



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Cali

**Diseño Integral de Sala de Cirugía Simulada en la Universidad Javeriana  
sede Cali: Garantía de Asepsia, Seguridad del Paciente y Eficacia  
Ventilatoria en el Contexto Colombiano**

**Miguel Ángel Trochez Álzate**  
**Miguel Fernando Ricardo Muñoz**

Director (a):

PhD. José Luis Ramírez Duque

Codirector (a):

Línea de Investigación:

Diseño, manufactura e infraestructura

Programa de Ingeniería Mecánica

Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Pontificia Universidad Javeriana

Santiago de Cali, Colombia

2024



## Declaración de obra original

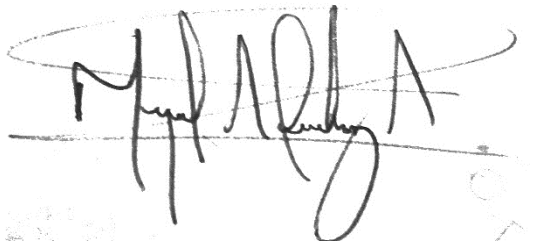
Nosotros declaramos lo siguiente:

Hemos leído el Acuerdo 535 de 2010 del Consejo Directivo de la Pontificia Universidad Javeriana. «Política de Propiedad Intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Este anteproyecto representa nuestro trabajo original, excepto donde hemos reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en este anteproyecto, hemos realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

Hemos obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, hemos sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



---

Miguel Ángel Trochez Álzate



---

Miguel Fernando Ricardo Muñoz

Fecha 13/07/202



## **Acta de Correcciones al Proyecto de Grado Ingeniería Mecánica**

**Fecha:** 1/08/2024


**Autores:**  
**Miguel Ángel Trochez Álzate**  
**Miguel Fernando Ricardo Muñoz**

**Nombre del Proyecto de Grado:**

**Diseño Integral de Sala de Cirugía Simulada en la Universidad Javeriana sede Cali:  
Garantía de Asepsia, Seguridad del Paciente y Eficacia Ventilatoria en el Contexto  
Colombiano**

**Director: Jose Luis Gerardo Ramirez Duque**

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que los estudiantes indicados arriba han implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.

  
\_\_\_\_\_  
**DR. JOSE LUIS GERARDO RAMIREZ DUQUE**  
Director(a) Trabajo

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de Trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar el título de Ingeniero Mecánico.

---

**Dr. CAMILO ROCHA**  
Decano de la Facultad de Ingeniería

---

**DR. ADRIANA GÓMEZ GÓMEZ**  
Directora de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

---

**DR. JOSÉ LUIS GERARDO RAMÍREZ DUQUE**  
Director(a) Trabajo

---

**DR. JORGE FRANCISCO ESTELA URIBE**

Jurado 1

---

**ING. ESNEL ALEXANDER ACOSTA PORRAS**

Jurado 2



## Resumen

Diseño Integral del Sistema de Climatización para La Sala de Cirugía Simulada De La Universidad Javeriana Cali: Garantía de Asepsia, Seguridad del Paciente y Eficacia Ventilatoria en el Contexto Colombiano

Este proyecto se centró en el diseño de un sistema de climatización y ventilación para una sala de cirugía simulada en la Universidad Javeriana sede Cali, con el objetivo de garantizar la asepsia, la seguridad del paciente y mejorar las condiciones de confort en el contexto colombiano. El desarrollo del proyecto implicó varias etapas de investigación. En primer lugar, se realizó una revisión de la literatura científica y técnica sobre tecnologías de climatización y ventilación disponibles en el mercado. Se evaluaron estas tecnologías en términos de eficiencia energética, calidad del aire y cumplimiento de regulaciones y estándares colombianos e internacionales, incluyendo las normativas ASHRAE 170-2013 y 170-2021 del estándar 170-2017 de ASHRAE, ACAIRE basada en la ASHRAE STANDARD 170-2008, y la Resolución 04445 de 1996 del Ministerio de Salud de Colombia. Se siguió la metodología ASHRAE y el formato E20 para estimar las cargas térmicas de la sala de cirugía, y así, seleccionar adecuadamente los equipos HVAC. Luego de aplicar las condiciones críticas, referente ocupación de personal, uso de equipos, iluminación, infiltración y condiciones ambientales los cálculos arrojaron una carga térmica de  $89.677 \frac{Btu}{h}$  y un flujo de aire requerido de  $2,43 \frac{m^3}{s}$  necesarias para garantizar las condiciones de confort dentro de las salas de cirugía. Se pudo evidenciar que el sistema HVAC actual solo podía asumir una carga térmica de  $24.000 \frac{Btu}{h}$  y un caudal de  $0,11 \frac{m^3}{s}$ , evidenciando la necesidad urgente de una actualización, y que además cumpliera con los requerimientos de un espacio para

cirugía, lo cual no fue proyectado al diseñar el sistema actual. Para abordar esta deficiencia, se analizaron y recomendaron tecnologías específicas como bombas de calor, filtros HEPA de alta eficiencia y sistemas de control de humedad. Para cubrir la carga térmica y asegurar un flujo de aire adecuado, se seleccionaron las unidades manejadoras de aire (UMA) marca Miidea de 220V R410A y el Starlight 220v R410A incluyendo, sistemas de filtración HEPA 99.99% de 30"x24"x3, sistemas de control de humedad y bombas de calor. Se recomendó la instalación de dos equipos de climatización para cubrir eficientemente la carga térmica del lugar. Los resultados obtenidos indicaron una carga térmica máxima de  $91.526 \frac{btu}{h}$  y un flujo de aire mínimo de 500 CFM. Además, se determinó que la sala debe tener 4 cambios de aire exterior por hora y un total de 20 cambios de aire mínimos por hora, con 4 cambios de aire provenientes del exterior y 16 cambios recirculados. Este estudio destaca la importancia de implementar tecnologías eficientes en consumos energéticos, y subraya la necesidad de adherirse a las normativas (nacionales e internacionales) vigentes para garantizar un ambiente seguro y óptimo para la formación médica, quienes además se beneficiaran al conocer las tecnologías y capacidades que deben tener este tipo de espacios, los cuales son vitales para garantizar la seguridad biológica de los pacientes y el personal médico, durante su ejercicio profesional.

**Palabras clave:** Climatización, ventilación, quirófanos simulados, calidad del aire de interior, eficiencia energética

# Abstract

## **Integral Design of Simulated Operating Rooms: Ensuring Asepsis, Patient Safety, and Ventilatory Efficiency in the Colombian Context**

This project focused on the design of an air conditioning and ventilation system for a simulated operating room at the Universidad Javeriana, Cali, with the aim of ensuring asepsis, patient safety and improving comfort conditions in the Colombian context. The development of the project involved several research stages. First, a review of the scientific and technical literature on air conditioning and ventilation technologies available in the market was carried out. These technologies were evaluated in terms of energy efficiency, air quality and compliance with Colombian and international regulations and standards, including ASHRAE 170-2013 and 170-2021 of ASHRAE standard 170-2017, ACAIRE based on ASHRAE STANDARD 170-2008, and Resolution 04445 of 1996 of the Colombian Ministry of Health. The ASHRAE methodology and the E20 format were followed to estimate the thermal loads of the operating room, and thus, properly select the HVAC equipment. After applying the critical conditions, referring to personnel occupancy, use of equipment, lighting, infiltration and environmental conditions, the calculations yielded a thermal load of  $89.677 \frac{btu}{h}$  and a required air flow of  $2,43 \frac{m^3}{s}$  necessary to guarantee comfort conditions inside the operating rooms. It was evident that the current HVAC system could only handle a thermal load of  $24.000 \frac{Btu}{h}$  and a flow rate of  $0,11 \frac{m^3}{s}$ , evidencing the urgent need for an upgrade, and to meet the requirements of a surgery space, which was not projected when designing the current system. To address this deficiency, specific technologies such as heat pumps, high efficiency HEPA filters and humidity control systems were analyzed and recommended. To cover the thermal load and ensure adequate airflow, Midea 220V R410A and Starlight 220v R410A air handling units (AHU) including 30 "x24 "x3 HEPA 99.99% filtration systems, humidity control systems and heat pumps were selected. The installation of two air conditioning units was recommended to efficiently cover the thermal load

of the site. The results obtained indicated a maximum thermal load of  $91.526 \frac{btu}{h}$  and a minimum airflow of 500 CFM. In addition, it was determined that the room should have 4 outside air changes per hour and a total of 20 minimum air changes per hour, with 4 outside air changes and 16 recirculated air changes. This study highlights the importance of implementing energy-efficient technologies and underlines the need to adhere to current (national and international) regulations to ensure a safe and optimal environment for medical training, who will also benefit from knowing the technologies and capabilities that such spaces must have, which are vital to ensure the biosafety of patients and medical staff during their professional practice.

**Key words:** air conditioning, ventilation, simulated operating rooms, indoor air quality, energy efficiency.

# Contenido

	Pág.
	I
<b>Resumen</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>Contenido</b> .....	<b>7</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>10</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>11</b>
<b>Lista de ecuaciones</b> .....	<b>13</b>
<b>Lista de ilustraciones</b> .....	<b>14</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>15</b>
<b>Marco teórico</b> .....	<b>16</b>
1.1 Climatización y ventilación en salas de cirugía.....	16
1.2 Filtros de Aire de Alta Eficiencia (HEPA) .....	17
1.3 Sensores y Medidores de variables.....	18
<b>Estado del arte</b> .....	<b>21</b>
<b>Planteamiento del problema</b> .....	<b>25</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>27</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>29</b>
5.1 Objetivo general.....	29
5.2 Objetivos específicos.....	29
<b>Metodología</b> .....	<b>31</b>
6.1 Evaluar las tecnologías avanzadas de climatización y ventilación disponibles en el mercado.....	31
6.2 Desarrollar recomendaciones prácticas y basadas en evidencia para realizar el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas de climatización y ventilación:	33
6.3 Evaluar la prefactibilidad técnica y económica de las tecnologías de climatización utilizadas en el diseño de la sala de cirugía simulada para la universidad javeriana de Cali, considerando eficiencia energética y cumplimiento normativo colombiano e internacional. ....	36
<b>Restricciones</b> .....	<b>38</b>
<b>Evaluación de tecnologías avanzadas</b> .....	<b>39</b>

**Desarrollar recomendaciones prácticas y basadas en evidencia para realizar el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas de climatización y ventilación ..... 47**

**Prefactibilidad técnica y económica ..... 82**

10.1 Prefactibilidad económica del Proyecto .....	86
10.2 Selección de Equipos Técnicos.....	86
10.3 Instalación y Mantenimiento .....	87
10.4 Inversión Inicial Con Los Equipos Elegidos.....	87
10.5 Costos Operativos Anuales.....	87
10.6 Depreciación de Equipos.....	88
10.7 Análisis de Costos .....	88
10.8 Costo de Energía.....	88
10.9 Beneficios Anuales .....	89
10.10 Calculo De ROI (retorno sobre la inversión).....	89
10.11 Periodo De Recuperación De La Inversión .....	90

**Conclusiones ..... 91**

**Recomendaciones ..... 93**

**Cronograma..... 95**

**Bibliografía ..... 97**

**Anexos..... 102**

1.1 Anexo A .....	102
1.1 Anexo B .....	103
1.1 Anexo C .....	104
1.1 Anexo D.....	107
2.1 Anexo A .....	109
2.1 Anexo B .....	109
2.1 Anexo C .....	110
2.1 Anexo D.....	110
2.1 Anexo E .....	111
2.1 Anexo F .....	111
2.1 Anexo G.....	112
2.1 Anexo H.....	113
3.1 Anexo A.....	113
3.1 Anexo B .....	114
3.1 Anexo C .....	115
3.1 Anexo D.....	115
3.1 Anexo E .....	116
3.1 Anexo F .....	116
3.1 Anexo G.....	117
3.1 Anexo H.....	117
4.1 Anexo A.....	118
4.1 Anexo B.....	118
4.1 Anexo C .....	119
4.1 Anexo D.....	119

4.1 Anexo E.....	120
4.1 Anexo F.....	120
4.1 Anexo G.....	121
4.1 Anexo H.....	121
5.1 Anexo A.....	122
5.1 Anexo B.....	122
5.1 Anexo C.....	123
5.1 Anexo D.....	123
5.1 Anexo E.....	124
5.1 Anexo F.....	124
5.1 Anexo G.....	125
5.1 Anexo H.....	125
6.1 Anexo A.....	126
6.1 Anexo B.....	126
6.1 Anexo C.....	127
6.1 Anexo D.....	127
6.1 Anexo E.....	128
6.1 Anexo F.....	128
6.1 Anexo G.....	129
6.1 Anexo H.....	129
7.1 Anexo A.....	130
7.1 Anexo B.....	131
8.1 Anexo A.....	132
8.1 Anexo B.....	134
9.1 Anexo A.....	139

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Ciclo de Inversión HVAC [4] .....	17
Figura 2 Filtros HEPA [3] .....	18
Figura 3 Sensores y Condensadores [4] .....	19
Figura 4 Ciclo del aire, sala de cirugía [5].....	19
Figura 5 Modelo Hera [6] .....	22
Figura 6 Sistema de calefacción [5].....	22
Figura 7 Modelo 3D en SolidWorks de la sala de cirugía con equipos .....	50
Figura 8 Modelo 3D de persona en SolidWorks.....	51
Figura 9 Modelo 3D de sala de cirugía y personas.....	52
Figura 10 Mapa Psicométrico [35] .....	55
Figura 11 Sección de la Hoja de Cálculos de Carga Térmica E20 .....	57
Figura 12 Condiciones generales de entrada para la simulación .....	61
Figura 13 Entradas de aire, salidas de aire, Materiales de objetos, Fuentes de calor y radiación aplicadas en la simulación .....	62
Figura 14 Condiciones de malla para la simulación.....	63
Figura 15 Velocidad del aire ajustada a un rango menor .....	67
Figura 16 Velocidad del aire ajustada a un rango menor para la condición extrema de menor temperatura .....	70
Figura 17 Modelo 3D en SolidWorks de la sala de cirugía acondicionada según la normatividad .....	73
Figura 18 Velocidad del aire ajustada para la condición extrema de mayor temperatura modelo acondicionado a normatividad .....	74
Figura 19 Velocidad del aire ajustada para la condición extrema de menor temperatura modelo acondicionado a normatividad .....	77
Figura 20 Cronograma.....	95

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Dimensiones de la sala de cirugía .....	47
<b>Tabla 2.</b> Dimensiones de vidrio en paredes .....	48
<b>Tabla 3.</b> Dimensiones internas de las paredes de la sala de cirugía .....	48
<b>Tabla 4.</b> Equipos que pueden estar presentes durante el uso de la sala de cirugía .....	48
<b>Tabla 5.</b> Valores Psicométricos de la sala de cirugía en condiciones actuales .....	53
<b>Tabla 6.</b> Conductividad Térmica Estructural de la sala de cirugía .....	53
<b>Tabla 7.</b> Volumen de ventilación por persona .....	56
<b>Tabla 8.</b> Resultados mínimos y máximos de simulación en condiciones actuales .....	63
<b>Tabla 9.</b> Valores Psicométricos de la sala de cirugía en condiciones extremas de mayor temperatura .....	65
<b>Tabla 10.</b> Resultados mínimos y máximos de simulación en condiciones extremas de mayor temperatura .....	66
<b>Tabla 11.</b> Valores Psicométricos de la sala de cirugía en condiciones extremas de menor temperatura .....	68
<b>Tabla 12.</b> Resultados mínimos y máximos de simulación en condiciones extremas de menor temperatura .....	69
<b>Tabla 13.</b> Resultados mínimos y máximos de simulación en condiciones extremas de mayor temperatura modelo acondicionado a normatividad .....	73
<b>Tabla 14.</b> Resultados mínimos y máximos de simulación en condiciones extremas de menor temperatura modelo acondicionado a normatividad .....	75
<b>Tabla 15.</b> Cambios para acondicionar la sala de cirugía con la normatividad .....	78
<b>Tabla 16.</b> Requisitos que debe cumplir el sistema HVAC para poder operar correctamente con la sala de cirugía acondicionada con la normatividad .....	78
<b>Tabla 17.</b> Inversión inicial.....	87
<b>Tabla 18.</b> Costo operativo .....	87
<b>Tabla 19.</b> Depreciación anual.....	88



## **Lista de ecuaciones**

Ecuación 1 Formula para relacionar el caudal, carga térmica y temperatura .....	59
Ecuación 2 Beneficio Neto Anual.....	89
Ecuación 3 ROI.....	89
Ecuación 4 Periodo De Recuperación .....	90

# **Lista de ilustraciones**

Ilustración 1. Cuadro comparativo de tecnologías de los aspectos claves .....46

# Introducción

La Ingeniería Mecánica se posiciona como un actor primordial en la planificación y desarrollo de sistemas de climatización y ventilación debido a que posee bases sólidas de conocimiento en las áreas de mecánica de fluidos y transferencia de calor. Con un enfoque específico en esta necesidad, el presente trabajo tiene como objetivo abordar la problemática asociada al diseño de un sistema de climatización, en cuanto a la eficiencia y seguridad de una sala de cirugía simulada en el contexto colombiano.

Dentro del ámbito educativo en el sector de la salud, las salas de cirugía simuladas han permitido instruir y formar tanto a estudiantes como a profesionales en un ambiente controlado y salvaguardado. Estas instalaciones sirven como escenarios en los cuales se pueden llevar a cabo prácticas quirúrgicas y procedimientos médicos con un nivel de realismo que posibilita adquirir habilidades prácticas fundamentales, sin poner en riesgo a pacientes reales. En este contexto, el diseño y la implementación de un sistema de climatización y ventilación adecuados se convierten en una necesidad, la cual garantiza condiciones ambientales óptimas como sería: el control óptimo de la humedad, la temperatura adecuada, la presión y la circulación del aire. Lo anterior se enfoca en que, no solo fomenten un aprendizaje efectivo, sino que también respalden la seguridad y el bienestar de todos los involucrados.

Por lo anterior resulta imperativo, no solo analizar las regulaciones vigentes, sino también desarrollar soluciones técnicas de vanguardia que se alineen con el cumplimiento normativo de las salas de cirugías.

En la metodología empleada se mencionará como se hará el diseño del sistema de climatización, teniendo en cuenta las restricciones que se presenta debido al lugar de aplicación.

# Marco teórico

Las salas de cirugía simulada, auténticos laboratorios de práctica y formación en el ámbito médico representan una pieza fundamental en la educación y entrenamiento de estudiantes de medicina y profesionales de la salud. Estos espacios han sido diseñados meticulosamente para recrear escenarios clínicos realistas, permitiendo que los participantes adquieran y perfeccionen habilidades médicas en un entorno controlado y seguro. A través de la incorporación de tecnología avanzada, estas instalaciones son capaces de simular procedimientos quirúrgicos y situaciones clínicas, acercando la experiencia formativa a la realidad práctica y profesional que aguarda en la atención médica [18].

## 1.1 Climatización y ventilación en salas de cirugía

La renovación de aire en estos escenarios debe ser suficiente, según la norma ACAIRE [33], los cambios de aire por hora mínimos pueden variar de entre 20 a 25 cambios por lo que el sistema debe tener algún controlador que regule los cambios de aire y que pueda retroalimentar el aire, esto también ayuda a disminuir la concentración de agentes contaminantes, tales como microorganismos, polvo, gases narcóticos, desinfectantes, sustancias odoríferas u otras sustancias contenidas en el ambiente. Por lo anterior, la presión del aire debe ser diferente entre las salas de cirugía y las salas contiguas menos limpias, para evitar que el aire contaminado entre en las zonas más críticas. Por lo general, se recomienda una sobrepresión de entre 5 y 20 Pa en las salas de cirugía respecto a las esclusas y los pasillos [3] .

De acuerdo con lo anterior, es importante tener presente que la temperatura, la humedad y la ventilación deben ser controladas para proporcionar un ambiente confortable al equipo quirúrgico y los pacientes. La temperatura debe estar entre 17 y 24 ° C, la humedad relativa entre 40 y 60% y la velocidad del aire entre 0,2 y 0,4  $\frac{m}{s}$  [4] . El flujo de aire debe ser laminar, según el tipo de actividad y el grado de limpieza requerido. El flujo laminar crea una corriente de aire uniforme que desplaza el aire contaminado lejos de las zonas sensibles. La tecnología HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*, que en español significa: Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado) es la encargada de controlar de la

calidad del aire y el confort térmico que se ofrece en las salas de cirugía a través de un sistema de automatización.

El ciclo de inversión del HVAC es el proceso que permite cambiar el modo de funcionamiento del sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado, de acuerdo con las necesidades térmicas del ambiente. El ciclo de inversión se basa en el uso de una válvula de 4 vías o válvula de inversión, que cambia el sentido de circulación del refrigerante entre el compresor, el condensador y el evaporador. Sin embargo, cuando el ciclo está en modo de refrigeración, el refrigerante sale del compresor en forma de gas caliente y pasa al condensador, donde se enfría y se licúa. Luego, atraviesa una válvula de expansión que reduce su presión y temperatura, y entra al evaporador, donde absorbe el calor del ambiente y se evapora. Finalmente, regresa al compresor para completar el ciclo [5], como lo podemos ver en la siguiente figura:

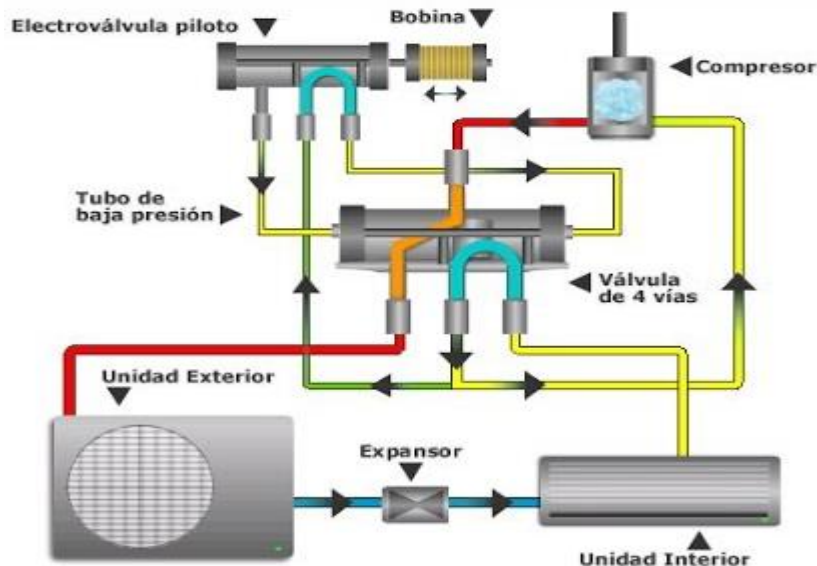


Figura 1 Ciclo de Inversión HVAC [4]

## 1.2 Filtros de Aire de Alta Eficiencia (HEPA)

Los filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air) son un componente esencial en los sistemas de climatización y ventilación de salas de cirugía simulada, ya que desempeñan un papel fundamental en la eliminación de partículas y microorganismos del aire. Estos

filtros son conocidos por su capacidad para capturar partículas extremadamente pequeñas de  $0,3 \mu\text{m}$  [6] con una alta eficiencia, lo que los convierte en una herramienta esencial para mantener la calidad del aire en entornos críticos como las salas de cirugía simulada.



Figura 2 Filtros HEPA [3]

Los filtros HEPA están diseñados para retener partículas en el aire que pueden ser perjudiciales para la salud, incluidos contaminantes biológicos y químicos. Su eficiencia radica en su estructura y en el proceso de filtración. Estos filtros constan de una malla de fibras dispuestas en forma de pliegues, lo que crea una amplia superficie de captura. Cuando el aire pasa a través del filtro, las partículas quedan atrapadas en las fibras debido a la combinación de la fuerza del aire y la interacción electrostática.

### 1.3 Sensores y Medidores de variables

En el contexto de la ingeniería mecánica aplicada a la climatización y ventilación en salas de cirugía simulada, los sensores y equipos medidores de variables tales como temperatura, presión y humedad del aire desempeñan un papel esencial para garantizar un ambiente seguro, saludable y eficiente. Estos dispositivos representan una solución avanzada que utiliza la tecnología para mantener y supervisar las condiciones ambientales dentro de la sala, optimizando así la calidad del aire y contribuyendo a la seguridad de los estudiantes y profesionales de la salud que participan en las prácticas médicas.

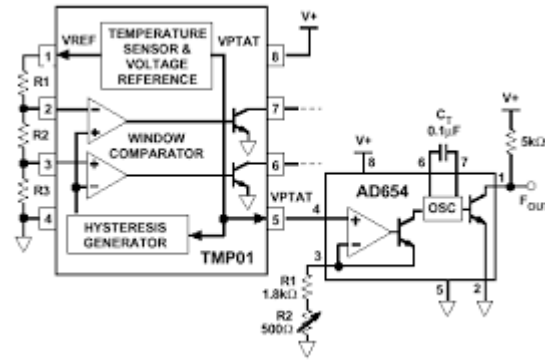


Figura 3 Sensores y Condensadores [4]

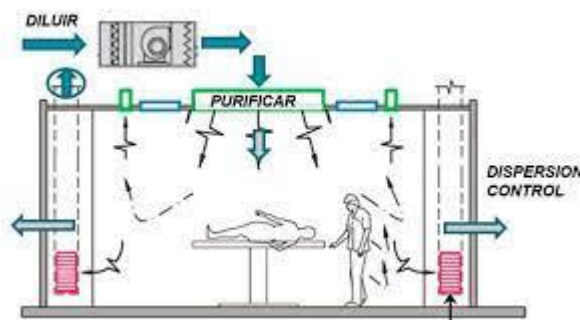


Figura 4 Ciclo del aire, sala de cirugía [5]

Los sensores y medidores de variables son herramientas de monitoreo y retroalimentación en tiempo real. A través de sensores especializados, estos dispositivos pueden medir parámetros críticos como la concentración de partículas en el aire, los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), la temperatura y la humedad. Estos parámetros anteriormente mencionados son indicadores clave de la calidad del aire y la eficacia del sistema de climatización y ventilación.

La ingeniería mecánica se beneficia de esta tecnología ya que permite un control más preciso y automatizado de los sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado). Los controladores pueden ajustar automáticamente la velocidad de los ventiladores, la temperatura y el flujo de aire según las condiciones ambientales detectadas por los sensores. Esto asegura que la sala mantenga niveles óptimos de ventilación,

temperatura y humedad en todo momento, proporcionando un entorno confortable y seguro.

Un estudio basado en la aplicación del Sistema de Automatización de Edificios en el Control de la Calidad del Aire para Salas de Operaciones, en el cual se resalta la utilidad de los sistemas de automatización en el control de la calidad del aire en entornos médicos [6] . El estudio demuestra que la implementación de sensores y controladores en salas de operaciones ha mejorado significativamente la calidad del aire, reduciendo la concentración de partículas y manteniendo niveles adecuados de CO<sub>2</sub>. Esto ha llevado a una mejora en la seguridad del paciente y en la eficiencia de los procedimientos médicos.

## Estado del arte

La asepsia en los quirófanos es fundamental para evitar infecciones nosocomiales durante los procedimientos quirúrgicos. Colombia ha tenido históricamente tasas altas de infecciones intrahospitalarias, por lo que se han buscado soluciones para mejorar las condiciones de asepsia en las salas de cirugía. Una de las estrategias más efectivas es contar con sistemas avanzados de climatización y ventilación que permitan controlar parámetros como la temperatura, humedad, presión diferencial y filtrado de partículas. Además, el uso de salas de cirugía simulada para entrenamiento quirúrgico ha ido en aumento, por lo que también se requiere asegurar condiciones óptimas de asepsia en estos espacios.

En los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías para los sistemas de climatización y ventilación en quirófanos, buscando mayor eficiencia energética y cumplimiento de estándares internacionales. En relación con lo anterior, los sistemas de flujo laminar con filtros HEPA demuestran una efectividad de 99,97% en la filtración de partículas de  $0,3 \mu\text{m}$  [6]. Los sistemas de flujo laminar con filtros HEPA se pueden clasificar según la dirección del flujo de aire en dos tipos: horizontal y vertical. En el sistema horizontal, el flujo de aire sale del filtro situado en la parte posterior del equipo y se dirige hacia el operario, creando una barrera entre el área de trabajo y el ambiente exterior. En el sistema vertical, el flujo de aire sale del filtro HEPA situado en la parte superior del equipo y se dirige hacia abajo, creando una zona estéril sobre el área de trabajo [6].

La utilidad de dichos filtros se demostró en la práctica a nivel nacional, gracias al estudio desarrollado por La Universidad CES de Medellín, en donde se demostró la reducción significativa de las infecciones quirúrgicas en un 10% al implementar un sistema de climatización con filtración HEPA[7].

En la figura 5 se pueden observar las características principales de este tipo de filtros:

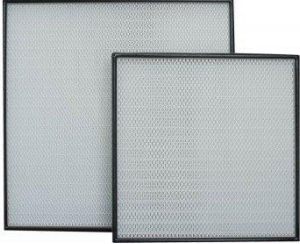
	<p>Envolvente en aluminio anodizado.</p> <p>Media filtrante de microfibras de vidrio plegada sistema "mini-pleat".</p> <p>Rejilla metálica de protección en las dos caras del filtro.</p> <p>Eficiencias hasta U17 bajo demanda.</p> <p>Modelo FL con junta de poliuretano.</p> <p>Modelo FL-GEL con junta líquida de gel-silicona.</p>
---	---

Figura 5 Modelo Hera [6]

Por otro lado, se debe mencionar la utilidad e importancia de la implementación de controles automatizados de temperatura y humedad relativa en quirófanos, ya que reducen de forma significativa las variaciones y mejora la estabilidad de estos parámetros críticos[7] En el estudio anterior [7] se realizó un comparativo entre un quirófano convencional y uno con control automatizado, se encontró que el segundo presentaba menores desviaciones y fluctuaciones de la temperatura y la humedad relativa, lo que se traducía en una mayor calidad del aire y un menor consumo energético.



Figura 6 Sistema de calefacción [5]

De acuerdo con lo anterior, los beneficios de adaptar un sistema de regulación y monitoreo de la temperatura radica en la capacidad de la adaptabilidad a las diferentes condiciones exteriores e interiores, así como a las distintas necesidades de cada tipo de cirugía (clase

A, B o C)<sup>1</sup> [9] . Así mismo, estos sistemas facilitan la operación y reduce el mantenimiento, ya que el sistema se ajusta automáticamente sin necesidad de intervención manual directa.

Lo anterior se debe a que las superficies de cobre y de metal de aleación de cobre contienen la capacidad intrínseca de inhibir el crecimiento de las algas, hongos/moho, virus y bacterias.

Un estudio en el campo de la biotecnología llevó a cabo la concepción y aplicación de un innovador sistema de climatización y ventilación basado en la técnica de inducción en un quirófano simulado. Este sistema se desarrolló y evaluó utilizando tanto un modelo numérico como experimentos prácticos para analizar su rendimiento [12] Los resultados arrojados por este estudio demostraron que el sistema de climatización y ventilación por inducción logra una distribución uniforme de aire limpio en el área quirúrgica. Además de la distribución uniforme, el sistema puede mantener de manera constante condiciones óptimas de temperatura y humedad relativa en un quirófano simulado. Esto es de vital importancia para el desarrollo de cirugías exitosas y la seguridad tanto del personal sanitario como del paciente [12] .

Un aspecto clave del sistema de inducción es su capacidad para reducir significativamente el riesgo de contaminación cruzada; al mantener un flujo de aire constante y uniforme, se minimizan las posibilidades de que partículas contaminantes se dispersen en el entorno quirúrgico. Esto garantiza un ambiente más estéril y seguro para todos los involucrados en el procedimiento quirúrgico [12]

---

<sup>1</sup> Clase A: Las cirugías de Clase A suelen ser procedimientos quirúrgicos de menor complejidad y menor riesgo de infección. Estas cirugías se llevan a cabo en condiciones más controladas y limpias. Ejemplos de cirugías de Clase A podrían incluir procedimientos menores como la extracción de un quiste cutáneo.

Clase B: Las cirugías de Clase B son procedimientos intermedios en términos de complejidad y riesgo de infección. Requieren un mayor nivel de asepsia y control de infecciones que las cirugías de Clase A. Ejemplos de cirugías de Clase B podrían incluir apendicectomías o cirugías de hernia.

Clase C: Las cirugías de Clase C son procedimientos de alta complejidad y riesgo de infección. Estos procedimientos requieren un ambiente quirúrgico altamente controlado y estrictas medidas de control de infecciones. Ejemplos de cirugías de Clase C podrían ser cirugías cardíacas o neurocirugías.

En el contexto anterior, se tiene el estudio de la Fundación Germán Sánchez Ruipérez. Dicho estudio comparó la eficiencia energética y la calidad del aire de tres sistemas de climatización y ventilación en quirófanos simulados: flujo laminar vertical, flujo laminar horizontal y flujo turbulento. Los autores utilizaron sensores de temperatura, humedad, presión, velocidad y concentración de partículas para medir las variables de interés en cada sistema [13]. Los resultados mostraron que el sistema de flujo laminar vertical era el más eficiente desde el punto de vista energético y el que ofrecía una mejor calidad del aire, seguido por el sistema de flujo laminar horizontal y el sistema de flujo turbulento.

El estudio de OMS [14] se enfocó en la creación de un sistema de climatización y ventilación inteligente diseñado para quirófanos simulados. Este sistema se basó en un algoritmo de control adaptativo el cual demostró su capacidad para ajustar de manera dinámica los parámetros de funcionamiento según las condiciones ambientales cambiantes y las necesidades precisas de cada cirugía.

Los resultados obtenidos por los autores de este estudio son prometedores. El sistema inteligente demostró su capacidad para mejorar significativamente el consumo de energía al tiempo que garantiza la asepsia y el confort térmico en quirófanos simulados. Esto es especialmente importante en vista de que los quirófanos deben mantener un ambiente estéril y proporcionar condiciones óptimas para los equipos médicos y el personal durante los procedimientos quirúrgicos [14]. Los algoritmos de control adaptativo permitieron que el sistema HVAC respondiera adecuadamente a los cambios de temperatura, humedad, presión y niveles de contaminación del aire. Finalmente, se aclara que es muy importante mantener las condiciones en el quirófano, en vista de que los requisitos ambientales necesarios para garantizar el éxito de la operación y la seguridad del paciente pueden variar durante la operación.

## Planteamiento del problema

Las prácticas de clase en salas de cirugía simulada se han convertido en un recurso valioso para la formación médica, permitiendo a los estudiantes adquirir habilidades prácticas y mejorar su desempeño en un entorno controlado y seguro. Adicionalmente, el diseño adecuado de un sistema de climatización en estas instalaciones es esencial para garantizar condiciones óptimas de salubridad y limpieza durante las simulaciones en los entornos de formación médica, lo que impacta directamente en la eficacia y seguridad del proceso. Varios estudios han señalado la importancia de la climatización en salas de cirugía simulada y su influencia en la experiencia de los participantes. "Las condiciones ambientales, como la temperatura, humedad y calidad del aire interior pueden afectar el confort térmico y la concentración de los estudiantes durante las prácticas médicas simuladas" [3] .

La falta de una normatividad específica para salas de cirugía simulada en el contexto colombiano ha sido destacada por diversos autores. La falta de regulaciones específicas para las salas de cirugía simulada en Colombia hace que sea difícil implementar soluciones técnicas adecuadas, lo que puede llevar a un diseño insuficiente del sistema de climatización y ventilación [4] . Esta carencia de lineamientos normativos característicos ha llevado a que las salas de cirugía simulada se basen en regulaciones destinadas a salas de cirugía reales, lo que no aborda las necesidades particulares de estas instalaciones. El estudio "Normative analysis of HVAC systems for surgical simulation labs in Colombia" destaca la importancia de este aspecto y pone de relieve la necesidad de contar con regulaciones adecuadas en el contexto colombiano [6] .

Además, se ha observado que la eficiencia energética de los sistemas de climatización en salas de cirugía simulada es un aspecto crítico para garantizar la sostenibilidad económica

y ambiental de estas instalaciones. El uso de tecnologías avanzadas de climatización puede ayudar a disminuir el consumo de energía y, por lo tanto, reducir los costos operativos relacionados con el funcionamiento de estas salas [5] . Por lo tanto, existen oportunidades para mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental de estos sistemas.

