de su comportamiento bajo diferentes escenarios.
- HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado): Tecnologías de ambiente interior que proporcionan confort térmico y calidad de aire interior.
- Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Conjunto de 17 objetivos globales establecidos por las Naciones Unidas.

**Abstract:**

The present study investigates the application of Computational Fluid Dynamics (CFD) to optimize hygrothermal comfort in industrial facilities. This comfort, related to temperature and humidity, is crucial for workers' productivity and the efficiency of industrial processes. The study faces challenges such as accurately modeling the interactions between airflow, human occupancy, and heat transfer. It highlights the importance of CFD in simulating and predicting the effects of airflow and temperature distributions in indoor environments, which is vital for the design of heating, air conditioning, and ventilation systems. By evaluating environmental control strategies through simulations, the aim is to avoid costly errors and reduce operational expenses. Maintaining optimal hygrothermal conditions can improve workers' concentration, reduce errors and accidents, and promote energy efficiency, aligning with sustainability goals. The research incorporates data on the unique climatic conditions of Quito and emphasizes the incorporation of renewable energy sources to enhance energy efficiency in industrial climate control systems. The recommendations of this study contribute to improving industrial environments, increasing workers' well-being, and supporting sustainable practices. The use of CFD models is an indispensable tool for achieving these objectives through detailed and precise simulations.

**Keywords:** Computational Fluid Dynamics (CFD), Hygrothermal Comfort, Industrial Installations, HVAC Systems, Energy Efficiency.

## 1 Introducción

La búsqueda de soluciones efectivas para mejorar el confort higrotérmico en instalaciones industriales ha llevado a explorar avanzadas metodologías de simulación como la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Este enfoque se centra en optimizar las condiciones ambientales internas para beneficiar tanto a los trabajadores como a los procesos industriales involucrados. El confort higrotérmico, definido como el nivel de bienestar humano en relación con la humedad y temperatura del ambiente interior [1].

El estudio del confort higrotérmico y su modelización mediante CFD enfrenta retos significativos, tales como la complejidad en modelar interacciones entre el flujo de aire, la transmisión de calor y la ocupación humana de manera precisa [2]. Además, la optimización del rendimiento de los códigos de simulación para aplicaciones de evaluación del confort térmico y la validación experimental de los modelos CFD son desafíos importantes que requieren atención [3]. Estos aspectos son esenciales para asegurar la precisión y fiabilidad de las simulaciones, las cuales deben ser capaces de prever el comportamiento térmico bajo diversas configuraciones y cambios ambientales.

Además de ello es considerable reconocer que la CFD es fundamental para optimizar el confort térmico mediante un enfoque interdisciplinar que incluye la dinámica de fluidos, intercambio de calor y la informática [4]. Y es por ello que esta metodología se ha aplicado eficazmente en diversos estudios para modelizar los efectos del comportamiento de aire , temperatura y humedad, esenciales para mantener el confort higrotérmico en ambientes interiores [5,6].

Es por ello que el uso de CFD permite simular y predecir el comportamiento de la dinámica de los flujos de aire y distribución de temperaturas impactan el ambiente interior, lo que es vital para el diseño efectivo de sistemas HVAC [7]. Estas simulaciones ayudan a evaluar diversas estrategias de control ambiental, como la ubicación de ventiladores o la orientación de ventanas, antes de su implementación física, lo que puede evitar errores costosos y reducir los gastos de operación. Adicionalmente, el modelado mediante CFD ofrece la posibilidad de hacer ajustes preventivos que pueden mejorar significativamente el confort dentro de las instalaciones.

Por su parte el confort higrotérmico en entornos industriales es crucial para mantener la productividad y la sostenibilidad. Un ambiente térmicamente confortable reduce el estrés térmico, lo que mejora la concentración y eficiencia de los trabajadores, reduciendo los errores y accidentes. Además, optimizar el confort térmico puede llevar a un uso más eficiente de la energía, apoyando las metas de la conservación ambiental con la reducción del consumo de energía y la huella de carbono [8,9].

Así, la relevancia de este estudio se amplifica al considerar su impacto potencial en el bienestar y eficiencia de los trabajadores. Un ambiente adecuadamente controlado no solo mejora la moral y reduce el ausentismo laboral, sino que también se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [10], promoviendo prácticas que respaldan la sostenibilidad ambiental y económica a largo plazo.

Este documento tiene como objetivo proporcionar un análisis detallado y técnicamente riguroso del uso de la CFD en la simulación del confort higrotérmico, ofreciendo recomendaciones detalladas para optimizar el diseño y el funcionamiento sistemas HVAC en contextos industriales. A través de esta investigación, se busca no solo mejorar el ambiente interior de las instalaciones, sino también contribuir al bienestar económico y sostenible a nivel global.

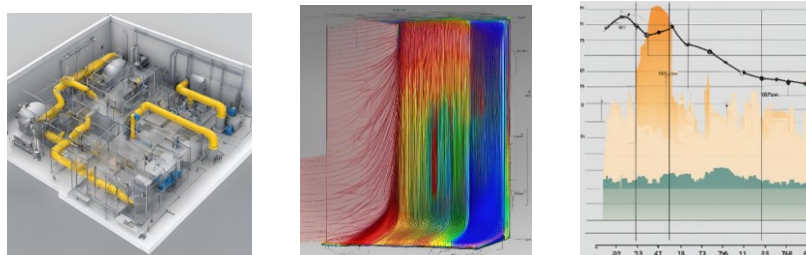


Figura 1 Dinámica de fluidos computacional (CFD)

## 2 METODOS Y MATERIALES

### 2.1 Instalación Industrial

Una instalación industrial es un conjunto de maquinaria, sistemas, estructuras y equipos diseñados y dispuestos para llevar a cabo procesos de producción industrial a gran escala. La finalidad de estas instalaciones es fabricar, ensamblar, procesar o almacenar bienes en un entorno industrial. Su diseño y funcionamiento se centran en maximizar la producción, la eficiencia y la seguridad en la producción de bienes o servicios [11]. Para la planificación y gestión de las instalaciones industriales, que abarcan desde plantas de fabricación hasta complejos industriales totalmente integrados, es necesario un enfoque global que tenga en cuenta los aspectos técnicos, económicos, medioambientales y de seguridad [12].

El diseño ideal de la planta y la disposición de los equipos para maximizar los flujos de producción, así como la selección de maquinaria y tecnologías adecuadas para los procesos, son fundamentales a nivel técnico. Además, la incorporación de sistemas de control y automatización también mejoran la eficiencia. Asimismo, desempeñan un papel importante las infraestructuras de servicios públicos, como el aire comprimido, agua y la electricidad [13].

### 2.2 Optimización de Procesos en Instalaciones Industriales

Durante los últimos años, el uso de la dinámica de fluidos computacional ha cambiado significativamente, convirtiéndose en una herramienta precisa y versátil para el análisis y rendimiento de procesos en instalaciones industriales. El diseño y la mejora de equipos y sistemas se ven potenciados por la CFD, que permite estudiar la transferencia de masa y calor, así como el comportamiento de los fluidos en diversos procesos industriales [14].

Con relación al confort higrotérmico, la optimización de los procesos en instalaciones industriales implica la implementación de un enfoque holístico destinado a garantizar condiciones de temperatura y humedad óptimas para aumentar la eficiencia operativa y el bienestar laboral de los trabajadores. Este planteamiento requiere la instalación de sofisticados sistemas de ventilación y calefacción que controlen con precisión las variables hidrotérmicas, garantizando un entorno de trabajo saludable y confortable [15]. La cuidadosa selección de los materiales de construcción y aislamiento adecuados, junto con el uso de tecnologías de control y supervisión en tiempo real, permiten mantener unas condiciones hidrotérmicas estables y evitar fluctuaciones que podrían repercutir negativamente en la productividad y la salud laboral. Conforme con la normativa vigente y las mejores prácticas sostenibles del sector, la integración de fuentes renovables y soluciones energéticamente eficientes en los sistemas de aire acondicionado también contribuye significativamente a reducir el consumo energético y mitigar el impacto medioambiental [16].

## **2.3 Caracterización de Escenarios**

### **2.3.1. Temperatura y Radiación en Quito.**

Al estar situada en la cordillera de los Andes, a una altitud de 2.850 metros sobre el nivel del mar, Quito tiene un clima único caracterizado por una gran variabilidad diurna y una mínima variabilidad estacional en términos de temperatura. La temperatura media anual varía entre 10 y 20 °C, lo que es importante considerar la hora de diseñar sistemas de aire acondicionado en instalaciones industriales. La estabilidad termo mecánica afecta directamente a la eficiencia energética y a la operatividad del sistema termo mecánico. Así, para optimizar la respuesta de los sistemas HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) a las condiciones ambientales constantes, los modelos de simulación para confort higrotérmico deben incorporar estos datos [17,18]. Esto mejorará el bienestar de los trabajadores y la sostenibilidad operacional.

La ciudad de Quito se beneficia de una intensa exposición solar debido a su situación geográfica cerca de Ecuador, donde los valores de radiación solar superan con frecuencia los 1.000 W/m<sup>2</sup> en los días nublados. En las estructuras industriales, esta intensidad no sólo aumenta la carga térmica, provocando una elevada temperatura interna y una mayor demanda de refrigeración, sino que también ofrece importantes oportunidades para la captación de energía solar. Los diseños arquitectónicos pueden disminuir la absorción de calor integrando materiales reflectantes o aislantes y orientando estratégicamente los edificios. Al mismo tiempo, el equipamiento de los tejados con paneles solares fotovoltaicos puede generar una fuente renovable y eficiente, disminuyendo la dependencia de fuentes no renovables y alineándose con las estrategias de sostenibilidad y eficiencia energética [19].

### **2.4 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).**

La combinación de sistemas fotovoltaicos y de calefacción solar en Quito permite el uso eficiente de la radiación solar directa de la zona, lo que está en consonancia con un ODS sobre energía asequible y no contaminante. El uso de estos sistemas contribuye a un modelo de desarrollo más sostenible, no sólo reduciendo la dependencia de fuentes de energía no renovables, sino también reduciendo significativamente las emisiones de carbono. Este énfasis es especialmente pertinente en el entorno industrial, donde el alto consumo de energía es habitual y el cambio a fuentes de energía limpias puede tener un efecto considerable en el medio ambiente y la economía. Además, la eficiencia en la producción de energía in situ puede proporcionar a las industrias un aumento de la seguridad energética y la estabilidad de los costes frente a las fluctuaciones del mercado energético [20].

Así, el diseño arquitectónico y funcional de los edificios industriales de Quito debería considerar cuidadosamente la posibilidad de integrar estas soluciones energéticas sostenibles. Para maximizar el confort térmico dentro de los edificios, es necesario evaluar cómo afecta la radiación solar a las cargas termo mecánicas de las estructuras. Una evaluación exhaustiva de estas entradas no sólo facilita la elección y ejecución de sistemas de calefacción y refrigeración alimentados por energía solar, sino que también permite diseñar edificios que maximicen el uso eficiente de la energía solar pasiva. Estas estrategias de diseño pueden implicar la mejor orientación posible de las estructuras, el uso de materiales con propiedades térmicas específicas y la aplicación de innovaciones como fachadas ventiladas o sistemas dinámicos de sombreado que ajusten las condiciones interiores [21].

## **2.5 Comfort Higrotérmico**

El confort higrotérmico se puede definir como la sensación de bienestar que experimenta una persona en relación con la temperatura, humedad, movimiento del aire y otros factores ambientales [22]. Por su parte, este concepto es relevante en espacios industriales, donde el control de estos factores puede influir en la productividad y el bienestar de los trabajadores [23]. La temperatura, humedad, movimiento del aire y otros factores ambientales son determinantes clave del confort higrotérmico [24]. Así también, en el contexto industrial, la contaminación del aire y otros desafíos ambientales pueden afectar negativamente el confort higrotérmico [9].

Además de ello, existen ciertos modelos sirven como referencias teóricas para desarrollar una comprensión más amplia de la percepción del confort térmico: 1. Modelos que analizan la influencia de factores ambientales como la temperatura, la presión, la humedad relativa y la velocidad del aire en el confort térmico. 2. Modelos que tienen en cuenta los factores personales que influyen en la percepción individual de los entornos confortables o incómodos. 3. O incluso también, por ejemplo, el desarrollo y la aplicación de una herramienta de software visual con Matlab para comparar diferentes modelos [23].

### **2.5.1. Confort higrotérmico en instalaciones industriales**

En las instalaciones industriales, el confort higrotérmico es esencial para garantizar un entorno de trabajo saludable y productivo. Esta idea se enfoca en conservar las temperaturas y humedad ideales para el bienestar de los empleados y la función apropiada de los equipos. Un espacio de trabajo higrotérmico adecuado mejora el rendimiento de los trabajadores, aumenta la concentración y disminuye la fatiga, todas ellas características importantes en entornos industriales en los que la eficiencia y la precisión son fundamentales [26].

Implementar sistemas avanzados de climatización y ventilación que permitan controlar y regular las variables ambientales en tiempo real es importante para lograr un confort higrotérmico adecuado. Estos sistemas deben ser capaces de mantener niveles de humedad adecuados y temperaturas constantes independientemente de las condiciones externas [27]. La utilización de aislamiento térmico y materiales de construcción de alta eficiencia contribuye significativamente a mantener un ambiente interior confortable al prevenir la pérdida de calor y disminuir el consumo de energía.

El ajuste automático de las condiciones ambientales en función de las necesidades particulares de cada zona de la instalación es posible gracias a la incorporación de tecnologías de automatización y monitorización en los sistemas de climatización. Esto no sólo maximiza el consumo de energía, sino que también garantiza el mantenimiento de los niveles de confort térmico en todo momento [28]. La utilización de fuentes de energía renovables, como la energía solar o geotérmica, puede mejorar estos sistemas al reducir los costes de funcionamiento a largo plazo y el impacto ambiental.

