

**Diseño del sistema de refrigeración para la cámara frigorífica de una necromóvil  
ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga**

Sergio David González Carrillo y Valentina Murillo Gelvez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

David Alfredo Fuentes Diaz

Doctor en tecnología energética

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Ingeniería Mecánica  
Bucaramanga

2026

## DEDICATORIA

### **Sergio David González Carrillo.**

El presente proyecto está dedicado, en primer lugar, a Dios, quien cuidó de mí durante toda mi carrera, desde el proceso de admisión lleno de miedo e incertidumbre hasta las noches en vela desarrollando este trabajo. En cada materia que creí imposible y en cada duda, Él me sostuvo bajo su luz.

Este logro va dedicado a mis padres: a mi madre, Olga Carrillo Gómez, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por cada palabra de aliento y cada lágrima de felicidad; y a mi padre, David González, por su bendición diaria, sus abrazos y su apoyo incondicional en todo mi proceso académico. A mi hermana Tata, mi segunda mano y compañera de vida, gracias por ver en mí al ingeniero que muchas veces yo no lograba ver. Y mi mascota Copito

A mis amistades que se convirtieron en familia: Erika Guevara, Nathalia Vega y el grupo de los “Primos”, por acompañarme en cada etapa, caída y triunfo.

A mi compañera de tesis, Valentina Murillo, por ser mi complemento y fuerza durante la carrera, demostrando que juntos fuimos más grandes que cualquier obstáculo.

A mi abuelita Marina Gómez, mi tía Rubiela, mi primo Andrés y su familia, y mi prima Daniela Barajas, por sus oraciones, apoyo y cariño constante.

Finalmente, este logro honra a mis antepasados y también a mi propio esfuerzo: a los días difíciles, las noches de estudio y las dudas superadas. Hoy entiendo que cada paso valió la pena. Hoy no solo veo a un estudiante, sino a un Ingeniero Mecánico egresado de la Universidad Industrial de Santander.

**Valentina Murillo Gelvez.**

Quiero dedicar este nuevo triunfo profesional a mi madre, Yakeline Gelvez quien me impulsó a lo largo de estos años, transmitiéndome su fuerza y resiliencia para salir adelante, acompañándome en cada momento triste o feliz que pasé durante mi formación académica y la responsable de la idea de este proyecto de grado, como agente de la dirección de tránsito y transporte de Floridablanca y una de las profesionales más admirables para mí. A mi padre, Fernel Murillo quien siempre me orientaba con sus conocimientos en mi carrera y me motivaba a convertirme en una gran profesional, enseñándome la realidad de la industrial y el esfuerzo necesario para lograr mis metas; a ellos les dedico todo mi sacrificio y compromiso que puse en el desarrollo de este proyecto de grado.

A mis mascotas, Blanquita y Kiara, quienes han sido mi motor, mi curita para el alma desde el día uno en que llegaron a mi vida y quienes con su amor, compañía y apoyo incondicional en los momentos difíciles y en las noches de traspasado, me sacaban una sonrisa para nunca rendirme.

A mi nonita, Blanca Quintero de Gelvez quien no pudo ser testigo de esta etapa en mi vida, pero dedicó gran parte de su vida a mi crianza y es la razón de mis valores como ser humado, esa mujer la cual llevaré tatuada en mi piel y corazón toda la vida.

A mis amigos, especialmente a mi compañero de tesis Sergio González, quien fue mi complemento en toda mi carrera y me ayudaba cuando más lo necesitaba, demostrándome el increíble equipo que somos. A mi amiga, María Fernanda Mayorga quien me dio a conocer esta increíble carrera y me apoyó en cada obstáculo, ella es el verdadero reflejo de una amistad sincera.

## AGRADECIMIENTO

Quisiéramos aprovechar este espacio para expresar nuestro agradecimiento a cada una de las personas que hicieron parte de este proceso, incluyendo a la Escuela de Ingeniería mecánica, quienes son los responsables del desarrollo profesional y personal que hemos logrado a lo largo de estos años de carrera. Agradecemos el esfuerzo y compromiso de nuestros padres, quienes siempre nos apoyaron y guiaron por el camino de la excelencia, ellos son la definición del apoyo incondicional que nos hizo posible este gran logro, cada palabra de aliento, cada regaño y cada consejo fue clave fundamental en nuestra formación.