Ahora bien, el diseño adecuado de sistemas de climatización en salas de cirugía simulada es un aspecto fundamental para garantizar condiciones óptimas de calidad del aire interior (IAQ, por su nombre en inglés) durante las prácticas médicas simuladas. Estudios como "Evaluating the impact of ventilation systems on indoor air quality in simulated surgical environments" han puesto de manifiesto la importancia de este factor en la formación médica. Aunque las salas de cirugía simulada se consideran un ambiente controlado, diversos factores, como el número de personas presentes, el uso de equipos médicos y la frecuencia de simulaciones, pueden afectar significativamente la calidad del aire en estos espacios [7]

Es por ello que en este trabajo de investigación se propone analizar las necesidades específicas de climatización en la sala de cirugía del hospital simulado de la Pontificia Universidad Javeriana, proponer soluciones técnicas avanzadas que cumplan con las normativas y recomendaciones internacionales y, por ende, el correcto análisis evaluativo sobre su eficiencia energética para contribuir al avance del campo de la ingeniería mecánica aplicada en el ámbito de la salud y de esta forma mejorar la calidad de la formación médica en el país. Por lo tanto, la pregunta que se formula es la siguiente: ¿Cómo diseñar el sistema de climatización de la sala de cirugía simulada de la Pontificia Universidad Javeriana Seccional Cali, proporcionando un ambiente idóneo y realista para la formación médica y la práctica de procedimientos clínico

## Justificación

Diversos estudios han resaltado la influencia de las condiciones ambientales en la concentración, el confort térmico y la efectividad de los estudiantes durante las simulaciones médicas [1] [4] . Asimismo, el estudio desarrollado por Ríos destaca la importancia de considerar aspectos de salud y seguridad en el diseño de sistemas HVAC para entornos de formación médica [5] . Estas evidencias respaldan la relevancia del proyecto, ya que una adecuada climatización es clave para el aprendizaje y asegurar el bienestar de los participantes, ya que aumentan la eficacia del entrenamiento de los estudiantes y profesionales de la salud [6]

Este trabajo aportará a la escasez de estudios específicos sobre tecnologías avanzadas de climatización en salas colombianas, ya que salas de cirugía simuladas alrededor del país podrán usar como referencia el análisis normativo que se propondrá en este trabajo, ya que se realizará considerando las particularidades de las salas colombianas, el cual tendrá en cuenta experiencias internacionales y mejores prácticas para proponer directrices adecuadas que aseguren la eficiencia y seguridad de estos entornos. De igual manera, esta investigación puede servir como base para la formulación de políticas y normativas específicas en el ámbito de la formación médica a nivel nacional.

Con respecto a la Pontificia Universidad Javeriana Seccional Cali, la adopción de tecnologías avanzadas en este ámbito puede generar reducciones significativas en el consumo energético, lo cual se traduce en importantes beneficios económicos y medioambientales [3] Según un estudio de la Universidad de Michigan, el uso de salas de cirugía simulada consume energía equivalente a 15-20 hogares promedio durante un año, por lo que

mejoras en eficiencia energética pueden generar grandes ahorros [9] Una mayor eficiencia energética en estos sistemas no solo implica una disminución en los costos operativos asociados al funcionamiento de las salas de cirugía simulada, sino que también contribuye a la sostenibilidad económica de las instituciones educativas y de salud que albergan estas instalaciones. Un análisis de la Universidad de Pensilvania determinó que la implementación de medidas como iluminación LED en quirófanos simulados puede reducir el consumo energético en un rango de 30% a 45% [10]

La eficiencia energética también tiene un impacto significativo en el medio ambiente, ya que la reducción del consumo energético implica una menor emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos. Dado el creciente interés global en la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental, el diseño de sistemas de climatización con una alta eficiencia energética se alinea con los objetivos de conservación y protección del medio ambiente planteado por la organización de las Naciones Unidas. Investigadores de la Universidad Tecnológica de Nanyang calcularon que la implementación de medidas de eficiencia energética en centros de simulación médica de Singapur podría evitar la emisión de hasta 7.800 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> al año [10] Alineado con lo anterior, un informe del Departamento de Energía de EE. UU [11] indica que renovar los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado con tecnologías eficientes permitiría disminuir el consumo energético de hospitales simulados en un 30%, lo que se traduce en menos contaminantes atmosféricos.

# Objetivos

## 5.1 Objetivo general

Diseñar el sistema de climatización y ventilación de la sala de cirugía simulada de la Pontificia Universidad Javeriana Sede Cali, que permita generar adecuadamente las condiciones de temperatura ( $17^{\circ}$ - $24^{\circ}$ ), humedad (40%-60%), velocidad y calidad del aire ( $0,2$ - $0,4 \frac{m}{s}$ ) de un quirófano real, para la formación práctica y entrenamiento de estudiantes de medicina en procedimientos quirúrgicos.

## 5.2 Objetivos específicos

1. Evaluar las tecnologías de climatización y ventilación disponibles en el mercado, identificando aquellas que sean más adecuadas para garantizar la calidad del aire y la asepsia en las salas de cirugía.
2. Presentar recomendaciones y planos basados en evidencia para realizar el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas de climatización y ventilación.
3. Evaluar la prefactibilidad técnica y económica de las tecnologías de climatización utilizadas en el diseño de la sala de cirugía simulada para la Universidad Javeriana sede Cali, considerando eficiencia energética y cumplimiento normativo colombiano e internacional.



# Metodología

Para lograr los objetivos planteados en el proyecto, se llevará a cabo un desarrollo metodológico que incluirá diferentes etapas y enfoques de investigación. A continuación, se detalla la metodología específica para cada uno de los objetivos mencionados:

## **6.1 Evaluar las tecnologías avanzadas de climatización y ventilación disponibles en el mercado**

En esta fase crucial del anteproyecto, se realizará una investigación detallada sobre las tecnologías avanzadas de climatización y ventilación aplicables en salas de cirugía simulada. A través de una revisión exhaustiva de literatura científica y técnica, se buscará comprender las opciones disponibles y sus beneficios en eficiencia, seguridad y cumplimiento normativo. Se seleccionarán fuentes confiables y relevantes como artículos científicos, informes técnicos y guías de diseño, para entender las últimas tendencias y avances tecnológicos en este ámbito. Además, se analizarán casos de éxito y experiencias prácticas de diversas instituciones, evaluando la calidad del aire interior, eficiencia energética y seguridad del paciente en implementaciones exitosas de estos sistemas en salas de cirugía simulada.

La evaluación de las tecnologías avanzadas de climatización y ventilación se centrará en varios aspectos clave:

- **Eficiencia energética:** Se examinará la capacidad de las tecnologías para ofrecer un rendimiento óptimo mientras se minimiza el consumo energético. La eficiencia energética es importante para reducir costos operativos y el impacto ambiental.
- **Filtración y purificación del aire:** Se analizará la capacidad de los sistemas para eliminar partículas, microorganismos y contaminantes del aire, asegurando un ambiente limpio y seguro para los estudiantes y profesionales de la salud.
- **Control de temperatura y humedad:** Se evaluará la capacidad de los sistemas para mantener condiciones ambientales adecuadas que no solo cumplan con las normativas, sino que también favorezcan la comodidad y el bienestar de los participantes.
- **Adaptabilidad y flexibilidad:** Se considerará la capacidad de los sistemas para ajustarse a las necesidades específicas de las salas de cirugía simulada, que pueden variar según el tipo de procedimientos simulados y el número de participantes.
- **Cumplimiento normativo:** Se analizará cómo las tecnologías se alinean con las regulaciones y estándares colombianos e internacionales relacionados con la calidad del aire, la seguridad y la eficacia ventilatoria en instalaciones médicas y quirúrgicas.

---

## **6.2 Desarrollar recomendaciones prácticas y basadas en evidencia para realizar el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas de climatización y ventilación:**

Esta fase del proyecto se enfocará en desarrollar recomendaciones prácticas y fundamentadas en evidencia para la implementación y el mantenimiento del sistema de climatización y ventilación diseñado específicamente para salas de cirugía simulada en el contexto colombiano. Para garantizar la eficacia del sistema de climatización y ventilación en las salas de cirugía simulada, es fundamental realizar un cálculo preciso de la carga térmica. Esto implica determinar la cantidad de calor que se genera en la sala debido a las fuentes internas, como equipos médicos y personal, así como las condiciones ambientales externas. A partir de estos cálculos, se podrá seleccionar unidades de tratamiento de aire (UTAs) con la capacidad adecuada para mantener una temperatura óptima y controlar la humedad en el ambiente. Además, se llevará a cabo un cálculo de eficiencia energética para evaluar el rendimiento de las UTAs y asegurarse de que el consumo de energía sea mínimo. Ahora bien, la distribución efectiva del flujo de aire en la sala de cirugía simulada requerirá el cálculo de velocidades del aire adecuadas. Estos cálculos se basarán en la necesidad de mantener condiciones de aire óptimas y evitar áreas de estancamiento. Además, se calcularán las tasas de renovación de aire necesarias para garantizar que el aire se renueve con la frecuencia adecuada, minimizando así la acumulación de contaminantes. Esto se logrará mediante la combinación de simulaciones de flujo de aire y datos específicos de la sala.

Se realizarán cálculos sobre la eficacia de los sistemas de filtración para mantener un ambiente seguro y libre de contaminantes en las salas de cirugía simulada, se hace referencia a la eficacia debido a que se relaciona con la capacidad de cumplir con el objetivo, ahora bien, estos cálculos dependerán de la tasa de flujo de aire para determinar la capacidad de los filtros para eliminar partículas y microorganismos. Además, se calculará la vida útil de los filtros para determinar la

frecuencia de reemplazo, asegurando una eliminación efectiva de contaminantes y un funcionamiento óptimo del sistema.

Es necesario realizar cálculos para mantener la temperatura y la humedad en las salas de cirugía simuladas. Esto incluye la determinación de la capacidad del sistema de climatización para mantener la temperatura dentro de los límites sugeridos. Además, se llevarán a cabo cálculos para determinar la capacidad de los sistemas de humidificación o deshumidificación, asegurándose de que la humedad relativa del aire se mantenga en niveles ideales para el aprendizaje y la realización de procedimientos médicos simulados.

Por otro lado, las recomendaciones serán el resultado de una cuidadosa integración de los hallazgos obtenidos en las etapas anteriores del proyecto. A continuación, se detalla cómo se desarrollarán estas recomendaciones:

- Selección de equipos: Basándose en la evaluación de tecnologías disponibles en el mercado, se identificarán los equipos de climatización y ventilación que mejor se adapten a las necesidades de las salas de cirugía simulada. Se proporcionarán criterios detallados para la selección de unidades de tratamiento de aire, sistemas de filtración y otros componentes clave del sistema.
- Ubicación de salidas y entradas de aire: Se brindarán directrices sobre la ubicación óptima de las salidas y entradas de aire para garantizar una distribución uniforme del flujo de aire en toda la sala. Esto contribuirá a evitar zonas con poca circulación de aire y a mantener una calidad del aire homogénea.
- Distribución del flujo de aire: Se establecerá cómo debe dirigirse y distribuirse el flujo de aire en la sala para crear condiciones de aire adecuadas y minimizar la presencia de contaminantes en áreas críticas.

- Filtración y purificación del aire: Se proporcionarán especificaciones técnicas para los sistemas de filtración y purificación del aire, incluida la capacidad de los filtros y la periodicidad de su reemplazo. Esto garantizará una eliminación efectiva de partículas y microorganismos del aire.
- Control de temperatura y humedad: Se establecerán rangos de temperatura y humedad recomendados para crear un ambiente cómodo y propicio para el aprendizaje en las salas de cirugía simulada.
- Supervisión y mantenimiento: Se detallarán pautas para llevar a cabo un monitoreo regular del sistema de climatización y ventilación. Se establecerán protocolos para el mantenimiento preventivo y correctivo, con el objetivo de asegurar que el sistema funcione de manera eficiente y sin problemas a lo largo del tiempo.

Todas estas recomendaciones se basarán en evidencia sólida obtenida de la revisión de la literatura, la evaluación de tecnologías avanzadas y simulaciones computacionales que se hayan realizado en proyectos similares. El resultado final será un conjunto completo de directrices que servirán como guía práctica para ingenieros, diseñadores y profesionales de la salud que estén involucrados en la implementación y mantenimiento de sistemas de climatización y ventilación en salas de cirugía simulada en Colombia.

---

### **6.3 Evaluar la prefactibilidad técnica y económica de las tecnologías de climatización utilizadas en el diseño de la sala de cirugía simulada para la universidad javeriana de Cali, considerando eficiencia energética y cumplimiento normativo colombiano e internacional.**

Se realizará la elección de tecnologías evaluadas, tomando en cuenta las tecnologías identificadas y evaluadas en el primer y segundo objetivo, con esto se logrará hacer un análisis de costo inicial, logrando determinar el costo de adquisición de cada tecnología y estimando los costos asociados con la instalación, incluyendo mano de obra, materiales adicionales y adaptaciones necesarias.

Se hará la estimación de costos operativos, calculando el consumo energético de cada tecnología y traducirlo en costos de electricidad, considerando la frecuencia y complejidad de las intervenciones requeridas, sin dejar atrás que se tendrá que evaluar los costos de reparaciones o reemplazos de componentes a lo largo de la vida útil de la tecnología.

Adicionalmente, el estudio de prefactibilidad se realizará tomando aspectos claves como los siguientes:

- **Análisis de beneficios económicos**

Se tendrán que estimar ahorros en eficiencia energética en comparación con tecnologías tradicionales o existentes, considerando posibles incentivos o subsidios gubernamentales para tecnologías eficientes o sostenibles.

- **Evaluación de riesgos económicos**

Se identificarán posibles riesgos financieros asociados con cada tecnología, como obsolescencia prematura, falta de repuestos en el mercado local o costos ocultos, estimando también el impacto económico de posibles fallos o interrupciones en el servicio debido a problemas con la tecnología.

- **Retorno de Inversión (ROI)**

Se calculará el tiempo que tomaría recuperar la inversión inicial considerando los ahorros y beneficios económicos, comparando el ROI de cada tecnología para determinar cuál ofrece la mejor relación costo-beneficio.

- **Recomendación Económica**

Basándose en el análisis económico completo, se recomendará la tecnología o combinación de tecnologías que represente la mejor inversión a corto, medio y largo plazo. Esta metodología se enfoca en un análisis económico detallado, tomando como base las tecnologías identificadas en el primer objetivo.

## Restricciones

- El diseño y las soluciones propuestas deben ser compatibles con la infraestructura existente de las salas de cirugía, lo que podría limitar la implementación de ciertas tecnologías o cambios estructurales.
- Una de las metas es la eficiencia energética, lo que podría limitar la selección de tecnologías que no cumplan con este criterio.
- El diseño debe incluir filtros tipo HEPA
- Este sistema de climatización será implementado para la estructura de la Universidad Javeriana Cali; por tanto, para ser implementada en otras partes, se tendrá que adaptar.
- Excluir tecnologías emergentes o en etapas de desarrollo que aún no están ampliamente disponibles.
- Las soluciones propuestas se basarán en las normativas vigentes en Colombia en el momento de la investigación.

---

## Evaluación de tecnologías avanzadas

En esta etapa, se encuentra literatura científica de casos de estudio de sistemas HVAC. Sin embargo, un caso de estudio en particular se centra en hospitales que es la principal fuente de información usada como base para la consulta de normatividad y parámetros técnicos. Con base en lo anterior, de acuerdo con el estudio presentado por Sánchez-Barroso y García Sanz-Calcedo [15], se analiza que el estudio tiene los aspectos claves buscados en este proyecto que dan un punto de partida para realizar los ajustes necesarios para cumplir los requisitos planteados a continuación:

- **Eficiencia energética:**

El estudio de Sánchez y Calcedo menciona que los sistemas de bomba de calor con fuente de agua (WSHP, por sus siglas en inglés) pueden integrarse para satisfacer de manera segura la demanda de climatización de los quirófanos. Sin embargo, también existen otras opciones para la climatización como los condensadores de aire, elegir una u otra opción depende de varios factores como pueden ser el costo de los equipos, los recursos cercanos a la ubicación del lugar de trabajo, el tiempo que se requiere para refrigerar el aire, entre otros factores y también la eficiencia energética, si se quiere un equipo que no consuma demasiada energía pero que haga bien su trabajo, seguramente se deba sacrificar el factor costo. Por ejemplo, un artículo de Cacabelos-Reyes [20] donde se menciona que las salas de operaciones (SO) presentan rigurosos requisitos de ventilación, higrotérmica, iluminación y funcionalidad. En consecuencia, exhiben una alta intensidad de uso de energía en comparación con otras áreas hospitalarias, principalmente debido al consumo energético de los sistemas HVAC. De hecho, un estudio reciente sobre el rendimiento energético de las SO de un hospital español revela que su demanda térmica promedio es considerablemente alta. Los sistemas HVAC desempeñan un papel fundamental en la prevención de infecciones durante las operaciones quirúrgicas, al tiempo

que mantienen condiciones térmicas interiores aceptables para pacientes y personal médico, lo que implica un consumo significativo de energía. Al final, la decisión de que sistema HVAC usar se tomara según las ventajas y desventajas basado en los factores que se mencionan anteriormente.

- **Filtración y purificación del aire:**

El estudio de Sánchez y Calcedo analiza los niveles de filtración recomendados por las diferentes normas, como filtros F7, F9 y H13 (eficiencia del 99,95%) según UNE 100713, o MERV 7 y MERV 14 según ASHRAE 170 y, similar a la eficiencia energética, esta opción se debe tomar según la normatividad usada. Afortunadamente, los filtros de aire ya tienen un estándar en cuanto a la eficiencia de filtración independientemente de la norma a escoger. Sin embargo, si la sala de cirugía requiere otras características en la filtración como la irradiación germicida ultravioleta, que es muy efectivo para eliminar gérmenes, el estudio destaca que las normas no contemplan este método, esto indica que según las necesidades requeridas para la sala de cirugía se deben contemplar otras necesidades que la normatividad podría no cubrir.

- **Control de temperatura y humedad:**

El estudio de Sánchez y Calcedo compara los rangos recomendados para temperatura (18-24°C) y humedad relativa (20-60%) por las diferentes normas, aunque se menciona que ciertas cirugías requieren temperaturas más bajas o altas, y que los rangos de humedad deben ajustarse según los requisitos médicos, debido a que no es lo mismo acondicionar una sala de cirugía a una sala de recuperación. Por ejemplo, en el caso de la normatividad ASHRAE 170 se puede usar una tabla de condiciones según el lugar a acondicionar donde indican los valores psicométricos del lugar.

- **Adaptabilidad y flexibilidad:**

El estudio de Sánchez y Calcedo indica que la norma EN 16244 define nuevos términos como "zona crítica", "zona protegida" y "zona periférica" para establecer requisitos según las zonas, estos parámetros varían según el lugar a adaptar y la zona que lo rodee, pero esto ocurre solo en esta norma y no es muy convincente en parte porque está pensado principalmente para países europeos como el reino unido. Por otro lado, se sugiere que los valores ideales de los parámetros de diseño deberían adaptarse a las condiciones de cada tipo de cirugía, como el tamaño de la sala de cirugía, pero no establecen o mencionan unos valores en específico. Sin embargo, la normatividad ASHRAE 170 usa los lineamientos de instalación de la FGI (Facility Guideline Institute) o Instituto de Orientación sobre Instalaciones, la ASHRAE 170 no menciona esos valores directamente dentro de sus normas, sino que mencionan que se pueden encontrar en la documentación por la FGI, el problema es que acceder a estos datos requiere de un pago por lo que no está abierto para todo el público. Sin embargo, en la siguiente sección de este documento se explica que se puede hacer en este caso, la clave está en la normatividad local de cada país.

- **Cumplimiento normativo:**

El estudio de Sánchez y Calcedo compara detalladamente los requisitos cuantitativos establecidos por UNE 100713, ASHRAE 170 y EN 16244 para parámetros como temperatura, humedad, sobrepresión, filtros, renovaciones de aire, velocidad de impulsión. Sin embargo, como Colombia no se encuentra ubicado en un sitio donde se pueda regir directamente por estas normas, se debe consultar la normatividad local. Afortunadamente, la normatividad local se ha adaptado bajo la normatividad ASHRAE 170 para crear la ACAIRE que adapta los datos de la ASHRAE para que funcionen en el país.

Por último, todo lo que se menciona anteriormente se resume en la tabla que se ve al final de esta sección y en mejor detalle en la siguiente sección del documento, debido a que esta consulta de la literatura permite obtener una visión más clara para realizar las decisiones tomadas en el acondicionamiento de la sala de cirugía en simulación gracias a la literatura de otros casos de estudio, los datos proporcionados por la normatividad establecida y los resultados que mostraban el comportamiento de la sala de cirugía dentro del software de simulación para que al final se puedan encontrar las condiciones ideales que cumplan la normatividad y los requisitos de la sala para el propósito que se piensa usar en caso de implementarse los cambios en la vida real.

ASPECTO CLAVE	TECNOLOGIA	USO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Eficiencia energética</b>	Bombas de calor [40]	La bomba de calor toma la energía de un ambiente y la cede a otro, lo que implica que, en invierno, se transfiere al interior y, en verano, se invierte el proceso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es la tecnología más asentada y conocida la que ofrece un mejor rendimiento. Tienen unos gastos de mantenimiento muy reducidos, no contaminan y son sumamente polivalentes, por lo que conviene tenerlas en cuenta, pese a ser uno de los "básicos" de la climatización industrial y comercial.</li> </ul>	En caso de que se quiera una solución más eficiente, habría que recurrir a bombas de calor suelo-agua o aire-agua. La calefacción por aerotermia o por geotermia consume mucha menos energía (hasta un 60% menos) que los sistemas tradicionales, pero es mucho más cara que el sistema split.
<b>Filtración y purificación del aire</b>	Irradiación Germicida Ultravioleta [38]	Se recomienda el uso de UVGI en espacios con sistemas mecánicos insuficientes de HVAC o sin ellos, o donde	<ul style="list-style-type: none"> <li>los sistemas requieren poco mantenimiento. Será necesario reemplazar las lámparas una vez</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>la energía UV direccionada o reflejada hacia espacios ocupados</li> </ul>

		no sea posible mantener una ventilación natural adecuada durante todo el año.	al año, aunque algunos fabricantes ofrecen lámparas con una vida útil de 2 años. <ul style="list-style-type: none"> <li>Ideales para sitios sin sistemas HVAC o de baja eficiencia.</li> </ul>	puede provocar daños temporales en los ojos o la piel <ul style="list-style-type: none"> <li>La energía UV-C puede dañar las plantas colocadas en la zona de desinfección (por ejemplo, en la parte superior de las bibliotecas o estantes elevados). La energía también puede provocar decoloración y manchas en las superficies de madera y empapelados</li> </ul>
	Filtros HEPA [39]	se utilizan habitualmente en instalaciones médicas por su capacidad para capturar e impedir la transmisión de bacterias y organismos víricos por el aire, limitando las infecciones. En estos entornos, el filtro HEPA suele combinarse con luces ultravioletas para	Los filtros HEPA 14, por ejemplo, capturan el 99,995% de las partículas.	los filtros HEPA más densos pueden provocar caídas de presión, aumentando los costes de electricidad.

		eliminar las bacterias o virus vivos atrapados por el medio filtrante.		
	Filtros MERV [39]	Los filtros MERV se utilizan normalmente en hospitales y salas de cirugía general debido a su capacidad para capturar bacterias transportadas por el aire, gotas de estornudos y similares.	Los filtros MERV están clasificados del 1 al 20. Cuanto mayor sea el valor, más partículas se capturan dando mayor variedad de filtros,	Los filtros MERV suelen capturar alrededor del 95% de las partículas en sus rangos nominales
<b>Control de temperatura y humedad</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de aire acondicionado y ventilación HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning): Estos sistemas permiten mantener la temperatura y la humedad relativa dentro de los rangos requeridos en una sala de cirugía. Pueden controlar con precisión la temperatura y la humedad, así como filtrar el aire para mantener un ambiente limpio y libre de contaminantes.</li> <li>• Sistemas de control de humedad: Estos sistemas pueden agregar o eliminar humedad del aire según sea necesario. Algunos utilizan tecnologías como la humidificación por vapor o la deshumidificación por enfriamiento para mantener los niveles de humedad adecuados.</li> <li>• Sensores y controles automatizados: Sensores de temperatura y humedad, junto con sistemas de control automatizados, permiten monitorear y ajustar continuamente las condiciones ambientales en la sala de cirugía. Estos sistemas pueden ajustar automáticamente la temperatura y la humedad según los parámetros establecidos.</li> <li>• Sistemas de filtración de aire: Filtros de aire de alta eficiencia, como los filtros HEPA (High-Efficiency Particulate Air), son esenciales para eliminar partículas, bacterias y otros contaminantes del aire en la sala de cirugía, manteniendo un ambiente limpio y controlado.</li> </ul> <p>No hay una sola tecnología para controlar y regular la temperatura y humedad, la realidad es que, es una mezcla de varios sistemas que influyen directa o indirectamente en estos parámetros y normalmente suelen estar presentes para estos casos.</p>		
<b>Adaptabilidad y flexibilidad</b>	FGI (Facility Guideline Institute) [41]	Los documentos de las Directrices tienen una amplia variedad de usos públicos y privados. Entre ellos se incluyen la adopción por parte	Proporcionan información confiable para el diseño de interiores y regulaciones por lo que, en caso de requerirse una mejora o ampliación, al estar basados en estas	No todas las normas que ofrece la FGI son gratuitas por lo que se debe pagar para acceder a la información.

		de los estados con fines normativos y otras referencias en leyes, códigos, normas y reglamentos; el uso en la autorregulación privada y la normalización de los requisitos de espacio y equipamiento; y la promoción de prácticas y métodos seguros en la planificación, el diseño y la construcción de diversos tipos de instalaciones sanitarias.	normas se podrá mejorar a futuro.	
<b>Cumplimiento normativo</b>	ASHRAE 170 [29]	El objetivo de este estándar es definir los requisitos de diseño para los sistemas de ventilación que proporcionan el control ambiental de la comodidad, la asepsia y los olores en las instalaciones de atención médica.	Se puede conseguir de forma gratuita el acceso a esta información a versiones anteriores a la actual.	Se debe verificar que esta normativa cumpla con la normativa nacional o local del país.
	UNE 100713 [19]	La normativa UNE 100713 recoge todos los requisitos necesarios para un correcto uso de las instalaciones de acondicionamiento en zonas de alto riesgo sanitario, como pueden ser: los hospitales, las clínicas, los	Puede proporcionar información detallada junto con otras normas que la complementan o puede complementar otras normas como la ASHRAE 170 y se trabaja en varias partes del mundo.	La última vez que se actualizó la norma fue en el 2015.

		quirófanos, las zonas de esterilización o las unidades de cuidados intensivos, con el objetivo de proteger la salud de los pacientes y el personal sanitario. Se trata de algunos de los sectores en los que las salas blancas están más presentes, por lo que estas se deberán de asegurar de cumplir los requerimientos establecidos en las normas UNE.		
	EN 16244 [19]	En esta normativa, se recogen las exigencias en materia de seguridad y de ahorro energético para la climatización destinada a quirófanos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilita el mantenimiento de los equipos de climatización.</li> <li>• Minimizar el consumo energético en climatizadores, intercambiadores, filtros, velocidades y pérdidas de carga máxima.</li> </ul>	Es una norma europea por lo que podría no servir en algunos países o tener que adaptarse según los requerimientos del país.

Ilustración 1. Cuadro comparativo de tecnologías de los aspectos claves

---

## Desarrollar recomendaciones prácticas y basadas en evidencia para realizar el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas de climatización y ventilación

Diseño, simulación y acondicionamiento de la sala de cirugía en el software SolidWorks y su módulo de simulación Fluid Simulation

Para iniciar, se procede con la toma de medidas reales de la sala de cirugía para su posterior diseño en 3D utilizando el software SolidWorks. Este proceso tiene como objetivo principal la evaluación del comportamiento y las condiciones actuales de la sala, con miras a ajustarla a las normativas pertinentes y verificar los requisitos pendientes para su uso como sala de cirugía plenamente funcional. Además, se recopila la información técnica de los equipos y herramientas que podrían estar presentes durante las intervenciones quirúrgicas. Este paso permite facilitar los cálculos necesarios y preparar los datos requeridos para la simulación en SolidWorks, específicamente utilizando la herramienta de Simulación de Fluidos. Los resultados obtenidos se detallan a continuación en la tabla adjunta:

**Tabla 1.** Dimensiones de la sala de cirugía

Altura	3,1 m
Área	25,575 m <sup>2</sup>
Volumen	79,2825 m <sup>3</sup>

**Tabla 2.** Dimensiones de vidrio en paredes

Vidrios	Alto (m)	Ancho (m)	Área (m <sup>2</sup> )
Vidrio 1	1,24	3,84	4,7616
Vidrio 2	1,24	2,94	3,6456

**Tabla 3.** Dimensiones internas de las paredes de la sala de cirugía

Paredes	Alto interno (m)	Ancho interno (m)	Área interna (m <sup>2</sup> )	Espesor (m)
Pared 1	3,1	5,5	17,05	0,1
Pared 2	3,1	4,65	14,415	0,1
Pared 3	3,1	5,5	17,05	0,1
Pared 4	3,1	4,65	14,415	0,1

**Tabla 4.** Equipos que pueden estar presentes durante el uso de la sala de cirugía

Equipos	Cantidad	Consumo (w)	Porcentaje de calor emitido (en puntos decimal)	Ratio de generación de calor (w)	Consumo total (w)	Ratio de generación de calor total(w)
Leds techo	6	30	0,15	4,5	180	27
Pantalla TV	1	32	0,1	3,2	32	3,2
Pantalla PC	2	25	0,1	2,5	50	5
Máquina de anestesia	1	100	0,1	10	100	10
Caja de luz de rayos X	1	12	0,25	3	12	3
Bomba de infusión	1	24	0,075	1,8	24	1,8

Lampara ciclística con 2 satélites	1	130	0,4	52	130	52
monitor de signos vitales	1	50	0,1	5	50	5
aspirador de secreciones	1	90	0,15	13,5	90	13,5
electrobisturí	1	500	0,5	250	500	250
Total	16	N/A	N/A	N/A	1168	370,5

En relación con la tabla 4, los datos de consumo y el porcentaje de generación de calor se obtienen a partir de especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante, cuando este es conocido. En casos donde no se dispone de información del fabricante, se realiza una ponderación media para estimar un valor adecuado para el equipo. Es crucial evitar dejar estos datos técnicos sin información para evitar que afecten los cálculos y para garantizar que la simulación se base en datos lo más precisos posible. Además de estos datos, la tabla incluye información general sobre la sala de cirugía, como la temperatura, humedad, presión atmosférica, entre otros parámetros relevantes.

Los materiales utilizados en la simulación incluyen piel (simulada con propiedades similares a la piel humana para los modelos 3D que representan personas), plástico de policarbonato (utilizado para ciertos objetos o carcasas de equipos médicos), acero inoxidable (para algunos elementos de la sala o equipos médicos), vidrio (sin características especiales), LED (simulado para representar fuentes de luz LED), ladrillo (para las paredes y el suelo estructural), y drywall (para paredes y techos no estructurales). La selección de estos materiales es esencial para la simulación, considerando aspectos como la conductividad térmica, detallada posteriormente en los cálculos realizados junto con la hoja de cálculo E20 de cargas térmicas.

A continuación, se presentan imágenes que muestran el modelo de la sala de cirugía creado en SolidWorks, junto con los equipos detallados en la tabla 4. Es importante señalar que la disposición y ubicación de los equipos en la sala de cirugía se realizó de manera arbitraria, dado que no existe una referencia específica para su colocación. La distribución de estos equipos puede variar según el procedimiento realizado y la cantidad de personal presente en la sala durante cada intervención.

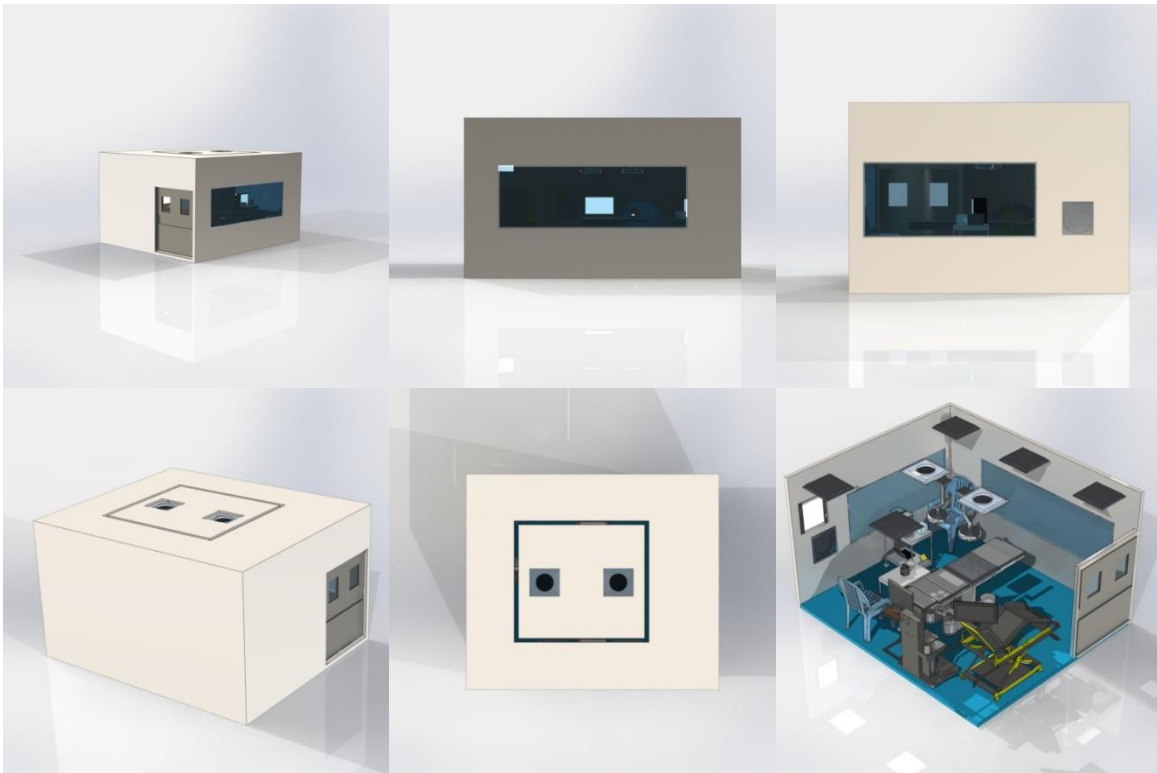
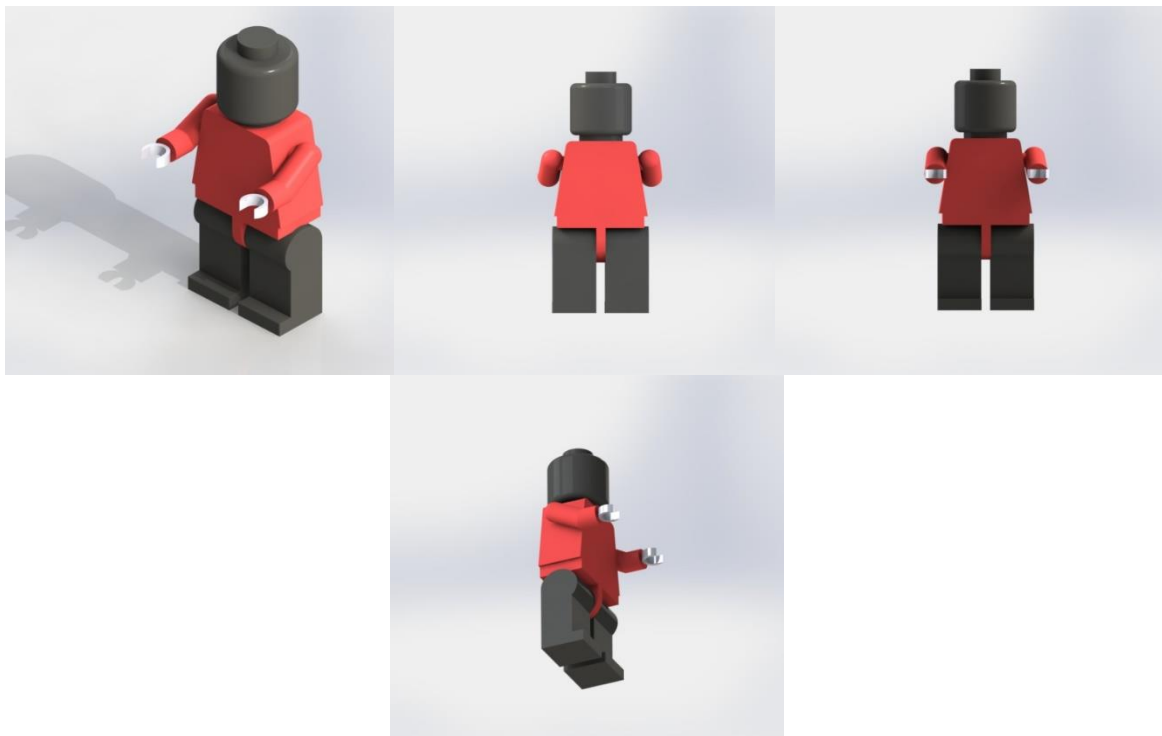


Figura 7 Modelo 3D en SolidWorks de la sala de cirugía con equipos

Para el modelo 3D de las personas, se optó por utilizar el modelo que se muestra a



continuación.