### **2.5.2. Estimación confort higrotérmico**

Para evaluar y mantener este confort se utilizan métricas y normas específicas como el índice de humedad y temperatura relativa (THI) y el índice de temperatura efectiva (ET), además de las normas establecidas por grupos reconocidos como la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) [29]. Para orientar el diseño y la gestión de los espacios, estas normas tienen en cuenta factores como la adaptación de los ocupantes al entorno, sus actividades y la ropa que llevan, con el fin de promover el bienestar y la productividad de las personas [30].

Estas métricas proporcionan un punto de referencia para establecer normas uniformes que garanticen niveles de confort adecuados en distintos tipos de edificios y climas; facilitan el diseño y control eficientes de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado; reducen el riesgo de problemas de salud asociados al estrés térmico, y aumentan la concentración y la eficiencia en el trabajo. Además, estas métricas permiten la supervisión y el ajuste continuos de las condiciones ambientales, lo que conduce a mejoras continuas en la gestión de los edificios [31].

## **2.6. La dinámica de fluidos computacional (CFD)**

Es una potente herramienta para simular la dinámica de fluidos y la transferencia de calor y masa, con aplicaciones en diversos campos, incluyendo la ingeniería industrial. Y en el contexto del confort higrotérmico en las industrias, el CFD puede utilizarse para modelar y optimizar la distribución de temperatura y la humedad en las instalaciones de producción, garantizando un entorno de trabajo cómodo y seguro [32]. Además, CFD puede aplicarse para estudiar y comprender los aspectos teóricos de los flujos turbulentos, que son relevantes en aplicaciones industriales.

Esta técnica se utiliza en ingeniería para abordar problemas complejos cuando no son posibles las soluciones analíticas, lo que supone recurrir al análisis numérico mediante la mecánica de fluidos computacional [33]. Una gran variedad de campos de la ingeniería se presta a la CFD, como la aerodinámica, la hidrodinámica, los motores, la transferencia de calor, la combustión y la ingeniería de procesos. La formulación del problema, la generación de una malla de volumen finito, la solución numérica de las ecuaciones y el análisis de los resultados obtenidos son pasos clave en un análisis CFD. Esta herramienta permite representar y reproducir las acciones de los líquidos, lo que resulta esencial para la creación de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado y para el diseño de los mismos [34].

## **2.7. Análisis CFD y Confort higrotérmico**

Por su parte el análisis CFD en lo que se refiere al confort higrotérmico se ha enfocado, en diversos estudios, principalmente en la optimización del confort térmico en diversos entornos, como oficinas, hospitales y grandes galpones. Las técnicas incluyen el uso de personas simuladas por ordenador con modelos de ropa, modelos de termorregulación multimodos y el estudio de la convección natural en espacios calefactados [35]. El objetivo de estos estudios es crear entornos térmicos confortables prediciendo con precisión la distribución de temperatura y el flujo de aire. Por ejemplo en un estudio se utiliza el análisis CFD para analizar la transferencia de calor y el flujo de aire alrededor de la persona simulada por ordenador (CSP) en condiciones ambientales específicas; al aplicar simulaciones CFD se puede reproducir con altos índices de precisión las condiciones experimentales, comparando los resultados del análisis de la temperatura de la piel con los datos experimentales por ejemplo [36;35].

Es así como se ha evidenciado también que el análisis CFD puede optimizar el confort térmico en salas de oficinas, por ejemplo, investigando los efectos de cambiar las posiciones de entrada de aire acondicionado (AC). Los resultados indican que determinadas configuraciones de entrada de AC, como las entradas dobles desde la pared lateral, pueden reducir significativamente el tiempo necesario para alcanzar temperaturas de confort en el interior de la sala [36].

El modelado tridimensional del espacio a analizar es el primer paso en la aplicación del CFD al estudio del confort higrotérmico, donde deben considerarse las características físicas del entorno, los sistemas de climatización existentes y las condiciones ambientales externas

[37]. Después de resolver numéricamente las ecuaciones de conservación de masa, momento y energía, se procede a la simulación del flujo de aire y la transferencia de calor en el espacio, lo que permite predecir la distribución de variables como la temperatura, humedad, velocidad y la dirección del aire [38]. La evaluación de los índices de confort higrotérmico, como el índice de temperatura y humedad (THI) o el índice de temperatura efectiva (ET), se realiza a partir de los resultados obtenidos de la simulación CFD, que son esenciales para determinar el grado de satisfacción termodinámica de los ocupantes. En última instancia, el análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) facilita la optimización del diseño al permitir la investigación de diversas alternativas de diseño, sistemas de control climático y estrategias de control. El objetivo es encontrar la solución más eficaz que garantice el mejor confort hidrotérmico en el espacio evaluado [39].

## 2.8. Ecuaciones

### 2.8.1. Ecuación de Conservación de la masa

Esta ecuación se utilizará para modelar y analizar como la masa del fluido se conserva a medida que fluye a través de diferentes escenarios. Su aplicación es esencial para simular y predecir la distribución y comportamiento del fluido en los entornos industriales, así garantizando que las soluciones de la simulación sean precisas y eficientes en la gestión de flujos y la transferencia de masa.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

Ecuación 1 Ecuación de Conservación de la masa

Donde:

- $\rho$  es la densidad del fluido
- $\mathbf{u}$  es el vector de velocidad
- $t$  es el tiempo

### 2.8.2. Ecuación de la Energía (Transferencia de calor)

Se empleará para modelar la transferencia de calor en el análisis de CFD, permitiendo evaluar como se disipa y se distribuye la temperatura dentro de uno o varios escenarios. Su aplicación es fundamental para optimizar el diseño de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), así también permitiendo el confort térmico y la eficiencia energética en entornos industriales.

$$\rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (K \nabla T) + S$$

Ecuación 2 Ecuación de la Energía (Transferencia de calor)

Donde:

- $c_p$  capacidad calorífica, a presión constante
- $T$  temperatura
- $K$  coeficiente de conductividad térmica
- $S$  fuentes de calor internas

### 2.8.3. Ecuación de Momento (Conservación del momento)

Esta ecuación nos permite modelar la dinámica de fluidos en el análisis CFD, permitiendo que la simulación sea precisa del flujo de fluido y las relaciones de las fuerzas que afectan al flujo. La ecuación es esencial para poder evaluar las variaciones de presión, las tensiones viscosas, fuerzas externas que influyen en la velocidad y el comportamiento del fluido en un sistema o escenario específico. Su aplicación nos sirve para optimizar el diseño de sistemas de ventilación, climatización y procesos industriales al garantizar un flujo de fluidos adecuado y eficiente.

$$\rho \left( \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \mathbf{f}$$

Ecuación 3 Ecuación de Momento (Conservación del momento)

Donde:

- $p$  es la presión
- $\boldsymbol{\tau}$  es el tensor de tensiones viscosas
- $\mathbf{f}$  es la densidad de fuerza externa (por ejemplo, gravedad)

### 2.8.4. Flujo de aire en espacios cerrados

Se emplea esta ecuación para analizar la distribución de presión y velocidad del aire dentro de un espacio cerrado, como oficinas o áreas industriales. La ecuación es fundamental para entender como las variaciones en la presión, la velocidad del aire, y la altura afectan al flujo de aire en diferentes secciones de un área específica. Su aplicación nos permitirá optimizar los sistemas de ventilación y acondicionamiento de aire, mejorando la eficiencia energética y el confort ambiental al asegurarnos una correcta distribución del aire en el interior de la sección evaluada.

$$P + \frac{1}{2} \rho u^2 + \rho gh = \text{constante}$$

Ecuación 4 Flujo de aire en espacios cerrados

Donde:

- $P$  presión
- $u$  velocidad de flujo
- $g$  aceleración gravitacional
- $h$  es la altura del fluido

### 2.8.5. Mecanismos de transferencia de Calor

Conducción

Es un método de transmisión de calor que ocurre a través del contacto directo entre cuerpos, la transferencia de calor se produce debido la vibración molecular, se lo relaciona al paso de energía a través de un sólido o de un fluido en reposo. La conductividad térmica es una propiedad física e los materiales que permite medir la capacidad de conducción de calor

## Ley de Fourier

$$q = -k * A \frac{dT}{dx}$$

Ecuación 5 Ley de Fourier

Donde:

- $k$  conducción térmica del material
- $A$  área transversal del flujo
- $\frac{dT}{dx}$  gradiente de temperatura

## Convección

Es un mecanismo donde la transferencia de calor se produce a través de un medio puede ser por una gas o líquido, no por contacto directo entre las partes, se produce debido al movimiento de fluidos.

### Tipos

Natural: No tiene una velocidad apreciable o característica.

Forzada: Presenta una velocidad.

El coeficiente de convección depende de las condiciones de las propiedades del fluido, la geometría y dinámica del sistema

## Ley de enfriamiento de Newton

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_{amb})$$

Ecuación 6 Ley de enfriamiento de Newton

Donde:

- $\frac{dT}{dt}$  gradiente de temperatura
- $T$  temperatura
- $T_{amb}$  temperatura ambiente
- $k$  constante

## Radiación

En este mecanismo no necesita de partículas para la transferencia de calor se transmite en el vacío, se basa e la emisión y absorción de ondas electromagnética por parte de cualquier cuerpo debido a las temperaturas. Todos los cuerpos emiten radiación térmica mientras mas caliente se encuentre el cuerpo mayor es su emisión.

## Ley de Stefan-Boltzmann

$$P = \sigma AT^4$$

Ecuación 7 Ley de Stefan-Boltzmann

Donde:

- $P$  Potencia total radiada
- $\sigma$  constante
- $T$  temperatura absoluta
- $A$  área de la superficie del cuerpo

## 2.9. Fundamentos físicos de la ventilación natural

El flujo del aire en movimiento produce lo que naturalmente se define como ‘viento’, dicho movimiento es provocado por las masas de aire para compensar las diferencias de presión atmosférica generadas debido a las variaciones de temperatura en la superficie terrestre.

En este contexto, se define a la ventilación natural puede describirse como el movimiento flujo de aire que se produce por las presiones naturales del viento desde o hacia edificaciones, por medio de la envoltura de estos y sus aberturas específicas como ejes de ventilación, ventanas, etc. [40].

Santiago Vela en su libro “Calidad del aire interior” define ventilar como el intercambio de aire en espacios interiores con aire proveniente del exterior, pero sin influencia ni necesidad de asistencia mecánica [41]. La ventilación natural resulta ser una de las mejores estrategias relacionadas con la reducción del consumo de energía en edificaciones urbanas e industriales y mucho más en climas tropicales, ya que en este tipo de clima se tiene un alto nivel de ganancias de calor en sus estructuras por la elevada temperatura del aire y la humedad relativa. [42].

A nivel físico, la ventilación puede definirse como el resultado de las presiones

creadas sobre las estructuras de diferentes edificaciones, teniendo bajo este concepto dos casos:

- La diferencia de presión positiva genera un movimiento de aire, orientado hacia el interior de diferentes edificaciones.
- La diferencia de presión negativa produce un flujo de aire hacia el exterior de la edificación

Se pueden observar de mejor manera los casos propuestos anteriormente mediante el siguiente gráfico donde se muestra que el aire es impulsado hacia el interior de la edificación es alcanzada por el viento predominante, sale hacia el exterior por el lado contrario al viento predominante y también influye la forma de la edificación como tal y sus subyacentes [43]:

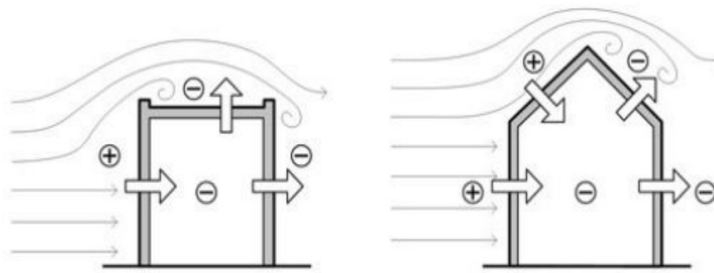


Figura 2 Incidencia del viento sobre la envolvente del edificio (Kastillo & Beltrán, 2015)

### 2.9.1. Maneras de ventilar el ambiente

En edificaciones, existen las siguientes formas para la ventilación natural en el interior [43]

- Por impulsión. Se recolecta el aire limpio del exterior mediante ventiladores para empujarlo dentro del recinto, con esto se produce una sobrepresión en el interior y se obliga al aire impuro a salir por las aberturas previstas diseñadas para este fin.

- Por extracción. Mediante ventiladores extractores instalados a lo largo del recinto, se aspira el aire interior adulterado y es expulsado al exterior en la atmósfera, el método más empleado.

- Por extracción. Es una fusión de los métodos anteriores, la impulsión introduce el aire puro exterior y la extracción es para expulsar el aire contaminado del interior. Se realiza un análisis de la configuración geométrica de la edificación y de las aberturas o puntos por donde entra y sale el aire para obtener resultados óptimos.