A nuestro director, el profesor David Alfredo Fuentes Diaz quien con mucha vocación paciencia nos orientó a lo largo de este proyecto de grado, mostrándonos su compromiso como docente y compartiendo el gran conocimiento que posee, es un orgullo para nosotros haber sido guiados por él. También al señor Alejandro Becerra Ballesteros, prestando sus servicios como agente de la dirección de tránsito y transporte de Floridablanca por más de 30 años, quien nos explicó y ayudó a entender la funcionalidad e importancia de la Necromóvil en que nos basamos para la elaboración de nuestro proyecto, sin él no hubiera sido posible el inicio de este trayecto.

Hoy nos convertimos en los profesionales que hace unos años soñábamos. Quien imaginaria que en octubre de 2020 sería el comienzo de una gran historia para nosotros, desde el día uno reconocimos nuestro potencial y fuimos testigos de nuestro crecimiento, apoyándonos incondicionalmente. Lo que parecía una ilusión hoy se convierte en una realidad, nos alegra hacer sentir orgullosos a todos a nuestro alrededor y sentirnos orgullosos de ser Ingenieros Mecánicos UIS.

**Tabla de contenido**

Introducción.....	14
1. Planteamiento del problema.....	15
2. Justificación.....	17
3. Objetivos.....	18
3.1. Objetivo general.....	18
3.2. Objetivos específicos.....	18
4. Estado del Arte.....	19
4.1. Conservación de Cadáveres.....	19
4.1.1. Métodos Artificiales.....	19
4.2. Necromóvil.....	19
4.3. Marco Legal del Transporte de Cadáveres.....	20
4.4. Sistema de Refrigeración.....	20
4.4.1. Funcionamiento en Vehículos Refrigerados.....	20
4.5. Software de Simulación ANSYS.....	21
4.5.1. Etapas de trabajo de ANSYS Workbench.....	21
5. Metodología.....	23
5.1. Determinar los parámetros de operación requeridos del sistema de refrigeración para la cámara frigorífica de la necromóvil, considerando normativas y requerimientos térmicos para la conservación de cadáveres.....	23

5.1.1. Recopilación de Normas de Salubridad..... 23

5.1.2. Investigación el Reglamento Técnico de los Sistemas de Refrigeración ..... 24

5.2. Definir las características estructurales de la cámara frigorífica de la necromóvil, considerando la transferencia de calor con el ambiente y su impacto en la conservación adecuada.. ..... 26

5.2.1. Análisis Estructural de la Cámara Frigorífica ..... 26

5.2.2. Estudio de la Transferencia de Calor y Carga térmica ..... 31

5.2.2.1. Cálculos de transferencia de calor ..... 32

5.3. Seleccionar los componentes del sistema de refrigeración de la necromóvil, asegurando que cumplan con los requerimientos de espacio, capacidad térmica y eficiencia energética..... 53

5.3.1. Evaluación de componentes en el mercado..... 54

5.3.2. Definición de la configuración final del sistema de refrigeración seleccionado..... 59

5.4. Verificar las condiciones de climatización del sistema de refrigeración en la cámara de conservación, considerando los parámetros de operación previamente determinados..... 67

5.4.1. Configuración y Simulación del Flujo de Aire en ANSYS..... 67

5.4.2. Identificación de Puntos Críticos y Mejoras del sistema..... 73

6. Trabajos a futuro ..... 74

7. Conclusiones ..... 75

DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE UNA NECROMÓVIL	7
Referencias bibliográficas .....	77
Apéndices .....	80

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Especificaciones del Sistema de Refrigeración de una Necromóvil</i> .....	25
<b>Tabla 2.</b> <i>Especificaciones de construcción de la cámara frigorífica de una Necromóvil - bajo norma</i> .....	28
<b>Tabla 3.</b> <i>Especificaciones de la Necromóvil ubicada en el área metropolitana</i> .....	30
<b>Tabla 4.</b> <i>Materiales de las paredes del furgón</i> .....	34
<b>Tabla 5.</b> <i>Iteración del coef. de transferencia de calor por convección interna de la pared 1</i> .....	42
<b>Tabla 6.</b> <i>Dimensiones del habitáculo</i> .....	54
<b>Tabla 7.</b> <i>Equipos adaptados a las dimensiones del habitáculo en estudio</i> .....	54
<b>Tabla 8.</b> <i>Nuevos valores del flujo de calor, bajo norma</i> .....	56
<b>Tabla 9.</b> <i>Parámetros técnicos de las unidades de refrigeración seleccionadas para el habitáculo</i> .....	58
<b>Tabla 10.</b> <i>Características técnicas de la unidad de refrigeración Serie V 300</i> .....	61