Figura 8 Modelo 3D de persona en SolidWorks

La elección de este modelo específico se basó en consideraciones de carga computacional que impactan en el tiempo y rendimiento de la simulación. Los modelos realistas de personas pueden tener un tamaño de archivo considerable, oscilando entre 20 a 50 MB, mientras que este modelo en particular pesa solo 500 KB o 0,5 MB, y puede obtenerse de manera gratuita en sitios web como GrabCAD o FreeCAD. Al implementar este modelo de persona junto con el modelo de la sala de cirugía, se logra el resultado visual que se presenta a continuación.

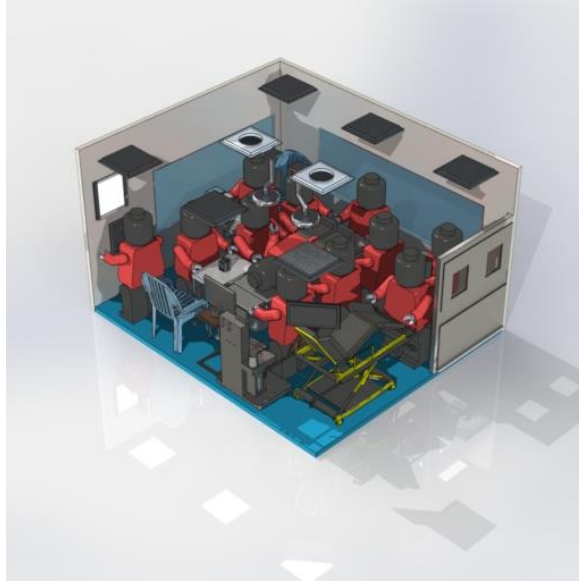


Figura 9 Modelo 3D de sala de cirugía y personas

En total, se utiliza el modelo 3D de las personas en 12 instancias para representar un máximo de 12 individuos dentro de la sala de cirugía, según la información proporcionada por el personal docente de la universidad, que indica un máximo de 12 personas dentro de esta área.

Con el modelo 3D finalizado, se procede a realizar los cálculos necesarios para llevar a cabo la simulación con las condiciones actuales de la sala de cirugía. Estos cálculos se basan en la Hoja de Cálculos de Cargas Térmicas E20, la cual se fundamenta en las normativas de la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) para la construcción de edificios.

La Hoja de Cálculos de Cargas Térmicas E20 (E20 Heat Load Calculation Spreadsheet) es una herramienta empleada en ingeniería y diseño de sistemas de climatización para calcular las cargas térmicas en un espacio o edificio. Esta hoja de cálculo es comúnmente utilizada en el Reino Unido y Europa para determinar las demandas de calefacción y refrigeración de un edificio, lo que facilita el diseño eficiente de sistemas de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado).

La hoja de cálculo E20 se basa en principios de ingeniería térmica y considera una variedad de factores que influyen en las cargas térmicas, como la ubicación geográfica, la orientación del edificio, el tamaño y tipo de ventanas, los materiales de construcción, el uso del espacio (residencial, comercial, industrial), la ocupación humana, los equipos eléctricos y otros dispositivos que generan calor, entre otros.

El formato completo de la hoja de cálculo E20 utilizado en cada cálculo específico se puede encontrar en el apartado de Anexos (1.1 Anexo A) de este documento, donde se muestran todos los cálculos realizados y los valores introducidos en el formato. La explicación detallada sobre cómo desarrollar el formato no se incluye en este documento, ya que no es relevante para el propósito de este. Sin embargo, se proporciona información sobre la obtención de los valores necesarios para completar el formato, los cuales se detallan a continuación antes de proceder con la explicación.

**Tabla 5.** Valores Psicométricos de la sala de cirugía en condiciones actuales

	DB(°C)	WB(°C)	RH(%)	HR ( $\frac{kg}{kg}$ )
Ambiente (Fuera)	30	24,08802319	63	0,251322751
Habitación (Dentro)	26	19,55969798	57	0,185185185
Diferencia	4	4,528325206	6	0,066137566

**Tabla 6.** Conductividad Térmica Estructural de la sala de cirugía

Elementos	$\frac{W}{mk}$
Vidrio ordinario	0,75
Pared estructural y piso (ladrillo)	0,53
Techo y paredes no estructurales (drywall)	0,037

Antes de proceder con la explicación de los datos, es importante mencionar que los valores presentados en las tablas 5 y 6 están en el sistema internacional de unidades. Sin embargo, el formato utilizado en los anexos está en el sistema inglés o británico. Para facilitar la explicación, utilizaremos los valores en el sistema internacional de unidades.

La tabla 5 contiene datos de DB (Temperatura de Bulbo Seco), WB (Temperatura de Bulbo Húmedo), RH (Humedad Relativa) y HR (Recuperación de Calor). Estos valores establecen las condiciones de referencia que guían al formato sobre las condiciones del lugar para determinar la carga térmica y el flujo de aire necesario para soportar dicha carga. Se recomienda consultar la referencia [20], que explica los acrónimos y abreviaturas comúnmente utilizados en sistemas HVAC.

Para obtener los datos mencionados anteriormente, se necesitan al menos los datos de DB y RH. Los datos ambientales se obtienen de la estación meteorológica de Cali [21] y de la estación meteorológica de la Universidad Javeriana de Cali [22]. Los datos específicos de la habitación o sala de cirugía se obtuvieron de un registro de la Universidad que contiene estos valores.

Una vez obtenidos estos cuatro datos, es posible utilizar un mapa psicométrico para calcular WB y HR, o bien utilizar un programa o calculadora psicométrica para obtener los datos faltantes. En este caso, se utilizaron ambas opciones para verificar la consistencia de los datos. La calculadora utilizada puede encontrarse aquí [23], y el mapa psicométrico utilizado se muestra a continuación:

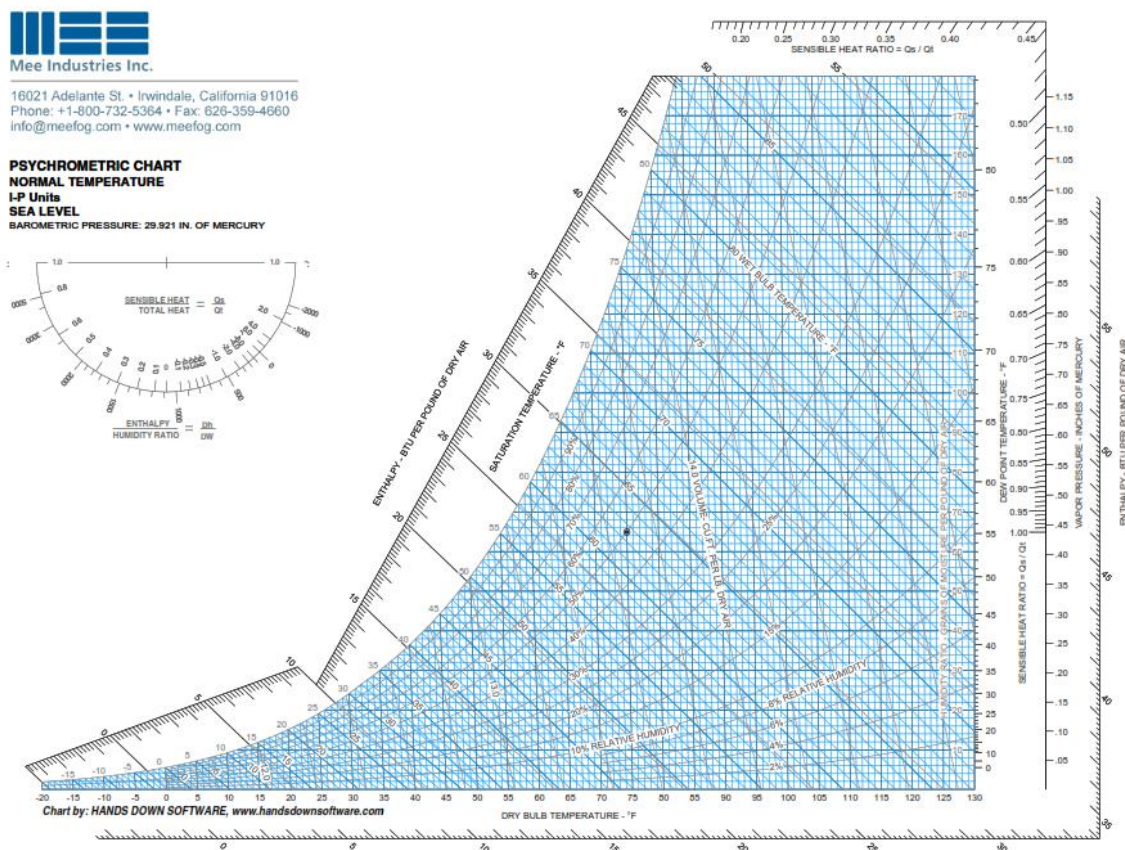


Figura 10 Mapa Psicométrico [35]

Ambas herramientas se fundamentan en los principios de la ASHRAE. La calculadora permite ingresar datos para obtener cálculos más precisos con decimales, mientras que el mapa psicométrico está limitado a los valores observados y al rango de datos mostrados en la tabla. Sin embargo, esta diferencia en precisión es mínima, generalmente entre un 1% y 2%, lo cual es aceptable, especialmente considerando que, por ejemplo, las variaciones de temperatura son menores a  $1^{\circ}$ .

En cuanto a la tabla 6, los valores representan la conductividad térmica en Watts por metro Kelvin ( $\frac{W}{mK}$ ), que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. Cuanto mayor sea este valor, mayor será la capacidad de conducción térmica del material. Por ejemplo, el agua tiene una conductividad térmica de

aproximadamente  $0,58 \frac{W}{mK}$  [24], mientras que el acero inoxidable es de  $17 \frac{W}{mK}$  [25], y el aire es de solo  $0,024 \frac{W}{mK}$  [24].

Los valores de la tabla 6 provienen de diferentes fabricantes y fuentes, ya que no existen valores únicos y pueden variar según el material o el fabricante. Idealmente, se debería medir la conductividad térmica de los materiales específicos de la sala de cirugía. Sin embargo, realizar estas mediciones requiere equipos y sensores especializados. Por lo tanto, se utilizaron valores estimados provenientes de diversas fuentes [26][27][28] para completar la tabla.

**Tabla 7.** Volumen de ventilación por persona

CFM Ventilation	
CFM Per Person	10,00
CFM Per SqFt	0,18

La tabla 7 indica la cantidad de flujo de aire necesario por persona y área en Pies Cúbicos por Minuto (CFM, por sus siglas en inglés). Estos valores pueden obtenerse de dos maneras. La primera opción es utilizando la norma ANSI/ASHRAE Standard 62.1 – 2016, la cual proporciona una tabla con estos datos específicos según el tipo de espacio o lugar en el que se está trabajando. Sin embargo, acceder a la tabla completa puede ser complicado debido a que es de pago, y las opciones gratuitas disponibles pueden no incluir el lugar específico en el que se está trabajando, por lo que se podría hacer una estimación utilizando un lugar similar como referencia.

La segunda alternativa para obtener estos valores es utilizar el software HAP 4.9. Esta herramienta permite obtener información necesaria para completar el formato E20, aunque puede presentar algunas variaciones en los cálculos o no contener todos los datos debido a que está centrada en las principales ciudades del mundo. Sin embargo, el software sigue la normativa de ASHRAE, lo que garantiza la confiabilidad de la información que proporciona.

Lamentablemente, la sala de cirugía como lugar de trabajo no tiene una referencia establecida en el software ni en la tabla de ASHRAE. Por lo tanto, se decide utilizar un valor de referencia similar que corresponde a "University/College Laboratories" (Laboratorios universitarios/colegiales), el cual coincide tanto en la tabla como en el software y sirve como una referencia adecuada para espacios similares, como laboratorios de universidades o Colegios.

ROOM SENSIBLE HEAT								
Solar Gain - Glass	Area			$\Delta T$			U	
Glass - N		SqFt	x			x		0.00
Glass - NE		SqFt	x			x		0.00
Glass - E		SqFt	x			x		0.00
Glass - SE		SqFt	x			x		0.00
Glass - S		SqFt	x			x		0.00
Glass - SW		SqFt	x			x		0.00
Glass - W		SqFt	x			x		0.00
Glass - NW		SqFt	x			x		0.00
Skylight		SqFt	x			x		0.00
Solar & Transmission Gain - Walls & Roof								
Wall - N		SqFt	x		F	x		0.00
Wall - NE		SqFt	x		F	x		0.00
Wall - E		SqFt	x		F	x		0.00
Wall - SE		SqFt	x		F	x		0.00
Wall - S		SqFt	x		F	x		0.00
Wall - SW		SqFt	x		F	x		0.00
Wall - W		SqFt	x		F	x		0.00
Wall - NW		SqFt	x		F	x		0.00
Roof	275.29	SqFt	x	12.00	F	x	0.02	69.37
Transmission Gain - Except Walls & Roof								
All Glass	90.49	SqFt	x	7.20	F	x	0.43	282.12
Partition	338.69	SqFt	x	2.20	F	x	0.02	15.65
Ceiling	10.17	SqFt	x	2.20	F	x	0.02	0.47
Floor	275.29	SqFt	x	2.20	F	x	0.31	185.32
INFILTRATION AND BY PASSED AIR								
Infiltration		CFM	x	7.20	T.Diff	x		0.00
Outside Air	169.55	CFM	x	7.20		x		158.21
Internal Heat								
People	12.00	Nos.	x	290.00	Btu/Hour Per Person			3,480.00
Lighting	275.29	SqFt	x	1.45	W/SqFt	x	3.42	1,363.15
Equipments	16.00			1,168.00	Watts	x	3.42	63,819.52
Power		kW/HP	x					0.00
Sub Total								69,373.82

Figura 11 Sección de la Hoja de Cálculos de Carga Térmica E20

La Figura 11 muestra la sección relevante de la Hoja de Cálculos E20 que proporciona información detallada para obtener una carga térmica precisa. Esta sección incluye la ganancia solar a través del vidrio y las paredes, divididas según la orientación de estas. Sin embargo, estos valores solo se ingresan si alguna pared o vidrio está expuesto directamente al ambiente o al sol. En el caso del entorno de análisis, que se encuentra dentro de una instalación sin exposición directa al sol, no se tienen en cuenta estos valores.

Se completa únicamente la opción de "Roof" (techo) porque se desconoce si el techo de la sala de cirugía puede estar expuesto directamente al sol en algún punto. Esta precaución se toma para incluir el techo en los cálculos.

La siguiente sección aborda la ganancia de transmisión a través del piso, los vidrios, las áreas según la altura del espacio y las particiones adyacentes con otras habitaciones a través de las paredes. Estos valores se basan en las áreas especificadas en las Tablas 1, 2 y 3, las diferencias de temperatura de DB de la Tabla 5, y los valores de "U" que representan la conductividad térmica de los materiales respectivos.

La sección de "Infiltración y aire permitido" se calcula automáticamente en la hoja de cálculo. Finalmente, la sección de "Calor interno" tiene en cuenta todas las fuentes de calor presentes dentro del lugar, como las personas presentes, las luces, los equipos electrónicos y otros dispositivos que generan calor, según se detalla en la Tabla 4 proporcionada anteriormente. Estos datos se utilizan para completar esta sección de la hoja de cálculo.

Con todos estos valores calculados, el último paso antes de obtener la carga térmica total y el flujo de aire necesario es determinar el ADP (Dew Point, punto de rocío). Este valor representa la temperatura teórica e ideal del aire que debe ingresar a la sala de cirugía o ser suministrado por el sistema HVAC para mantener la humedad relativa sin afectarla. Obtener este valor es similar al proceso de obtener los valores de WB (Temperatura de Bulbo Húmedo) y HR (Recuperación de Calor) utilizando la calculadora o el mapa psicométrico.

Es importante destacar que, aunque el ADP proporciona una referencia útil, no es imprescindible y puede ajustarse durante las simulaciones o en condiciones reales. En este caso, el valor obtenido es aproximadamente 62,5°F o 17°C, pero se opta

por no utilizarlo en la simulación, ya que se busca modelar el comportamiento de la sala de cirugías en condiciones "normales" utilizando otros valores.

Una vez establecidos todos estos valores, solo resta obtener el consumo en potencia eléctrica (Watts) y el porcentaje de esta potencia eléctrica que se pierde en calor de los posibles equipos presentes durante el uso de la sala de cirugía para poder terminar los cálculos de carga térmica, los equipos que usan normalmente en esta sala de cirugía, así como los demás datos técnicos necesarios para poder terminar el cálculo de carga térmica se encuentra en 1.1 Anexo D.

Según la hoja de cálculo, la carga térmica de la sala de cirugía en condiciones actuales es de  $89.678 \frac{Btu}{h}$  o aproximadamente  $26.267Watts$ . Además, el caudal de aire necesario según la hoja E20 para suplir esta carga térmica y mantener la temperatura ambiente en torno a  $26^{\circ}C$  es de 5.150 CFM o  $2,43 \frac{m^3}{s}$ , lo cual no cumple con la normatividad requerida.

Sin embargo, según los registros de la universidad, el sistema HVAC actual suministra solo  $0,11 \frac{m^3}{s}$  de aire a la sala de cirugía, es decir, alrededor de 22 veces menos de lo ideal. Esto explica por qué las personas que trabajan en la sala de cirugía han tenido que abrir ventanas u buscar formas alternativas de enfriamiento, lo cual es un problema significativo dado el tipo de actividades críticas que se llevan a cabo en este entorno.

Otra alternativa considerada en los cálculos es utilizar la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{P}{C_e * \rho * \Delta t}$$

Ecuación 1 Formula para relacionar el caudal, carga térmica y temperatura

Donde:

- Q = Caudal en  $\frac{m^3}{s}$

- 
- $P$  = Potencia o carga térmica total (en este caso se usa el valor obtenido por la hoja E20) en *Watts* ( $W$ )
  - $C_e$  = Calor específico del fluido (en este caso aire) en  $\frac{J}{kg * ^\circ C}$
  - $\rho$  = Densidad del fluido (en este caso aire) en  $\frac{kg}{m^3}$
  - $\Delta T$  = Salto térmico o diferencia de temperatura (en este caso el rango de temperatura mínima y máxima en la que debería estar la sala) en  $^\circ C$

Si bien esta fórmula no es tan precisa como el cálculo del caudal obtenido a través de la hoja E20, puede servir como un valor de referencia máximo y alternativo en caso de que las condiciones esperadas no se cumplan durante la simulación. Según esta fórmula, el caudal teórico necesario sería de  $3,09 \frac{m^3}{s}$ .

Los parámetros de configuración general utilizados para la simulación en SolidWorks son los siguientes:

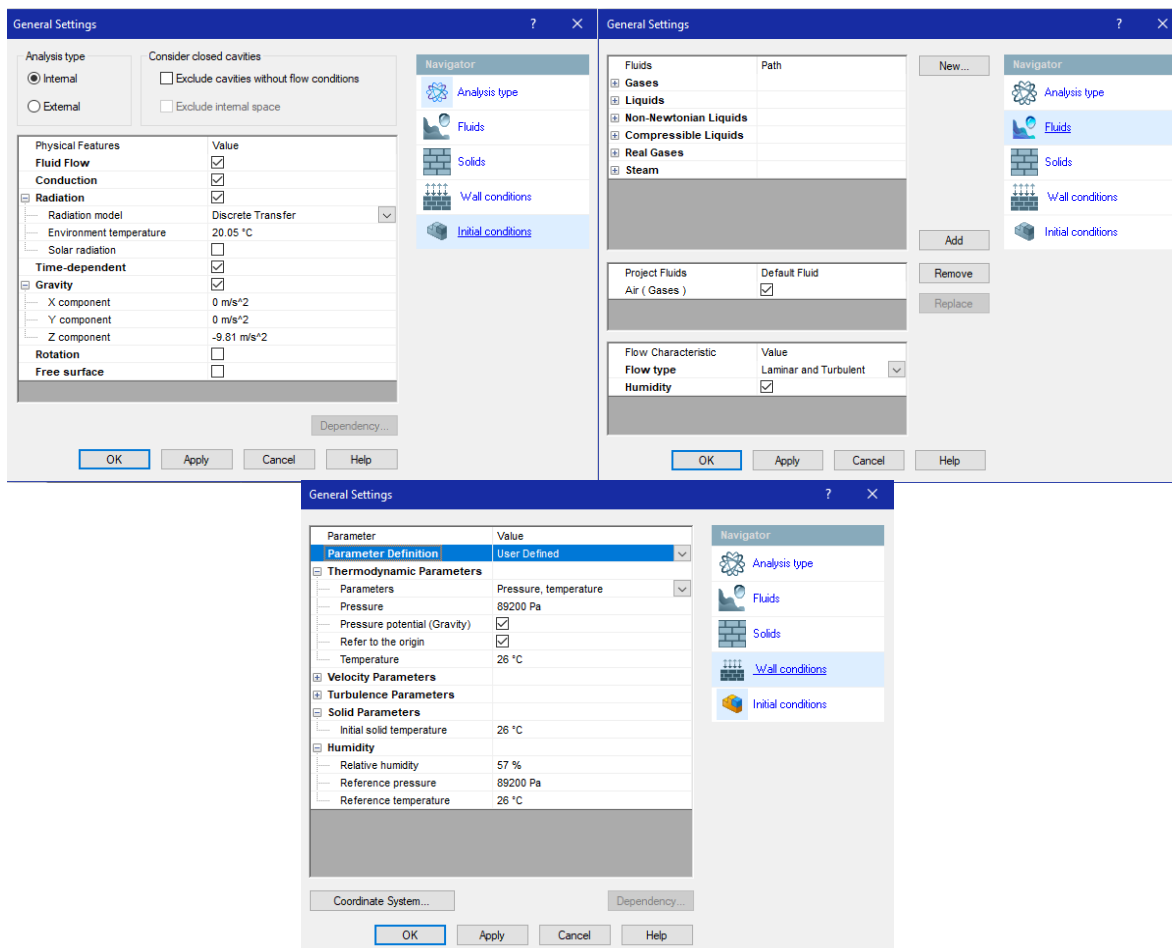


Figura 12 Condiciones generales de entrada para la simulación

Para llevar a cabo la simulación en SolidWorks y corroborar la información sobre el problema de suministro de aire en la sala de cirugía, se establecen los siguientes parámetros de configuración general:

- **Tipo de Simulación:** Interna.
- **Tipo de Análisis:** Flujo de fluido (considerando el aire como fluido).
- **Condiciones de Transferencia de Calor:** Incluir conducción y radiación de calor.
- **Propiedades del Fluido:** El fluido utilizado será aire.
- **Consideraciones Termodinámicas:**

— **Presión Atmosférica:** Se establece la presión atmosférica de Cali, aproximadamente 89.200 Pa.

- **Temperatura:** La temperatura ambiente se fija en 26°C.
- **Humedad Relativa:** Se considera una humedad relativa del 57%.

Estos parámetros permiten simular el comportamiento del aire dentro de la sala de cirugía, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y las propiedades del fluido. La simulación interna incluirá la interacción entre las paredes, los objetos y el flujo de aire, considerando tanto la conducción como la radiación de calor para evaluar cómo se distribuye el calor y el flujo de aire en el entorno.

La simulación proporcionará información visual y datos numéricos que ayudarán a comprender mejor los problemas de temperatura y flujo de aire en la sala de cirugía, permitiendo identificar posibles áreas de mejora o ajuste en el sistema HVAC para optimizar las condiciones ambientales y garantizar un entorno adecuado para las actividades realizadas en la sala.

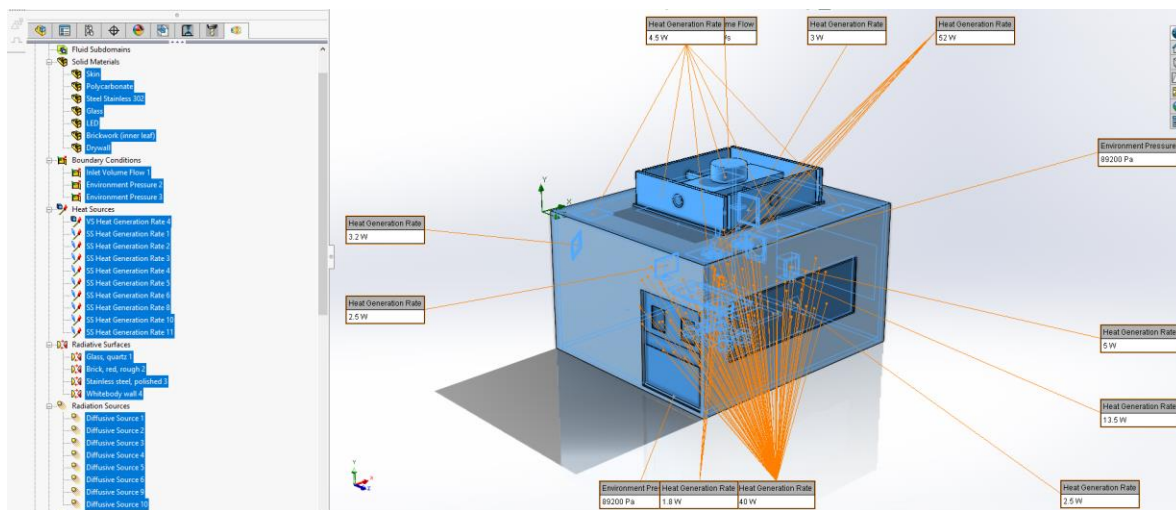


Figura 13 Entradas de aire, salidas de aire, Materiales de objetos, Fuentes de calor y radiación aplicadas en la simulación

Para la simulación en SolidWorks con los parámetros y configuraciones establecidos previamente, se procede a correr la simulación con las siguientes condiciones de malla:

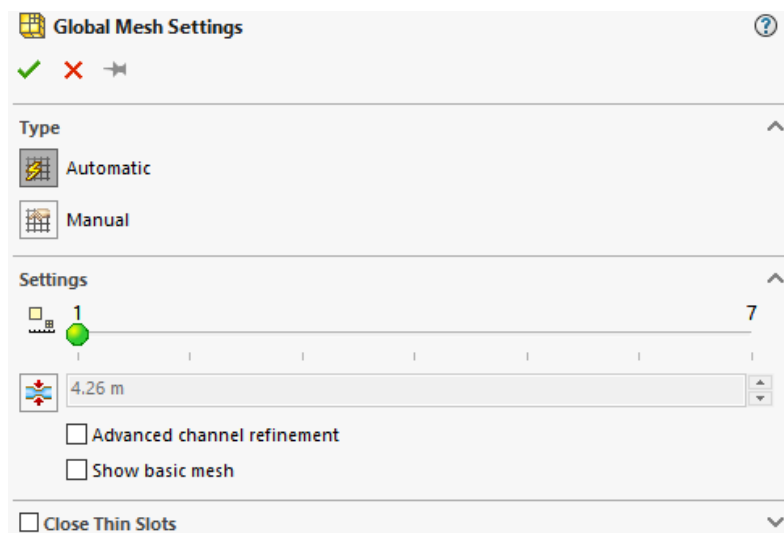


Figura 14 Condiciones de malla para la simulación

#### Configuración de la Malla:

- Se utiliza una malla automática para asegurar una representación y los detalles de la geometría del modelo.
- La resolución de la malla se ajusta para equilibrar la precisión de la simulación con la eficiencia computacional.

Una vez que la simulación se ha ejecutado correctamente sin generar errores, se analizan los resultados para obtener información sobre las condiciones de temperatura y flujo de aire en la sala de cirugía. A continuación, se presenta una tabla con los resultados de la simulación, incluyendo el rango mínimo y máximo para cada variable de interés:

**Tabla 8.** Resultados mínimos y máximos de simulación en condiciones actuales

VARIABLE	MINIMO	MAXIMO
Velocidad del aire ( $\frac{m}{s}$ )	0,008	5,252
Temperatura del aire ( $^{\circ}C$ )	24	26,01
Humedad relativa (%)	56,98	89,63
Presión ( $Pa$ )	89.161,43	89.207,76

Vorticidad ( $\frac{1}{s}$ )	2,88e-03	57,61
Temperatura de las personas ( $^{\circ}C$ )	23,63	28,94
Temperatura Techo, piso y paredes ( $^{\circ}C$ )	25,54	26,4
Temperatura Vidrios ( $^{\circ}C$ )	25,93	26,03

Se recomienda que se revisen los resultados en los anexos (2.1 Anexo A-H) para poder ver gráficamente mejor estos valores debido a que en la tabla no es posible indicar en que parte se ubican esos rangos por lo que para aclarar mejor estos valores, los resultados gráficos pueden ser una buena opción, De momento, los valores que interesan son las temperaturas, la humedad y la velocidad del aire que no cumplen con los valores establecidos en los objetivos del proyecto, los demás valores serán relevantes en la última simulación que se muestra más adelante en el documento, por lo que el siguiente paso es conseguir que la simulación muestre los valores establecidos en el proyecto, Para abordar la corrección de los valores de temperatura, humedad y velocidad del aire que no cumplen con los objetivos del proyecto, se procede a repetir el procedimiento utilizando la hoja de cálculo E20. Se han creado dos hojas de cálculo E20, las cuales se encuentran detalladas en el apartado de anexos (1.1 Anexo B y C).

Cada hoja de cálculo E20 representa escenarios extremos que podrían ocurrir en la habitación en relación con la temperatura ambiente de Cali:

#### 1. Escenario de Temperatura Máxima:

- Se utiliza el punto máximo de temperatura ambiente registrado en Cali (según datos de las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente en el documento).
- Se establece el rango máximo de temperatura permitido dentro de la habitación según los objetivos del proyecto.

## 2. Escenario de Temperatura Mínima:

- Se emplea el punto mínimo de temperatura ambiente registrado en Cali.
- Se define el rango mínimo de temperatura permitido dentro de la habitación según los objetivos del proyecto.

El objetivo es garantizar un flujo de aire adecuado según la carga térmica calculada en la hoja E20 o utilizando la fórmula que relaciona el caudal y la carga térmica. En teoría, si se logra implementar un sistema que cumpla con estos requisitos, la habitación debería acondicionarse y adaptarse a las variables establecidas en los objetivos del proyecto.

Para el caso extremo de mayor temperatura, se realiza una modificación en la Tabla 5 de la siguiente manera:

**Tabla 9.** Valores Psicométricos de la sala de cirugía en condiciones extremas de mayor temperatura

	DB(°c)	WB(°c)	RH(%)	HR ( $\frac{kg}{kg}$ )
Ambiente (Fuera)	30	23,20997428	57	0,220458554
Habitación (Dentro)	24	16,99670839	50	0,14329806
Diferencia	6	6,213265894	7	0,077160494

Para el segundo escenario con valores extremos de temperatura (24°C) y humedad (50%), se realiza un ajuste en el cálculo del Punto de Rocío (ADP) que ahora es de 56,11°F o 13,39°C. Con estos parámetros, se obtiene una carga térmica estimada de 26.808 *Watts* según la Hoja E20. Además, se calculan dos caudales teóricos para esta carga térmica: 4.432 CFM ( $2,09 \frac{m^3}{s}$ ) utilizando la hoja E20 y  $3,15 \frac{m^3}{s}$  utilizando la fórmula alternativa de caudal.

A continuación, se lleva a cabo la simulación con los siguientes cambios en la configuración:

- **Condiciones de Entrada:**
  - Temperatura: 24°C
  - Humedad Relativa: 50%
  - Caudal de Aire:  $3,15 \frac{m^3}{s}$
- **Condiciones de Salida:**
  - Temperatura de Salida del Aire: 17°C

Se realiza la malla para la simulación de manera similar a la Figura 14 del documento. Los resultados de esta simulación se presentan gráficamente en los anexos (3.1 Anexo A-H) para una mejor comprensión visual. A continuación, se muestra una tabla con los resultados numéricos, incluyendo el rango mínimo y máximo para cada variable de interés:

**Tabla 10.** Resultados mínimos y máximos de simulación en condiciones extremas de mayor temperatura

VARIABLE	MINIMO	MAXIMO
Velocidad del aire ( $\frac{m}{s}$ )	0,056	18,9
Temperatura del aire ( $^{\circ}C$ )	17	18,64
Humedad relativa (%)	98,08	100
Presión (Pa)	89.154,12	89.449,05
Vorticidad ( $\frac{1}{s}$ )	0,03	370,87
Temperatura de las personas ( $^{\circ}C$ )	19,27	27,85
Temperatura Techo, piso y paredes ( $^{\circ}C$ )	11,80	31,63
Temperatura Vidrios ( $^{\circ}C$ )	22,23	24

A simple vista con ese resultado, pareciera que solo la temperatura del aire cumple los requisitos de los objetivos y que los resultados empeoraron. Sin embargo, estos

rangos extremos se encuentran presentes en puntos muy específicos de la simulación y los valores están presente en la mayor parte de la simulación se encuentran dentro de ese rango, es importante considerar las observaciones detalladas sobre la distribución de la velocidad del aire y la humedad relativa dentro de la habitación durante la simulación. Aunque algunos valores están fuera de los rangos objetivos, la mayoría de la habitación muestra una mejora significativa y cumple con las condiciones establecidas en el proyecto como se muestra a continuación:

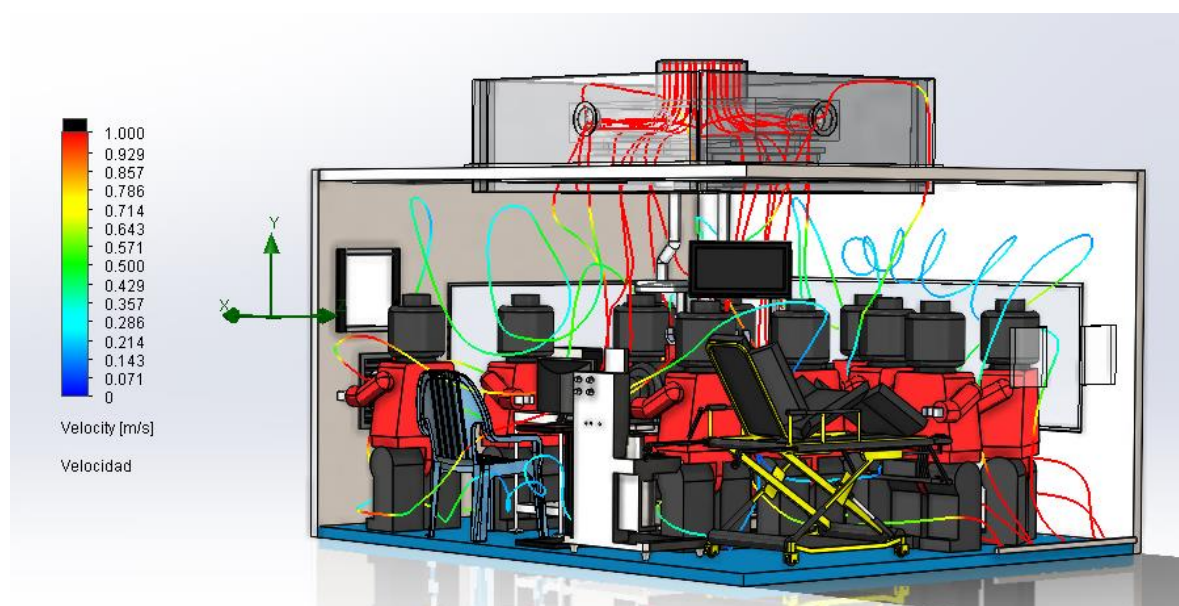


Figura 15 Velocidad del aire ajustada a un rango menor

La mayor parte de la velocidad del aire dentro de la habitación oscila entre 0 y  $0,643 \frac{m}{s}$ , si bien sigue estando fuera del rango permitido ya hay una buena parte de los valores dentro del rango establecido, los valores en rojo o mayores a  $1 \frac{m}{s}$  provienen principalmente por la entrada y salidas del aire, pero como son zonas muy específicas, se pueden despreciar ya que no son los valores predominantes dentro de la habitación. Sin embargo, si hay una zona en la habitación que aun así la velocidad es mayor a  $1 \frac{m}{s}$  por lo que para la última simulación se tendrá en cuenta estas observaciones y se usará el caudal sugerido por la hoja E20.