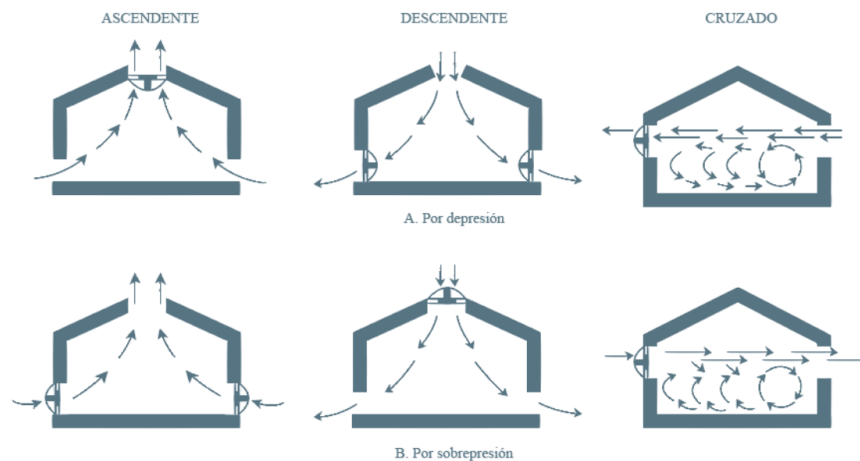


Figura 3 Formas de ventilación (6)

Dado que dicho fenómeno natural influye en todos los aspectos del ser humano y más aún en las edificaciones, Guillermo Gonzalo en su Manual de Arquitectura Bioclimática y Sustentable afirma que es necesaria la ventilación para efectos y exigencias de confort, condiciones de calidad del aire interior [44].

Dicho autor afirma, que la ventilación natural con un óptimo control de ventanas y superficies ventilantes en climas cálidos y teniendo en cuenta una determinada humedad y velocidad dentro de estos entornos, influye positivamente:

- Durante la evaporación del sudor
- En el mantenimiento de condiciones confortables

- Ayuda en el enfriamiento de las estructuras, por ingreso de viento durante la noche
- Disminuye la temperatura interior diurna.

### 2.9.2. Funciones de la ventilación natural

A nivel general para el tema de edificaciones, la ventilación natural cumple importantes funciones, como son:

Una óptima respiración del ambiente es posible gracias a las condiciones sanitarias que tiene la calidad del aire interior, por lo tanto la extracción del aire viciado en el interior de instalaciones y remplazarlo por aire puro del exterior ya que los edificios son ambientes cerrados cabe resaltar que el aire se satura rápidamente de anhídrido carbónico, hasta el punto de que muchas veces se hace irrespirable.

Asegurar el bienestar térmico de los ocupantes de diferentes tipos de edificaciones Debido a que es necesaria la renovación del aire saturado de humedad que se forma alrededor de la piel en temperaturas superiores al promedio, se debe facilitar el movimiento del aire para que se cumpla este bienestar térmico especialmente en climas cálidos y cálido-húmedos.

Enfriamiento de superficies internas, este factor está relacionado a la renovación natural de la ventilación de superficies internas en cuanto a la envolvente de diferentes edificaciones por el ingreso de viento a menor temperatura, especialmente en horas nocturnas, lo que da como resultado la generación de bienestar las condiciones térmicas de las zonas del interior. [45]

Los factores habituales para una ventilación natural inadecuada son: la presencia de una única abertura lo que limita el movimiento del aire de dicha salida, mala ubicación de las ventanas y sus elementos constructivos impide que no circule el aire sobre el interior de la estructura.

Tipo de edificio	Locales	Renovaciones de aire por hora	Mínimo de aire natural requerido (m <sup>3</sup> /h por persona)
Edificios de oficinas	6 m <sup>3</sup>		20
	9 m <sup>3</sup>		17
	12 m <sup>3</sup>		11
	14 m <sup>3</sup>		11
	Baños y lavandería	2	
Hospitales	Sala de reunión		28
	Sala de operaciones y rayos X	10	
	Sala de enfermedades contagiosas		50
Fábricas y talleres	Sala de maternidad		60
	Locales de trabajo		23
	Lavatorios y baños	2	

Figura 4 Caudal de aire necesario a renovar según el destino del local (4)

### 2.10. Normativa requerimiento de ventilación

El bienestar térmico entre los ocupantes de un lugar o espacio es de gran importancia para realizar actividades, rigiéndose a varias Normativas tanto a nivel nacional como internacional, ISO 7730 y ASHRAE 55 (Attia y Carlucci, 2015) detalla al confort como “Esa condición de la mente en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico” (ISO 7730, 2006, p. 10). Cabe destacar que un ambiente interior donde el ser humano no se mantenga cómodo puede afectar tanto a la salud, rendimiento de cada persona.

Existen diferentes formas de evaluar los rangos de temperatura donde los usuarios pueden examinar si se considera confortable el lugar donde se encuentra situado así como también permite evaluar su inconformidad.

El modelo Fanger (1973) consiste en evaluar la percepción térmica de las personas teniendo en cuenta tres variables importantes: ambiente, vestimenta, metabolismo, la ecuación de Fanger emplea una escala de percepción térmica que va desde -3 a +3 siendo el número negativo muy frío mientras que el número positivo demasiado calor.

<b>Valor</b>	<b>Apreciación</b>
menos tres (-3)	Frio
Menos dos (-2)	Fresco
Menos uno (-1)	Ligeramente fresco
Cero (0)	Neutral
Uno (1)	Ligeramente cálido
Dos (2)	Cálido
Tres (3)	Caliente

Tabla 1 Escala de valoración térmica Fanger

Este modelo se encuentra basado en la comparación de distintas variables que son:

<b>Variables</b>	<b>Unidades de medida</b>
Grado de actividad	met
Vestimenta	clo
Temperatura en el interior de estructuras	°C
Nivel de humedad	%
Temperatura en el exterior estructuras	°C
Velocidad de corriente de aire	(m/s)

Tabla 2 Variables y unidades de medida

Para la evaluación de las variables se define a través de estos índices:

PMV: apreciación se sensación térmica (Predicted mean vote)

PPD: índice de porcentaje de estimación de personas insatisfechas de acuerdo con las condiciones térmicas (Percentage of people dissatisfied)

Estos índices se utilizan tanto en el diseño y el ajuste en el sistema de aire acondicionado, calefacción y ventilación (HVAC) son de ayuda para evaluar, asegurar las condiciones térmicas en espacios interiores creando lugares confortables en el área de trabajo.

En el confort térmico se basa principalmente en que el ser humano se adapte a condiciones térmicas este enfoque es importante y útil en instalaciones industriales ya que son lugares donde existen diferentes condiciones térmicas, las personas que ocupa diferentes instalaciones varia su tolerancias y adaptación al lugar por ello el Método Adaptativo (MA) se basa en la adaptación fisiológica, comportamental, psicológica, en la aplicación de este método la evolución es importante ya que registra, temperatura y velocidad de aire, temperatura radiante y la humedad relativa, considerando vestimenta, horarios de trabajo.

Este método es un proceso continuo que requiere de retroalimentación constante y progreso de las condiciones de trabajo que lo requiera

La calidad de aire interior existe diferentes normativas, que determinan la renovación de aire el cual depende de la actividad que realizan en un entorno específico

### **2.10.1. Climatización radiante**

La transmisión de calor podemos encontrarla a través de convección, conducción y radiación, el ultimo método mencionado se basa en la energía electromagnética utiliza radiación infrarroja en cual genera calor

Las plantas industriales pueden hacer uso de la climatización radiante que tiene por objetivo utilizar sistemas de conducción calefacción y de refrigeración radiante manteniendo en confort térmico en estos espacios, implica colocar paneles en las paredes o techos dependiendo lo que se requiera puede ser frio o calor distribuidos de manera homogénea.

Se tiene ciertos beneficios como el menor uso de energía, disminución de circulación de aire, este sistema puede ser adaptado en instalaciones es donde existe la temperatura controlada o el manejo de materiales altamente sensibles.

La interpretación de los resultados del CFD en el contexto del confort higrotérmico implica una serie de pasos críticos para extraer información valiosa y precisa sobre el comportamiento térmico e higrométrico de un espacio. En primer lugar, se debe efectuar un análisis detallado de la distribución de temperatura y humedad en el recinto, ya que estas variables pueden influir significativamente en el confort de los ocupantes [46].

Asimismo, es fundamental evaluar la velocidad del aire, pues altas velocidades pueden generar sensaciones de incomodidad térmica. Adicionalmente, se debe analizar la distribución de la radiación térmica, ya que esta también juega un papel importante en el confort higrotérmico. Posteriormente, los resultados del análisis CFD pueden ser utilizados para calcular índices de confort higrotérmico, como el índice de temperatura y humedad (THI) o el índice de temperatura efectiva (ET), los cuales permiten evaluar el nivel de satisfacción térmica de los ocupantes.

Por otro lado, es crucial analizar la influencia de los sistemas de climatización, como los sistemas de ventilación y refrigeración, en el confort higrotérmico del espacio [47]. Finalmente, los resultados del análisis CFD deben ser comparados con normas y estándares de confort higrotérmico para evaluar si el espacio cumple con los requisitos establecidos con el propósito de abordar acertadamente el análisis de la modelo en cuestión.

## 2.11. Descripción del escenario de estudio

Una vez definido el alcance del modelo, es necesario establecer cuáles son las consideraciones para el análisis dentro del presente estudio. Por ende, es fundamental iniciar con la información de la empresa perteneciente al sector privado denominada como INMOBILIARIA FUEGOVERDE S.A.; RUC 1791999274001 dedicada a efectuar actividades de compra, venta de diferentes insumos de papelería que empezó sus actividades el 21/06/2005. La empresa se encuentra en la dirección; José Borja lote 785 2 km, Parroquia Puenbo; Quito-Pichincha.

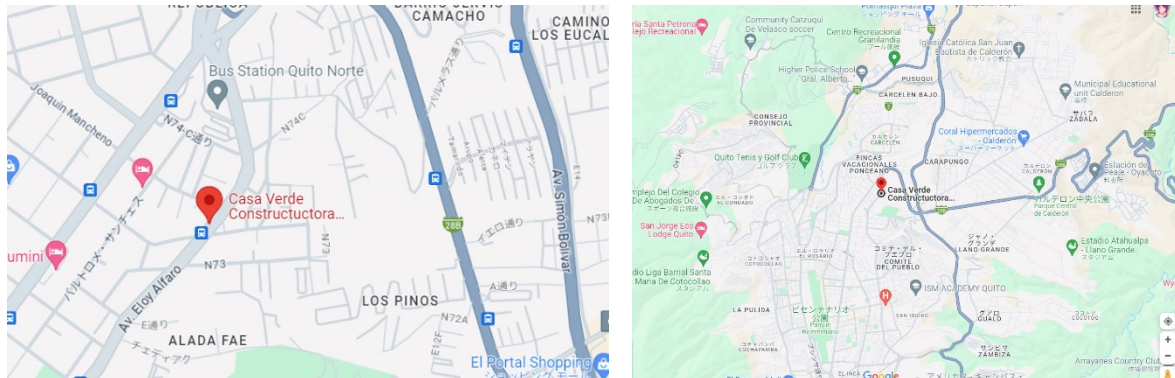


Figura 5 Localización de la empresa INMOBILIARIA FUEGOVERDE S.A

## 2.12. Bosquejo o modelo

A continuación, se muestra la figura que representan la geometría del galpón y/o modelo de estudio.

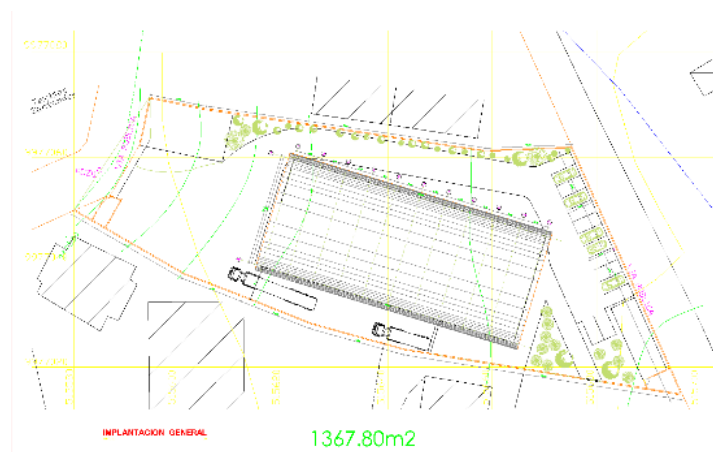


Figura 6 Geometría 2D del galpón

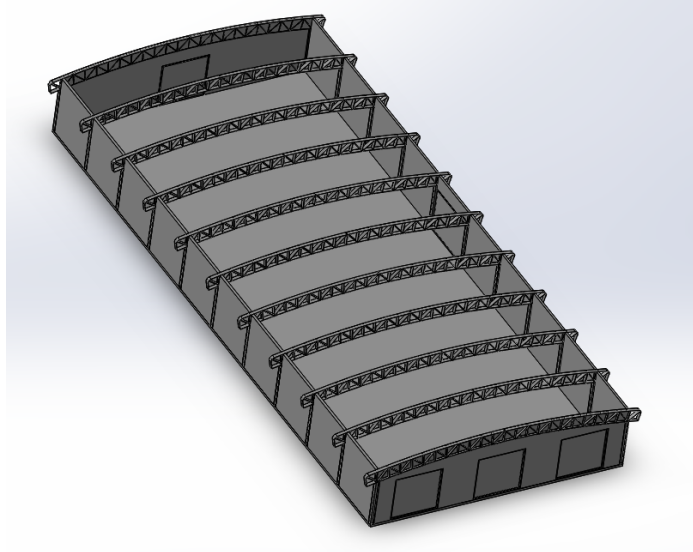


Figura 7 Geometría 3D del galpón

Para este caso en particular las medidas del galpón y área se desarrolla sobre las medidas de 50 x 21.40 metros. Los pórticos son 11 de 3 x 3 m y la cerca es de 0.3 m de ancho. El material predominante de las paredes es bloque de 10 cm de espesor, las columnas son de acero estructural de 30 cm x 30 cm. Las puertas del sitio son enrollables. Y, por último, pero no menos importante el techo es de deck metálico.