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1.</b> <i>Descripción y alcance del proyecto</i> .....	23
<b>Figura 2.</b> <i>Sección transversal de paredes y techo</i> .....	27
<b>Figura 3.</b> <i>Necromóvil ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga</i> .....	29
<b>Figura 4.</b> <i>CAD de la necromóvil del área metropolitana de Bucaramanga</i> .....	31
<b>Figura 5.</b> <i>División del furgón</i> .....	34
<b>Figura 6.</b> <i>Flujo de calor de la pared</i> .....	35
<b>Figura 7.</b> <i>Camino de resistencias de las paredes 1, 2 y techo</i> .....	36
<b>Figura 8.</b> <i>Camino de resistencias simplificado para las paredes 1, 2 y techo</i> .....	36
<b>Figura 9.</b> <i>Parámetros de entrada para el programa Possol</i> .....	38
<b>Figura 10.</b> <i>Camino de resistencias de la pared 3</i> .....	49
<b>Figura 11.</b> <i>Rediseño de la Necromóvil bajo norma</i> .....	55
<b>Figura 12.</b> <i>Dimensiones del condensador y el evaporador, ThermoKing V 300</i> ....	60
<b>Figura 13.</b> <i>Perfil de perforación del condensador V 300 sobre la pared frontal</i> ...	63
<b>Figura 14.</b> <i>Perfil de perforación del evaporador V 300 sobre el techo</i> .....	64
<b>Figura 15.</b> <i>Líneas de instalación de los componentes del equipo</i> .....	65
<b>Figura 16.</b> <i>CAD de la cámara frigorífica bajo norma</i> .....	68
<b>Figura 17.</b> <i>Mallado de la cámara frigorífica</i> .....	69
<b>Figura 18.</b> <i>Interacción del fluido en la cámara frigorífica</i> .....	70
<b>Figura 19.</b> <i>Vistas de la transferencia de calor en las superficies</i> .....	71
<b>Figura 20.</b> <i>Vistas del comportamiento del aire y variación de la temperatura</i> .....	72

### Lista de Apéndices

<b>Apéndice A.</b> <i>Propiedades termodinámicas del aire</i> .....	80
<b>Apéndice B.</b> <i>Conductividad térmica de la aleación de Al 1060 H12</i> .....	81
<b>Apéndice C.</b> <i>Conductividad térmica del aislante Poliuretano expandido</i> .....	81
<b>Apéndice D.</b> <i>Conductividad térmica del Acero inoxidable</i> .....	82
<b>Apéndice E.</b> <i>Radiación directa, difusa y del reflejo del suelo de la pared 1</i> .....	83
<b>Apéndice F.</b> <i>Absortividad solar y emisividad de la pintura blanca</i> .....	83
<b>Apéndice G.</b> <i>Convección exterior combinada y coeficiente de radiación</i> .....	84
<b>Apéndice H.</b> <i>Radiación directa, difusa y del reflejo del suelo del techo</i> .....	84
<b>Apéndice I.</b> <i>Parámetros para la pared 2</i> .....	85
<b>Apéndice J.</b> <i>Radiación directa, difusa y del reflejo del suelo de la pared 2</i> .....	85
<b>Apéndice K.</b> <i>Cargas térmicas externas</i> .....	86
<b>Apéndice L.</b> <i>Conductividad térmica aleación de Al 6063 - Original</i> .....	86
<b>Apéndice M.</b> <i>Capacidad calorífica de Carne de res (Macro, corte completo)</i> .....	87
<b>Apéndice N.</b> <i>Selección de aleación de aluminio para puerta roll up - Norma</i> .....	87
<b>Apéndice O.</b> <i>Conductividad térmica de aleación de Al 3003 - Norma</i> .....	88
<b>Apéndice P.</b> <i>Perfil de perforación establecidos por el fabricante (ThermoKing)</i> <i>para equipo V 300</i> .....	88
<b>Apéndice Q.</b> <i>Conexión de manguera del modelo V 300</i> .....	89
<b>Apéndice R.</b> <i>Conexiones de cableado del modelo V 300</i> .....	89
<b>Apéndice S.</b> <i>Instalación de la fuente de alimentación – En unidades con reserva</i> <i>eléctrica</i> .....	90
<b>Apéndice T.</b> <i>Parámetros del fluido</i> .....	90