En relación con la humedad relativa, se observa que su comportamiento está influenciado por la temperatura del aire ingresado. La simulación demuestra que al introducir un caudal de aire más cálido (superior a 17°C), la humedad relativa vuelve a niveles más aceptables. Esto sugiere la necesidad de considerar equipos adicionales, como deshumidificadores o humidificadores, para controlar la humedad en la habitación. Estos dispositivos podrían integrarse en el sistema HVAC para regular la humedad relativa y mantenerla dentro de los límites adecuados.

Ahora, para el caso extremo de temperatura mínima, se presenta la siguiente tabla psicométrica:

**Tabla 11.** Valores Psicométricos de la sala de cirugía en condiciones extremas de menor temperatura

	DB(°c)	WB(°c)	RH(%)	HR ( $\frac{kg}{kg}$ )
Ambiente (Fuera)	19	12,49729245	47	0,10582
Habitación (Dentro)	17	11,27016167	50	0,097002
Diferencia	2	1,227130782	-3	0,008818

Para el caso extremo de menor temperatura (17°C) y humedad (50%), se ajusta el Punto de Rocío (ADP) a 43,77°F o 6,54°C. Con estos parámetros, la carga térmica estimada es de 25.085 Watts según la Hoja E20. Además, se calculan dos caudales teóricos para esta carga térmica: 4.440 CFM ( $2,09 \frac{m^3}{s}$ ) utilizando la hoja E20 y  $2,95 \frac{m^3}{s}$  utilizando la fórmula alternativa de caudal.

A continuación, se lleva a cabo la simulación con los siguientes cambios en la configuración:

- **Condiciones de Entrada:**
  - Temperatura: 17°C
  - Humedad Relativa: 50%

- Caudal de Aire:  $2,1 \frac{m^3}{s}$
- **Condiciones de Salida:**
  - Temperatura de Salida del Aire: 24°C

Se genera la malla para la simulación de manera similar a la Figura 14 del documento. Los resultados de esta simulación se presentan gráficamente en los anexos (4.1 Anexo A-H) para una mejor comprensión visual. A continuación, se muestra una tabla con los resultados numéricos, incluyendo el rango mínimo y máximo para cada variable de interés:

**Tabla 12.** Resultados mínimos y máximos de simulación en condiciones extremas de menor temperatura

VARIABLE	MINIMO	MAXIMO
Velocidad del aire ( $\frac{m}{s}$ )	0,025	12,62
Temperatura del aire ( $^{\circ}C$ )	18,31	24
Humedad relativa (%)	34,64	47,04
Presión (Pa)	89.148,48	89.323,26
Vorticidad ( $\frac{1}{s}$ )	0	241,6
Temperatura de las personas ( $^{\circ}C$ )	16,11	23,8
Temperatura Techo, piso y paredes ( $^{\circ}C$ )	16,01	27,13
Temperatura Vidrios ( $^{\circ}C$ )	16,99	18,36

Los resultados de la simulación indican que, al reducir el caudal de entrada de aire, se observa una disminución generalizada en todos los valores en comparación con las condiciones de temperatura extrema más alta. En particular, la velocidad del aire ahora opera en un rango más estrecho dentro de la habitación, oscilando aproximadamente entre  $0,025 \frac{m}{s}$  y  $0,582 \frac{m}{s}$ . Además, se observa que el flujo de aire

en la cortina central disminuye gradualmente desde aproximadamente  $0,3 \frac{m}{s}$  hacia la parte trasera de la sala, como se muestra en la figura adjunta.

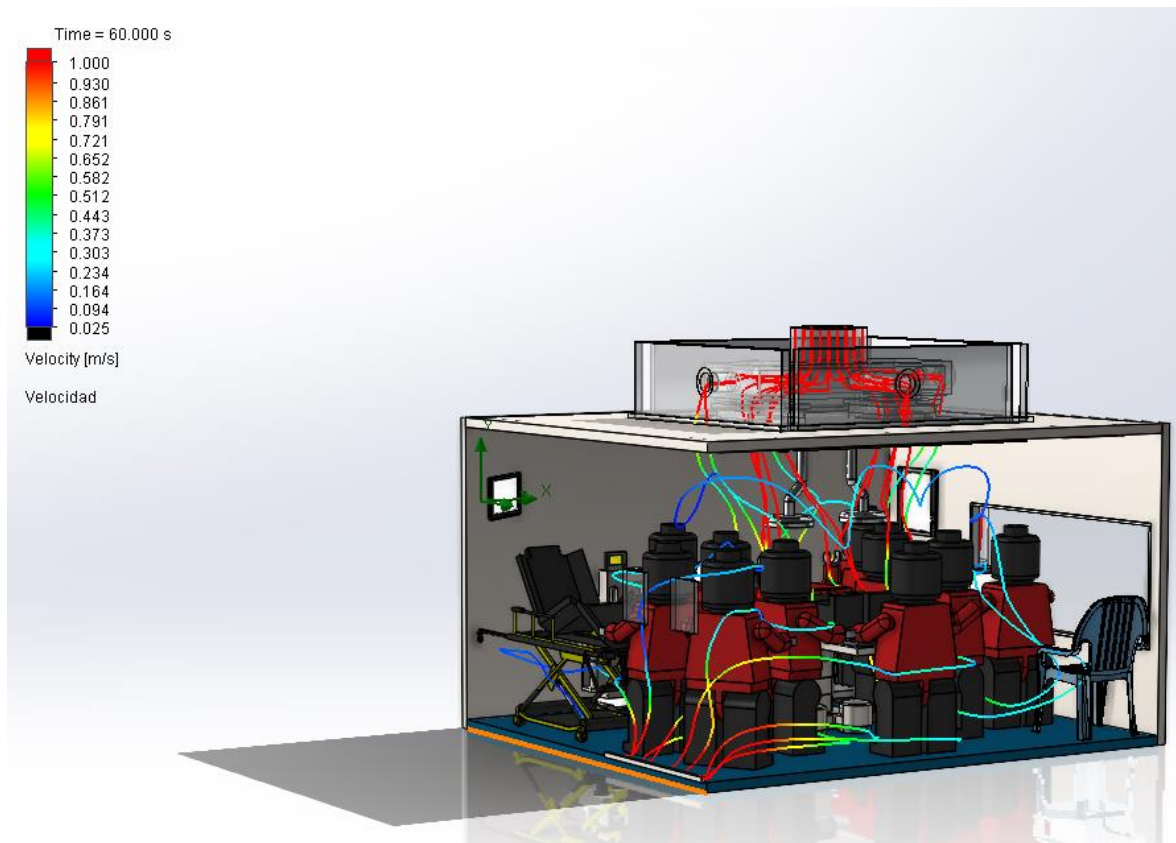


Figura 16 Velocidad del aire ajustada a un rango menor para la condición extrema de menor temperatura

Por otro lado, la temperatura del aire se mantiene en el rango permitido de  $17^{\circ}\text{C}$  a  $24^{\circ}\text{C}$  y la humedad relativa bajo a una parte dentro del rango permitido, esto parece indicar que, como se pensaba anteriormente, al disminuir el caudal la humedad para disminuir también, por lo que para las últimas simulaciones se usará un caudal de  $2,1 \frac{m^3}{s}$  para corroborar esta información.

Con todos estos cambios, se procede a realizar la última simulación. Sin embargo, para esta simulación se tendrá en cuenta la siguiente normatividad:

- ASHRAE Estándar 170-2013 de ANSI/ASHRAE/ASHE [29]

- 
- AHSRAE Estándar 170-2021 de ANSI/ASHRAE/ASHE [30]
  - ANSI/ASHRAE/ASHE Addendum L to ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017 [31]
  - ANSI/ASHRAE/ASHE Addendum a to ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017 [32]
  - ACAIRE Segunda Revisión, revisión octubre de 2013 Basada en la ASHRAE STANDARD 170-2008 Ventilation for Health Care Facilities y otras normativas de la ASHRAE, RITE, SMACNA y UL [33]
  - Resolución 04445 de 1996 por el ministerio de salud de Colombia [34]

Estas normatividades son tanto internacionales (ASHRAE) como versiones nacionales adaptadas de las internacionales (ACAIRE) y son las bases que permiten decidir si algún edificio cumple con los requisitos para un sistema HVAC y de no ser así, que cambios se deben implementar para obtener las condiciones aceptables de operación. Dicho esto, se debe empezar por la normatividad ASHRAE que, según la tabla de parámetros de diseño [29][30][31][32][33], para esta sala de cirugía aplica la función del espacio "Quirófano(clase B y C)(m),(n),(o)" la cual presenta las siguientes características:

- La presión de la sala debe ser positiva, es decir, la presión interna debe ser mayor a la presión externa o atmosférica.
- Costo
- La humedad relativa debe estar entre 20% a 60%. Sin embargo, este valor es relativo debido a que, según la norma que se revise, se sugieren valores distintos que no superan el 60% pero su mínimo suele estar entre 20% a 40%. Sin embargo, para este caso es recomendable una humedad relativa de 40% a 60% para minimizar riesgos a la salud humana debido a que los contaminantes biológicos, los patógenos y las interacciones químicas no tienen las condiciones ideales para darse entre 40-60% HR a temperatura ambiente normal.
- La temperatura de diseño debe ser entre 20°C a 24°C. Sin embargo, para poder cumplir la normatividad de la ACAIRE, este rango se cambia hacia 17°C y 24°C, esto va ligado al tipo de sistema HVAC que se instale, pero idealmente debería poder entregar ese rango de temperatura y en la medida de lo posible mantenerla estable a 20°C.

- Para los filtros, lo que recomienda la norma es usar los filtros MERV-16 que tienen una eficiencia mayor al 95% por lo que también se pueden usar los filtros HEPA U16 o U17.
- Debe haber 2 salidas de aire dentro de la sala de cirugía y deben estar a una altura del suelo de 20 cm.
- La velocidad del aire en el área de operación, según la ACAIRE [33], debe ser de flujo laminar y no mayor a  $0,45 \frac{m}{s}$
- Se debe poder medir la presión de la sala de cirugía con un sensor de presión fuera de la sala de cirugía y cerca de la puerta.
- Según la resolución 04445 de 1996 [34], el quirófano deberá tener una altura libre mínima de 2,8 metros y un área libre mínima de 20 metros cuadrados, el acceso debe ser restringido y la puerta debe contar con un visor a una altura de aproximadamente 1,2 metros.

Al implementar estos cambios al modelo 3D, la sala de cirugía luce de la siguiente manera:

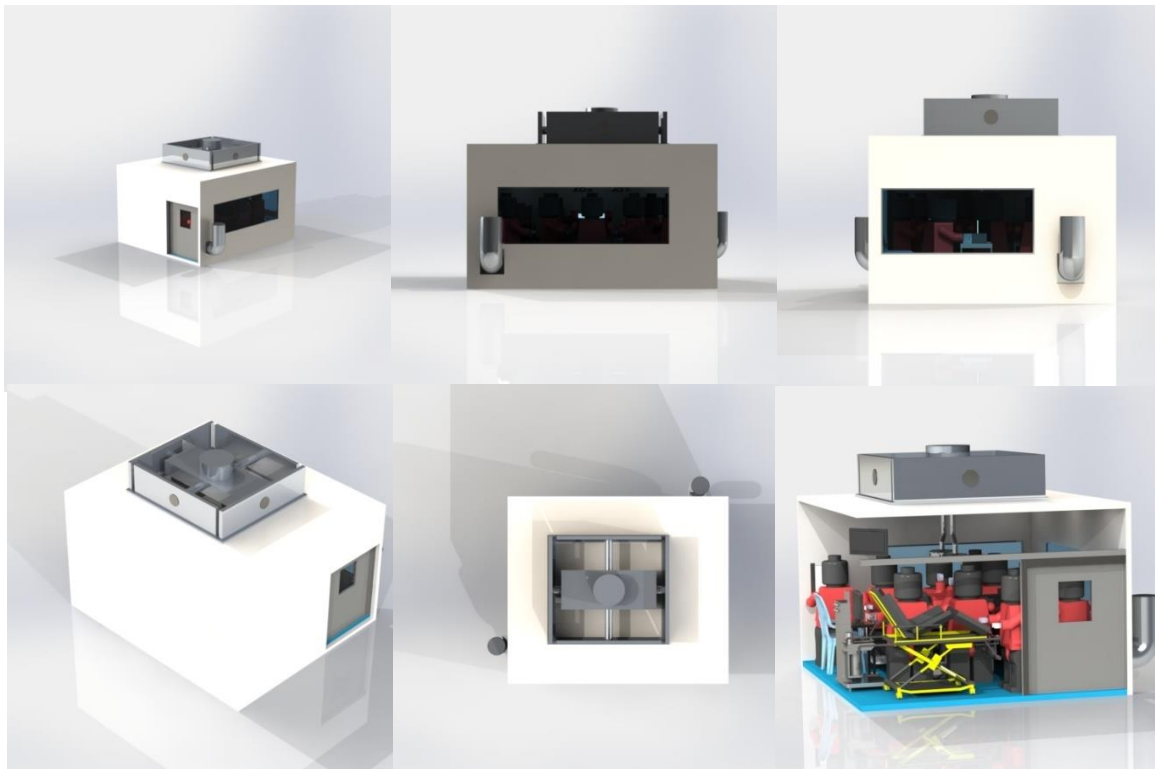


Figura 17 Modelo 3D en SolidWorks de la sala de cirugía acondicionada según la normatividad

Para la simulación, las condiciones son las mismas que las simulaciones en condiciones extremas de mínima y máxima temperatura solo que el caudal es el mismo en ambas simulaciones con un valor de  $2,1 \frac{m^3}{s}$ . Para esta primera simulación, se usó la simulación de máxima temperatura y los resultados generales son los siguientes:

**Tabla 13.** Resultados mínimos y máximos de simulación en condiciones extremas de mayor temperatura modelo acondicionado a normatividad

VARIABLE	MINIMO	MAXIMO
Velocidad del aire ( $\frac{m}{s}$ )	0,056	10,151
Temperatura del aire ( $^{\circ}C$ )	17	18,28
Humedad relativa (%)	93,29	100
Presión (Pa)	89.193,32	89.319,24
Vorticidad ( $\frac{1}{s}$ )	0,06	31,52
Temperatura de las personas ( $^{\circ}C$ )	4,94	41,42
Temperatura Techo, piso y paredes ( $^{\circ}C$ )	19,72	24,12
Temperatura Vidrios ( $^{\circ}C$ )	22,18	24,01

Igual que en los resultados pasado, se recomienda revisar los anexos (5.1 Anexo A-H) para ver mejor los resultados ya que los que se muestran en la tabla pueden no ser muy claros o atípicos. Para empezar, tenemos una menor velocidad de aire en general y su velocidad dentro de la sala oscila entre 0,056 y  $0,393 \frac{m}{s}$ . Sin embargo, la cortina de aire del área de operaciones sigue estando por encima de

$4 \frac{m}{s}$  en su punto más rápido hasta descender a  $1 \frac{m}{s}$ , la siguiente figura ilustra mejor lo descrito anteriormente:

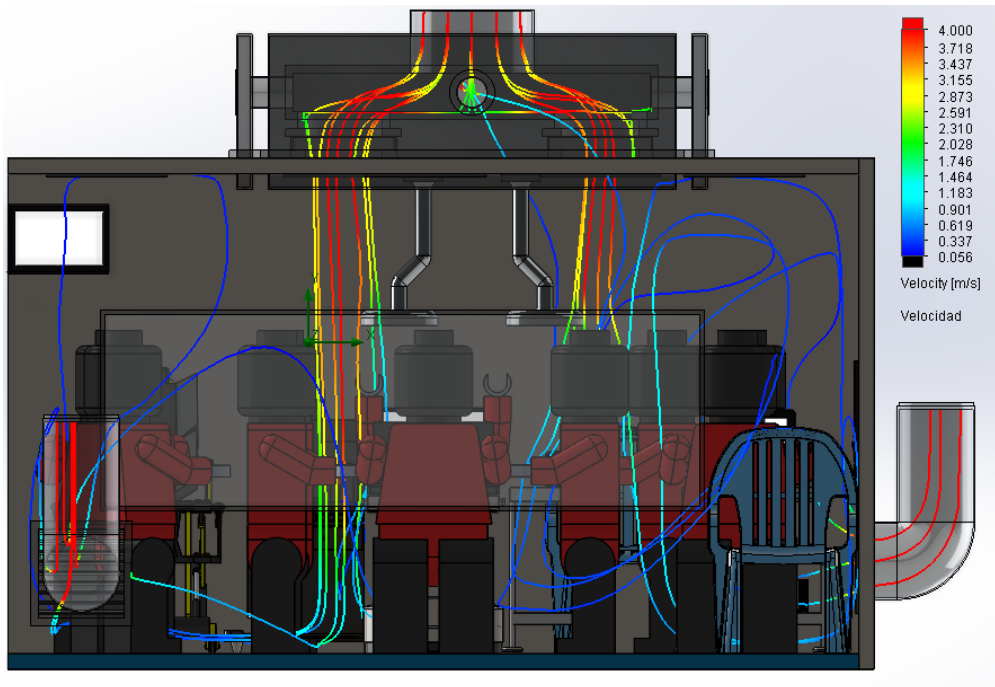


Figura 18 Velocidad del aire ajustada para la condición extrema de mayor temperatura modelo acondicionado a normatividad

En los cálculos realizados, no se consideraron ciertas condiciones necesarias para el flujo de aire, ya que la hoja E20 no está diseñada específicamente para salas de cirugía. Como solución, se propone ajustar el caudal a un valor inferior a  $2,1 \frac{m^3}{s}$  o instalar válvulas para regular la velocidad en la cortina de aire del área de operación. Preferentemente, se recomienda la segunda opción para no afectar el caudal respaldado por los cálculos.

En relación con la temperatura del aire, esta se encuentra dentro del rango permitido; no obstante, se prefiere que el sistema HVAC pueda mantener el aire a aproximadamente  $20^{\circ}\text{C}$  en condiciones reales, evitando estar en los límites de los rangos especificados. Respecto a la humedad relativa, los resultados obtenidos fueron sorprendentes debido a que se esperaba una humedad más baja. Por lo

tanto, la simulación sugiere la implementación de un deshumidificador en el sistema HVAC para garantizar la humedad requerida según la normativa aplicable.

En cuanto a la presión, si bien su valor mínimo es de 89.193 Pa, esto ocurre principalmente en las tuberías de retorno o escape del aire. Al revisar los valores dentro de la sala, estos están por encima de los 89.200 Pa, indicando una presión positiva conforme a la normativa vigente. Para la vorticidad, es crucial que este valor sea lo más bajo posible; entre simulaciones, se busca que disminuya y se aproxime a cero para asegurar que el aire no se quede atrapado en alguna zona de la habitación.

Con respecto a las temperaturas registradas en las personas, la estructura y los vidrios, aunque se observaron valores atípicos en algunos puntos, estos solo se presentan en áreas específicas debido al grosor de la malla utilizada en la simulación. Generalmente, las mediciones indican que la temperatura en estas áreas ronda aproximadamente los 23°C, lo cual es aceptable para mantener el entorno fresco y no interferir con las actividades realizadas en la sala. En caso de que las personas sientan que el aire está demasiado frío, se recomienda ajustar manualmente el sistema HVAC para incrementar la temperatura hasta alcanzar un punto de confort, siempre respetando los límites de operación establecidos por la normativa.

Para la segunda simulación, se usó la simulación de mínima temperatura y los resultados generales son los siguientes:

**Tabla 14.** Resultados mínimos y máximos de simulación en condiciones extremas de menor temperatura modelo acondicionado a normatividad

VARIABLE	MINIMO	MAXIMO
Velocidad del aire ( $\frac{m}{s}$ )	0,051	9,602
Temperatura del aire ( $^{\circ}C$ )	20,27	24
Humedad relativa (%)	34,64	42,37

Presión (Pa)	89.194,44	89.316,07
Vorticidad ( $\frac{1}{s}$ )	0,03	32,23
Temperatura de las personas ( $^{\circ}C$ )	-6,12	40,55
Temperatura Techo, piso y paredes ( $^{\circ}C$ )	16,96	19,86
Temperatura Vidrios ( $^{\circ}C$ )	17	17,85

Igual que en los resultados pasado, se recomienda revisar los anexos (6.1 Anexo A-H) para ver mejor los resultados ya que los que se muestran en la tabla pueden no ser muy claros o atípicos. Para empezar, tenemos una menor velocidad de aire en general y su velocidad dentro de la sala oscila entre 0,051 y 0,454  $\frac{m}{s}$ . Sin embargo, la cortina de aire del área de operaciones sigue estando por encima de 4  $\frac{m}{s}$  en su punto más rápido hasta descender a 1  $\frac{m}{s}$ , la siguiente figura ilustra mejor lo descrito anteriormente:

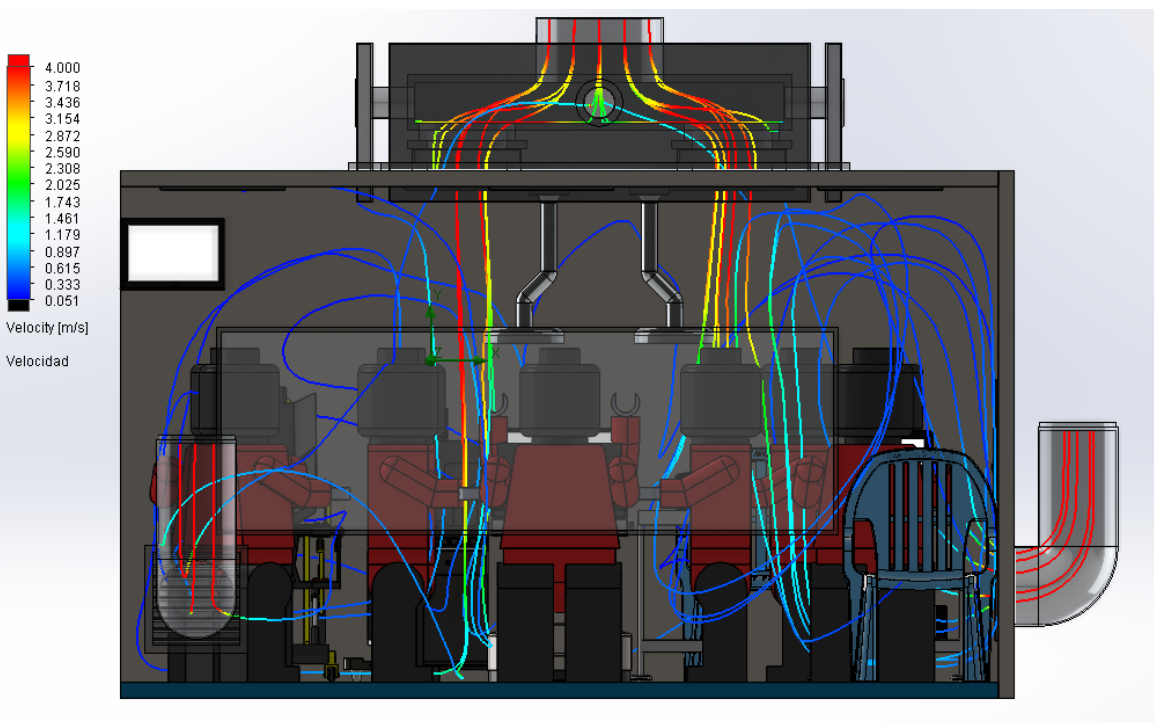


Figura 19 Velocidad del aire ajustada para la condición extrema de menor temperatura modelo acondicionado a normatividad

a velocidad del aire en la sala de cirugía presenta la misma problemática observada en los resultados anteriores debido a que la hoja E20 no está diseñada específicamente para este tipo de entornos. Una solución viable consiste en reducir el caudal o incorporar válvulas reguladoras de velocidad para controlar adecuadamente este parámetro.

En cuanto a la temperatura y la presión registradas en la simulación, ambas se mantienen dentro de los rangos permitidos y muestran una presión positiva conforme a la normativa vigente. Sin embargo, la humedad relativa presenta una situación dividida, donde una parte cumple con los requisitos mientras que otra no. Según la normativa establecida, estos resultados no serían aceptables, por lo que se recomienda utilizar un humidificador en la implementación real del sistema HVAC para controlar estos valores.

La vorticidad, al igual que en los resultados anteriores, debe tender hacia valores cercanos a cero para asegurar un adecuado movimiento del aire en la habitación.

En relación con las temperaturas registradas en las personas, la estructura y los vidrios, aunque se observan algunos valores atípicos en puntos específicos, la malla utilizada en la simulación podría ser la causa de estas discrepancias. En general, las mediciones indican que la temperatura en estas áreas ronda aproximadamente los 21°C, lo cual es aceptable para mantener un ambiente confortable en la sala sin afectar las actividades realizadas.

Basándose en estos resultados, se identifican los siguientes cambios necesarios para acondicionar la sala de cirugía y cumplir con la normativa, así como los requisitos técnicos que debería cumplir el sistema HVAC a implementar:

**Tabla 15.** Cambios para acondicionar la sala de cirugía con la normatividad

SALA DE CIRUGIA	
OBJETO	CAMBIO
Tubos de escape o retorno	Debe haber 2 tubos de escape o retorno a 20 cm del suelo.
Puerta	No debe haber ninguna apertura que ponga en contacto directo la sala de cirugía con el ambiente y el visor debe estar a 1,4 m desde la parte inferior, en lo posible instalar una puerta corrediza o una puerta que se abra hacia el exterior.
Sensor de presión	Debe instalarse en la parte exterior de la sala y cerca a la puerta para poder medir la presión en todo momento de la sala de cirugía.
válvulas reguladoras de velocidad (opcional pero recomendado)	Se debería instalar las válvulas reguladoras de velocidad en caso de tener una velocidad de aire por encima a los $0,5 \frac{m}{s}$ en el área de operación.

**Tabla 16.** Requisitos que debe cumplir el sistema HVAC para poder operar correctamente con la sala de cirugía acondicionada con la normatividad

SISTEMA HVAC			
PARAMETRO	RANGO	UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIONES
Caudal	2,1-3	$\frac{m^3}{s}$	Ajustar el caudal de ser necesario para el área de operaciones

			en caso de no implementar las válvulas reguladoras de velocidad.
Temperatura (del aire al entrar a la sala)	17-24	°C	En lo posible, si se puede instalar un sistema HVAC que pueda regular la temperatura del aire automáticamente o permitir su regulación de forma manual, sería lo ideal para tener un ambiente de confort.
Presión	>89.200	<i>Pa</i>	Siempre y cuando el caudal no disminuya drásticamente, la presión debería mantenerse positiva
Humedad	40-60	%	Se recomienda que el sistema HVAC cuente con un humidificador y un deshumidificador para poder controlar la humedad, debido a que es la variable más difícil de controlar solo con el

			caudal y temperatura.
Cambios de aire por hora mínimo	20-25	N/A	Según la norma que se mire, los cambios de aire por hora mínimos pueden variar 20 a 25 por lo que el sistema debe tener algún controlador que regule los cambios de aire por hora mínimos y que pueda retroalimentar el aire.
Cambios de aire fresco por hora	4	N/A	La norma indica que 4 de los cambios totales de aire mínimos deben ser con aire fresco o nuevo proveniente del ambiente, por lo que el controlador debe ser capaz de sacar el aire retroalimentado después de cumplir su ciclo e introducir aire fresco.
Filtros HEPA	U16-U17	N/A	Se pueden usar los filtros HEPA o MERV-

			16 en adelante, lo importante es que tengan una eficiencia igual o superior al 95% que es lo que indica la normatividad basándose en el filtro MERV-16.
--	--	--	---

Idealmente, al cumplir con estos requisitos, la sala de cirugía debería quedar adecuadamente acondicionada y lista para su uso diario. No obstante, es importante recordar que todas las pruebas realizadas fueron simuladas y se basaron en cálculos con datos de la realidad, lo que implica que pueden existir errores y discrepancias. En caso necesario, se deben realizar ajustes en la implementación real que no fueron contemplados en la simulación inicial. Es fundamental llevar a cabo pruebas adicionales y ajustes según sea necesario para garantizar el cumplimiento efectivo de las normativas y requisitos técnicos establecidos. Antes de pasar a la siguiente sección, se ha de mencionar que en los anexos se encuentran las fichas técnicas y datos reales de los equipos HVAC que pueden suplir la demanda necesaria de  $\frac{Btu}{h}$  obtenida en la carga térmica y la simulación además que se hace un costo basado en un estudio que usa también un sistema HVAC y también el posible costo ideal basado en los equipos consultados que cumplen con los requisitos de diseño.

---

## Prefactibilidad técnica y económica

Según el caso de estudio de Bawaneh, Nezami, Rasheduzzaman y Deken [36], se evalúan tecnologías eficientes de climatización para instalaciones médicas, considerando factores técnicos y económicos:

- **Intensidad Energética de Hospitales:**
  - Los hospitales en EE. UU. tienen una intensidad energética promedio de 738,5  $\frac{kWh}{m^2}$  anual, aproximadamente 2,6 veces mayor que otros edificios comerciales.
  - Esta alta demanda energética resalta la importancia de implementar tecnologías de climatización eficientes desde un punto de vista técnico y económico.
  
- **Distribución de Consumo por Uso Final:**
  - El 61% de la energía consumida en hospitales se destina a calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación.
  - Las tecnologías eficientes de climatización podrían impactar significativamente esta porción del consumo energético.
  
- **Comparación Internacional:**
  - Los hospitales europeos promedian una intensidad energética de 333,4  $\frac{kWh}{m^2}$ , menor que el promedio de EE. UU.
  - Evaluar las tecnologías y prácticas utilizadas en otros países podría aportar referencias técnicas de eficiencia.
  
- **Consideraciones Económicas:**
  - Se estima que los costos energéticos representan una porción significativa de los gastos operativos de hospitales.
  - Implementar tecnologías de climatización eficientes podría reducir sustancialmente estos costos energéticos recurrentes.
  - Se debe analizar el retorno de inversión comparando los ahorros operativos contra los costos iniciales de las nuevas tecnologías.

---

Por otro lado, el caso de estudio del artículo de Kuo [37], presenta una metodología general para evaluar la factibilidad de medidas de ahorro de energía aplicadas a un hospital, que podría ser relevante y adaptada para el caso de la sala de cirugía simulada. Los aspectos clave que el artículo aborda y que podrían ser útiles para tu análisis son:

- Simulaciones de energía usando software EnergyPlus para evaluar el consumo y ahorros potenciales de diferentes medidas de eficiencia energética aplicadas al sistema de climatización.
- Cálculo del ahorro anual en costos de electricidad para cada medida evaluada.
- Estimación de los costos de inversión inicial para implementar cada medida de eficiencia.
- Cálculo del período de recuperación de la inversión (payback period) para cada medida, comparando los ahorros anuales con el costo inicial.
- Recomendación de las medidas más factibles en términos de mayor ahorro energético y menor período de recuperación de la inversión.

Si bien este enfoque está aplicado a un hospital completo, la metodología de simulación energética, análisis de costos y evaluación económica podría adaptarse a la sala de cirugía simulada. Sería necesario obtener datos específicos de las tecnologías de climatización a evaluar, sus consumos energéticos, costos de adquisición e instalación, y estimar los ahorros potenciales en comparación con un caso base. Ahora bien, se puede hacer una estimación con base a los datos del propio estudio que se muestran a continuación:

- **Aspectos Técnicos:**

El artículo utilizó el software EnergyPlus para simular el consumo energético de un hospital y evaluar el impacto de varias medidas de ahorro de energía aplicadas al sistema de climatización. Por ejemplo, simulaban reemplazar un chiller de 250 RT con COP 4.0 por uno de COP 5.0, obteniendo un ahorro del 3.8% en el consumo anual de electricidad.

- **Aspectos Económicos:**

El artículo estimó los costos iniciales de varias medidas, por ejemplo:

Reemplazo de chiller de 250 RT: \$80.646 USD

Aplicación de película tintada en ventanas: \$92.746 USD (2.395 m<sup>2</sup> a \$38.7  $\frac{USD}{m^2}$ )

Reemplazo de iluminación T8 por T5: \$222.161 USD

- **Cálculo de ahorros anuales en costos operativos:**

Reemplazo de chiller de 250 RT: Ahorro de \$31.022  $\frac{USD}{año}$

Aplicación de película en ventanas: Ahorro de \$6.780  $\frac{USD}{año}$

Reemplazo de iluminación: Ahorro de \$31.326  $\frac{USD}{año}$

- **Retorno de Inversión (ROI):**

El artículo calculó el período de recuperación de la inversión para cada medida, por ejemplo:

Reemplazo de chiller: ROI de 2,6 años

Película en ventanas: ROI de 13,7 años

Reemplazo de iluminación: ROI de 7,1 años

- **Recomendación económica:**

El artículo recomienda implementar primero las medidas con períodos de recuperación menores a 5 años, como el reemplazo del chiller y ajustes en temperaturas de suministro.

Con base en esta información, se va a tratar de estimar un costo aproximado de inversión para el sistema HVAC para la sala de cirugía simulada, utilizando como referencia los datos del artículo:

- **Datos del artículo:**

Reemplazo de chiller de 250 RT: \$80.646 USD

(Un hospital de 37.490  $m^2$  consumiendo  $\sim 8.500.000 \frac{kWh}{año}$ )

Aplicación de película tintada en ventanas: \$92.746 USD para 2.395  $m^2$  ( $\sim \$38,7 \frac{USD}{m^2}$ )

Para la sala de 25  $m^2$ , se puede asumir que el sistema HVAC es un sistema de volumen de refrigerante variable (VRV) para pequeñas áreas:

Costo estimado: \$10.000 - \$15.000 USD

Aislamiento de ventanas:

$$8,4 m^2 \times \$38,7 \frac{USD}{m^2} = \$325 USD$$

Por lo tanto, una estimación inicial muy aproximada de los costos de inversión para un sistema HVAC de VRV y aislamiento de ventanas en la sala de cirugía de 25  $m^2$  podría estar en el rango de:

$\$10.000 + \$325 = \$10.325 USD \approx 40.000.000 COP$  (Caso más económico idealmente)

$\$15.000 + \$325 = \$15.325 USD \approx 60.000.000 COP$  (Caso más costoso idealmente)

Cabe mencionar que estos son cálculos muy preliminares basados en los datos limitados del artículo. En un análisis real, se requerirían cotizaciones de proveedores, considerando las especificaciones técnicas precisas de la sala, además de posibles trabajos de instalación, obra civil, el acondicionamiento de la sala con lo que se menciona en la tabla 16 del presente documento. Sin embargo, esta estimación inicial da un rango bastante general en el que se podría esperar que se encuentren los costos de inversión para climatizar de manera eficiente la sala de cirugía con esas dimensiones.

## 10.1 Prefactibilidad económica del Proyecto

Implementación de un sistema HVAC y filtros HEPA para una sala de cirugía, garantizando un ambiente controlado y estéril en la sala de cirugía a través de la instalación de equipos HVAC eficientes y filtros HEPA.

## 10.2 Selección de Equipos Técnicos

Basado en el documento proporcionado, los equipos necesarios incluyen (Ver 7.1 Anexo A, B y 8.1 Anexo A, B para datos más específicos mostrados desde la 10.2 hasta 10.4), por otro lado se verifica que el chiller de la universidad tenga la capacidad para soportar este nuevo sistema de refrigeración, lo que permite un ahorro en los costos del proyecto al no tener que comprar un nuevo chiller o un chiller adicional únicamente para este sistema, lo único que se requiere es adaptar la tubería del chiller a la del sistema de refrigeración.