### 2.13. Simulación fluidodinámica computacional CFD

Establecidas las consideraciones geométricas se procede a identificar la zona de estudio (escenario inicial de análisis) en búsqueda las condiciones de frontera como es el caso de velocidad del viento (m/s), temperatura (°C), precipitación (mm) y humedad relativa (%). Dicha información fue suministrada por el portal meteorológico de Quito metoblue.

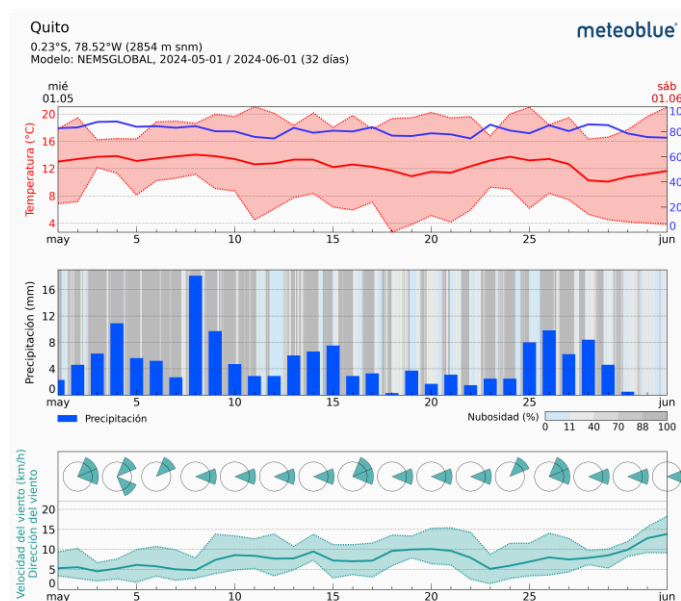


Figura 8 Datos meteorológicos del área de estudio mayo 2024. Se muestra la temperatura (°C), la humedad relativa (%), la precipitación (mm) y la velocidad del viento (km/h). Fuente: Meteoblue, 2024.

Para el desarrollo de una simulación en un galpón industrial consiste la recolección de datos empíricos, de cada uno de los escenarios que se van a mencionar posteriormente como segunda etapa, se construye el modelo tridimensional del galpón en Solidword, incorporando las dimensiones, materiales similares para una simulación realista. Como tercera etapa se corre la simulación en CFD en SolidWorks se aplica los datos de entrada los cuales permiten analizar el comportamiento del flujo de aire, temperatura, humedad que se encuentra en el galpón, permite tener una mejor percepción del confort higrotérmico, permitiendo identificar las áreas que se requieren mejoras.

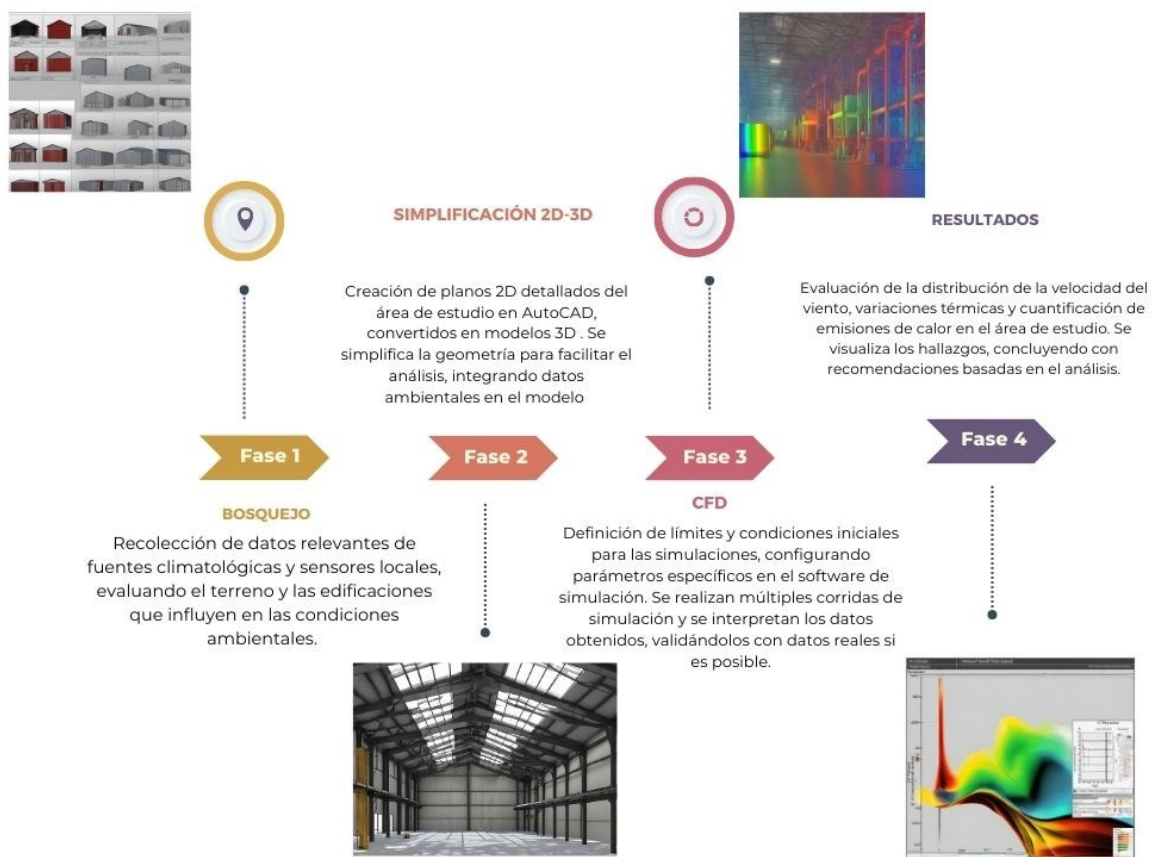
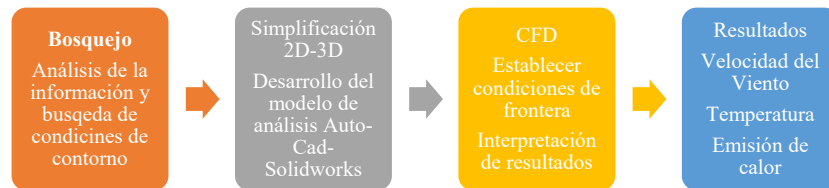


Figura 9 Flujograma desarrollo

### 3. RESULTADOS

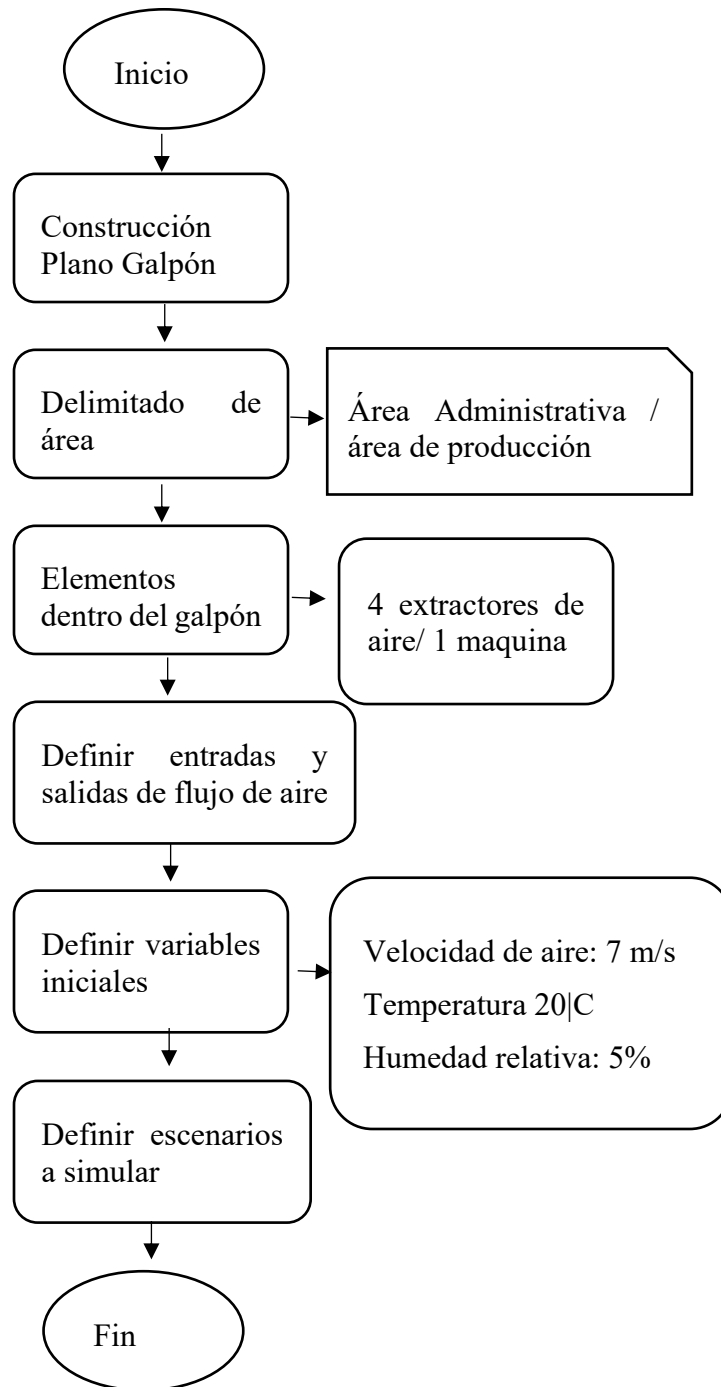


Figura 10 Flujograma

La figura muestra el flujograma de proceso a seguir para efectos de la simulación con su delimitaciones, entradas y salidas, variables iniciales de simulación y escenarios a ser estudiados

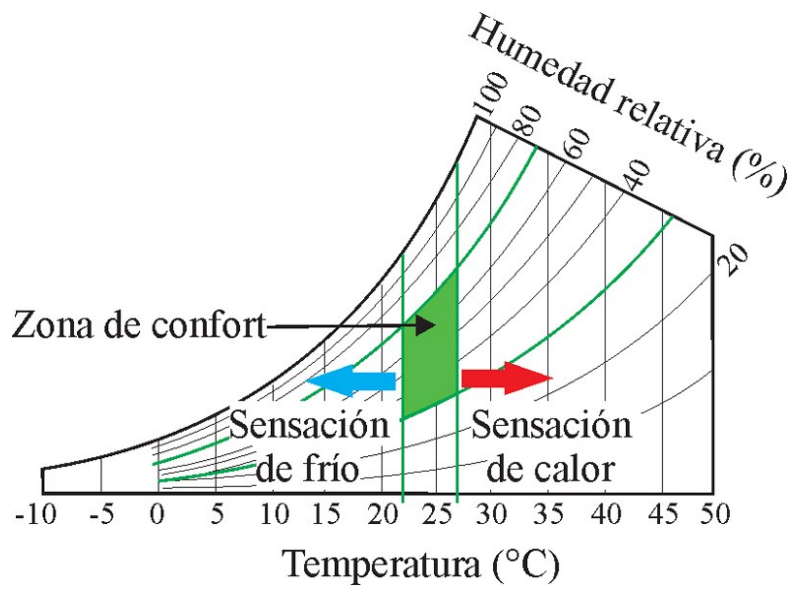


Figura 11 Confort higrotérmico

La figura 11 muestra la gráfica de confort higrotérmico en la que relaciona tanto el porcentaje de humedad relativa como la temperatura en centígrados, además muestra tres escenarios posibles los cuales son sensación de frío, zona de confort y sensación de calor. Para estudio de este caso se tomará en cuenta la zona de confort la cual está ubicada en una humedad relativa entre 30% y 80%, mientras que la temperatura está ubicada entre 20°C y 27°C

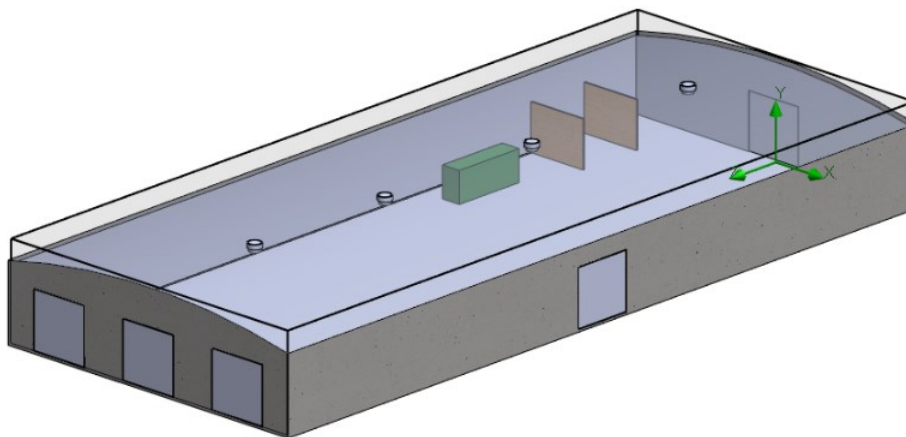


Figura 12 Vista Superior plano de construcción

El plano de construcción fue diseñado con orientación de Sur a Norte, con el fin de favorecer el flujo de aire y simular lo más cercano a la realidad, en el siguiente plano se puede observar la vista superior, como la vista lateral, dicho plano cuenta 2 oficinas administrativas, mientras que el espacio restante está destinado para una línea de producción que cuenta con maquina empaquetadora.