<b>Apéndice U.</b> <i>Parámetros de entrada de aire</i> .....	91
<b>Apéndice V.</b> <i>Parámetros de salida de aire</i> .....	91
<b>Apéndice W.</b> <i>Variables para ejecutar el cálculo de las ecuaciones</i> .....	92
<b>Apéndice X.</b> <i>Definición de parámetros de inicio de cálculos de iteraciones</i> .....	92
<b>Apéndice Y.</b> <i>Definición del comportamiento de cada superficie, en magnitud de la temperatura</i> .....	93
<b>Apéndice Z.</b> <i>Definición de las líneas de corriente de aire, en magnitud de la temperatura</i> .....	93

### Resumen

**Título:** Diseño del sistema de refrigeración para la cámara frigorífica de una necromóvil ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga.

**Autor:** Valentina Murillo Gelvez y Sergio David González Carrillo.

**Palabras clave:** Necromóvil, refrigeración vehicular, cámara frigorífica, carga térmica, simulación CFD.

**Descripción:** Este proyecto de grado presenta el diseño de un sistema de refrigeración para la cámara frigorífica de una necromóvil ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga, con el fin de garantizar la adecuada conservación y transporte de cadáveres conforme a la normativa colombiana vigente. Se realizó el análisis estructural del habitáculo y el cálculo de la carga térmica, considerando las ganancias de calor por transferencia térmica y las cargas internas del sistema. A partir de los resultados obtenidos, se propuso un rediseño de la cámara frigorífica y se seleccionó un sistema de refrigeración vehicular tipo direct drive con respaldo eléctrico que cumple con los requerimientos térmicos y dimensionales. Finalmente, mediante simulación CFD en ANSYS CFX se verificó la distribución del flujo de aire y el cumplimiento de las condiciones de temperatura necesarias para la conservación adecuada de los cuerpos.

---

\*Trabajo de grado

\*\*Faculta de Ingenierías Fisicomécnicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: David Alfredo Fuentes Diaz. Doctor en tecnología energética

### Abstract

**Title:** Design of the refrigeration system for the cold storage chamber of a mortuary vehicle located in the metropolitan area of Bucaramanga.

**Author:** Valentina Murillo Gelvez and Sergio David González Carrillo.

**Keywords:** Mortuary vehicle, vehicle refrigeration, cold storage chamber, thermal load, CFD simulation.

**Description:** This degree Project presents the design of a refrigeration system for the cold storage chamber of a mortuary vehicle located in the metropolitan area of Bucaramanga, in order to ensure the proper preservation and transport of corpses in accordance with current Colombian regulations. A structural analysis of the interior was performed and the thermal load was calculated, considering the heat gains due to thermal transfer and the internal loads of the system. Based on the results obtained, a redesign of the cold storage chamber was proposed and a direct drive vehicle refrigeration system with electrical backup was selected that meets the thermal and dimensional requirements. Finally, CFD simulation in ANSYS CFX verified the distribution of air flow and compliance with the temperature conditions necessary for the proper preservation of the bodies.

---

\*Degree Work

\*\*Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Mechanical Engineering. Director: David Alfredo Fuentes Diaz. Doctor in Energy Technology.

## Introducción

El transporte de cadáveres requiere condiciones térmicas controladas que garanticen su adecuada conservación y el cumplimiento de la normativa sanitaria vigente, la cual establece rangos de temperatura entre 0 °C y 5 °C. En este contexto, las necromóviles deben contar con un diseño estructural y térmico eficiente que permita mantener dichas condiciones durante el traslado, considerando las cargas térmicas internas y externas a las que están sometidas.

En el área metropolitana de Bucaramanga se identificaron deficiencias en el diseño de una necromóvil, particularmente en el aislamiento térmico y en elementos constructivos que afectan la circulación del aire y la eficiencia del sistema de refrigeración. Estas condiciones inciden directamente en la capacidad frigorífica requerida y en el consumo energético del vehículo.