### **HVAC (Starlight):**

- Unidades: 1
- Capacidad:  $96.000 \frac{btu}{h}$  (total)
- Costo: 12.980.000 COP (sin IVA)
- Proveedor: TECNIFROZEN CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN DEL VALLE

### **Filtros HEPA:**

- Eficiencia: 99,99%
- Costo por unidad: 299.000 a 950.000 COP (sin IVA)
- Proveedor: TECNOFARQUIM

### 10.3 Instalación y Mantenimiento

- Instalación de equipos HVAC:
  - Costo de instalación: 5.000.000 COP (según la cotización)
  - Costo de instalación de filtros HEPA: 1.200.000 COP
- Mantenimiento mensual:
  - Costo estimado por mantenimiento: 650.000 COP

### 10.4 Inversión Inicial Con Los Equipos Elegidos

**Tabla 17.** Inversión inicial

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (COP)	Costo Total (COP)+Iva
HVAC Starlight	1	12.980.000	15.446.200
Filtros HEPA	10	950.000	11.305.000
Instalación HVAC	1	5.000.000	5.450.000
Instalación Filtros HEPA	1	1.200.000	1.428.000
Total	13	20.130.000	33.629.200

### 10.5 Costos Operativos Anuales

**Tabla 18.** Costo operativo

Ítem	Costo Mensual (COP)	Costo Anual (COP)
Mantenimiento	650.000	7.800.000
Mantenimiento + Iva	773.500	9.282.000

## 10.6 Depreciación de Equipos

Vida útil estimada para los equipos HVAC: 10 años

Vida útil estimada para los filtros HEPA: 5 años

## 10.7 Análisis de Costos

**Tabla 19.** Depreciación anual

Ítem	Costo Anual (COP)
Depreciación HVAC	2.240.000
Depreciación Filtros HEPA	598.000
Total, Anual	2.838.000

## 10.8 Costo de Energía

Costo de energía para Cali, Valle según tarifas de EMCALI para Estrato 6 (Ver 9.1

Anexo A):

- Estrato 6 (1-CS):  $1.055.361,7 \frac{COP}{kWh}$

## 10.9 Beneficios Anuales

Beneficios anuales

- Reducción en costos operativos por eficiencia energética.
- Mejora en la calidad del aire y reducción de infecciones.
- Ahorros en capacitación de estudiantes y profesionales de la salud.
- Certificación de la sala de cirugía para ser alquilada para prácticas médicas a otras universidades que no posean una sala similar.
- Alquiler de la sala certificada a otras universidades

Se estima que el beneficio anual bajo los criterios mencionados tiene un total de 30.000.000 COP (estimado)

## 10.10 Calculo De ROI (retorno sobre la inversión)

- Beneficio Neto Anual

$$\text{Beneficio Neto Anual} = \text{Beneficio Anuales} - \text{Costos Operativos anuales}$$

Ecuación 2 Beneficio Neto Anual

$$\text{Beneficio Neto Anual} = 30.000.000 \text{ COP} - 9.282.000 \text{ COP}$$

$$\text{Beneficio Neto Anual} = 20.718.000$$

- ROI

$$ROI = \left( \frac{\text{BENEFICIO NETO ANUAL}}{\text{INVERSION INICIAL TOTAL}} \right) 100$$

Ecuación 3 ROI

$$ROI = \left( \frac{20.718.000 \text{ COP}}{33.629.200 \text{ COP}} \right) 100 = 61,607\%$$

El análisis de retorno de inversión (ROI) muestra que el proyecto de "Diseño Integral de Sala de Cirugía Simulada" es económicamente rentable desde una perspectiva económica. Con un ROI del 61,607%, la implementación de tecnologías

---

avanzadas de climatización y ventilación, junto con la certificación de la sala para ser alquilada, no solo mejorará las condiciones ambientales, sino que también proporcionará beneficios económicos significativos a largo plazo. Esta certificación permitirá alquilar la sala a otras universidades que no cuenten con una instalación similar, incrementando así los ingresos y la rentabilidad del proyecto.

### **10.11 Periodo De Recuperación De La Inversión**

- Inversión inicial total = 33.629.200 COP
  - Beneficio neto anual = 20.718.000 COP

$$\textit{Periodo De Recuperacion} = \frac{\textit{Inversion Inicial Total}}{\textit{Beneficio Neto Anual}}$$

Ecuación 4 Periodo De Recuperación

$$\textit{Periodo De Recuperacion} = \frac{33.629.200}{20.718.000} = 1,6 \text{ años}$$

## Conclusiones

El proyecto para diseñar una Sala de Cirugía Simulada que cumpla con las normativas correspondientes para la Universidad Javeriana sede Cali refleja que el objetivo general de diseñar un sistema de climatización y ventilación que proporcione las condiciones adecuadas de temperatura (17°-24°), humedad (40%-60%), velocidad y calidad del aire (0,2-0,4  $\frac{m}{s}$ ) fue alcanzado exitosamente. El análisis detallado reveló que la sala de cirugía carecía de las condiciones ideales según las normas nacionales e internacionales para su correcto funcionamiento. Para abordar estas deficiencias, se consultaron las normativas pertinentes y se evaluaron diversas tecnologías avanzadas de climatización y ventilación disponibles en el mercado.

La evaluación permitió identificar tecnologías que no solo garantizan la calidad del aire y la asepsia, sino que también son eficientes energéticamente, tecnologías como la bomba de calor, la irradiación ultravioleta o los filtros HEPA permitieron entender mejor los requisitos del sistema para el diseño y los cálculos necesarios. Por otro lado, los cálculos de la carga térmica, efectuados utilizando el formato E20 de Carrier y siguiendo la metodología ASHRAE, revelaron una carga térmica crítica de 89.677  $\frac{btu}{h}$  y la necesidad de un flujo de aire de 2,43  $\frac{m^3}{s}$ . Sin embargo, el sistema HVAC existente solo suministraba 0,11  $\frac{m^3}{s}$ , evidenciando una necesidad urgente de actualización, esto permitió realizar las simulaciones computacionales y diseños en 3D con SolidWorks, considerando las condiciones actuales y las condiciones ideales de todas las cargas térmicas existentes para validar los datos obtenidos y permitir diseñar un sistema HVAC adecuado.

Además, se revisaron las características técnicas y espaciales de los equipos y la sala. La resolución 04445 de 1996 establece que el quirófano debe tener una altura libre mínima de 2,8 metros y un área libre mínima de 20 metros cuadrados, con acceso restringido y puertas con visor. Estas especificaciones no se cumplían en la sala actual, por lo que se propusieron mejoras en el diseño, incluyendo la ubicación de dos salidas de aire a 20 cm del suelo y la implementación de una presión positiva en la sala para evitar filtraciones.

Se identificaron deficiencias en el equipo de refrigeración existente, que solo proporcionaba 24.000  $\frac{btu}{h}$ , insuficiente para cubrir los requerimientos calculados. Esto fue corroborado por usuarios y personal de mantenimiento, quienes reportaron constantes quejas por el discomfort térmico. Para cumplir con las normativas, se

---

recomendó la instalación de un equipo de climatización capaz de cubrir una carga térmica global de  $96.000 \frac{btu}{h}$  y un flujo de aire de 3200 CFM. Se determinó que la sala debe tener cuatro cambios de aire exterior por hora y un total de 20 cambios de aire por hora para asegurar una renovación constante y adecuada del aire.

El costo total del proyecto ascendió a 33.629.200 COP, considerando adquisición, instalación y mantenimiento de los equipos necesarios. El análisis de retorno de inversión (ROI) indicó una rentabilidad favorable, estimando que la inversión inicial se recuperaría en 1,6 años gracias a los ahorros en eficiencia energética y mejoras en las condiciones de enseñanza. Se siguieron normas vigentes, incluyendo ASHRAE 170, UNE 100713 y EN 16434, garantizando que el diseño propuesto no solo cumpliera con las normativas, sino que también ofreciera un entorno seguro y eficiente para la enseñanza y práctica médica.

Para finalizar, el proyecto no solo cumplió con los objetivos planteados, sino que también proporcionó un marco práctico y económico para la implementación de tecnologías avanzadas de climatización y ventilación en entornos educativos médicos. Las simulaciones confirmaron que el diseño propuesto mejoraría significativamente las condiciones ambientales de la sala de cirugía simulada, subrayando la importancia de implementar tecnologías eficientes y adherirse a las normativas vigentes para garantizar un ambiente seguro y óptimo para la formación médica, antes de terminar se presentan unas recomendaciones de equipos para el control de temperatura, presión, filtros, entre otras cosas.

---

## Recomendaciones

### Control de temperaturas:

- Controladores de Zona: Controladores como el Honeywell T9 o Ecobee, que permiten el ajuste de temperatura por zonas específicas dentro de la sala de cirugía.
- Humidificadores y Deshumidificadores: Sistemas de humidificación y deshumidificación como los ofrecidos por Aprilaire y Dehumidifier Corp, que ajustan los niveles de humedad relativa del aire.

### Equipos de seguridad para detectar las caídas de presión:

- Sensores de presión diferencial: Equipos como los sensores Dwyer Magnehelic, que pueden monitorear y alertar sobre cambios en la presión del aire en tiempo real.
- Transductores de presión: Sensores avanzados como los Honeywell PX3, que proporcionan mediciones precisas de presión y pueden integrarse con sistemas de alarma.

### Cómo se va a controlar la temperatura:

- Controladores de Climatización Inteligente: Sistemas como el Siemens Climatix IC, que ofrecen control automático y optimización de la climatización en tiempo real.
- Sistemas de Gestión de Energía: Soluciones como Johnson Controls Metasys, que proporcionan control centralizado y monitoreo de todos los parámetros ambientales.

### Cómo evitar que las personas no modifiquen estos parámetros:

- Sistemas de Control Accesible: Controladores con acceso restringido como los sistemas Siemens Desigo CC, que permiten establecer permisos y restricciones para el acceso a la configuración del sistema.
- Controles con Contraseña: Termostatos y controladores de temperatura que requieren autenticación, como los termostatos digitales Honeywell T6 Pro.

### Cómo se determinará que el filtro HEPA se debe cambiar o los prefiltros:

- Monitores de Calidad del Aire: Equipos como los Aeroqual Series 500, que pueden medir la calidad del aire en tiempo real y alertar cuando los niveles de contaminantes indican que los filtros necesitan ser cambiados.

- Indicadores de Saturación de Filtros: Sensores como los Camfil Hi-Flo, que miden la resistencia al flujo de aire a través de los filtros y pueden indicar cuando se ha alcanzado la capacidad máxima.
- Estas tecnologías ayudarán a asegurar que la sala de cirugía simulada mantenga las condiciones óptimas de temperatura, humedad y calidad del aire, mientras que también garantiza la seguridad y el cumplimiento de las normas requeridas.

# Cronograma

Se presenta el cronograma de ejecución del proyecto.

PROYECTO DE GRADO						
ID	Nombre de tarea / Título	Asignado a	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Nº Semana	Estado
<b>1</b>	<b>Primer Objetivo</b>		<b>20/12/2023</b>	<b>24/01/2024</b>	<b>1-5</b>	<b>Finalizado</b>
1.1	Investigación de equipos	Miguel Trochez y Miguel Ricardo	20/12/2023	27/12/2023	1-2	Finalizado
1.2	Análisis e investigación de tecnologías	Miguel Trochez y Miguel Ricardo	28/12/2023	15/01/2024	2-4	Finalizado
1.3	Identificación de sistemas avanzados	Miguel Trochez y Miguel Ricardo	16/01/2024	24/01/2024	4-5	Finalizado
<b>2</b>	<b>Segundo Objetivo</b>		<b>24/01/2024</b>	<b>1/05/2024</b>	<b>6-20</b>	<b>Finalizado</b>
2.1	Recomendaciones de implementación y mantenimiento	Miguel Trochez y Miguel Ricardo	25/01/2024	8/02/2024	6-7	Finalizado
2.2	Ejecución de cálculos	Miguel Trochez y Miguel Ricardo	9/02/2024	14/03/2024	9-13	Finalizado
2.3	Ejecución de Simulaciones	Miguel Trochez y Miguel Ricardo	15/03/2024	26/04/2024	14-19	Finalizado
2.4	Comparación y Recomendaciones de datos obtenidos	Miguel Trochez y Miguel Ricardo	27/04/2024	1/05/2024	20	Finalizado
<b>3</b>	<b>Tercer Objetivo</b>		<b>2/05/2024</b>	<b>8/06/2024</b>	<b>21-25</b>	<b>Finalizado</b>
3.1	Selección de tecnologías y Determinación de costos	Miguel Trochez y Miguel Ricardo	2/05/2024	9/05/2024	21	Finalizado
3.2	Evaluación de riesgos económicos	Miguel Trochez y Miguel Ricardo	10/05/2024	17/05/2024	22	Finalizado
3.3	Recomendaciones económicas del análisis	Miguel Trochez y Miguel Ricardo	18/05/2024	25/04/2024	23	Finalizado
3.4	Validación final del diseño integral	Miguel Trochez y Miguel Ricardo	26/04/2024	2/05/2024	24	Finalizado
3.5	Revisión y consolidación de resultados	Miguel Trochez y Miguel Ricardo	3/05/2024	8/06/2024	25	Finalizado

Figura 20 Cronograma



## Bibliografía

- [1] A. L. C. & G. D. Rodríguez, «Estudio de Evaluación del Impacto de Sistemas de Ventilación en la Calidad del Aire en Salas de Cirugía Simulada;» 2019.
- [2] S. H. L. & T. M. Gómez, «Análisis Normativo de Sistemas HVAC para Laboratorios de Simulación Médica en Colombia;» 2021.
- [3] M. F. R. & M. M. A. (. Gracia, «Técnicas De Prevención;» [En línea]. Available: <https://www.insst.es/documents/94886/328681/859w.pdf/274f1a5d-9bbe-429d-a6c4-097dc30e2c2d>. [Último acceso: 2023].
- [4] (s/f), «Guía práctica para el diseño y mantenimiento de la climatización en quirófanos.» 2022.
- [5] Grupotreolo, «Conceptos Básicos de HVAC;» 2021.
- [6] Z. y. Tang, «Application of Building Automation System in Air Quality Control for Operating Rooms;» 2017.
- [7] Cardinale, «Energy Saving Strategies in Ventilation Systems for Operating Theatres;» 2017.
- [8] M. A. H. R. & A. M. Suján, Influence of environmental factors on simulation-based training. *Journal of Patient Safety & Quality Improvement*, 2019.
- [9] G. R. J. & V. M. Castillo, «Challenges in designing simulated surgical environments: A case study in Colombia.» *International Journal of Healthcare Engineering*, pp. 3(2), 97-104., 2020.
- [10] X. C. L. & W. Y. Sun, «Energy-efficient HVAC systems for medical simulation rooms.» *Energy and Buildings*, pp. 321-330, 2018.

- [11] A. L. C. & G. D. odríguez, «Evaluating the impact of ventilation systems on indoor air quality in simulated surgical environments.,» *Building and Environment*, p. 178, 2019.
- [12] S. H. L. & T. M. Gómez, «Normative analysis of HVAC systems for surgical simulation labs in Colombia. Healthcare Technology Letters,» 2021.
- [13] F. P. L. & M. E. Ríos, Health and safety considerations in HVAC design for surgical simulation facilities. *Safety in Health*, 2018.
- [14] O. M. d. I. S. (OMS), «Buenas Prácticas de Manufactura: Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC),» 2019. [En línea]. Available: [https://www.who.int/docs/default-source/medicines/norms-and-standards/guidelines/production/trs1010-annex8-who-gmp-heating-ventilation-airconditioning.pdf?sfvrsn=c77698e2\\_0](https://www.who.int/docs/default-source/medicines/norms-and-standards/guidelines/production/trs1010-annex8-who-gmp-heating-ventilation-airconditioning.pdf?sfvrsn=c77698e2_0).
- [15] N. M. & G. D. A. Jadhav, «Optimization of turning parameter for AISI 4140 by vegetable oil as cutting fluid. En Proceedings of International Conference in Mechanical and Energy Technology,» Springer Singapore, 2020.
- [16] S. B. M. W. C. P. E. R. L. G. D. & S. R. J. Issenberg, «Simulacion medica,» revista Academic Medicine, 2011.
- [17] Y. B. E. O. D. J. S. J. L. Q. J. S. B. & L. A. I. Okuda, «The utility of simulation in medical education: what is the evidence?,» 2015.
- [18] K. C. Garcell, Y. de A. Águila, A. B. Méndez, I. F. Ricardo, B. A. Fraga, J. L. G. Pérez, and S. M. G. Riopedre, "Pertinencia de los Laboratorios de simulación como herramienta de educación avanzada en salud," *Revista Cubana de Medicina Militar*. [Online]. Available: <https://revmedmilitar.sld.cu/index.php/mil/article/view/1661/1208>. [Accessed: 24-Nov-2023]
- [19] G. Sánchez-Barroso y J. García Sanz-Calcedo, "Evaluation of HVAC Design Parameters in High-Performance Hospital Operating Theatres", *Sustainability*, vol. 11, no. 5, p. 1493, mar. 2019. <https://doi.org/10.3390/su11051493>

- [20] A. Cacabelos-Reyes et al., "Assessing the Energy Demand Reduction in a Surgical Suite by Optimizing the HVAC Operation During Off-Use Periods", *Applied Sciences*, vol. 10, no. 7, p. 2233, 2020. <https://doi.org/10.3390/app10072233>
- [21] El clima en Cali, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia) - Weather Spark. (n.d.). Weather Spark. <https://es.weatherspark.com/y/21493/Clima-promedio-en-Cali-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Figures-Temperature>
- [22] A. Weather Conditions - centralmezclaspuj. (n.d.). <https://www.weatherlink.com/embeddablePage/show/1a0798f783644578951cf7dea49413c0/summary>
- [23] Millán., J. A. (n.d.). Psicrometría. Dpto. Máquinas Y Motores Térmico. <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>
- [24] Young, Hugh D., *University Physics*, 7th Ed., Addison Wesley, 1992. Tabla 15-5.
- [25] Acero inoxidable vs. aluminio | EJOT Ibérica. (n.d.). <https://www.ejot.es/consejos-de-montaje/acero-inoxidable-aluminio#:~:text=La%20conductividad%20t%C3%A9rmica%20del%20aluminio,13%20a%2017%20W%2FmK>
- [26] PepeEnergy, B. (2021, August 26). ¿Cuánto consume realmente una bombilla d tipo LED? | Blog Pepeenergy. Blog Pepeenergy. <https://www.pepeenergy.com/blog/cuanto-consume-realmente-bombilla-tipo-led/>
- [27] Cuánta electricidad consume un televisor y cómo reducir el gasto. (2023, November 27). <https://www.tcl.com/es/es/blog/playbooks/how-much-electricity-does-a-tv-use-and-how-to-reduce-the-cost>
- [28] Maquina de Anestesia AM852. (n.d.). Grupo Biomedica. <https://www.grupobiomedica.com.pe/product/maquina-de-anestesia-am852-2/>
- [29] Norma, E., & Americana, N. (2013). ASHRAE Estándar 170-2013 de ANSI/ASHRAE/ASHE, Ventilación de instalaciones de atención médica NOTA ESPECIAL. [www.ashrae.org/technology](http://www.ashrae.org/technology).

- [30] Cip, I., & Cobeñas, A. E. (n.d.). DISEÑO DE HOSPITALES INTEGRADO COLABORATIVO BIM. PLANIFICACION FUNCIONAL DE INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO INSTALACIONES ELECTROMECAÑICAS Y TÈRMICAS Estándar 170-2021 ASHRAE "Ventilación para Centros de Salud."
- [31] Ashrae. (2021). ANSI/ASHRAE/ASHE Addendum L to ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017. [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)
- [32] Ashrae. (2020). ANSI/ASHRAE/ASHE Addendum a to ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017. [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)
- [33] GUIA ACAIRE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE PARA ESTABLECIMIENTOS HOSPITALARIOS Y SIMILARES NORMA ACAIRE DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE PARA ESTABLECIMIENTOS HOSPITALARIOS Y SIMILARES. (2013). [www.acaire.org](http://www.acaire.org)
- [34] MINISTERIO DE SALUD DE COLOMBIA (1996). RESOLUCION 04445 de 1996.
- [35] Psychrometric Charts | WaterFurnace. (n.d.). <https://www.waterfurnace.com/waterfurnace-psychrometrics.aspx>
- [36] K. Bawaneh, F. G. Nezami, M. Rasheduzzaman, and B. Deken, "Energy Consumption Analysis and Characterization of Healthcare Facilities in the United States," *Energies*, vol. 12, no. 19, p. 3775, Oct. 2019.
- [37] C.-S. Kuo et al., "An Assessment of Feasibility of Energy Saving Measures Applied for a Hospital," in Proc. 6th Int. Conf. Smart Cities Green ICT Syst., Porto, Portugal, 2017, pp. 151-157. doi: 10.5220/0006293601510157
- [38] La comunidad, el trabajo y la escuela. (2020, February 11). Centers for Disease Control and Prevention. <https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/ventilation/uvgi.html#:~:text=La%20irradiaci%C3%B3n%20germicida%20ultravioleta%20C%20o,riesgo%20para%20la%20salud%20humana>.
- [39] RemoveFumeAdmin. (2023, June 1). Explicación de los filtros MERV y HEPA - Remove the Fume. Remove the Fume - We provide high-quality solutions that remove welding/cutting fumes, grinding dust, etc. <https://removethefume.com/es/explicacion-de-los-filtros-merv-y-hepa/>

- [40] Comunicacion. (2024, April 26). ¿Qué es una bomba de calor y cómo funciona la bomba de calor? Cofrico. <https://www.cofrico.com/consejos-tecnicos/que-es-una-bomba-de-calor-y-como-funciona-la-bomba-de-calor/>
- [41] Facility Guidelines Institute. (n.d.). FGI. <https://www.fgiguidelines.org/guidelines/uses-of-the-guidelines/>



PROJECT		ACONDICIONAMIENTO DE HABITACION DE CIRUGIAS						FLOOR		Piso de Habitacion de Cirugias					
LOCATION		CALI - COLOMBIA						SPACE REFERENCE		Habitacion de Cirugias					
CLIENT		UNIVERSIDAD JAVERIANA						AREA ( SqFt) (WxH)		275.29					
CONSULTANT		126.00						False Ceiling Height (Ft)		10.17					
Item		Area or Quantity		Sun Gain or Temp. Diff.		Factor (U)		Btu/Hour		Watts		Estimate for			
												Verano / Agosto 3:00 PM - Pico Maximo de Temperatura Promedio al Año			
												Design Conditions			
												DB (°F)			
												73.78			
												RH (%)			
												57.00			
												HR (Gr/Lb)			
												100.00			
												Room (InDoor)			
												75.20			
												Difference Δ			
												10.80			
												11.18			
												7.00			
												35.00			
												By Pass Factor (BF)			
												= 0.12			
												Contact Factor (CF = 1 - BF)			
												= 0.88			
												CFM Ventilation			
												CFM Per Person			
												10.00			
												No			
												= 12.00			
												= 120.00			
												CFM Per SqFt			
												0.18			
												Sqft			
												x			
												= 275.29			
												= 49.55			
												Air Change Per Hour (CFM)			
												= 4.00			
												Room (InDoor)			
												2,799.83			
												Cu.ft			
												x			
												4.00			
												x1/60			
												= 186.66			
												CFM Infiltration			
												Swinging			
												x			
												cfm/door			
												= 0.00			
												Revolving Doors (People)			
												x			
												cfm/door			
												= 0.00			
												Open Doors			
												x			
												cfm/door			
												= 0.00			
												Crack (feet)			
												x			
												1.00			
												cfm/ft			
												= 0.00			
												Supply CFM from Machine			
												Effective Room Sensible Heat Factor =			
												Effective Room Sensible Heat/Eff Room Total Heat			
												= 0.96			
												Apparatus Dew Point (ADP)			
												Indicated ADP (°F)			
												=			
												Selected ADP (°F)			
												= 56.11			
												Dehumidified Rise			
												(Room DB - ADP) x CF			
												= 16.80			
												DEHUMIDIFIED AIR QUANTITY			
												Effective Room Sensible Heat			
												= 4,432.22			
												CFM			
												Dehumidified Rise x 1.08			
												= 2,083.14			
												L/s			
												TOTAL HEAT CAPACITY			
												Grand Total Heat			
												= 7.63			
												TR			
												SENSIBLE HEAT CAPACITY			
												Grand Sensible Heat			
												= 7.63			
												TR			
												Notes:			

## 1.1 Anexo B





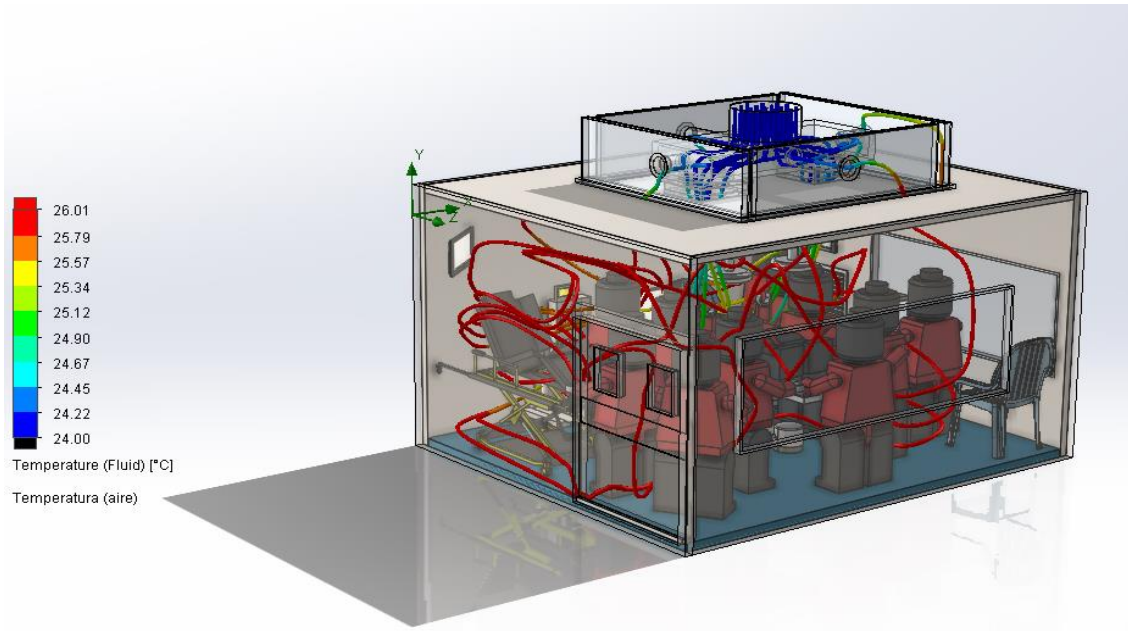


Equipo	Cantidad	Consumo (w)	Porcentaje de calor emitido	Ratio de generacion de calor (w)	Consumo total (w)	Ratio de generacion de calor total(w)	Material
Leds techo	6	30	0.15	4.5	180	27	Carcasa de aluminio, lentes de policarbonato
Pantalla TV	1	32	0.1	3.2	32	3.2	Carcasa de plástico (ABS o policarbonato), LCD o LED
Pantalla PC	2	25	0.1	2.5	50	5	Carcasa de plástico (ABS o policarbonato), LCD o LED
Maquina de anestesia	1	100	0.1	10	100	10	Carcasa de acero inoxidable o plástico de alta resistencia, componentes internos de acero, aluminio y materiales plásticos.
Caja de luz de rayos X	1	12	0.25	3	12	3	Carcasa de aluminio o acero inoxidable, cubiertas de vidrio o acrílico.
Bomba de infusion	1	24	0.075	1.8	24	1.8	Carcasa de plástico (ABS o policarbonato), componentes internos de acero y materiales plásticos.
Lampara ciclistica con 2 satelites	1	130	0.4	52	130	52	Carcasa de aluminio o acero inoxidable, lentes de vidrio
monitor de signos vitales	1	50	0.1	5	50	5	Carcasa de plástico (ABS o policarbonato)
aspirador de secreciones	1	90	0.15	13.5	90	13.5	Carcasa de plástico (ABS o policarbonato)
electrobisturi	1	500	0.5	250	500	250	Carcasa de acero inoxidable o plástico de alta resistencia
Total	16	N/A	N/A	N/A	1168	370.5	N/A