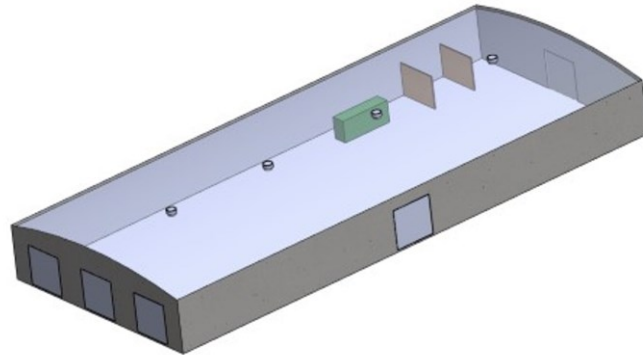


Figura 13 Vista Lateral plano de construcción

Para efectos de la simulación se tomo en cuenta tres puertas para el ingreso de aire, ubicados en la parte frontal del galpon, una puerta lateral y una puerta en la parte posterior que simularn las salidas de aire, además dicho galpon cuenta con cuatro extractores de aires ubicados en la parte superior con una capacidad de evacuación de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$

Parámetro	Valor	Unidades
Definición de parámetro	Usuario Definido	
<b>Parámetros termodinámicos</b>		
Parámetros	Presión temperatura	
Presión	101325	Pa
Potencial de presión (gravedad)	x	
Consulte origen		
Temperatura	20	°C
<b>Parámetros de velocidad</b>		

Parámetro	Velocidad	
Velocidad en dirección X	0	m/s
Velocidad en dirección Y	0	m/s
Velocidad en dirección Z	0	m/s
<b>Humedad</b>		
Humedad relativa	50%	
Presión de referencia	101325	Pa
Temperatura de referencia	20,05	°C

Tabla 3 Parámetros de simulación

Para el escenario 1 se tiene en cuenta las siguientes consideraciones entrada de aire con un flujo de 7 m/s, y una puerta lateral de evacuación y cuatro extractores de aire con capacidad de 1m<sup>3</sup>/s

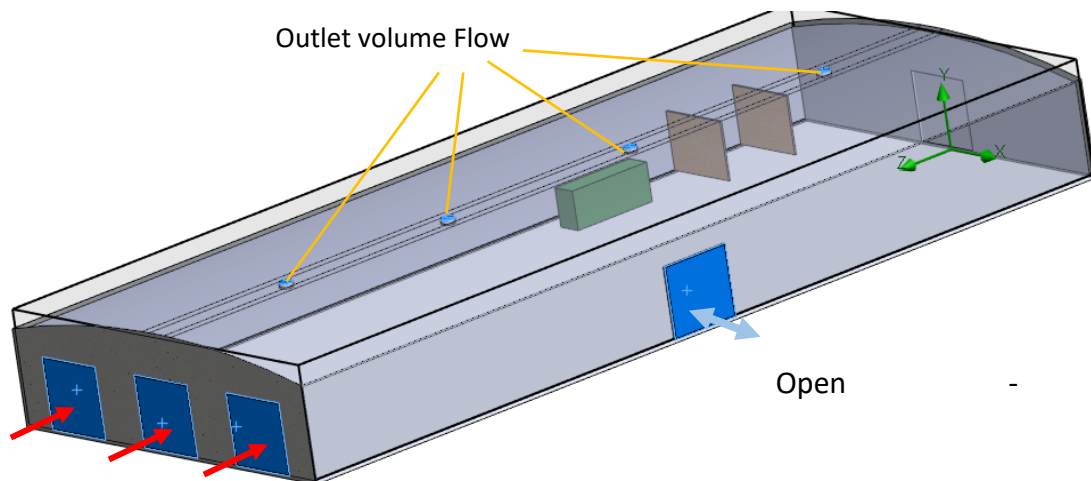


Figura 14 Escenario 1

La tabla muestra los parámetros y condiciones iniciales de la simulación entre los cuales se tiene parámetros termodinámicos el que se subdivide en presión la cual se asigna un valor 101235 Pa, y una temperatura de 20°C, el siguiente parámetro es la velocidad, la cual esta subdivide en velocidades para las tres direcciones, el ultimo parámetro es la humedad, la cual esta subdivide en humedad relativa que cuenta con 50%, presión de referencia es 101235 Pa, y temperatura de referencia de 20,05°C

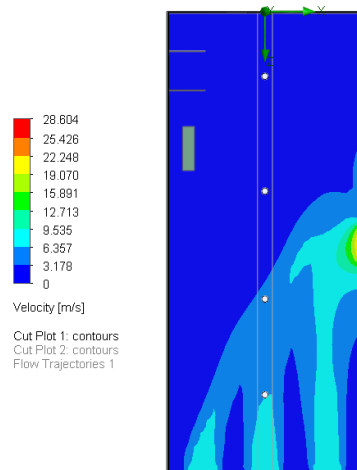


Figura 15 Vista superior escenario 1

En la figura 15 se observa la entra de aire por las puertas con una velocidad de 9,53 m/s, y el flujo de aire se desplaza por la puerta uno hasta la salida lateral alcanzando una velocidad máxima de 28,60 m/s, mientras que para las oficinas administrativas no se tiene flujo aire.

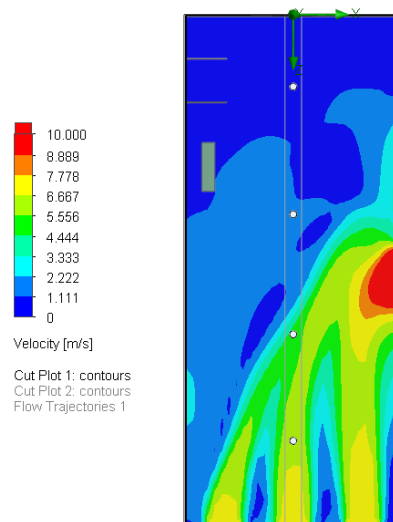


Figura 16 Vista superior flujo aire escenario 1 (escala 10 m/s)

En la figura 16 al realizar un escalamiento de a 10 m/s se logra visualizar con más detalle el área que un inicio parecían no tener flujo de aire, si cuenta con un flujo de aire de 2,22 m/s y llega a las proximidades del área administrativa

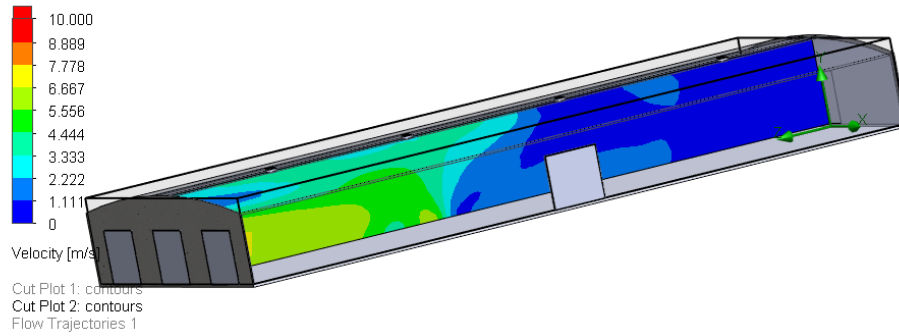


Figura 17 Vista lateral flujo aire escenario 1

En la figura 17 muestra una vista lateral izquierda, la cual permite observar desde otra perspectiva el flujo de aire, con esto se reafirma que el flujo no llega al área administrativa únicamente se distribuye en el área de producción

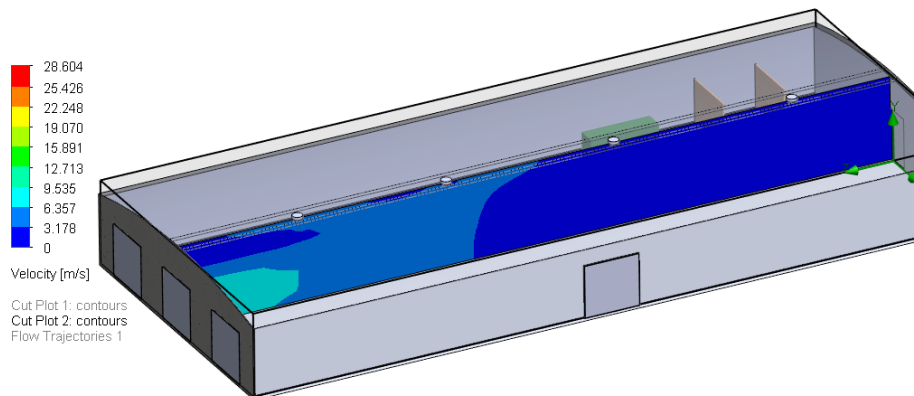


Figura 18 Vista lateral flujo aire escenario 1 (escala 10 m/s)

Para la figura 18 se realiza un escalamiento a 10 m/s en que podemos detallar que la existencia de flujo de aire en los alrededores del área administrativa teniendo una velocidad máxima de 2, 22m/s, mientras que la mayoría del flujo está concentrado en el área de producción.

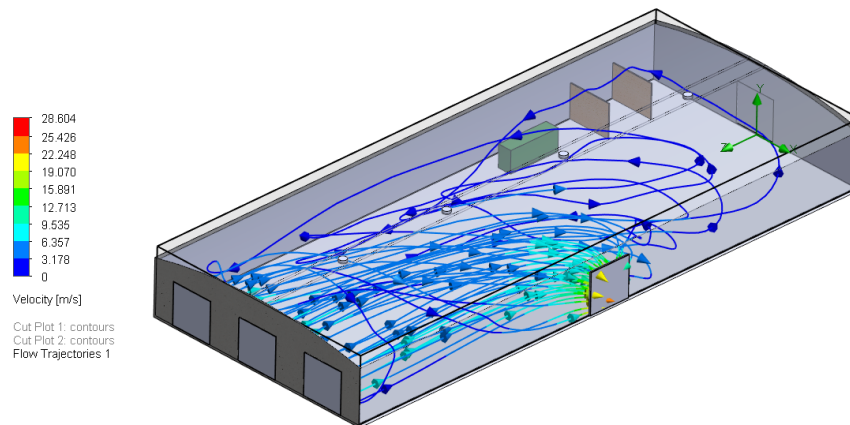


Figura 19 Vista isométrica trayectorias escenario 1

Las trayectorias del flujo están representadas por líneas azules con flechas que indican la dirección del flujo. Estas líneas muestran el movimiento del fluido a través del dominio y revelan patrones de circulación complejos. Se observa que el flujo entra por la parte frontal y se distribuye por todo el dominio, interactuando con la maquinaria. Las trayectorias muestran zonas donde el flujo se acelera, cambia de dirección y forma vórtices, especialmente alrededor de la máquina y paredes del área administrativa. La velocidad máxima del flujo, indicada por las zonas rojas en la escala de colores, alcanza hasta 28.604 m/s. Las zonas de mayor velocidad están concentradas cerca de las paredes y obstáculos internos, donde la interacción con las estructuras causa una aceleración significativa del flujo.

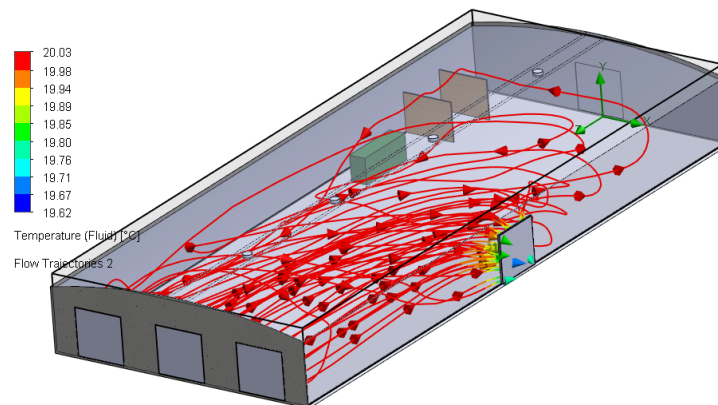


Figura 20 Vista isométrica temperatura escenario 1

La figura 20 muestra una imagen sobre el cambio de temperatura debido al flujo aire, sin embargo, al no existir una fuente de transferencia de calor, la temperatura se mantiene constante, únicamente existiendo un descenso de temperatura de 19,94 °C siendo despreciable y ubicándose en puerta de salida

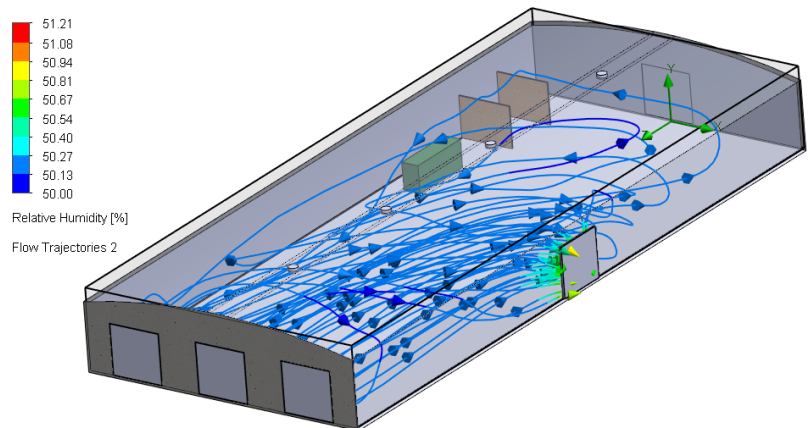


Figura 21 Vista isométrica de humedad escenario 1

La figura 21 muestra una imagen sobre el cambio en la humedad relativa debido al flujo aire, sin embargo, al no existir algún factor que afecten a la humedad, esta se mantiene constante a lo largo de todo el galpón.