El presente trabajo desarrolla un análisis térmico del habitáculo, estimando la carga térmica total mediante el estudio de los mecanismos de transferencia de calor, infiltraciones y condiciones ambientales. A partir de estos resultados, se evalúa la capacidad del sistema de refrigeración y se plantean recomendaciones técnicas orientadas a mejorar el desempeño térmico del vehículo y garantizar el cumplimiento de los requisitos normativos.

## 1. Planteamiento del problema

Las necromóviles, son aquellos vehículos especializados para el transporte de cadáveres, los cuales deben cumplir un papel importante de garantizar la conservación de los cuerpos en condiciones óptimas durante el traslado. Estos vehículos son utilizados en sedes de tránsito, unidades de investigación policial como la SIJIN, funerarias y hospitales, donde es fundamental mantener condiciones térmicas adecuadas para evitar la descomposición prematura. Para ello, deben contar con sistemas de refrigeración capaces de mantener temperaturas entre 0°C y 5°C, evitando alteraciones en los cuerpos durante el proceso de transporte (Policía Nacional, 2023).

Sin embargo, en algunos casos, estos vehículos operan con sistemas de refrigeración que no cumplen con los estándares requeridos, ya sea por falta de mantenimiento, antigüedad de los equipos o el uso de sistemas inadecuados. Se ha identificado que algunas necromóviles funcionan con sistemas de aire acondicionado convencionales en lugar de sistemas de refrigeración especializados, lo que limita su capacidad térmica y solo permite temperaturas entre 15°C y 18°C, insuficientes para la correcta preservación de los cuerpos.

La inoperatividad o el mal desempeño de estos sistemas de refrigeración afecta la logística en la conservación y traslado de los cuerpos, lo que genera inconvenientes en procedimientos legales y sanitarios. En Colombia, la normatividad vigente establece requisitos específicos para el diseño y operación de estos vehículos, incluyendo sistemas de refrigeración independientes y eficientes para evitar la descomposición prematura de los cadáveres (Policía Nacional, 2023).

Ante esta problemática, se propone el diseño de un sistema de refrigeración para una necromóvil. Este diseño incluirá la selección de componentes adecuados para garantizar el

cumplimiento de los requerimientos térmicos y espaciales del vehículo. Además, mediante simulaciones computacionales en ANSYS, se evaluará la distribución del aire y el desempeño del sistema antes de su posible implementación. Con este estudio se busca presentar una solución técnica fundamentada y replicable, que pueda ser considerada por la entidad responsable para la puesta en operación del vehículo.

## 2. Justificación

El presente proyecto surge de la necesidad de corregir las deficiencias del sistema de refrigeración empleado en una necromóvil ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga, las cuales impiden mantener las condiciones térmicas requeridas para la adecuada conservación de los cuerpos durante su traslado. En la práctica, el uso de sistemas de aire acondicionado convencionales y/o equipos con bajo desempeño térmico ha demostrado ser insuficiente para alcanzar y sostener temperaturas entre 0 °C y 5 °C, lo que conlleva riesgos sanitarios, posibles inconvenientes legales y el incumplimiento de la normativa vigente en Colombia. Por esta razón, resulta necesario el desarrollo de una solución que permita garantizar un control térmico confiable y acorde con las exigencias de operación de este tipo de vehículos.

Desde el punto de vista ingenieril, el diseño de un sistema de refrigeración específico para una necromóvil permite realizar un dimensionamiento adecuado de la capacidad frigorífica, considerando las cargas térmicas reales asociadas al funcionamiento del vehículo, tales como la transferencia de calor a través del ambiente y las infiltraciones de aire durante las operaciones de carga y descarga. Asimismo, el empleo de herramientas de simulación computacional como ANSYS posibilita analizar el comportamiento térmico y la distribución del aire en el compartimiento, reduciendo la incertidumbre del diseño y asegurando el desempeño del sistema antes de su implementación.

Adicionalmente, este trabajo se desarrolla para aportar una base técnica y metodológica replicable, que sirva como referencia en el diseño y adecuación de sistemas de refrigeración en vehículos similares. Asimismo, contribuye al cumplimiento de la normativa y fortalece las prácticas de ingeniería aplicadas a sistemas térmicos en este tipo de vehículos.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo general**

Diseñar el sistema de refrigeración para la cámara frigorífica de una necromóvil ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga, para la conservación y transporte de cadáveres.