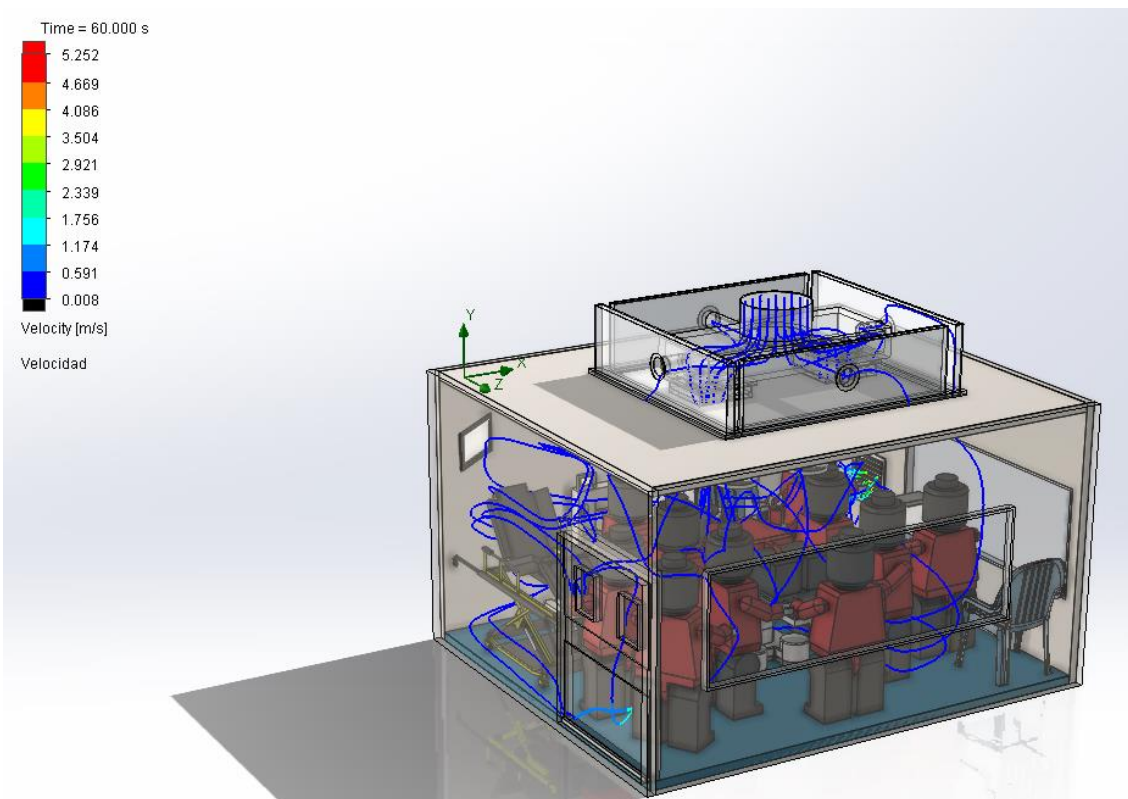
## 1.1 Anexo D



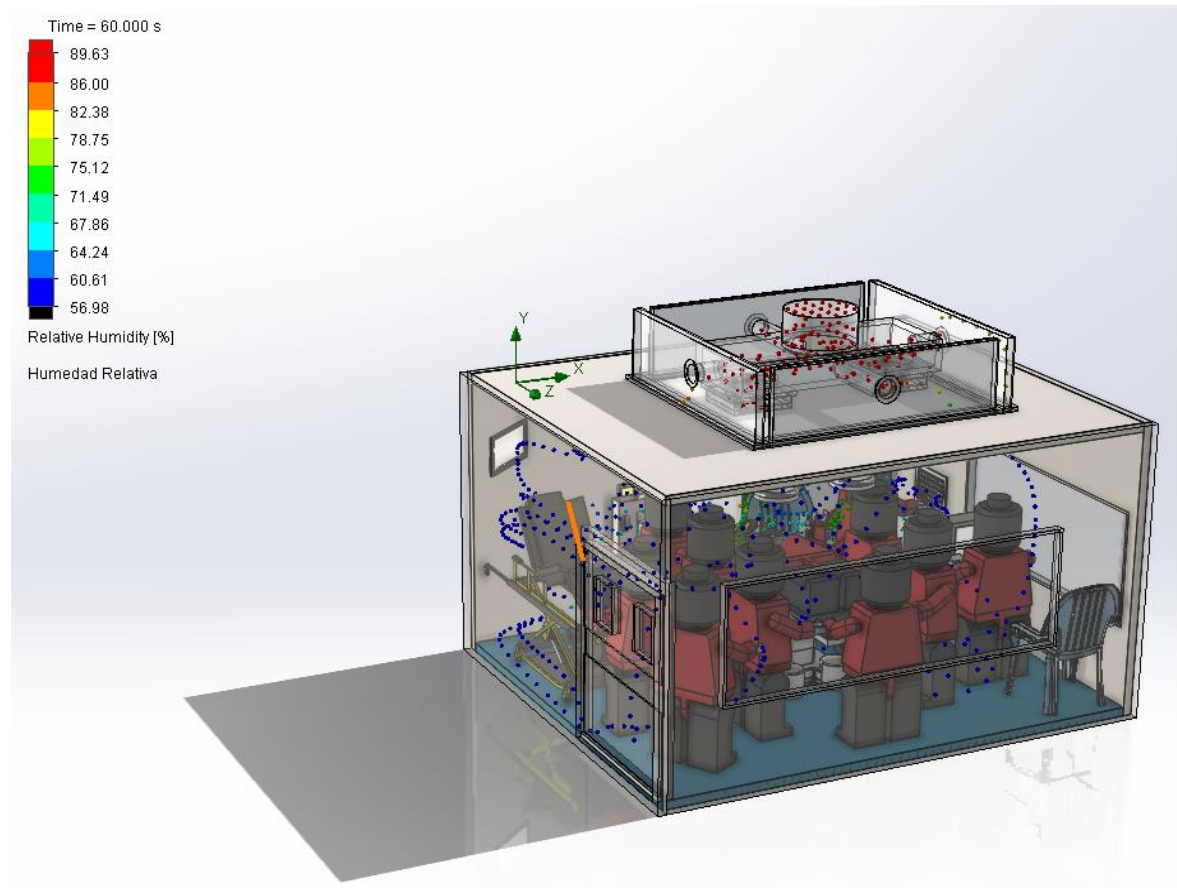
## 2.1 Anexo A



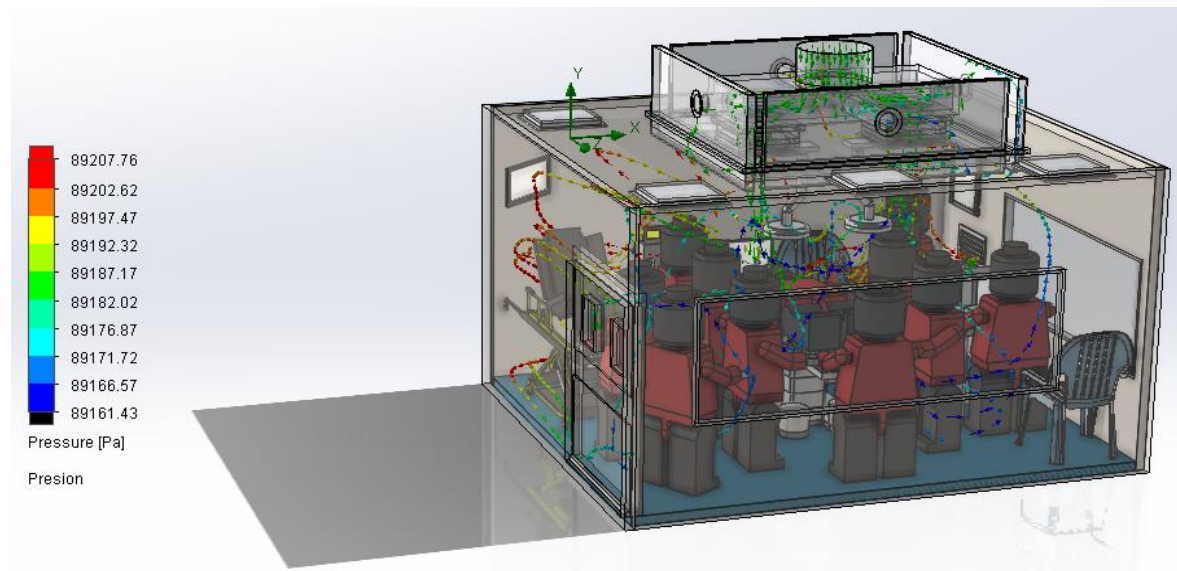
## 2.1 Anexo B



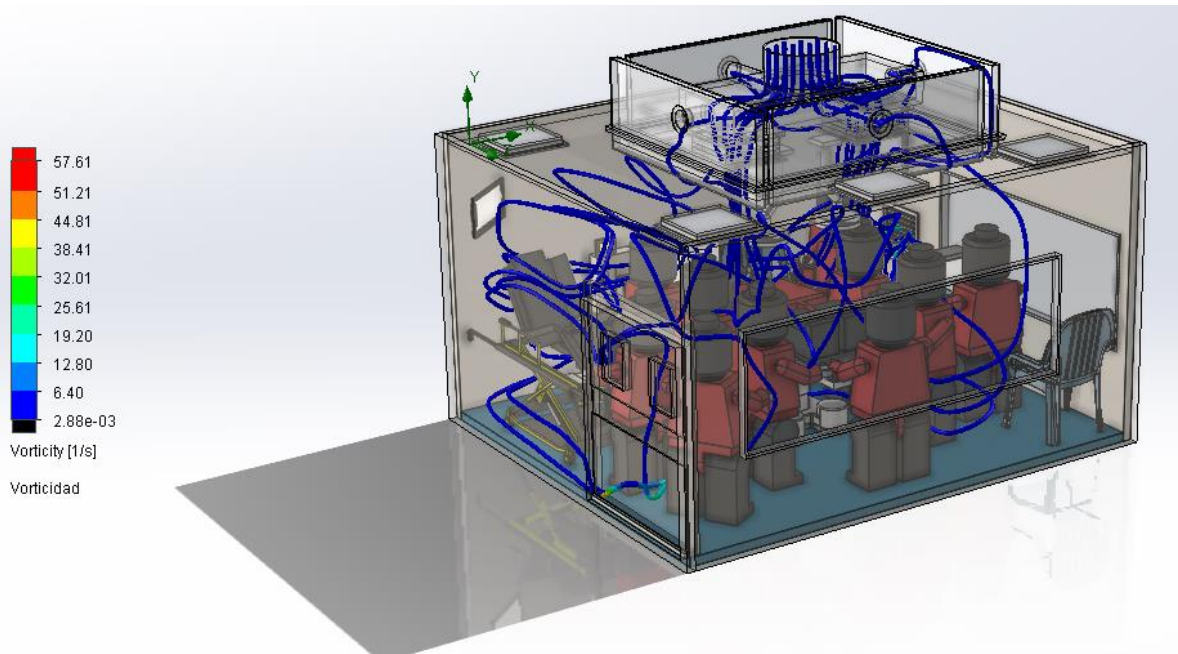
## 2.1 Anexo C



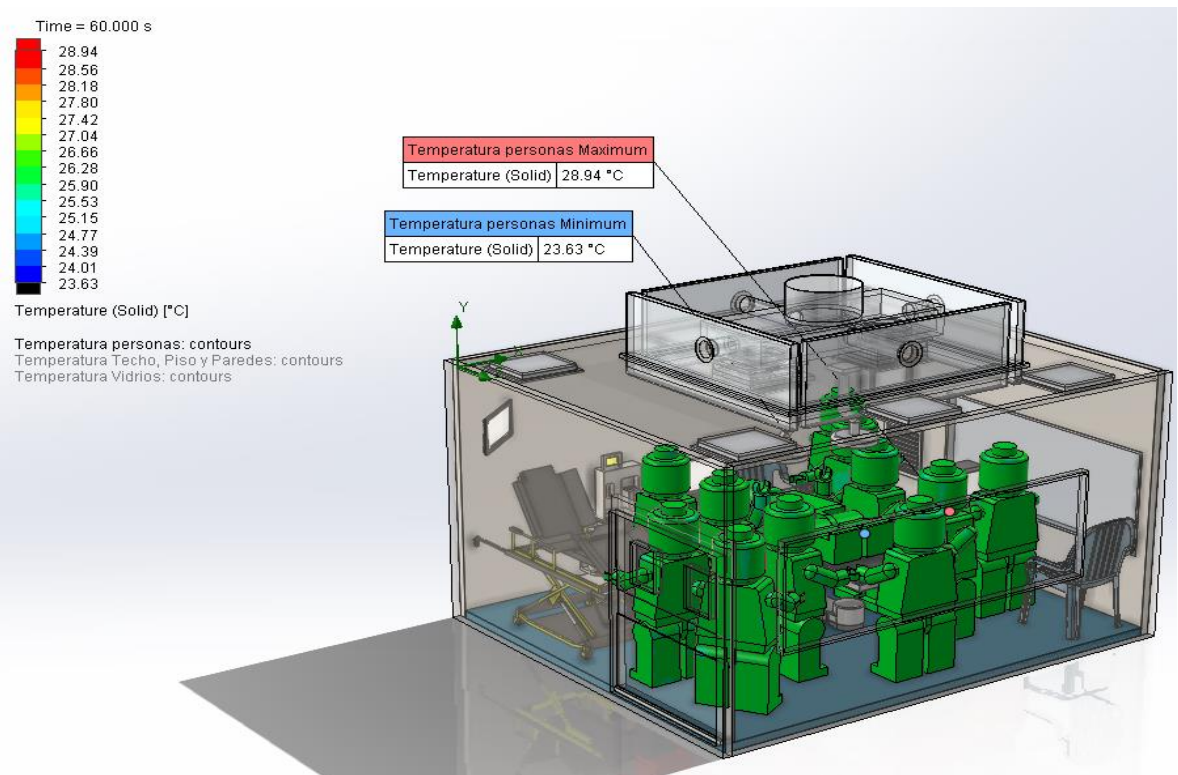
## 2.1 Anexo D



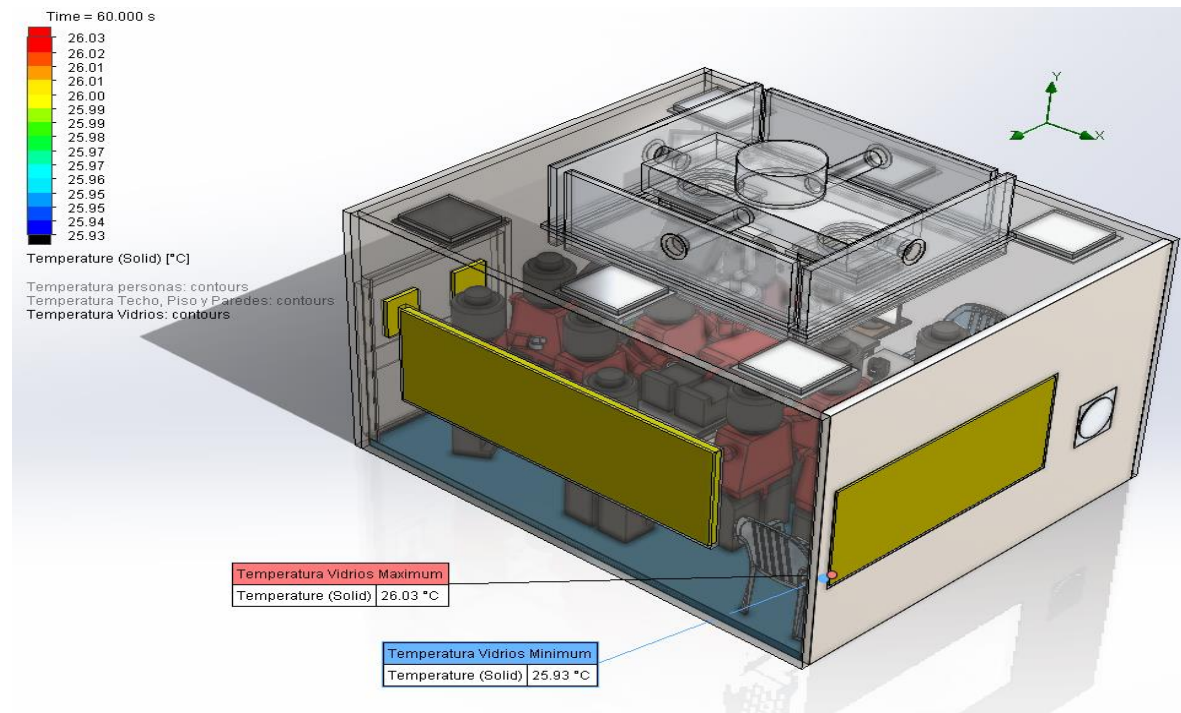
## 2.1 Anexo E



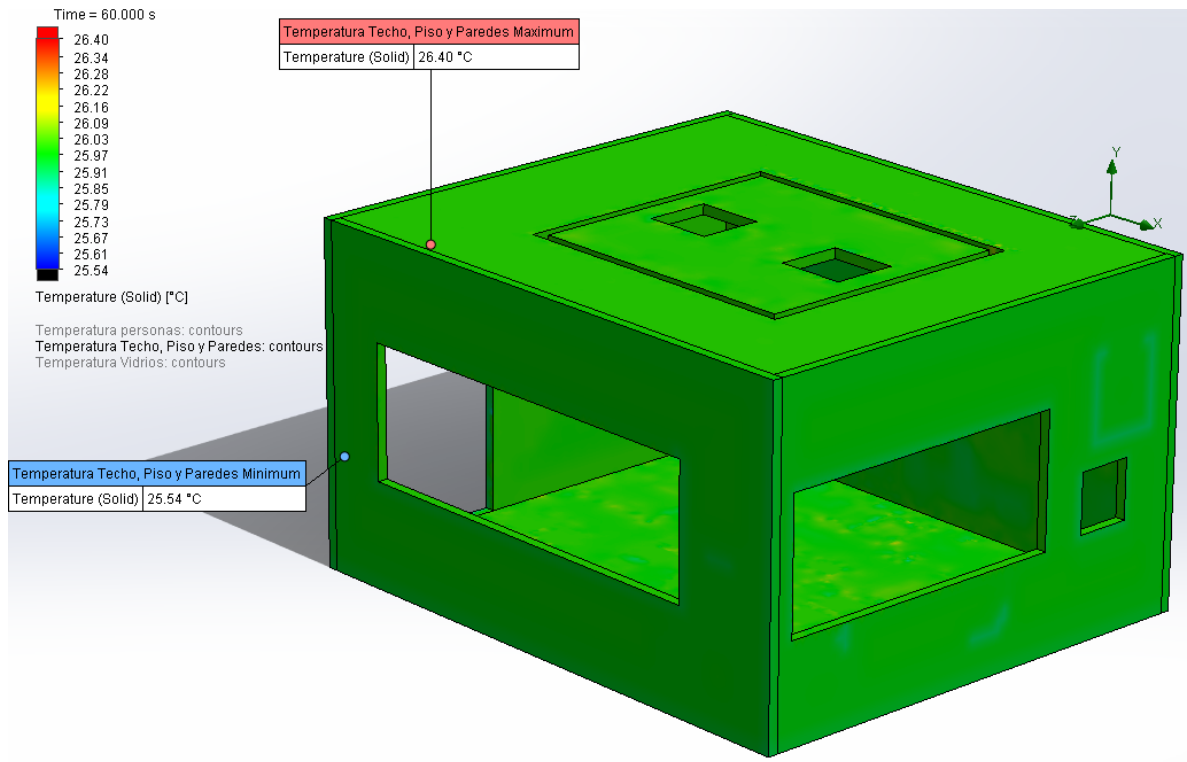
## 2.1 Anexo F



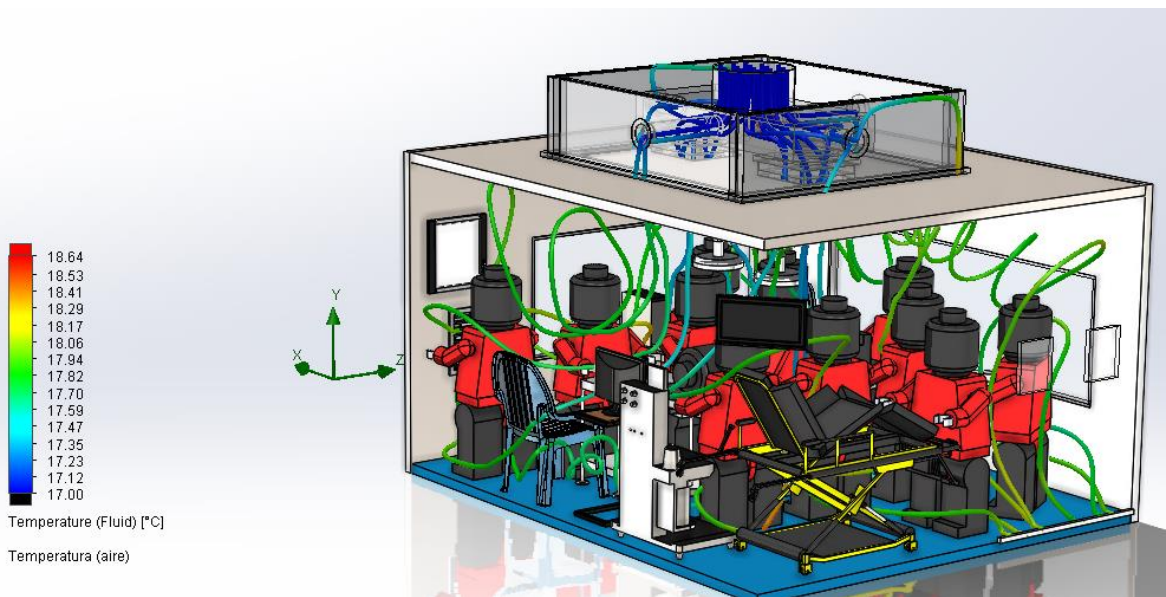
## 2.1 Anexo G



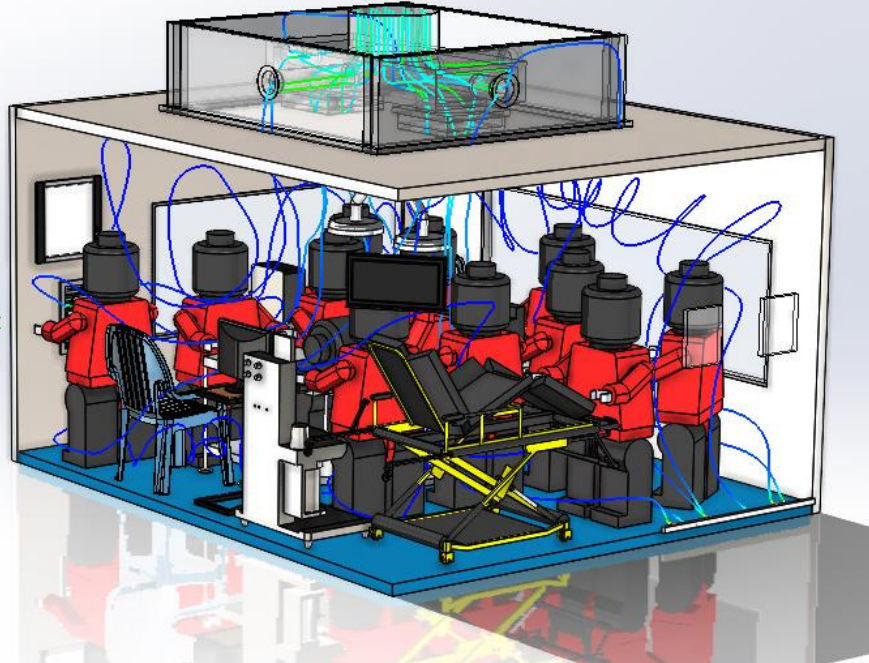
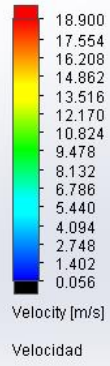
## 2.1 Anexo H