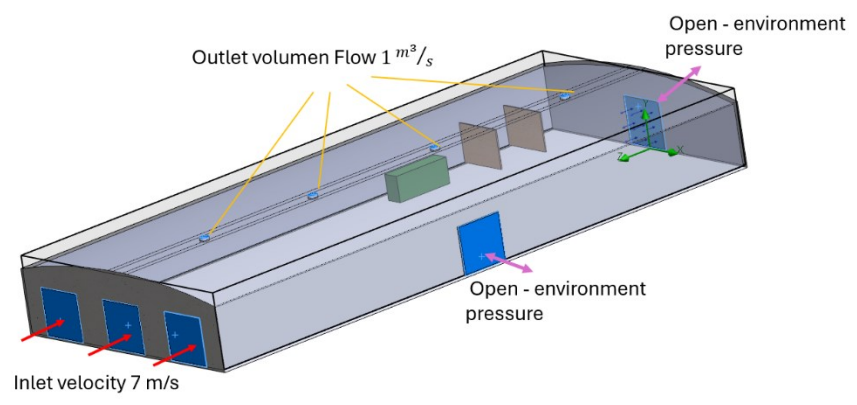


Figura 22 Escenario 2

En la figura 22 se puede observar la construcción del escenario 2 para el caso de estudio, en este caso se añade una salida más de flujo de aire ubicada en la parte posterior del galpón cercano al área de las oficinas administrativas

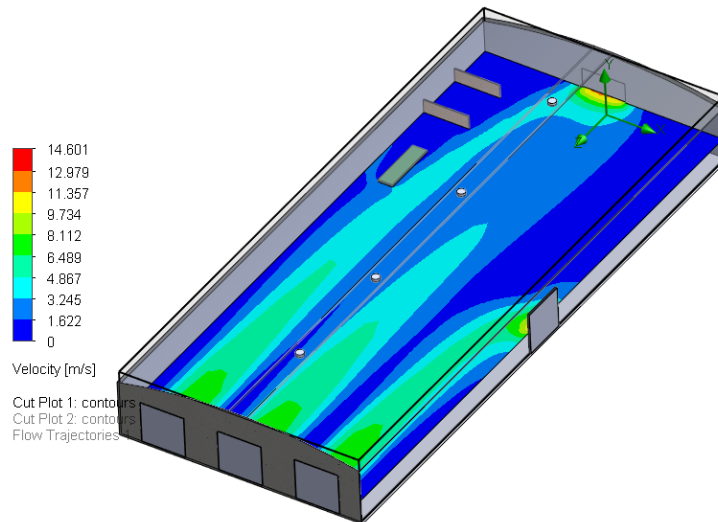


Figura 23 Vista superior isométrica escenario 2

En la figura 23 se observa como el flujo de aire se desplaza hacia las salidas haciendo recorrido de la puerta uno, hacia la salida ubicada en la parte posterior del galpón, mientras que el flujo entrante por la puerta tres se dirige hacia la salida lateral, y el flujo entrante de la puerta dos, llega hasta la mitad del galpón, para luego dispersarse, se tiene como velocidad máxima del aire un valor de 14,60 m/s

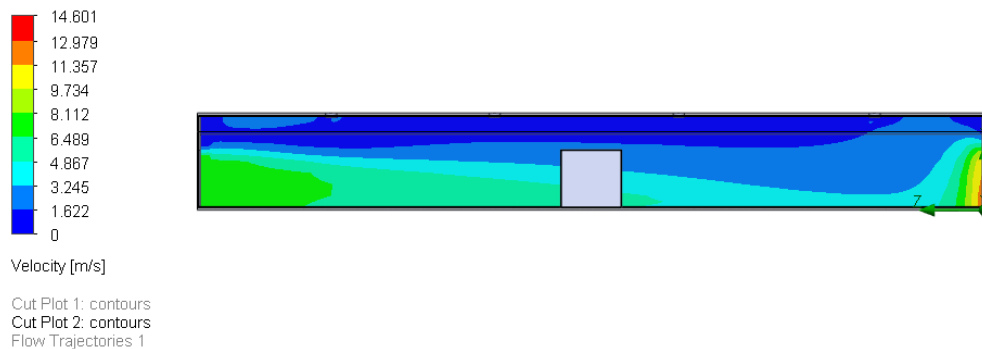


Figura 24 Vista lateral escenario 2

Las figuras 24 muestra las variaciones de velocidades a lo largo del galpón, los puntos a tomar en cuenta es la que en las partes inferiores del galpón es donde se concentra la mayoría de las variaciones con respecto a las velocidades, mientras que en las partes superiores, se logra apreciar la nulidad de variación de flujo de aire.

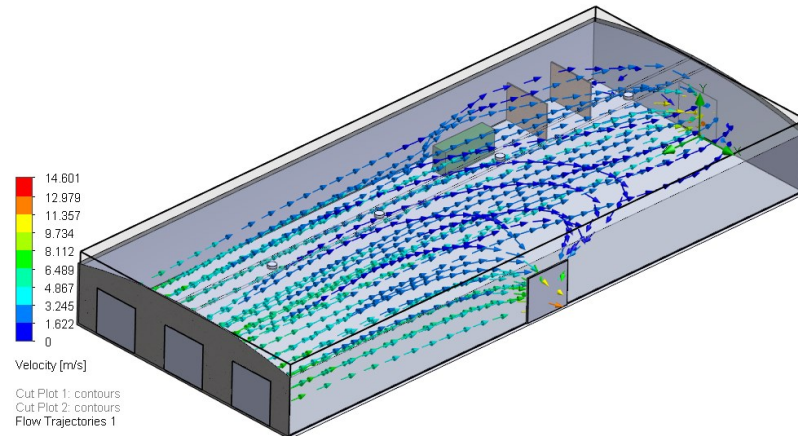


Figura 25 Vista isométrica trayectorias escenario 2

Las trayectorias del flujo en la imagen están representadas por líneas azules con flechas que indican la dirección del flujo. Estas líneas muestran el movimiento del fluido a través del dominio y revelan patrones de circulación complejos, aún más notorios debido a la segunda puerta en la parte posterior. Se observa que el flujo entra por la parte frontal y se distribuye por todo el dominio, interactuando con la maquinaria y las oficinas. Las trayectorias muestran zonas donde el flujo se acelera, cambia de dirección y forma vórtices, especialmente alrededor de los obstáculos. La velocidad máxima del flujo, indicada por las zonas rojas en la escala de colores, alcanza hasta 14.601 m/s.

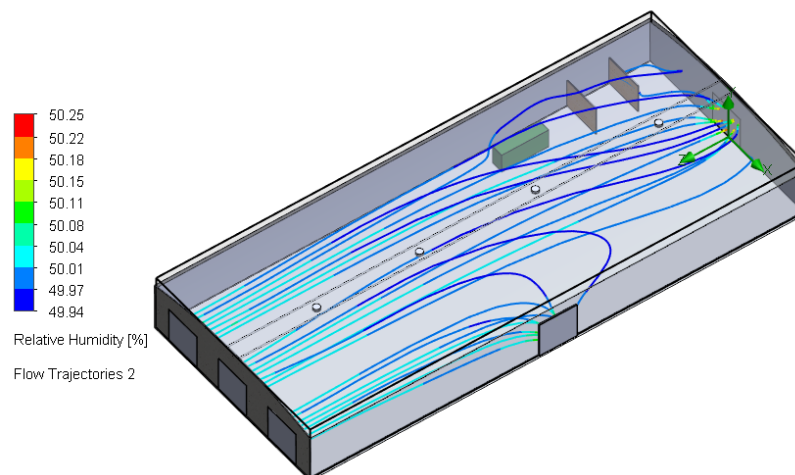


Figura 26 Vista isométrica humedad escenario 2

La figura 26 muestra el cambio de humedad relativa a lo largo del galpón, pero al no tener ninguna fuente de interna o externa que afecte directamente a la humedad, esta permanece constante, sin embargo, la gráfica nos muestra unas variaciones despreciables que van de 49,94% a 50,25%, que no afecta ni influye en todo el sistema

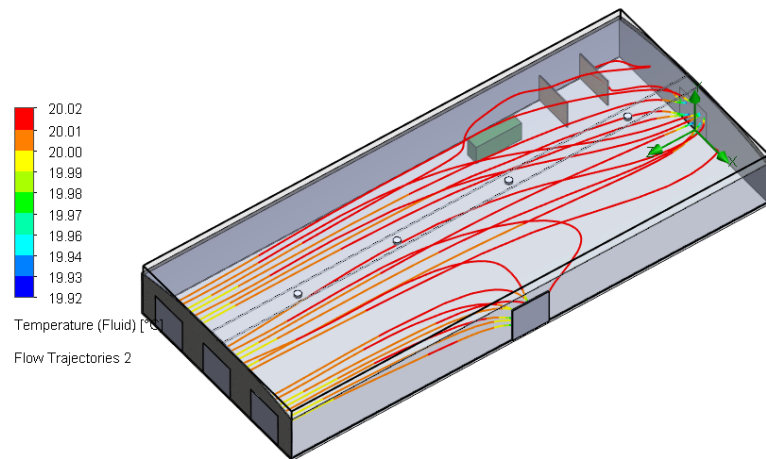


Figura 27 Vista isométrica temperatura escenario 2

La figura 27 muestra el cambio de temperatura a lo largo del galpón, pero al no tener ninguna fuente de interna o externa de intercambio de calor, esta permanece constante, sin embargo, la gráfica nos muestra unas variaciones despreciables que van de 19,92% a 20,02%, que no afecta ni influye en todo el sistema

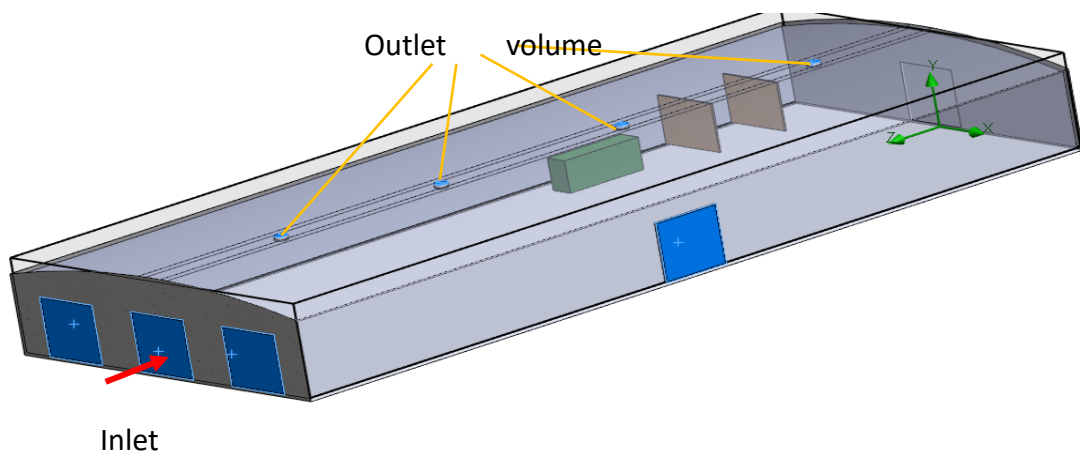


Figura 28 Escenario 3

Para el escenario 3 se tiene en cuenta las siguientes consideraciones: entrada de aire con un flujo de 7 m/s, sin puertas de salida de flujo de aire y cuatro extractores de aire con capacidad de 1m<sup>3</sup>/s

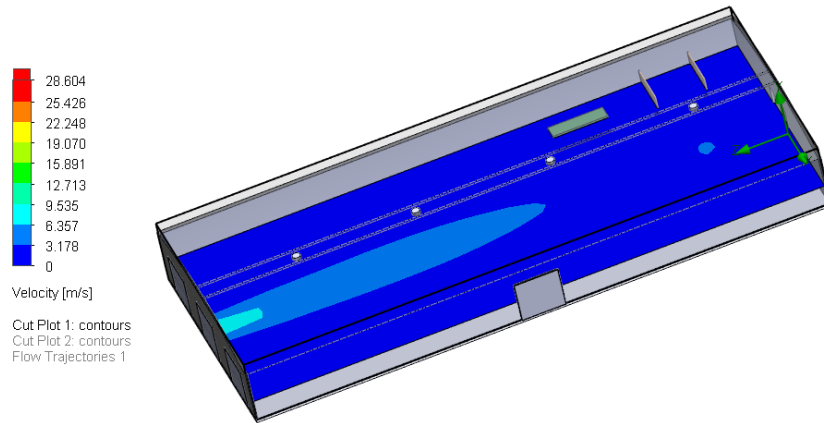


Figura 29 Vista superior isométrica escenario 3

En esta grafica se puede apreciar como el flujo de aire entra únicamente por la puerta de la mitad, también se logra apreciar que únicamente en la parte central del área de producción existe un aumento de velocidad del aire, mientras que en los extremos se observa carencia de flujo de aire

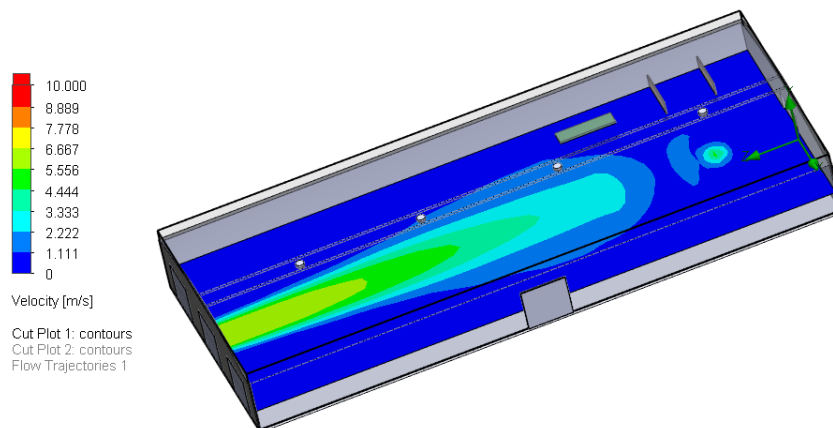


Figura 30 Vista superior flujo aire escenario 3 (escala 10 m/s)

En la figura 30 al realizar un escalamiento de a 10 m/s se logra visualizar con más detalle el área que un inicio parecían no tener flujo de aire, y no podemos percatar que si cuenta con un flujo de aire de 2,22 m/s y llega a las proximidades del área administrativa, además de ampliar en área de flujo de aire

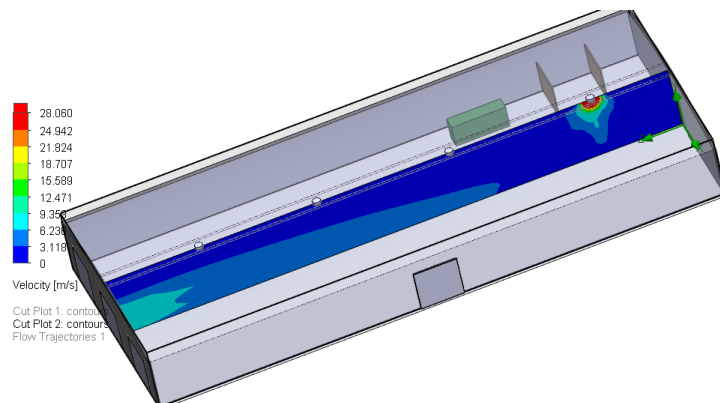


Figura 31 Vista lateral flujo aire escenario 3

En la vista lateral se logra apreciar con claridad que se concentra un flujo de aire en una de las oficinas administrativas, y a su vez es aquí donde el flujo de aire alcanza su máxima velocidad de 28,60 m/s, mientras que en la mayoría de los lugares existe un nulo flujo de aire

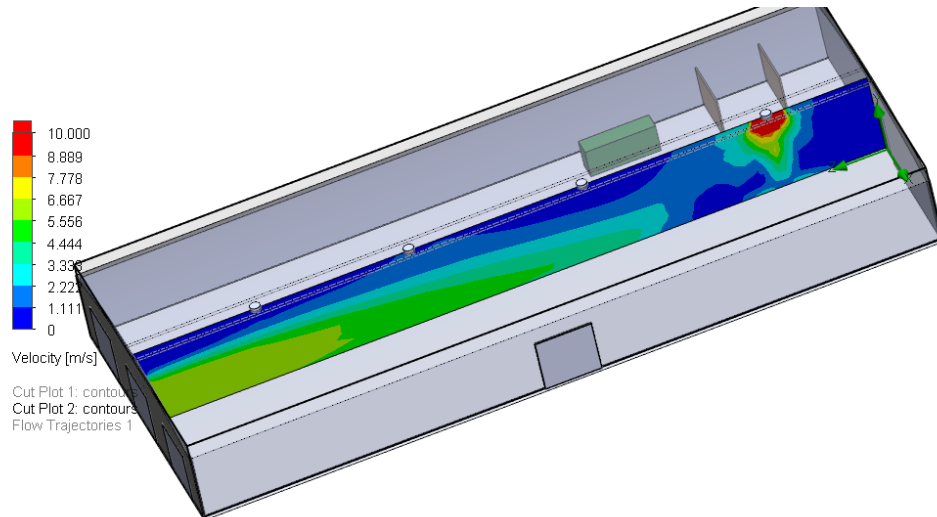


Figura 32 Vista lateral flujo aire escenario 3 (escala 10 m/s)

En la figura 32 al realizar un escalamiento de a 10 m/s se logra visualizar con más detalle el área que un inicio parecían no tener flujo de aire, y no podemos percatar que si cuenta con un flujo de aire entre 6,67 m/s y 7,78 m/s

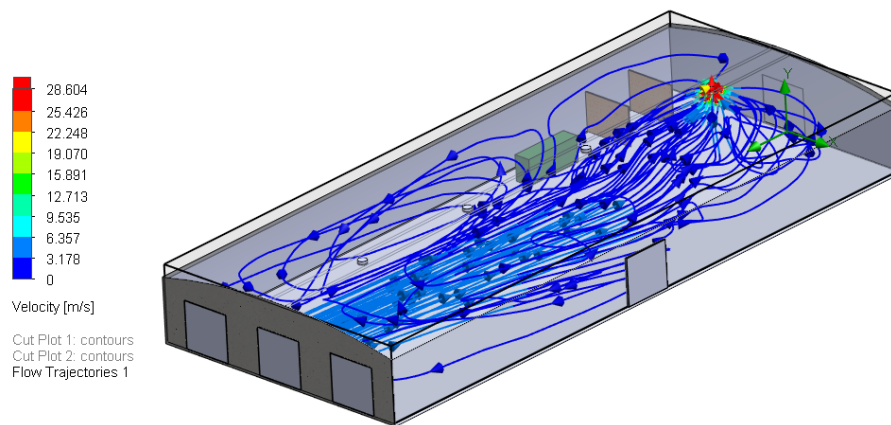


Figura 33 Vista isométrica trayectoria de flujo aire escenario 3

Las trayectorias del flujo están representadas por líneas azules con flechas que indican la dirección del flujo. Estas líneas muestran el movimiento del fluido a través de la parte central del galpón y se puede observar con claridad que todo el flujo de aire está siendo abarcado por el extractor de aire en donde encontramos su mayor velocidad de 28,60 m/s

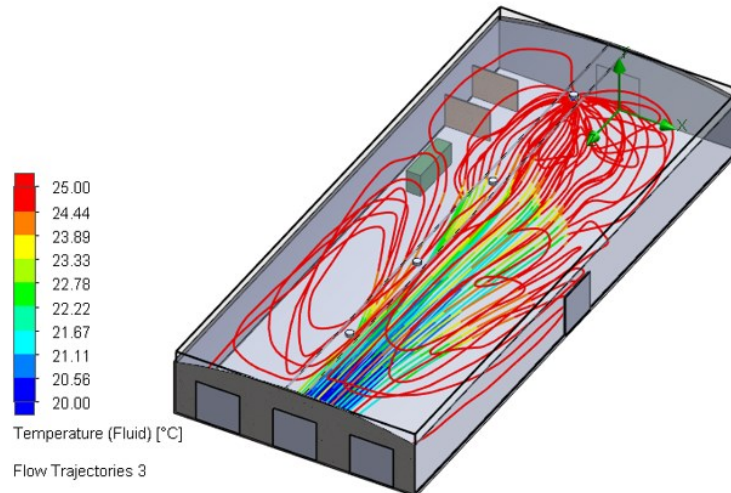


Figura 34 Vista isométrica Temperatura escenario 3

La figura 34 nos muestra el cambio de temperatura dentro del galpón, al no tener ninguna fuente de desfogue del flujo de viento, la temperatura sufre un cambio elevándose 5 °C y alcanzando un máximo de 25 °C

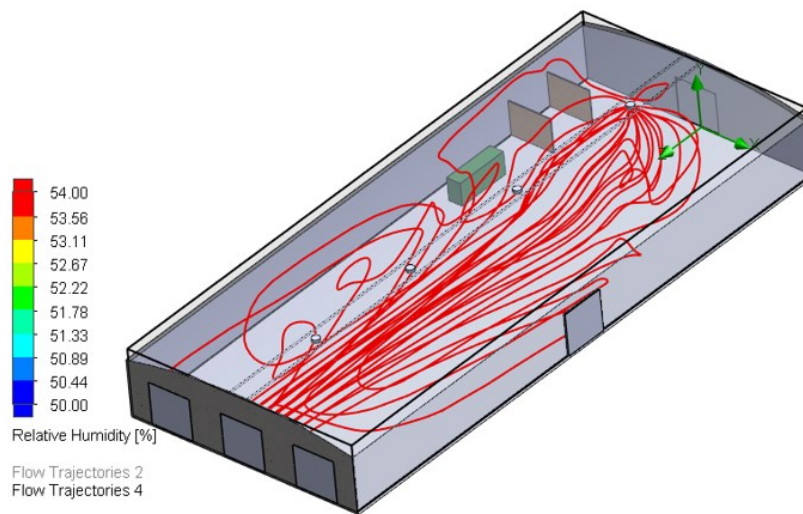


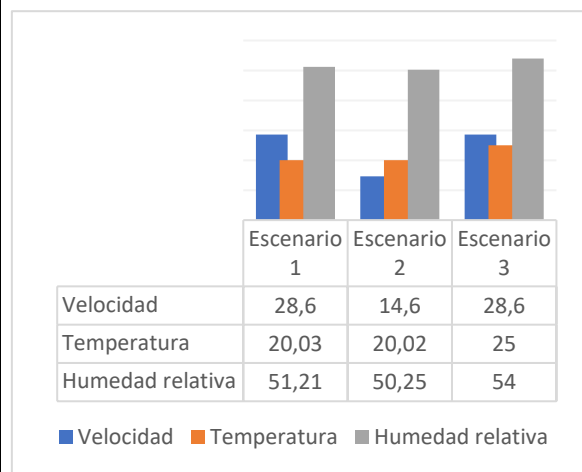
Figura 35 Vista isométrica humedad escenario 3

La figura 35 nos muestra el cambio de humedad relativa dentro del galpón, al no tener ninguna fuente de desfogue del flujo de viento, la humedad aumenta alcanzando un máximo de 54%.

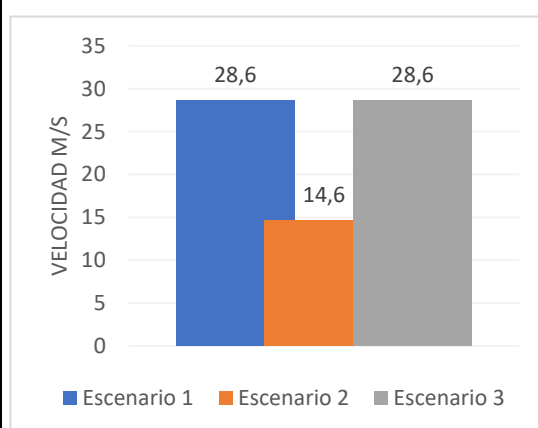
Tabla 4 Resumen de resultados

Variable	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3		Unidades
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Velocidad viento	0	28,6	0	14,6	0	28,6	m/s
Temperatura	19,62	20,03	19,92	20,02	20	25	°C
Humedad relativa	50	51,21	49,94	50,25	50	54	%

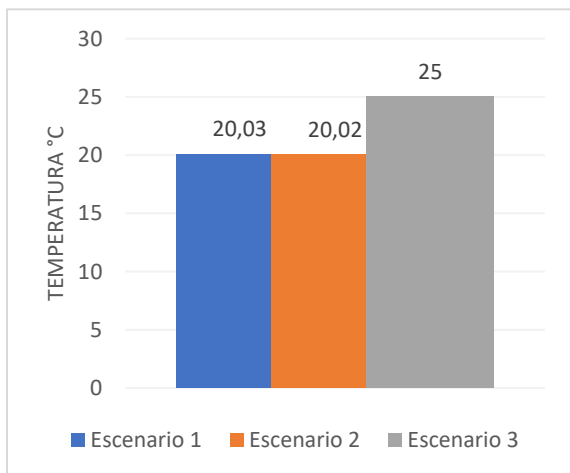
**Escenarios**



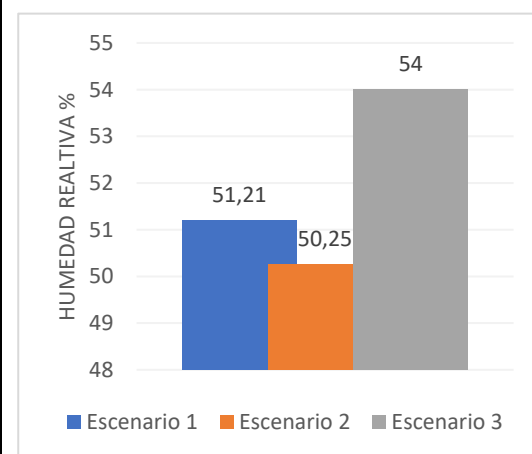
**Velocidad Flujo de Aire**



**Temperatura**



**Humedad Relativa**



En la tabla se muestran los valores mínimos y máximos alcanzados por cada una de variables en estudio, además en la gráfica podemos observar el comparativo de los 3 escenarios con todas sus variables, por último, tenemos las gráficas comparativas de velocidad del flujo de aire, temperatura y humedad relativa, según sea el escenario

#### 4. Conclusiones

En los resultados que se obtuvo en la simulación en el programa de Solidworks mediante el CFD se validó como la herramienta eficiente para analizar el confort higrotérmico de una manera detallada permitiendo analizar el comportamiento térmico, distribución del flujo de aire en instalaciones industriales, son cruciales para estudiar los diferentes modelos de los sistemas de HVAC que optimicen el confort higrotérmico y mejore la eficiencia energética.