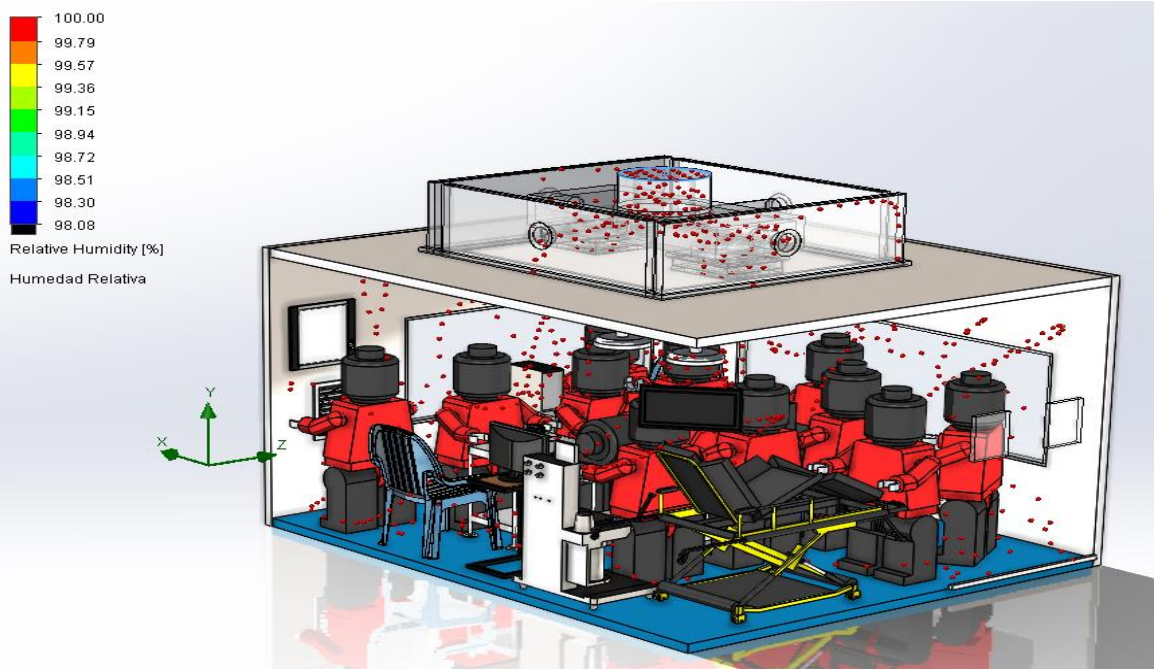
## 3.1 Anexo A



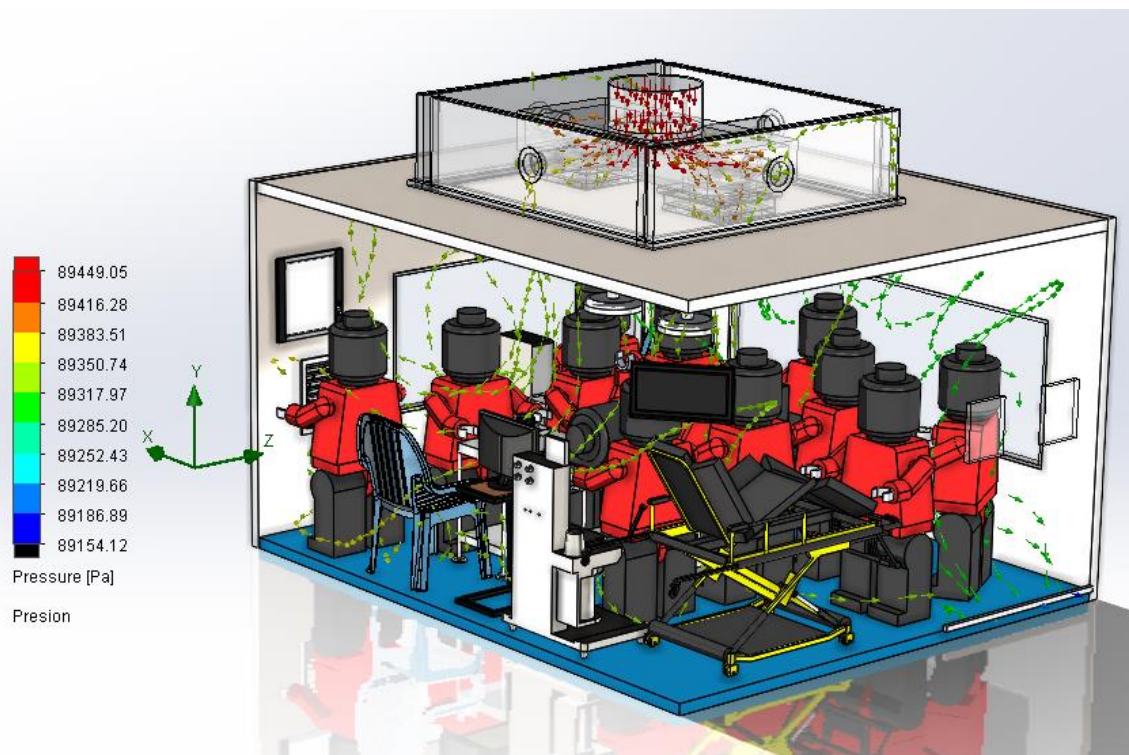
### 3.1 Anexo B



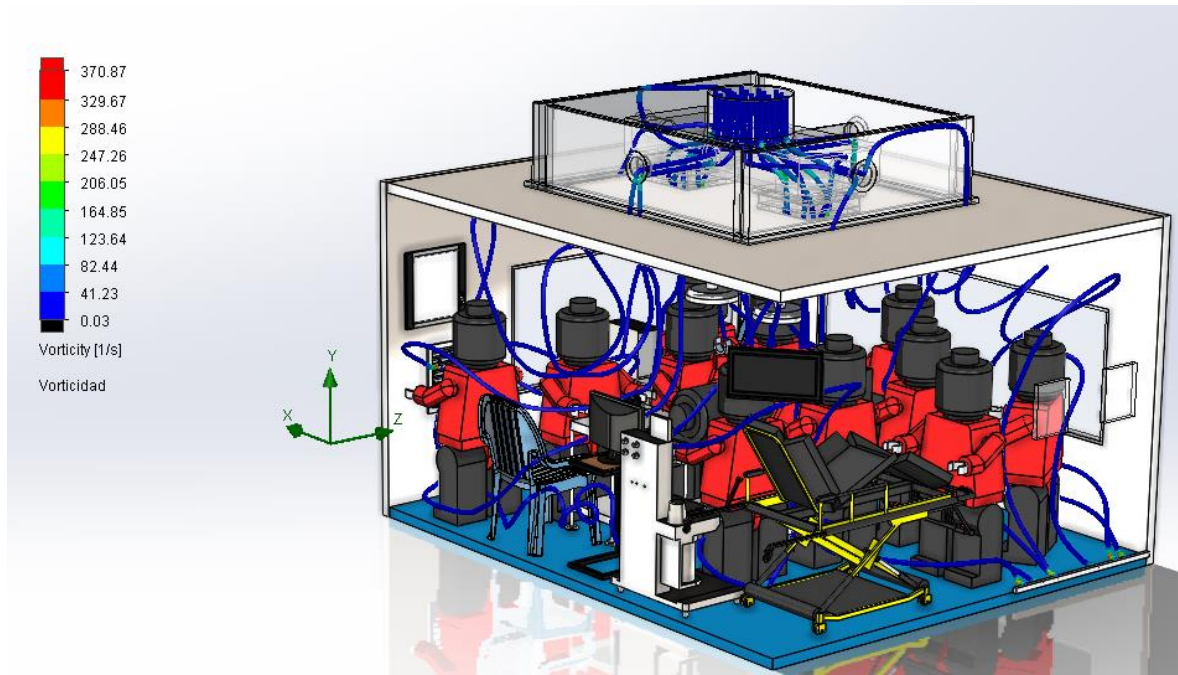
### 3.1 Anexo C



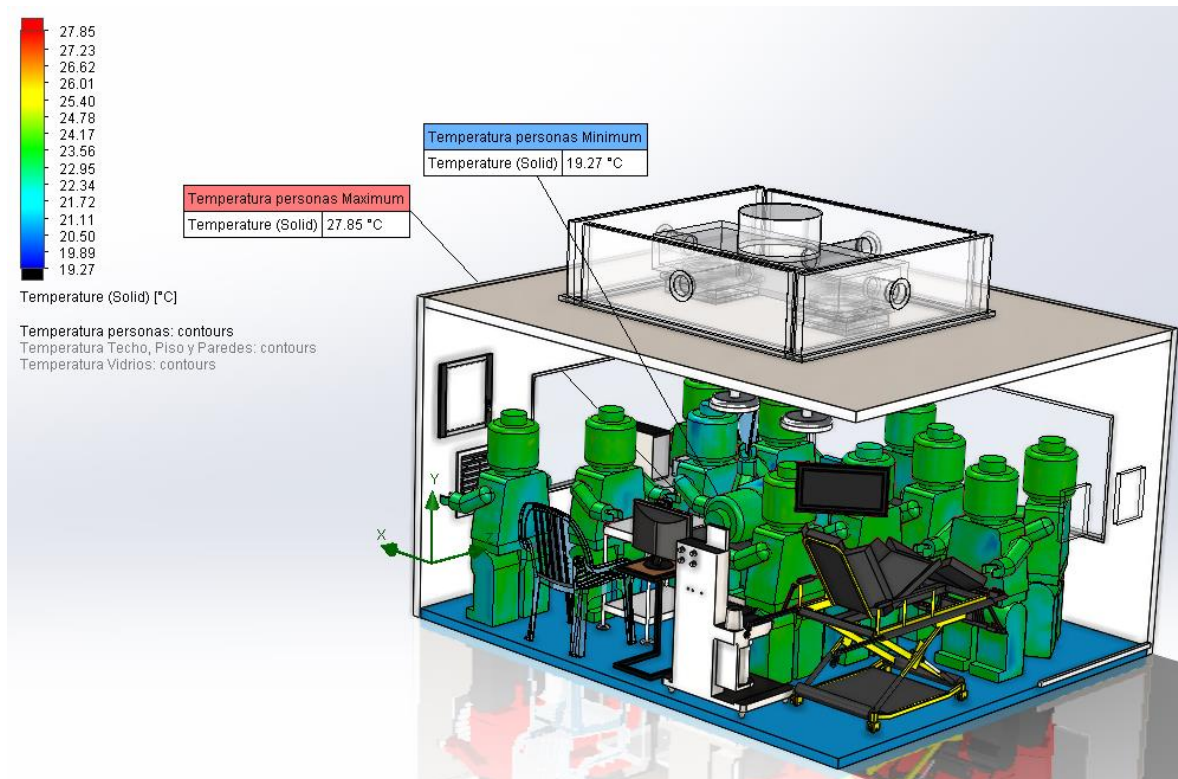
### 3.1 Anexo D



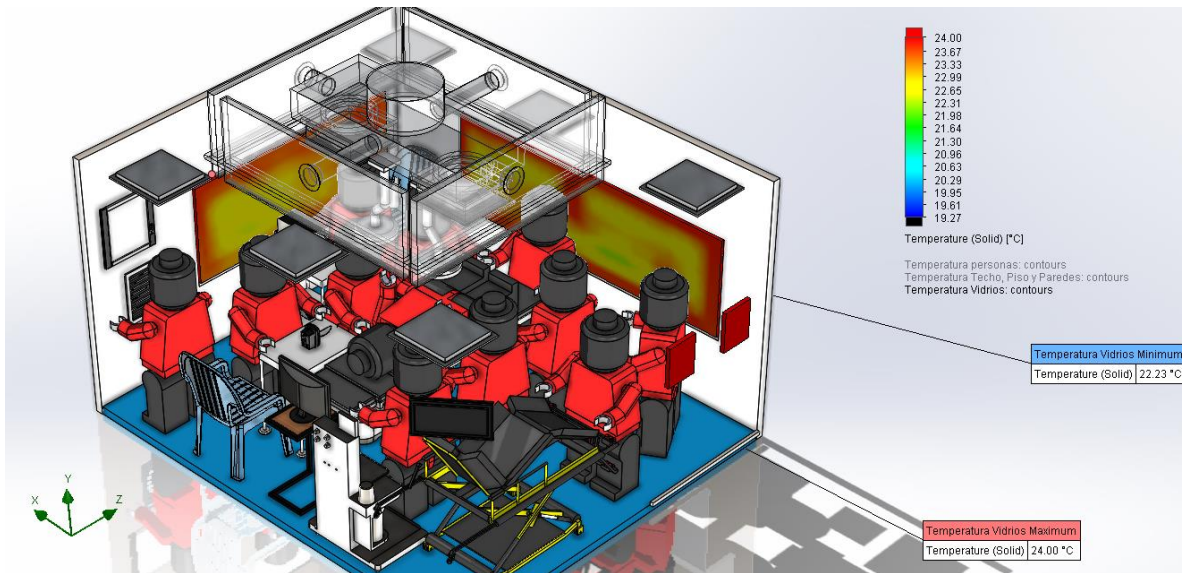
### 3.1 Anexo E



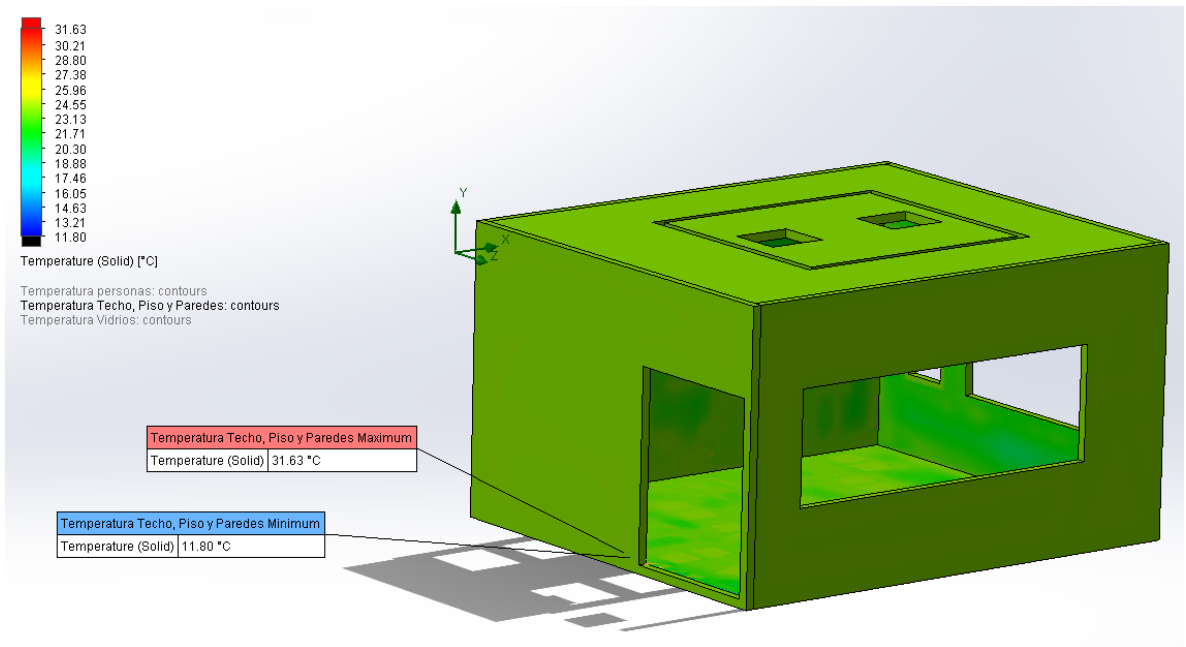
### 3.1 Anexo F



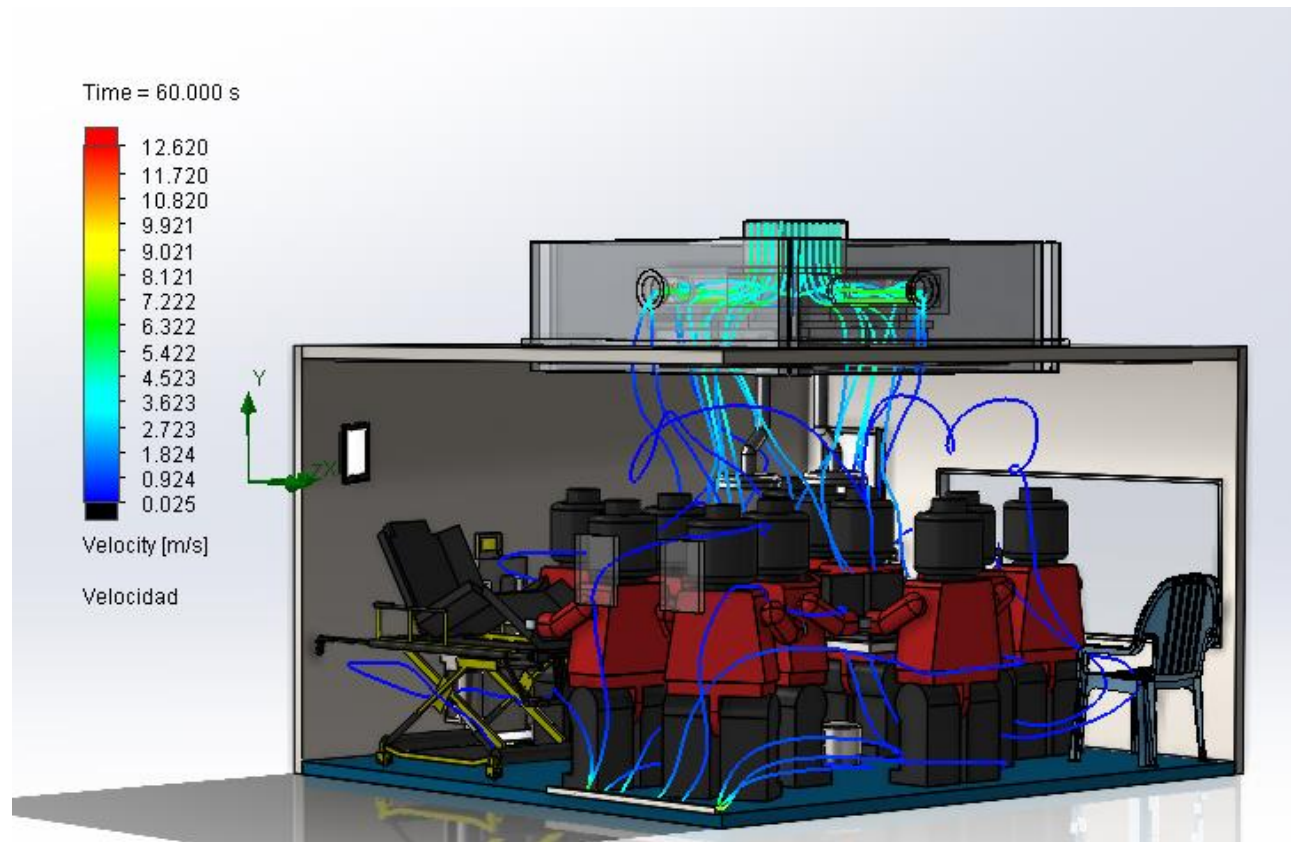
### 3.1 Anexo G



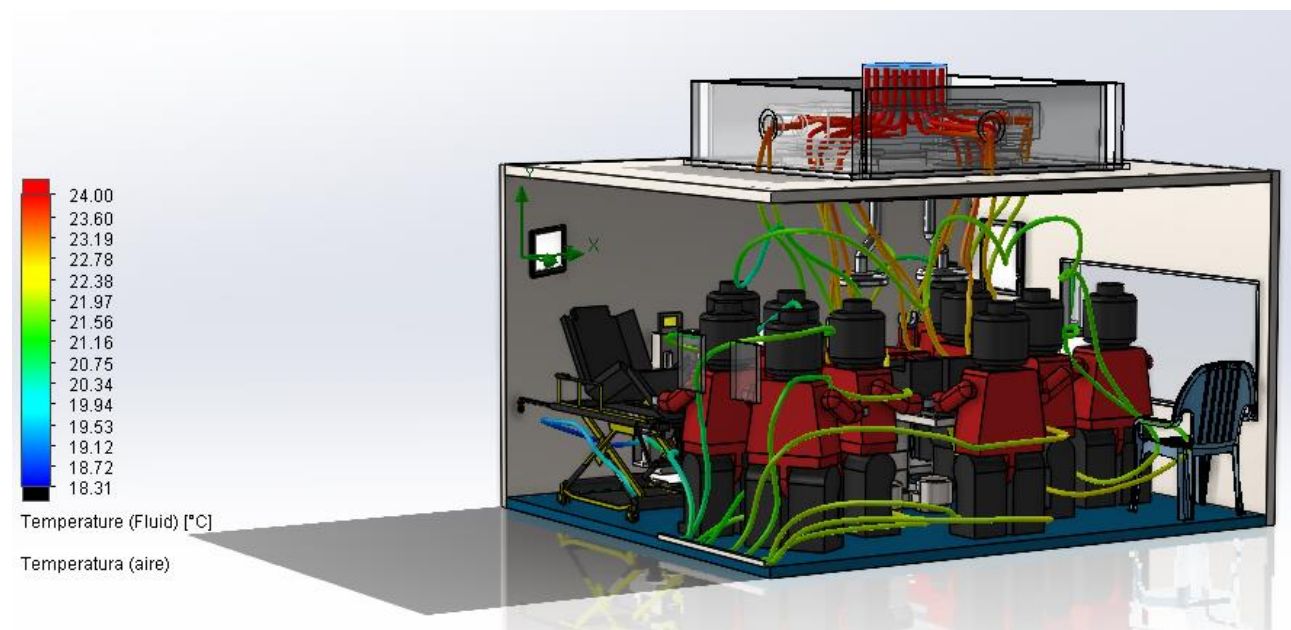
### 3.1 Anexo H



## 4.1 Anexo A



## 4.1 Anexo B



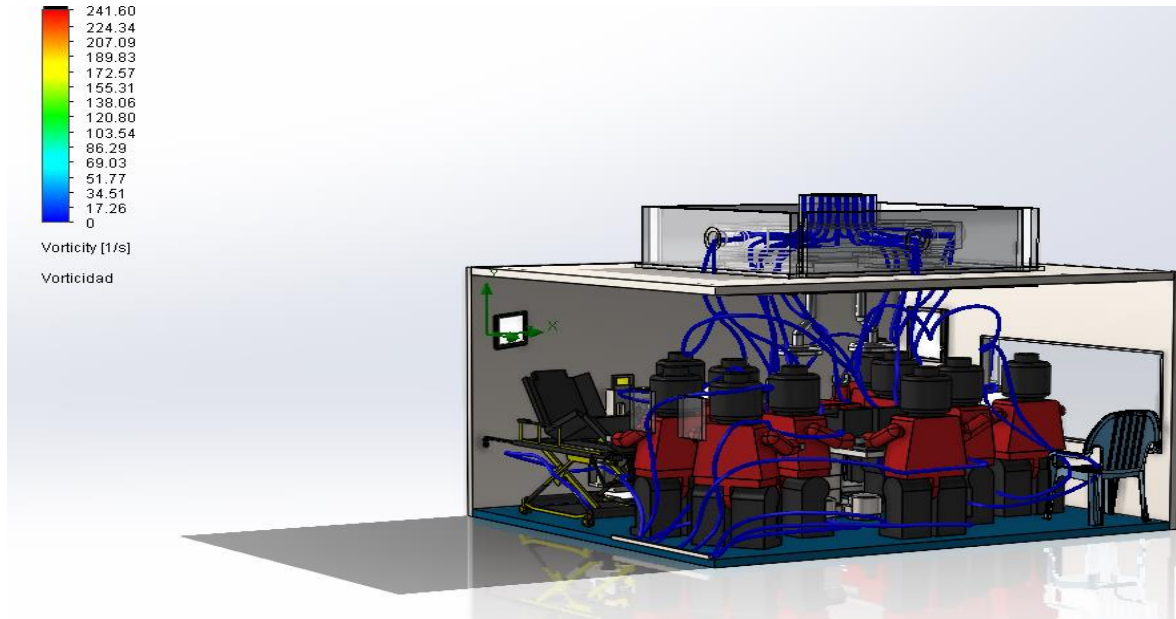
## 4.1 Anexo C



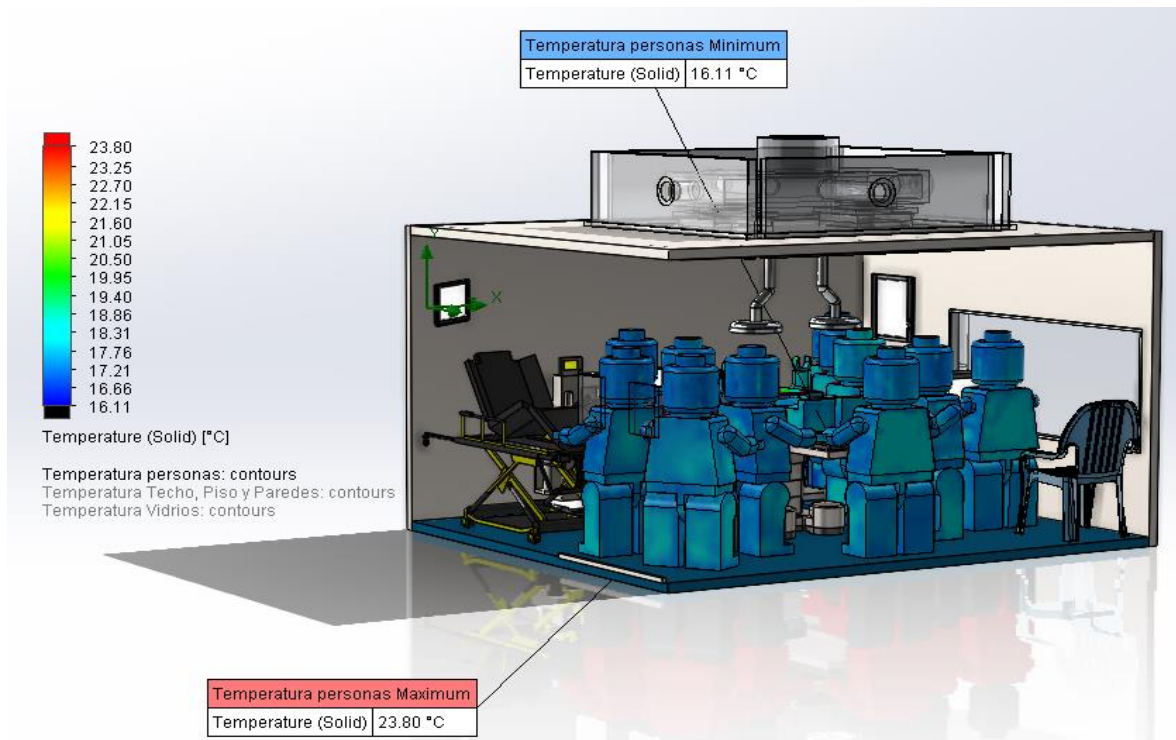
## 4.1 Anexo D



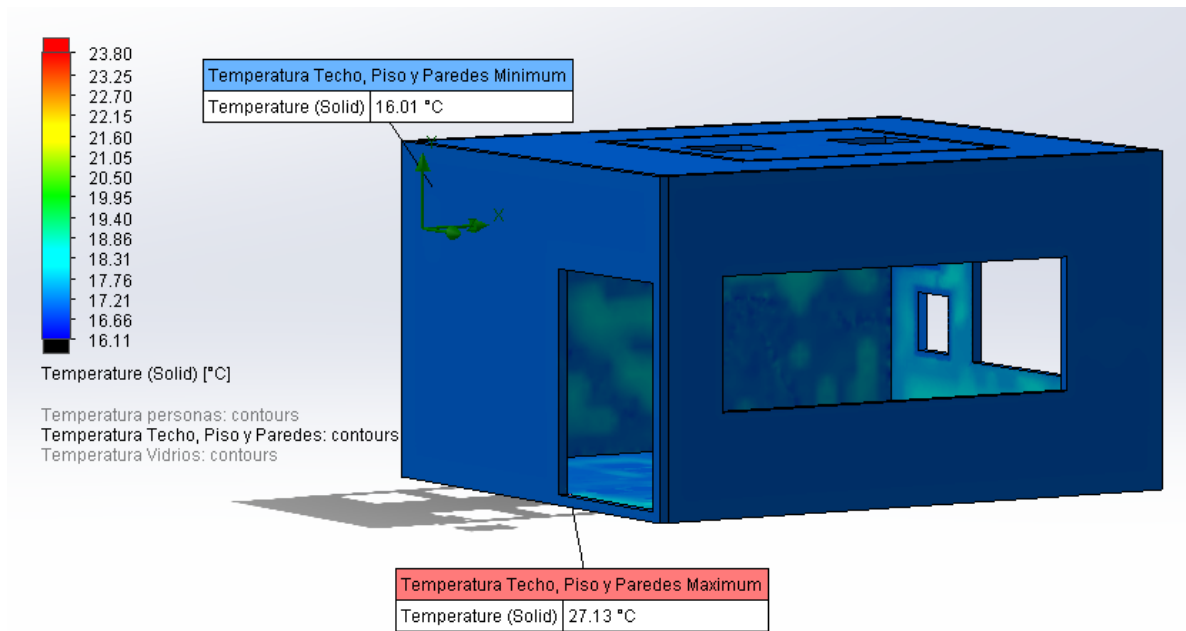
## 4.1 Anexo E



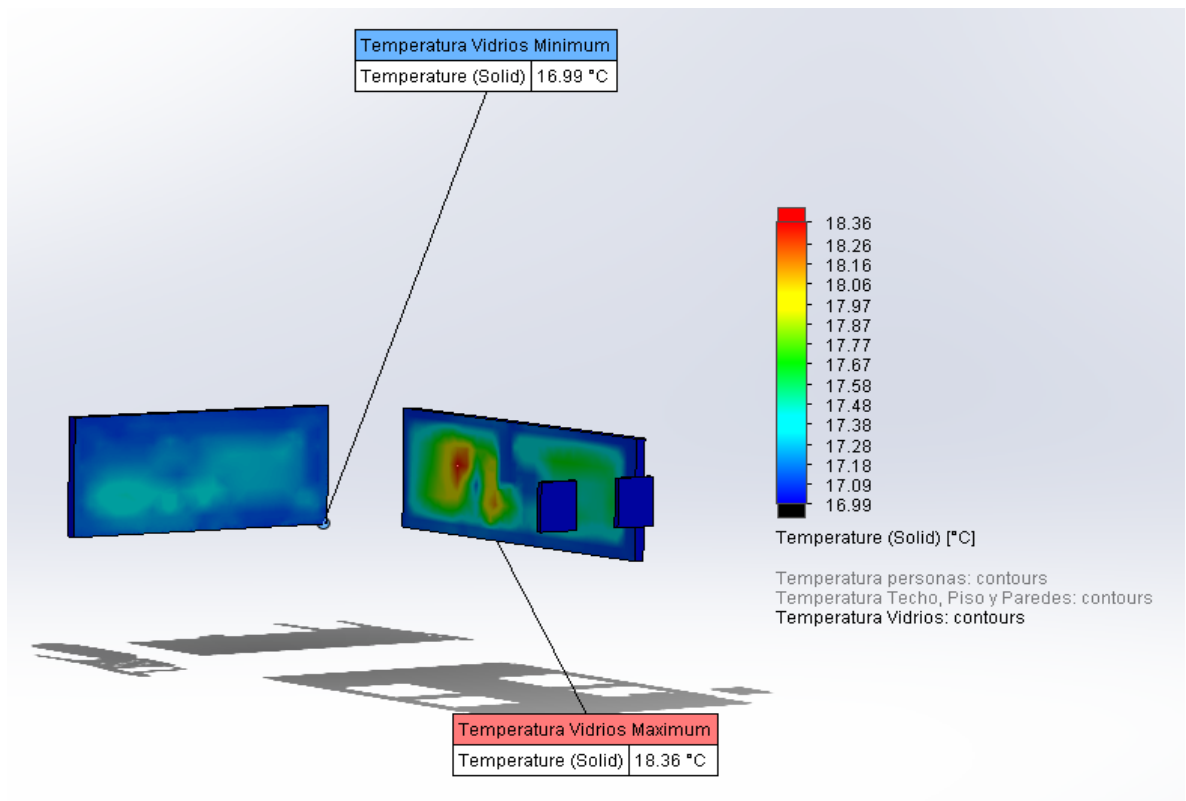
## 4.1 Anexo F



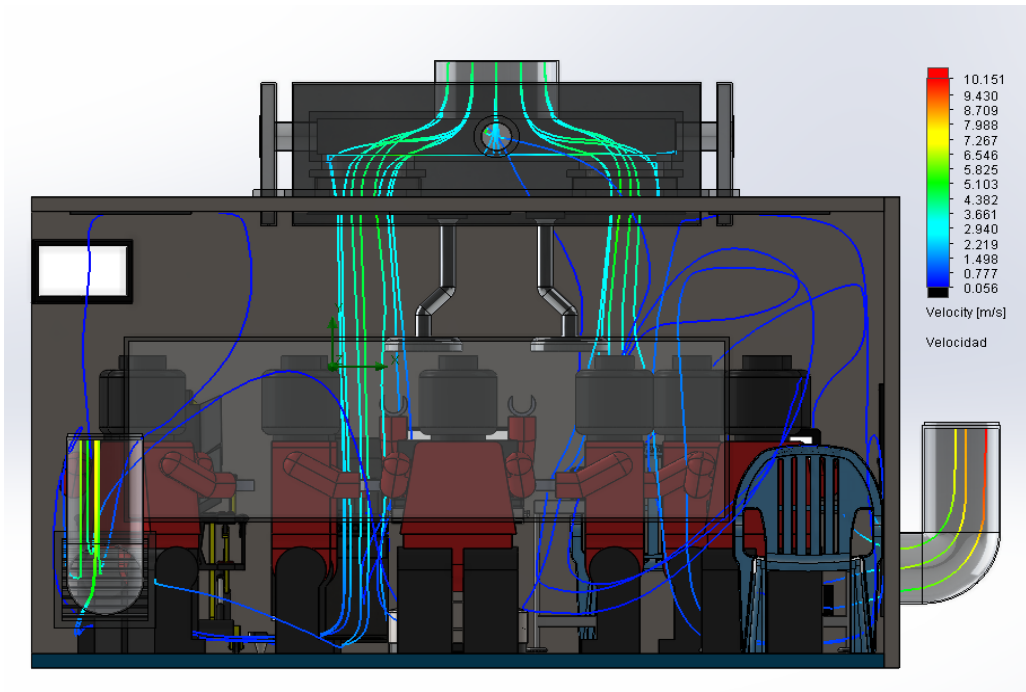
## 4.1 Anexo G



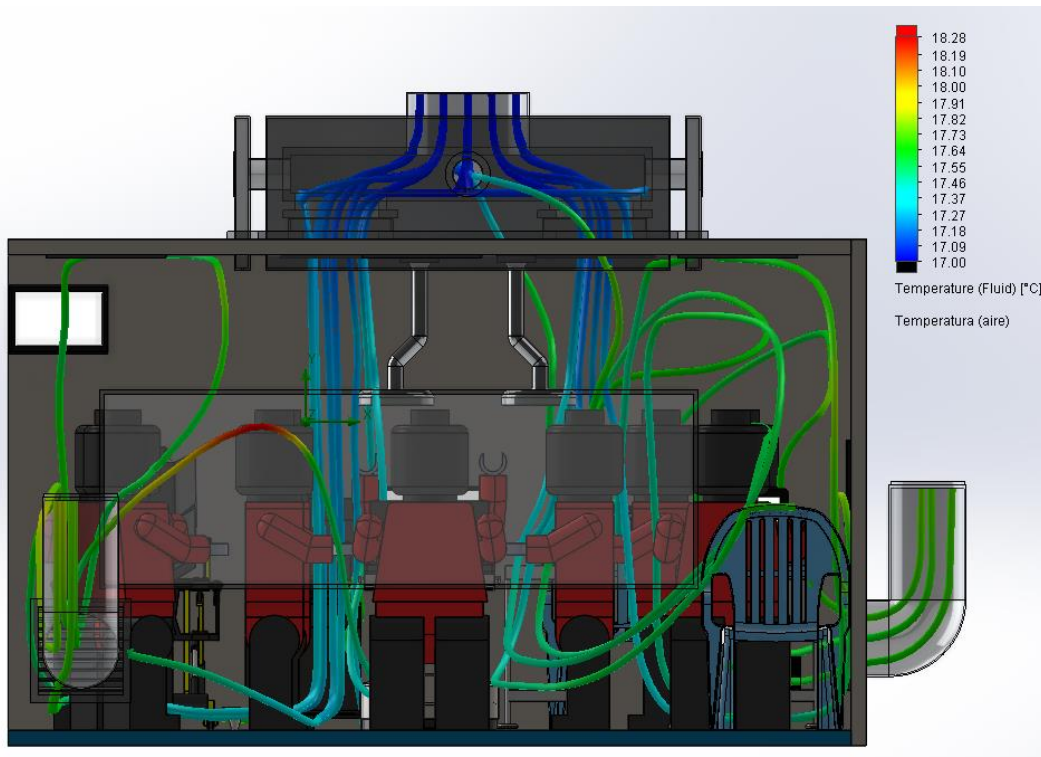
## 4.1 Anexo H



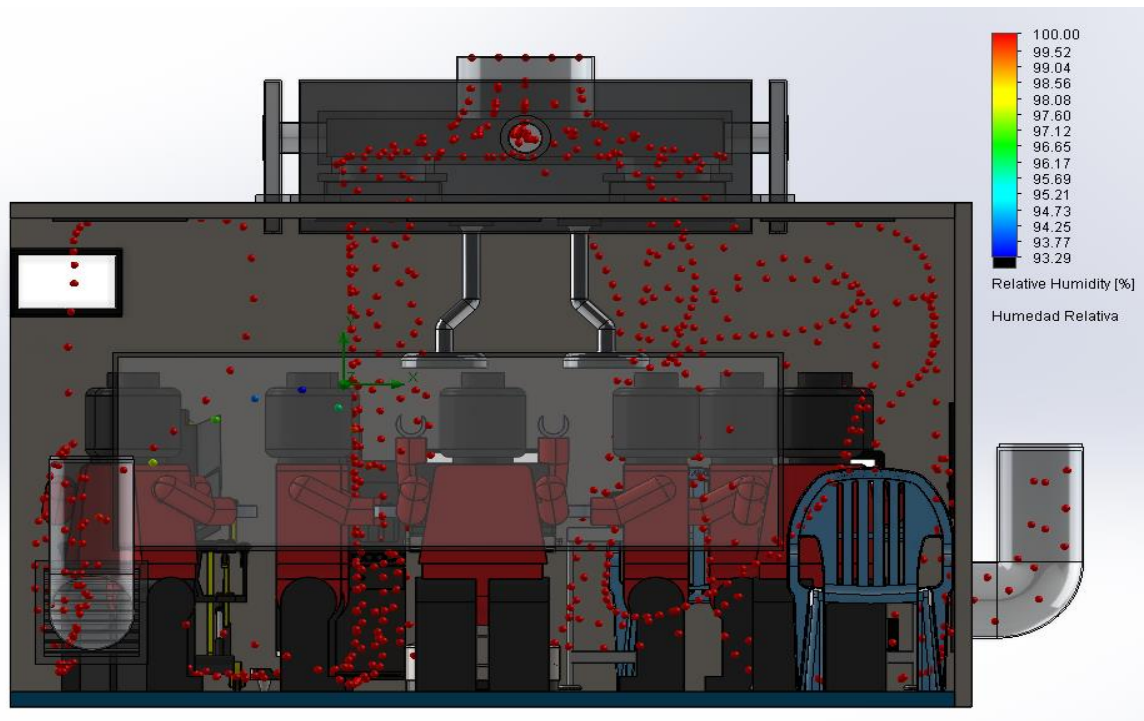
## 5.1 Anexo A



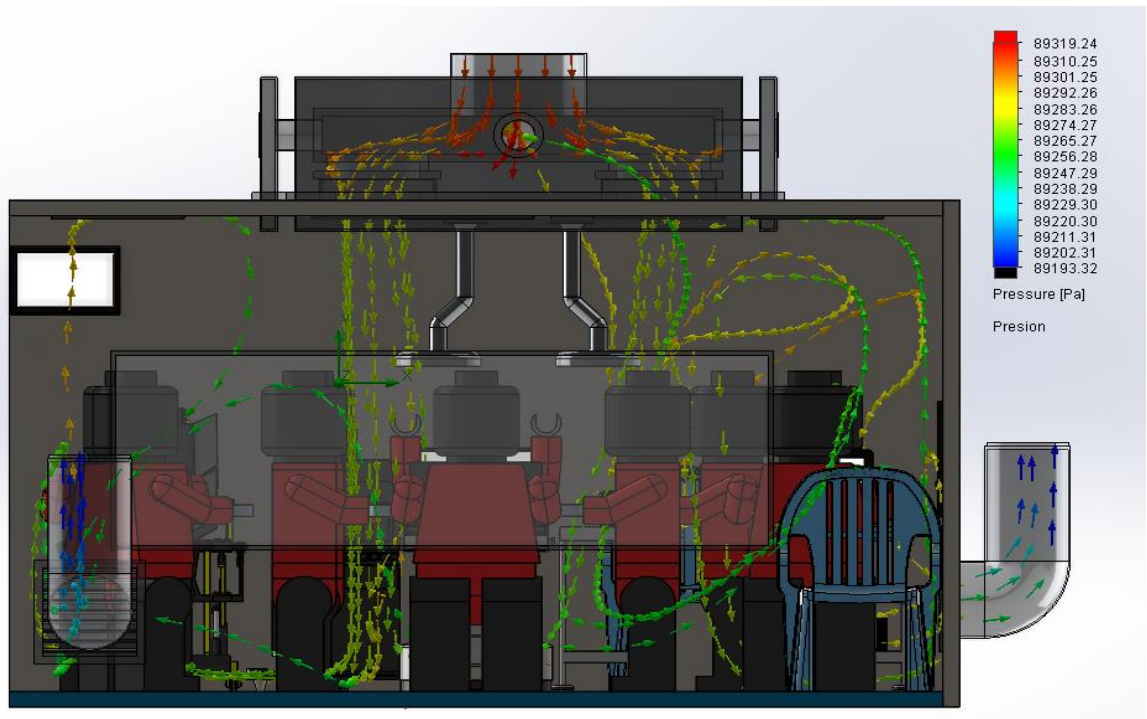
## 5.1 Anexo B



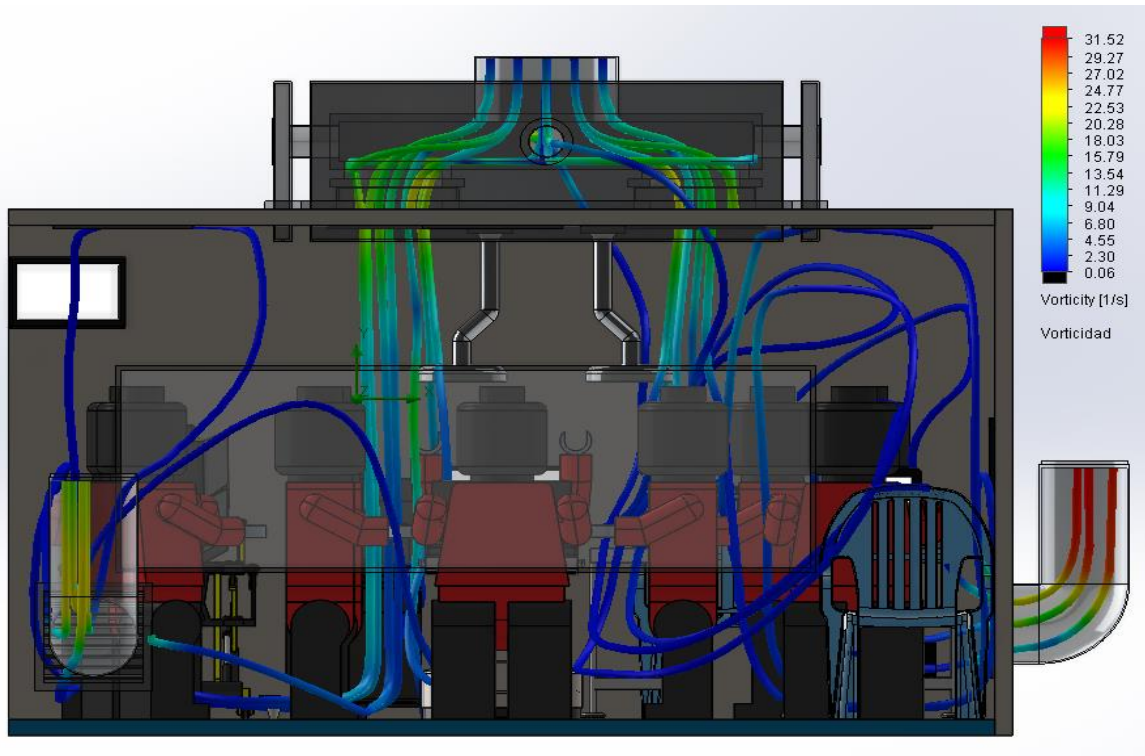
## 5.1 Anexo C



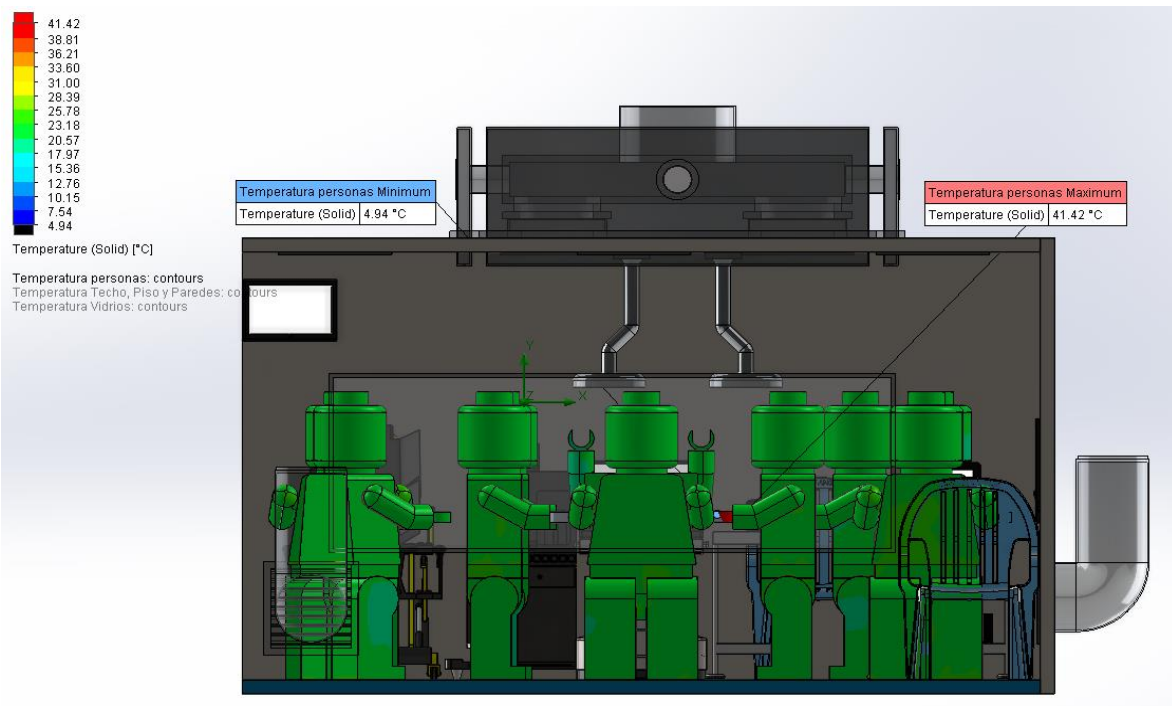
## 5.1 Anexo D



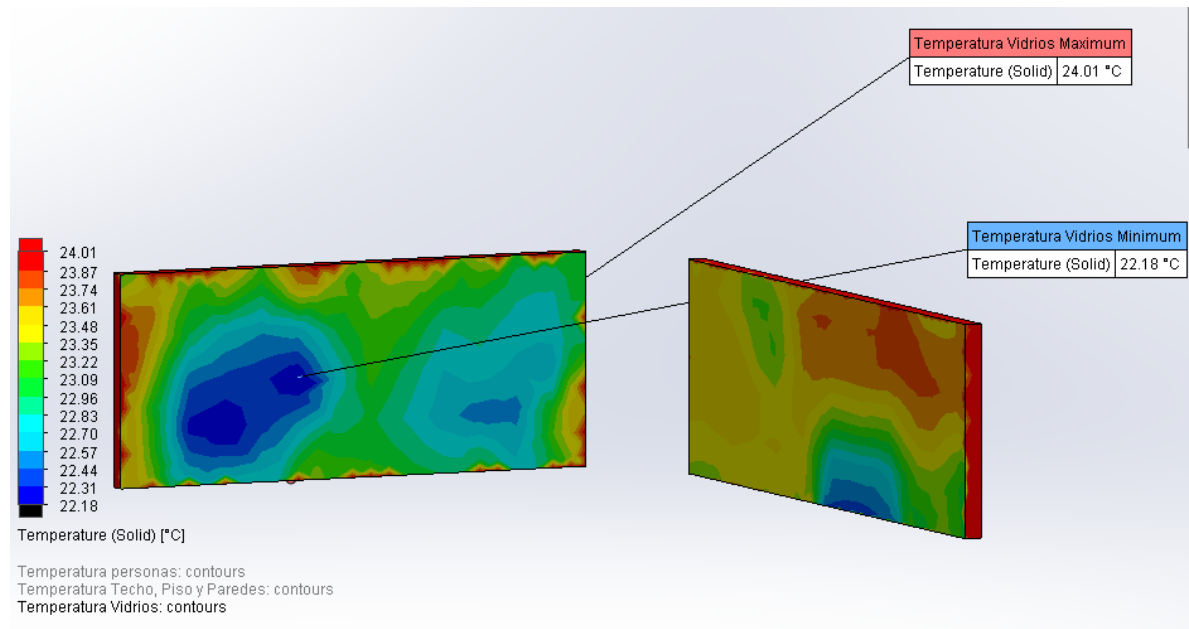
## 5.1 Anexo E



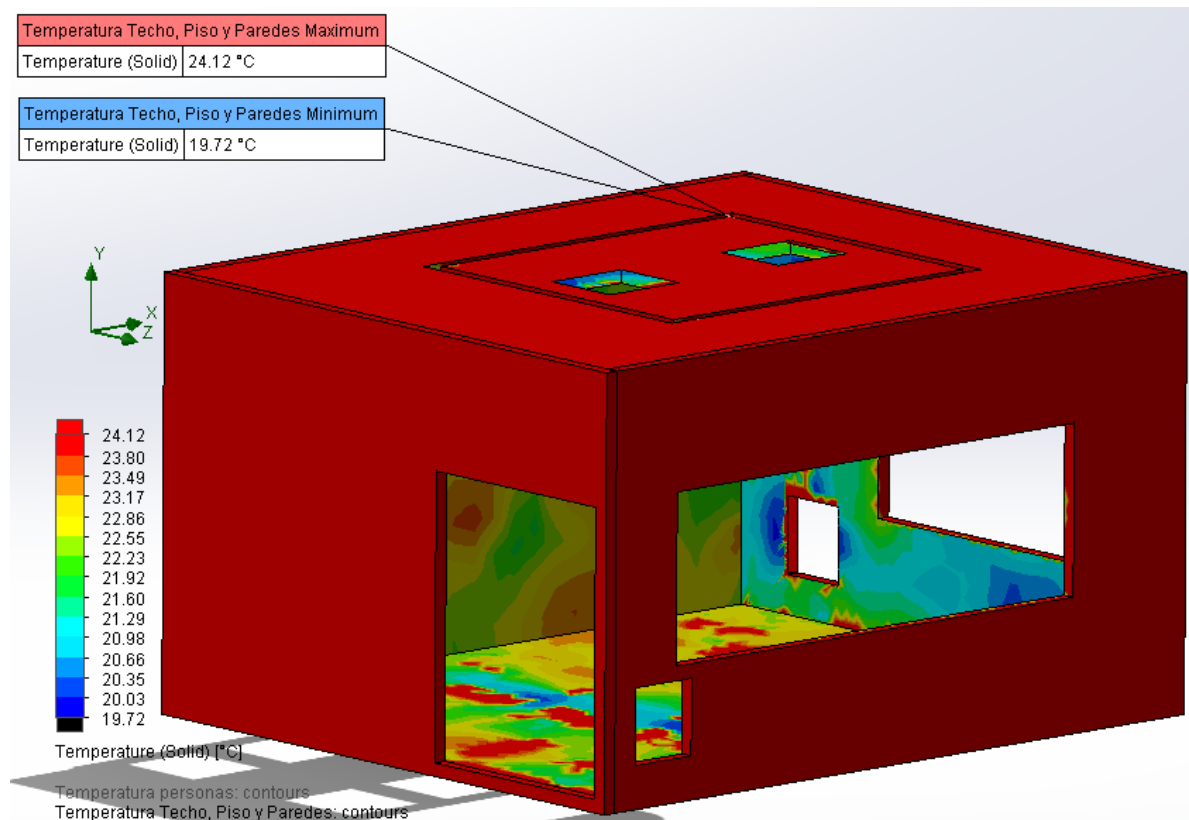
## 5.1 Anexo F



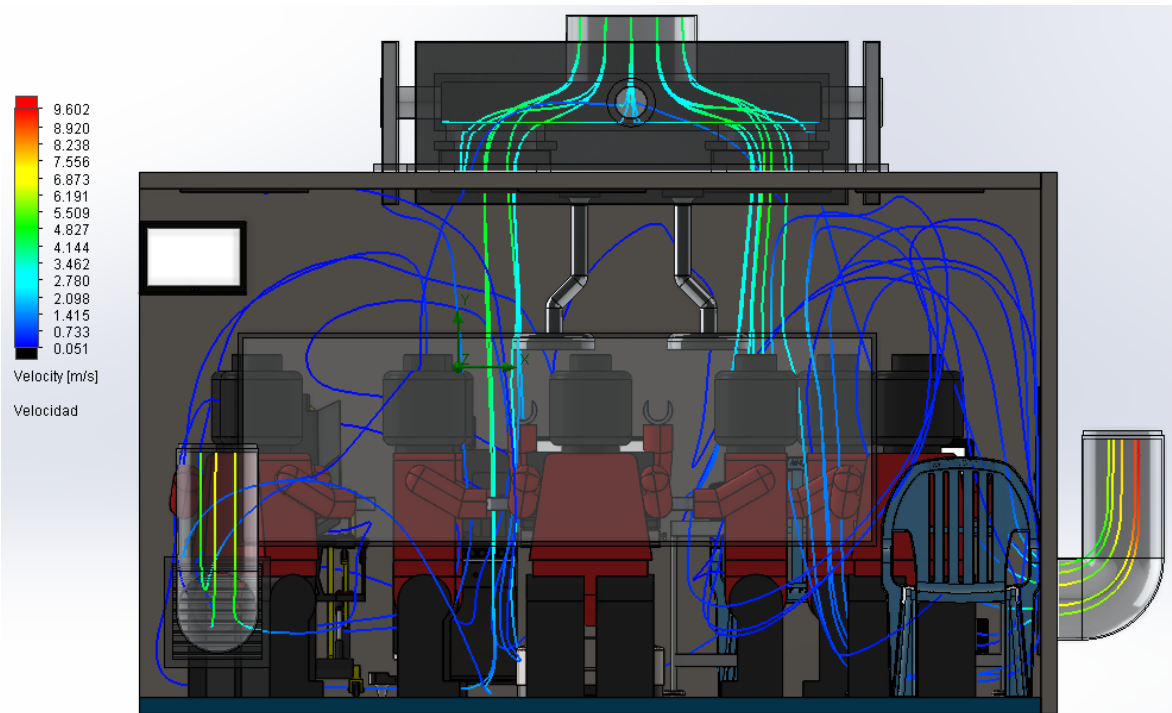
## 5.1 Anexo G



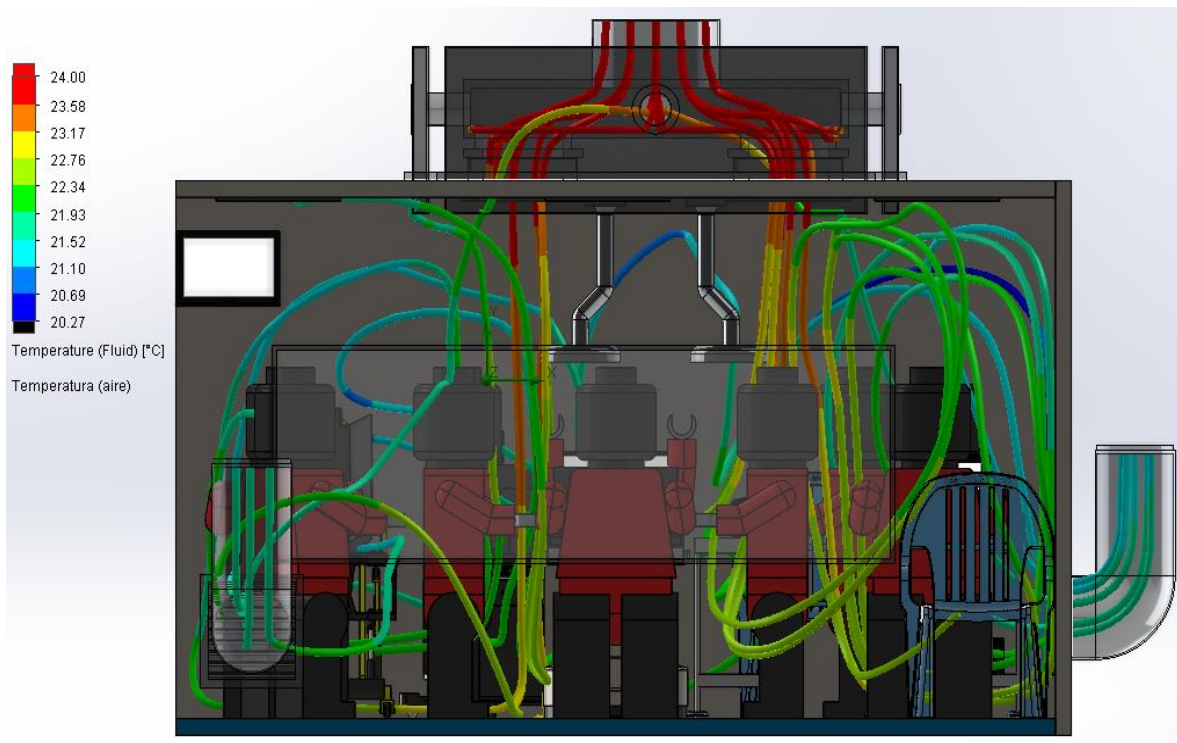
## 5.1 Anexo H



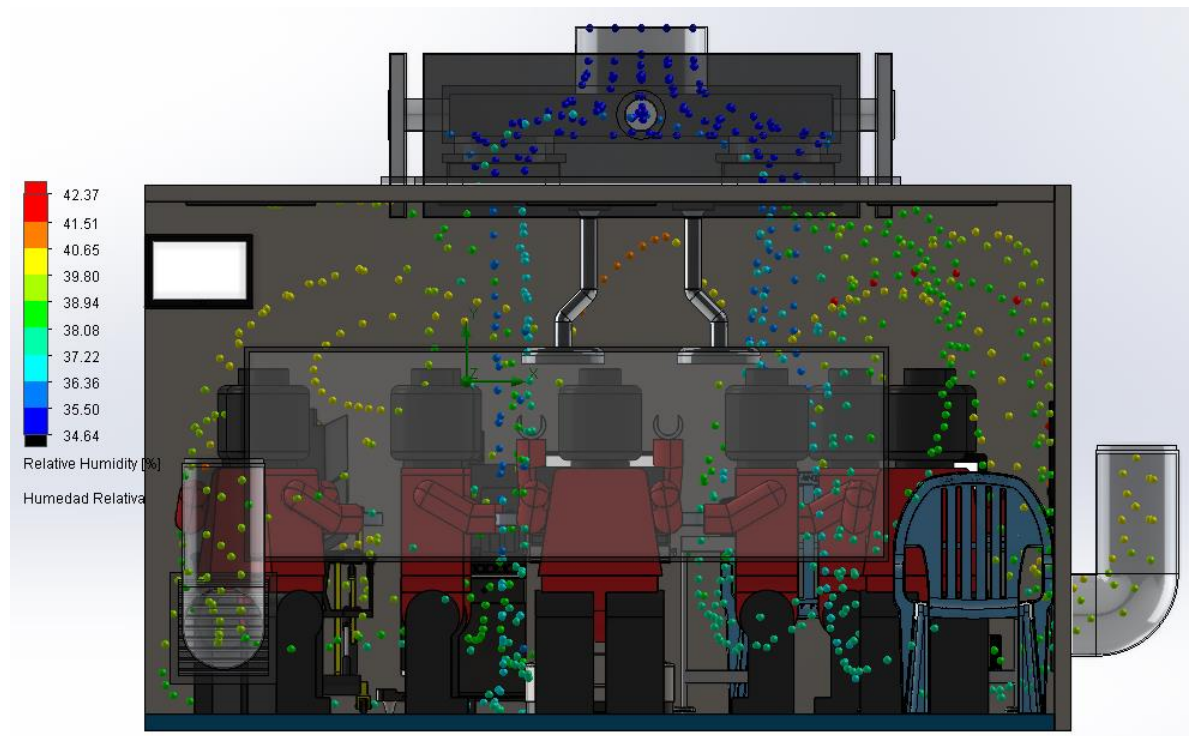
## 6.1 Anexo A



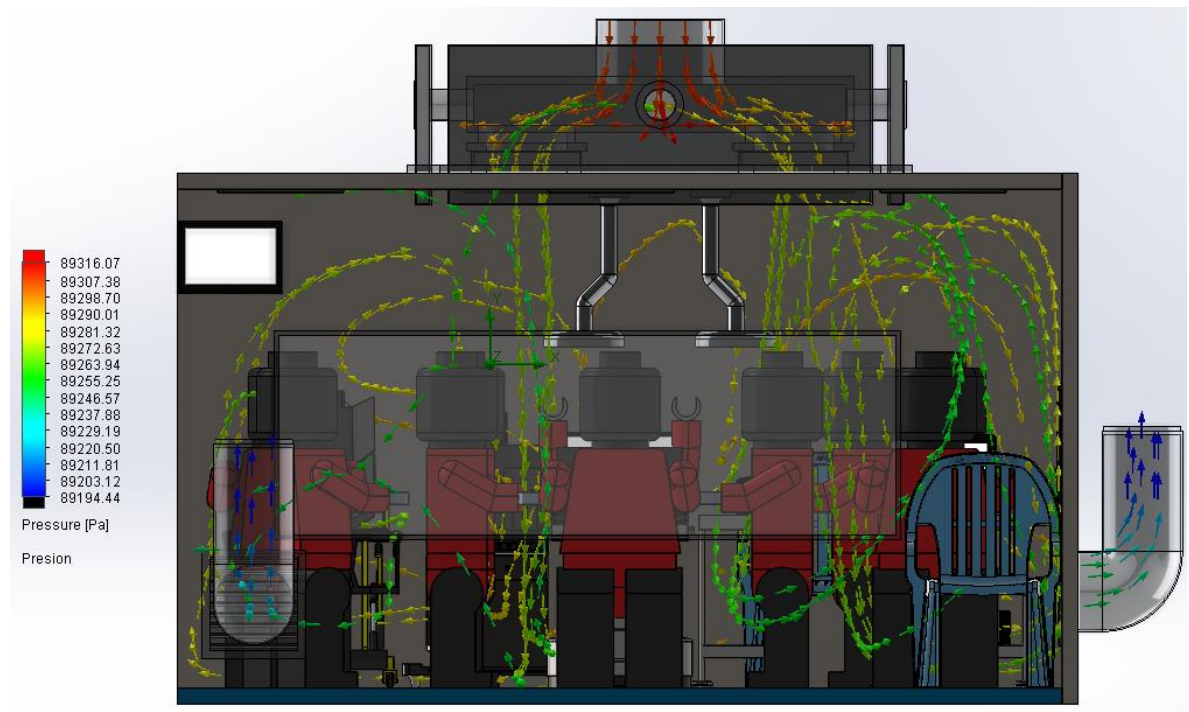
## 6.1 Anexo B



## 6.1 Anexo C



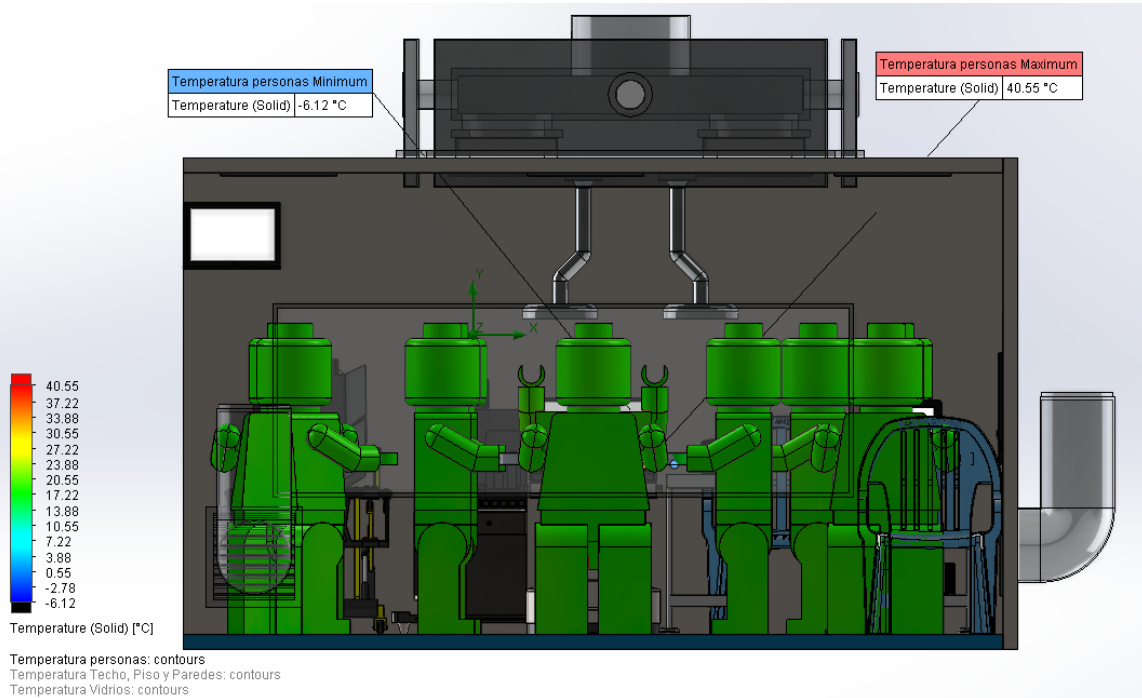
## 6.1 Anexo D



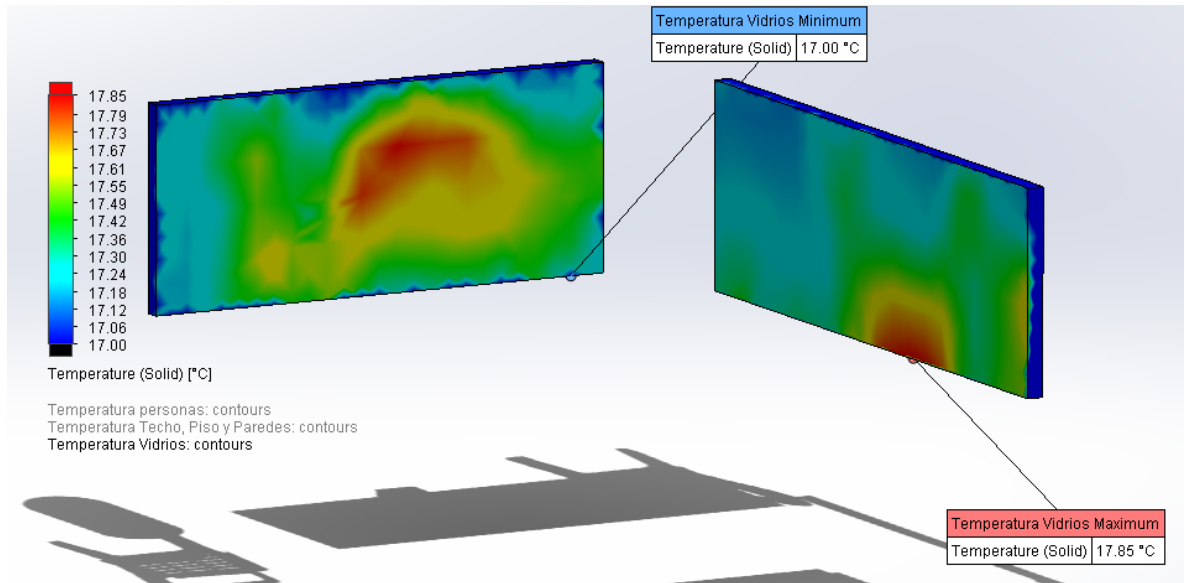
## 6.1 Anexo E



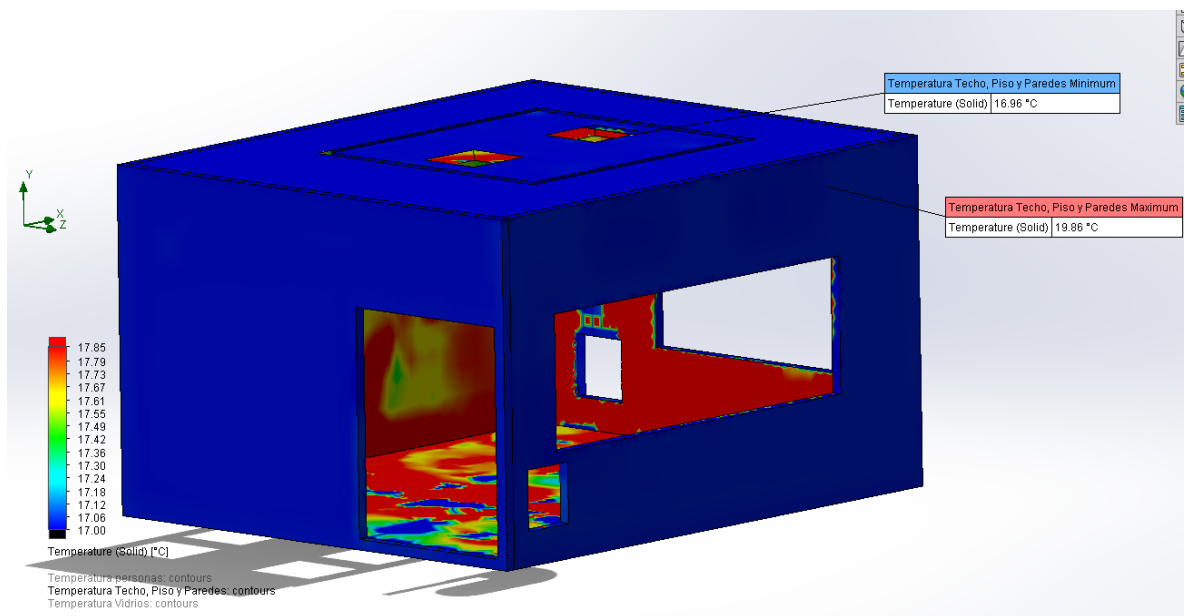
## 6.1 Anexo F



## 6.1 Anexo G



## 6.1 Anexo H



## 7.1 Anexo A

**TECNIFROZEN CLIMATIZACION Y REFRIGERACION DEL VALLE S.A.S.**

**COTIZACION No. 2681**

**Nit 900952777**

POR CONCEPTO DE COTIZACIÓN
----------------------------

CLIENTE	CARLOS SARMIENTO L. & CIA. INGENIO SANCARLOS S.A		
NIT	891900129 6		
DIRECCION	CIUDAD	TELEFONO	
Vía Riofrio km 7 Palomestizo	Tuluá	2351515	

FECHA DOCUMENTO	FORMA DE PAGO	SUCURSAL
lunes, 8 de julio de 2024	Anticipo 50%; excedente a 30 días	

Código	Detalle	Cantidad	U Medida	Valor Unitario	Total
	Equipo Acondicionador de Aire	1,00	Und.	12.980.000	12.980.000
	Suministro de unidad manejadora de 7.5TR enfriada por agua. La presente oferta incluye la entrega de la unidad en el Ingenio San Carlos en Tuluá. La presente es una cotización de suministro, no incluye la instalación y puesta en funcionamiento del equipo.				

Valor en Letras	SUBTOTAL	12.980.000
QUINCE MILLONES CUATROCIENTOS CUARENTA Y SEIS MIL DOSCIENTOS PESOS M/CTE	DESCUENTO	0
	IVA 19%	2.466.200
	TOTAL DOCUMENTO	15.446.200

**Observaciones**  
**Nota: La presente es para suministro de equipos, no incluye instalación.**  
**Garantía: Un año.**

**VALIDÉZ DE LA OFERTA: 15 días.**

Nombre del Representante Legal  
 Cédula  
 Teléfono

Firma \_\_\_\_\_

## 7.1 Anexo B



**COTIZACION No.**

**6439**

**CLIENTE** TECNOFARQUIM S.A.S.

**DIRECCION** CR 64 4D 86

**NIT** 900633301 3

**TELEFONO** 6014142537

**CIUDAD** Bogota D.C.

<b>FECHA DOCUMENTO</b> 22/05/2024	<b>FECHA VENCIMIENTO</b> 06/06/2024	<b>VENDEDOR</b> TATIANA PAOLA ISAZA COGOLLO	<b>FORMA DE PAGO</b> Contado
--------------------------------------	--	--	---------------------------------

Item	Cant.	Und. Med.	Código	Descripción	Vr Unitario	Total
	1,00	Und.	TFQ-FLDO-HEBA-121203-99	FILTRO HEPA 99,99% 12"x12"x3" - 300mmx300mmx70mm. Marco metálico. Sin aleta. Doble malla de protección. Doble empaque. Importado. Larga vida útil. TIEMPO DE ENTREGA INMEDIATA	299.000	299.000
	1,00	Und.	TFQ-FLDO-MPBA-241203-99	FILTRO HEPA 99,99% 24"x12"x3" - 600mmx300mmx70mm. Marco metálico. Sin aleta. Doble malla de protección. Doble empaque. Importado. Larga vida útil. TIEMPO DE ENTREGA INMEDIATA	420.000	420.000
	1,00	Und.	TFQ-FLDO-HEBA-242403-99	FILTRO HEPA 99,99% 24"x24"x3" - 600mmx600mmx70mm. Marco metálico. Sin aleta. Doble malla de protección. Doble empaque. Importado. Larga vida útil. TIEMPO DE ENTREGA INMEDIATA	600.000	600.000
	1,00	Und.	TFQ-FLDO-FHBG-302403-99	FILTRO HEPA 99,99% 30"x24"x3" - 762mmx610mmx70mm. Marco metálico. Sin aleta. Doble malla de protección. Doble empaque. Importado. Larga vida útil. TIEMPO DE ENTREGA . 2 DAÍAS HÁBILES  FORMA DE PAGO CONTADO  NO INCLUYE FLETE FUERA DE BOGOTA	950.000	950.000

<b>SUBTOTAL</b>	<b>2.269.000</b>
<b>DESCUENTO</b>	<b>0</b>
<b>IVA</b>	<b>431.110</b>
<b>TOTAL A PAGAR</b>	<b>2.700.110</b>

Los filtros tienen garantía máxima de 30 días calendario. No tienen garantías por defectos de uso, ni manipulación, ni instalación. Y en caso de ser aceptada la devolución deben conservar su estado de mercancía nueva sin usar y sin instalar. Los filtros hepa tienen garantía de 1 semana y solo habrá cambios por defectos de fabricación y calidad verificada con instrumentación calibrada y certificada. Al recibir la mercancía el Cliente acepta que ha revisado, se encuentra completa y en perfecto estado.

## 8.1 Anexo A



**HOJA DE ESPECIFICACIONES**  
**FCDW-096V-TP-**  
Unidad manejadora de aire para agua helada



***FCDW-096V-TP-***

***Descarga de aire  
vertical***

***3200 CFM***

### ***Características del gabinete***

*Fabricado en lámina de acero galvanizado de gran calibre. Resistente a la corrosión.*

### ***Características del motor-blower***

*Motor eléctrico trifásico de 1.5HP, con consumo nominal de 4.2A/4.2A trabajando a 208/230V con una frecuencia de 60Hz. A 460V, el consumo nominal es de 2.1A.*

### ***Características del serpentín***

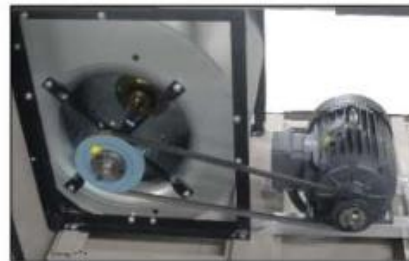
*Serpentín de tubos de cobre con aletas de aluminio, de 14 aletas por pulgadas, 4 filas y 8.0 ft<sup>2</sup> de área de transferencia.*

Características eléctricas y físicas del equipo			
Modelo unidad		FCDW-096V-TP-3	FCDW-096V-TP-4
Capacidad de enfriamiento		BTU/h (TR) 96000 (7.5)	
Fuente de alimentación		V/Ph/Hz 220/3/60 460/3/60	
Unidad Ventilador	No. de motores		1
	Tensión	V	208/230 460
	Corriente	A	4.2/4.2 2.1
	Potencia del motor	HP	1.5
	Velocidad de giro	rpm	1750 1750
Transmisión mecánica		Tipo Por poleas	
Color		Arena	
Dimensiones	Altura	mm	1520
	Ancho	mm	660
	Largo	mm	1345
Peso neto		Unidad	kg 210
Ventilador	Ventilador		Tipo Centrifugo <sup>[1]</sup>
	No. de ventiladores	Cantidad	1
	Dimensiones [D-L]	in	15-15
	Caudal de aire	CFM	3200
	Caída de presión total del aire	in. wg	1.0 <sup>[2]</sup>
Intercambiador de calor	Aplicación		Evaporador
	Tipo		Tubos de cobre con aletas de aluminio
	Área	ft <sup>2</sup>	8.0
	Forma o configuración		Slant
	No. de filas	Cantidad	4
Aletas por pulgada		14	
Información de tuberías	Entrada de agua	in	1-1/4 <sup>[3]</sup>
	Salida de agua	in	1-1/4
	Desagüe	in	1 <sup>[4]</sup>

1. Con aletas curvadas hacia adelante.
2. Se incluye caída de presión externa.
3. Rosca MPT.
4. Rosca MPT.

#### Características generales

- Uso de agua helada como refrigerante.
- Paneles frontales desmontables para mantenimiento.
- Fácil acceso a la caja eléctrica.
- Descarga de aire vertical.



Transmisión por poleas.

## 8.1 Anexo B



### FILTROS DE AIRE HEPA PARA VENTILACIÓN MECÁNICA INDUSTRIAS FARMACÉUTICA, QUÍMICA, COSMÉTICA, ALIMENTOS, PINTURAS



#### Filtro HEPA – Alta eficiencia

Filtración del 99.99% (0.3micras)

Miniplisado

Para salas limpias estériles

Clasifica áreas limpias ISO 5 e ISO 5-B

Marco en Aluminio

Filtros con certificado de calidad

Diversas dimensiones

Doble malla de protección

Doble empaque de neopreno

Usos en laboratorios farmacéuticos, hospitales e industria limpia en general. Salas estériles y preestériles.

Usos en fan filter, filtración

terminal, Equipos de ventilación,

Cabinas de Flujo Laminar,

Bioseguridad.



Realice su pedido a:

[ingenieria.comercial@tecnofarquim.com](mailto:ingenieria.comercial@tecnofarquim.com) – [comercial.1@tecnofarquim.com](mailto:comercial.1@tecnofarquim.com)

Whatsapp: 3115927192 – 3107760367

[www.tecnofarquim.com](http://www.tecnofarquim.com)

Para pagos en la cuenta de ahorros Bancolombia No 38810616391 a nombre de  
TECNOFARQUIM S.A.S. Nit 900.633.301-3

### Filtros Hepa de alta eficiencia

FILTRO	Dimensiones (mm)	Tipo de marco	Eficiencia	Medio filtrante	Caudal (cfm)	Resistencia Inicial in-w	Resistencia Final in-w
Hepa con separador de aluminio	600x600x290	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	2000	1,02	1,8
Hepa con separador de aluminio	600x300x290	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	1000	1,02	1,8
Hepa con separador de aluminio	600x908x150	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	883	0,88	1,8
Hepa con separador de aluminio	600x600x150	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	588	0,88	1,8
Hepa con separador de aluminio	600x450x150	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	441	0,88	1,8
Hepa con separador de aluminio	300x300x150	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	147	0,88	1,8
Hepa con separador de aluminio	1210x600x150	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	1177	0,88	1,8
Hepa miniplisado	600x600x95	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	824	0,64	1,8
Hepa miniplisado	300x600x70	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	294	0,64	1,8
Hepa miniplisado	300x300x70	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	147	0,64	1,8
Hepa miniplisado	350x350x70	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	194	0,64	1,8
Hepa miniplisado	450x450x70	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	329	0,64	1,8
Hepa miniplisado	450x905x70	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	647	0,64	1,8
Hepa miniplisado	508x508x70	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	412	0,64	1,8
Hepa miniplisado	600x600x70	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	588	0,64	1,8
Hepa miniplisado	600x450x70	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	441	0,64	1,8
Hepa miniplisado	600x905x70	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	883	0,64	1,8
Hepa miniplisado	1210x450x70	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	941	0,64	1,8