Los diferentes escenarios que se realizaron en la simulación son importantes para el sistema HVAC

- En el escenario 1 se obtiene una velocidad máxima de flujo 28,60 m/s, teniendo en cuenta que tiene una única salida de aire y una puerta lateral dando como resultado una distribución de aire inadecuada dejando que áreas sin un flujo óptimo afectando de manera negativa al confort laboral
- En el escenario 2, al tener dos puertas para la evacuación del flujo aire, tiene como velocidad máxima 14,01 m/s. Cabe destacar que la dispersión del flujo de aire a través del galpón atraviesa la mayor parte del espacio de la zona de empaquetado crea una sensación que no se alinea con la normativa y los estándares que se establece para un óptimo confort
- Para el escenario 3, al no tener fuentes de salida de aire, la velocidad del flujo de aire se incrementa considerablemente hasta llegar a 28,60 m/s, de igual manera la distribución del flujo, esta únicamente en el centro del galpón, provocando un aumento del 25% de temperatura y el 8% de humedad dando como resultado un entorno fuera de estándares y límites que se requieren en el confort higrotérmico

Los diferentes escenarios demuestran que es importante la ubicación de salidas y entradas de aire para obtener una mejor distribución uniforme y condiciones dentro de los rangos establecidos tanto en normativas y estudios previos en los diferentes instalaciones.

La importancia de un diseño adecuado de los sistemas HVAC en instalaciones industriales asegura en confort higrotérmico y cumplir con los objetivos de la agenda 2030 de las Naciones Unidas, una evaluación previa y un sistema eficiente ayudan en la sostenibilidad tanto energética como en el cuidado al medio ambiente

#### **4. Recomendaciones**

Para el Caso 1, se recomienda optimizar el diseño de las oficinas administrativas con el objetivo de reducir las zonas de alta velocidad y turbulencia. Es crucial implementar un sistema de control preciso para la velocidad de entrada del aire, lo que evitará el desgaste prematuro y el ruido excesivo en el sistema HVAC. Estas medidas, en conjunto, permitirán lograr una distribución más uniforme del aire en todo el espacio, mejorando significativamente el confort y la eficiencia energética.

En cuanto al Caso 2, es necesario reevaluar la disposición de obstáculos dentro del espacio para minimizar la formación de vórtices y mejorar la dirección del flujo de aire. Se sugiere la instalación de sensores y sistemas de control automatizados que ajusten las condiciones de operación del HVAC en tiempo real. El enfoque principal debe ser mantener una temperatura homogénea y una distribución uniforme del aire, lo que resultará en una mejora sustancial de la eficiencia energética y el confort de los ocupantes.

Para el Caso 3, es imperativo incorporar salidas de evacuación de aire adecuadas para prevenir el incremento excesivo de la velocidad del flujo. Se debe rediseñar el sistema para evitar que la velocidad del aire se triplique en comparación con el flujo de entrada, protegiendo así los extractores de aire de posibles sobrecargas debido a velocidades de flujo excesivas. Estas modificaciones son cruciales para mantener un ambiente controlado y evitar problemas operativos en el sistema HVAC.

Como recomendaciones generales aplicables a todos los casos, se sugiere establecer un sistema de monitoreo continuo de temperatura y humedad. Es importante implementar un programa de mantenimiento preventivo para asegurar el funcionamiento óptimo del sistema HVAC a largo plazo. Además, se debe considerar la instalación de sistemas de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética global. La realización de auditorías energéticas periódicas permitirá identificar oportunidades adicionales de mejora en el rendimiento del sistema.

## 5. Referencias

- [1] S. Kong, "Thermal Comfort Condition of Temperature and Humidity in Loess Interior Space," Jun. 2004.
- [2] M. Ferrucci, P. Romagnoni, F. Peron, and M. Strada, "Computational Fluid Dynamic Study with Comfort Analysis in Large Atrium of the Angelo Hospital in Venice," *Energies*, vol. 15, no. 9, p. 3454, May 2022.
- [3] K. V. Wong and M. J. Castillo, "Heat Transfer Mechanisms and Clustering in Nanofluids," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 2, p. 795478, Jan. 2010.
- [4] R. K. Gautam and N. Agarwal, "Optimizing Thermal Comfort for Office Room Using CFD Analysis," in *Technology Innovation in Mechanical Engineering: Select Proceedings of TIME 2021*, P. K. Chaurasiya, A. Singh, T. N. Verma, and U. Rajak, Eds. Singapore: Springer Nature, 2022, pp. 727–743.
- [5] S. Gao et al., "Analysis of Thermal and Wet Comfort Properties of Hygroscopic and Exothermic Knitted Fabrics," *Text. Res. J.*, vol. 92, no. 13, pp. 2327–2339, Jul. 2022.
- [6] P. Hyun-Gyu, Y. Sung-Jun, S. Eisaku, H. Hiroshi, and K. Ito, "Numerical Thermal Comfort Analysis Using Combined Computer-Simulated Person with Clothing and Multi-Node Thermoregulation Model," *E3S Web Conf.*, vol. 396, p. 01019, 2023.
- [7] H. Demirpolat, "Modern Diffusers for Interior Design," in *Proceedings of the Iconarp International J. of Architecture and Planning*, 2019, vol. 7, pp. 626–638.
- [8] J. S. Guerreiro, A. Cravo, J. Almeida, and M. V. Pinto, "Thermal Environment: Case Study of a Meat Processing Industry," in *Advances in Safety Management and Human Factors*, P. Arezes, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 393–402.
- [9] K. Eldaly, A. N. Eldin, and L. Elgizawi, "The Dilemma between Reducing the Thermal Stress in the Industrial Spaces and Ergonomics Arrangement in Low- and Middle-Income Countries," *Civ. Eng. Archit.*, vol. 11, no. 1, pp. 279–293, 2023.
- [10] ONU, "Objetivos y metas de desarrollo sostenible," 2015.
- [11] J. Geldermann et al., "The Reference Installation Approach for the Estimation of Industrial Assets at Risk," *Eur. J. Ind. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 73–93, 2008.
- [12] R. D. De la Cruz, L. F. Tipán, and C. C. Cuji, "Brief Analysis of the Location and Determination of Maximum Capacity of Distributed Generation in Electrical Systems Considering Demand Scenarios in Ecuador," *Energies*, vol. 17, no. 10, p. 2308, May 2024.
- [13] C. Cuji and J. Villarreal, "Diseño y Evaluación de un Sistema Fotovoltaico Aislado para Iluminación en Vías Rurales y Carga de Vehículos Eléctricos Basado En Un Enfoque Multipropósito," *Rev. Téc. Energ.*, vol. 20, no. 2, pp. 47–57, 2024.
- [14] J. C. Gómez-Daza and C. Ochoa-Martínez, "Dinámica de Fluidos Computacional En Operaciones de Secado y Refrigeración Aplicados a La Industria de Alimentos," in *Proceedings of the INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 1969, vol. 13.
- [15] G. Giuliano and B. S. Garzón, "Evaluación Del Confort Higrotérmico de Una Escuela Rural y Su Rediseño, En Silípica-Santiago Del Estero," *PENSUM*, vol. 6, pp. 189–207, 2020.

- [16] C. Cuji and R. Galarza, "Gestión Óptima De La Energía En Un Proceso Paulatino Y Controlado Para Contribuir A La Descarbonización Del Sector Eléctrico," *Rev. Téc. Energ.*, vol. 19, no. 1, pp. 71–84, 2022.
- [17] S. O. D. Niaki, M. Pourfallah, and A. Ghadi, "Simulation of the Heating, Ventilation, and Air Conditioning System with Geothermal Energy and Solar Collector," 2019.
- [18] L. Zhanga, Y. Yua, J. Houa, X. Menga, and Q. Wanga, "Field Research on The Summer Thermal Environment of Traditional Folk Tibetan-Style Houses in Northwest Sichuan Plateau," in *Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC 2017*, 2018.
- [19] K. P. Franco, "Análisis comparativo de radiación solar vs. actividad solar en Quito y sus efectos sobre la salud en el período 2007 - 2016," *bachelorThesis*, 2017.
- [20] G. Spasis, "Heating, Ventilation and Air Conditioning System Optimization: A Study of the Effect of Climate, Building Design, System Selection and Control Strategy on the Energy Consumption of a Typical Office Building in London and Athens," 2007.
- [21] M. López, "Integración Arquitectónica de Sistemas Solares Activos y Pasivos En Edificios Industriales. Caso Estudio Cuenca-Ecuador," 2018.
- [22] A. Hernández and D. Morillón, "Análisis y Definición Del Confort Higrotérmico Con Base En Tres Métodos: Caso de Estudio Clima Templado," in *Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica*, 2016.
- [23] G. Marchante González, A. I. González Santos, G. Marchante González, and A. I. González Santos, "Evaluación Del Confort y Disconfort Térmico," *Ing. Electrónica Automática Comun.*, vol. 41, pp. 21–40, 2020.
- [24] C. Varini, "Factores de forma para el mejoramiento del confort en clima tropical," *Rev. Arte Diseño*, vol. 12, no. 2, pp. 51–60, 2014.
- [25] M. A. Gil Garzón, "El desarrollo industrial, una necesidad que requiere de diversos retos ambientales," *Prod. Limpia*, vol. 7, no. 1, pp. 7–8, 2012.
- [26] J. C. Rincón, C. García, and M. E. González, "Estimación Del Rango de Confort Higrotérmico Para Exteriores En Dos Bioclimas Extremos de México," *Ing. Investig. Tecnol.*, vol. 23, pp. 1–14, 2022.
- [27] C. Cuji and E. Mediavilla, "Controlador Difuso Para Gestión De La Energía En Un Proceso De Transición De Central De Generación Térmica A Renovables," *Rev. Téc. Energ.*, vol. 18, no. 2, pp. 61–73, 2022.
- [28] C. Muñoz-González, Á. León-Rodríguez, R. Suárez Medina, and C. Teeling, "Hygrothermal Performance of Worship Spaces: Preservation, Comfort, and Energy Consumption," *Sustainability*, vol. 10, no. 11, p. 3838, Oct. 2018.
- [29] S. Falasca, "A Preliminary Study of Summer Thermo-Hygrometric Comfort under Different Environmental Conditions in a Mediterranean City," *Urban Sci.*, vol. 6, no. 3, p. 51, 2022.
- [30] S. Carlucci, L. Bai, R. de Dear, and L. Yang, "Review of Adaptive Thermal Comfort Models in Built Environmental Regulatory Documents," *Build. Environ.*, vol. 137, pp. 73–89, Jun. 2018.
- [31] ISO, "Ergonomics of the Thermal Environment — Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria," 2005.

- [32] M. Montllor Ramoneda, "Computational Fluid Dynamics: Fractional Step Method and Its Applications in Internal and External FLOws," 2018.
- [33] F. J. Rojas et al., "Análisis Del Uso de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) Para La Implementación de Un Dispositivo Con Chorro de Aire Para La Selección de Papa Amarilla Tumbay," *Inf. Tecnológica*, vol. 34, no. 2, pp. 31–42, Apr. 2023.
- [34] J. L. Orellano, "Análisis Fluido Dinámico Computacional de un mezclador estático para combustible de aviación JET A-1 y Biodiesel," Universidad ECCI, 2023.
- [35] C. Cuji, "Diseño y Construcción de Un Módulo Manipulador de Objetos Para El Robot Móvil Robotino de Festo Para La Carrera de Ingeniería Electrónica, Sede Quito Campus Sur," Jun. 2014.
- [36] C. Cuji and D. Polanco, "Estimación Del Tiempo De Recuperación De Energía Aplicado En Producción De Hidrogeno Con Fines De Generación Eléctrica," *Rev. Téc. Energ.*, vol. 18, no. 2, pp. 74–84, 2022.
- [37] S. Anillo, "Confort higro-térmico y diseño bioclimático en Colombia," 2023.
- [38] D. Anderson, J. C. Tannehill, R. H. Pletcher, R. Munipalli, and V. Shankar, *Computational Fluid Mechanics, and Heat Transfer*, 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2020.
- [39] C. Lerma et al., "Evaluation of Hygrothermal Behaviour in Heritage Buildings through Sensors, CFD Modelling and IRT," *Sensors*, vol. 21, no. 2, p. 566, Jan. 2021.
- [40] C. Lerma, Á. Mas, E. Gil, and J. Vercher, "Hygrothermal Behaviour of Continuous Air Chambers on Stone Panels Façades through CFD and IRT," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 15, p. 3001, Jul. 2019.
- [41] meteoblue, "Clima en Quito (mayo-junio 2024)," meteoblue, 2024. [Online]. Available: <https://www.meteoblue.com>. [Accessed: 18-May-2024].
- [42] J. V. Ondov, C. M. Davidson, and P. A. Solomon, "Special Issue of Aerosol Science and Technology for Particulate Matter: Atmospheric Sciences, Exposure, and the Fourth Colloquium on PM and Human Health," *Aerosol Sci. Technol.*, vol. 38, no. sup2, pp. 1–2, Jan. 2004.
- [43] S. Vela Heredia and R. A. González Lezcano, *Paso @ paso = Step by step: calidad del aire interior DB\_HS3*. MADRID: Munilla-Lería, 2011.
- [44] S. Omrani, V. Garcia-Hansen, B. Capra, and R. Drogemuller, "Natural ventilation in multi-storey buildings: Design process and review of evaluation tools," *Build. Environ.*, vol. 116, pp. 182–194, May 2017.
- [45] G. E. Gonzalo, *Manual de Arquitectura Bioclimática y Sustentable*. Nobuko, 2015
- [46] R. D. Beltrán, J. Castillo, I. Miño-Rodríguez, C. Naranjo-Mendoza, and C. Avila, "Optimización Energética para el aprovechamiento de ventilación natural en edificaciones en climas cálidos del Ecuador," 2015.
- [47] Y. Pérez, "Estrategias de ventilación natural en climas tropicales a partir del comportamiento del viento sobre edificios ubicados en espacios urbanos mediante la simulación de programas de diseños interactivos," *Universitat Politècnica de Catalunya*, 2018.