Hepa miniplisado	1100x600x70	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	1059	0,64	1,8
Hepa miniplisado	1210x600x70	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	1177	0,64	1,8
Hepa miniplisado	600x600x45	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	382	0,64	1,8
Hepa terminal	610x610x150	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	588	0,64	1,8
Hepa terminal	1220x610x150	Aluminio	99,99%	Fibra de vidrio	1177	0,64	1,8
Fan Filter Unit	605x605x250	Acero galvanizado	99,99%	Acero galvanizado	588	0,64	1,8
Fan Filter Unit	1210x610x250	Acero galvanizado	99,99%	Acero galvanizado	1177	0,64	1,8

Realice su pedido a:

[ingenieria.comercial@tecnofarquim.com](mailto:ingenieria.comercial@tecnofarquim.com) – [comercial.1@tecnofarquim.com](mailto:comercial.1@tecnofarquim.com)

Whatsapp: **3115927192 – 3107760367**

[www.tecnofarquim.com](http://www.tecnofarquim.com)

Para pagos en la cuenta de ahorros Bancolombia No 38810616391 a nombre de  
**TECNOFARQUIM S.A.S. Nit 900.633.301-3**

## Certificados de calidad

 <p><b>Nelson Labs.</b> A Sotera Health company</p>	<p style="text-align: right;">Sponsor: Michelle He Guangdong Vite Air Clean System Co., Ltd No.23, Chuangli Road Chang'an Town, Dongguan City GD 523850 CHINA</p>																
<p><b>Bacterial Filtration Efficiency (BFE) and Differential Pressure (Delta P) Final Report</b></p>																	
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Test Article:</td> <td>VTF Methylow nonovents</td> </tr> <tr> <td>Purchase Order:</td> <td>SHLAB2003020003A</td> </tr> <tr> <td>Study Number:</td> <td>1272919-001</td> </tr> <tr> <td>Study Received Date:</td> <td>02 Mar 2020</td> </tr> <tr> <td>Testing Facility:</td> <td>Nelson Laboratories, LLC 6280 S. Redwood Rd. Salt Lake City, UT 84123 U.S.A.</td> </tr> <tr> <td>Test Procedure(s):</td> <td>Standard Test Protocol (STP) Number: STP0004 Rev 18</td> </tr> <tr> <td>Deviation(s):</td> <td>None</td> </tr> </table>		Test Article:	VTF Methylow nonovents	Purchase Order:	SHLAB2003020003A	Study Number:	1272919-001	Study Received Date:	02 Mar 2020	Testing Facility:	Nelson Laboratories, LLC 6280 S. Redwood Rd. Salt Lake City, UT 84123 U.S.A.	Test Procedure(s):	Standard Test Protocol (STP) Number: STP0004 Rev 18	Deviation(s):	None		
Test Article:	VTF Methylow nonovents																
Purchase Order:	SHLAB2003020003A																
Study Number:	1272919-001																
Study Received Date:	02 Mar 2020																
Testing Facility:	Nelson Laboratories, LLC 6280 S. Redwood Rd. Salt Lake City, UT 84123 U.S.A.																
Test Procedure(s):	Standard Test Protocol (STP) Number: STP0004 Rev 18																
Deviation(s):	None																
<p><b>Summary:</b> The BFE test is performed to determine the filtration efficiency of test articles by comparing the bacterial control counts upstream of the test article to the bacterial counts downstream. A suspension of <i>Staphylococcus aureus</i> was aerosolized using a nebulizer and delivered to the test article at a constant flow rate and fixed air pressure. The challenge delivery was maintained at <math>1.7 - 3.0 \times 10^7</math> colony forming units (CFU) with a mean particle size (MPS) of <math>3.0 \pm 0.3 \mu\text{m}</math>. The aerosols were drawn through a six-stage, viable particle, Andersen sampler for collection. This test method complies with ASTM F2101-19 and EN 14683:2019, Annex B.</p> <p>The Delta P test is performed to determine the breathability of test articles by measuring the differential air pressure on either side of the test article using a manometer, at a constant flow rate. The Delta P test complies with EN 14683:2019, Annex C and ASTM F2100-19.</p> <p>All test method acceptance criteria were met. Testing was performed in compliance with US FDA good manufacturing practice (GMP) regulations 21 CFR Parts 210, 211 and 820.</p>																	
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Test Site:</td> <td>Either</td> </tr> <tr> <td>BFE Test Area:</td> <td><math>\sim 40 \text{ cm}^2</math></td> </tr> <tr> <td>BFE Flow Rate:</td> <td>28.3 Liters per minute (L/min)</td> </tr> <tr> <td>Delta P Flow Rate:</td> <td>8 L/min</td> </tr> <tr> <td>Conditioning Parameters:</td> <td>85 <math>\pm</math> 5% relative humidity (RH) and 21 <math>\pm</math> 5°C for a minimum of 4 hours</td> </tr> <tr> <td>Positive Control Average:</td> <td><math>2.8 \times 10^7</math> CFU</td> </tr> <tr> <td>Negative Monitor Count:</td> <td>&lt;1 CFU</td> </tr> <tr> <td>MPS:</td> <td>3.1 <math>\mu\text{m}</math></td> </tr> </table>		Test Site:	Either	BFE Test Area:	$\sim 40 \text{ cm}^2$	BFE Flow Rate:	28.3 Liters per minute (L/min)	Delta P Flow Rate:	8 L/min	Conditioning Parameters:	85 $\pm$ 5% relative humidity (RH) and 21 $\pm$ 5°C for a minimum of 4 hours	Positive Control Average:	$2.8 \times 10^7$ CFU	Negative Monitor Count:	<1 CFU	MPS:	3.1 $\mu\text{m}$
Test Site:	Either																
BFE Test Area:	$\sim 40 \text{ cm}^2$																
BFE Flow Rate:	28.3 Liters per minute (L/min)																
Delta P Flow Rate:	8 L/min																
Conditioning Parameters:	85 $\pm$ 5% relative humidity (RH) and 21 $\pm$ 5°C for a minimum of 4 hours																
Positive Control Average:	$2.8 \times 10^7$ CFU																
Negative Monitor Count:	<1 CFU																
MPS:	3.1 $\mu\text{m}$																
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 40%; text-align: center;">                   Study Director             </td> <td style="width: 20%; text-align: center;">                   James W. Luskin             </td> <td style="width: 40%; text-align: center;">                   12 MAR 2020                  Study Completion Date             </td> </tr> </table>		 Study Director	 James W. Luskin	 12 MAR 2020 Study Completion Date													
 Study Director	 James W. Luskin	 12 MAR 2020 Study Completion Date															
<div style="text-align: center;">                   1272919-001             </div>																	
<p style="font-size: small;">800.796.7326   <a href="http://www.nelsonlabs.com">www.nelsonlabs.com</a>   <a href="mailto:info@nelsonlabs.com">info@nelsonlabs.com</a>   <a href="http://www.nelsonlabs.com">www.nelsonlabs.com</a></p> <p style="font-size: x-small; text-align: right;">STP0004 Rev 18 Page 1 of 2</p>																	

**Realice su pedido a:**  
[ingenieria.comercial@tecnofarquim.com](mailto:ingenieria.comercial@tecnofarquim.com) – [comercial.1@tecnofarquim.com](mailto:comercial.1@tecnofarquim.com)

**Whatsapp: 3115927192 – 3107760367**

**[www.tecnofarquim.com](http://www.tecnofarquim.com)**

**Para pagos en la cuenta de ahorros Bancolombia No 38810616391 a nombre de  
 TECNOFARQUIM S.A.S. Nit 900.633.301-3**





# TARIFAS DE ENERGÍA

## Mercado Regulado



TARIFAS DE ENERGÍA DE EMCALI EICE E.S.P. PARA EL MERCADO REGULADO APLICABLES A CONSUMOS DEL MES : Calculada con CREG-119-07

mayo-2024

SECTORES RESIDENCIAL Y NO RESIDENCIAL-Sin Contribución (CU en \$/ kWh) - RESOLUCIONES CREG 119-2007, 097-2008, 116 y 167-2009, 152-2018, 180-2014, 191-2014, 079-2016 y LEY 1940-2018. CREG-028-2020 y CREG-148-2020. Costo Base de Comercialización Cf= 8892 \$/factura; Cv= 66,4525 \$/kwh; Cprog: \$ 4,474 kwh aplica para mayo 2024 y está dentro de la componente de perdidas PR. Se actualiza en la página WEB el formato de usuarios Autogeneradores y Generadores Distribuidos CREG174-2021.

### CALI, YUMBO Y PUERTO TEJADA

TARIFAS PARA SECTOR RESIDENCIAL (\$/KWh) - NIVEL DE TENSIÓN 1 (Estratos 5 y 6 con Contribución) ; CUV = G+T+D+C+PR+R

Com. E Ind.

Estratos	1		2		3		4	5 y 6	Nivel 1
	1-CS	>-CS	1-CS	>-CS	1-CS	>-CS	Todo consumo		
Sencilla 1 (A)	378,0795	879,4681	472,5994	879,4681	747,5478	879,4681	879,4681	1.055,3617	1.055,3617
Sencilla 1 (C)	359,7241	848,1361	449,6552	848,1361	720,9156	848,1361	848,1361	1.017,7633	1.017,7633
MONOMIAS HORARIAS		Nivel 1 (A)	Nivel 1 (C)	Nivel 2	Nivel 3	CONSUMOS DE SUBSISTENCIAS PARA APLICACIÓN DE SUBSIDIOS			
SENCILLA	Todas Horas: 0-24	879,4681	848,1361	740,0652	673,7591	Municipio	CALI	YUMBO	PTO. TEJADA
	Pico: 09-12, 18-21	883,5683	852,2363	743,8462	677,5188	A.S.N.M.	991	1000	968
DOBLE HORARIA	Fuera de Pico	877,8273	846,4953	738,5521	672,2545	C.S.E.1-2-3	173	130	173
	Máx: 09-12, 18-21	883,5683	852,2363	743,8462	677,5188	C.S.Z.Subnor.	184	138	184
HORARIA Y TRIPLE HORARIA	Med: 4-9, 122-18, 21-23	879,4397	848,1077	740,0390	673,7331	(A) Medición a Nivel 1, Transformador y Red baja tensión propiedad OR			
	Min: 23-04	873,6349	842,3029	734,6861	668,4103	(C) Medición a Nivel 1, Transformador y Red baja tensión propiedad Cliente			

#### COMPONENTE DEL COSTO UNITARIO DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO (Cuv) EN \$/KWh

mayo-2024

CS: 184 KWh Cali y Pto Tejada (Subnormales)

Nivel tensión	Gm	Tm	PRnm	DtUN	Rm	Cvm	Cuv (calculado)	1-CS	>CS
1 (A)	405,6787	47,9633	71,3772	251,4379	36,5585	66,4525	879,4681	312,4468	781,1171
1 (C)	405,6787	47,9633	71,3772	220,1059	36,5585	66,4525	848,1361	CS: 138 KWh Yumbo (Subnormales)	
2	405,6787	47,9633	30,3253	153,0869	36,5585	66,4525	740,0652	1-CS	>CS
3	405,6787	47,9633	27,5906	89,5155	36,5585	66,4525	673,7591		
Subnormal	405,6787	47,9633	71,3772	153,0869	36,5585	66,4525	781,1171	312,4468	781,1171

Resolución UPME-0355 de Julio 08 de 2004. CS = 173 kWh-mes para Municipios a una altura inferior a 1000 metros sobre el nivel del mar.

Año 2008: CS: Consumo de Subsistencia: CS = 130 kWh-mes para Municipios a una altura igual o superior a 1000 metros sobre el nivel del mar.

Resolución UPME-0013 de Enero de 2005, para ZONAS SUBNORMALES. CS = 184 kWh-mes para Municipios a una altura inferior a 1000 metros sobre el nivel del mar.

Año 2008: CS: Consumo de Subsistencia: CS = 138 kWh-mes para Municipio a una altura igual o superior a 1000 metros sobre el nivel del mar.

LA DIRECCIÓN DE COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA LE OFRECE ASESORÍA TÉCNICA Y COMERCIAL EN FORMA PERSONALIZADA

Avenida 2 NORTE 7N-45 CALI, PISO 9o, Teléfonos 889 72 06 - 889 76 23 de Cali