#### **3.2. Objetivos específicos**

Determinar los parámetros de operación requeridos del sistema de refrigeración para la cámara frigorífica de la necromóvil, considerando normativas y requerimientos térmicos para la conservación de cadáveres.

Definir las características estructurales de la cámara frigorífica de la necromóvil, considerando la transferencia de calor con el ambiente y su impacto en la conservación adecuada.

Seleccionar los componentes del sistema de refrigeración de la necromóvil, asegurando que cumplan con los requerimientos de espacio, capacidad térmica y eficiencia energética.

Verificar las condiciones de climatización del sistema de refrigeración en la cámara de conservación, considerando los parámetros de operación previamente determinados.

## 4. Estado del Arte

### 4.1. Conservación de Cadáveres

Los métodos de preservación de cadáveres han venido evolucionando durante el transcurso del tiempo, incorporando nuevas técnicas de conservación. Estos métodos se clasifican de en: Naturales y Artificiales, siendo estos últimos el tema principal de nuestro análisis.

#### 4.1.1. *Métodos Artificiales*

Los métodos artificiales se basan en técnicas no naturales diseñadas para la conservación de cadáveres. Entre ellos está el embalsamamiento y la refrigeración.

**4.1.1.1. Refrigeración.** Es un método artificial que mantiene el cadáver en condiciones de frío dentro de una cámara frigorífica, similar a la congelación, pero de manera controlada, ajustando parámetros específicos como la temperatura interna de la cámara, que suele oscilar entre 2°C a 5°C para la conservación adecuada de los cuerpos y el nivel de humedad relativa se recomienda mantenerse alrededor del 85% para evitar deshidratación (Shenyang Roundfin Technology, 2023).

### 4.2. Necromóvil

Una necromóvil es un tipo de vehículo usado para el transporte de cadáveres, empleados principalmente en operativos de criminalística y atención de accidentes. Su función principal es garantizar el manejo adecuado y seguro de los cuerpos, cumpliendo con protocolos de bioseguridad y facilitando el trabajo de las autoridades forenses. Este tipo de vehículos son utilizados por Instituto Nacional de Medicina Legal, la Policía Nacional (SIJIN

y DIJIN), la fiscalía general de la Nación y algunas Sedes de Transito (Noticias Caracol, 2014).

### **4.3. Marco Legal del Transporte de Cadáveres**

Los cadáveres en Colombia, independientemente de su causa de muerte, deben ser trasladados y manipulados siguiendo todas las precauciones y normas de bioseguridad, ya que se consideran potencialmente infectantes. Esto permite reducir los riesgos y prevenir enfermedades en el personal encargado de su manipulación y transporte (Consultorsalud, 2013).

La ley 9 de 1979, por medio del artículo 529 establece las condiciones para el traslado de un cadáver dentro del territorio nacional, teniendo en cuenta factores como el tiempo de traslado, el medio de transporte (necromóvil) y los requisitos que deberán cumplir este tipo de vehículos, con el fin de garantizar la correcta preservación de los cadáveres.

### **4.4. Sistema de Refrigeración**

Los sistemas de refrigeración se componen de dispositivos mecánicos que emplean las propiedades termodinámicas para transferir el calor entre dos o más puntos, con el objetivo principal de reducir la temperatura de una cámara destinada a almacenar alimentos, compuestos químicos o materiales específicos.

#### ***4.4.1. Funcionamiento en Vehículos Refrigerados***

El sistema de refrigeración en este tipo de vehículos funciona como un circuito cerrado. Iniciando por el compresor, donde el refrigerante en estado gaseoso es comprimido y enviado al condensador, ubicado sobre el remolque. Allí, el refrigerante se enfría y se convierte en líquido mediante un flujo de aire forzado. El líquido refrigerado, atraviesa una

válvula de expansión que reduce su presión antes de pasar por el evaporador, donde vuelve a su estado gaseoso al absorber el calor del aire. Finalmente, el aire enfriado se distribuye dentro de la caja del camión para mantener la temperatura deseada (Dickman, 2020).

Además, actualmente existen dos tipos de unidades de refrigeración aplicables para vehículos. La primera corresponde a las unidades propulsadas por motor diésel independiente, las cuales operan autónomamente aun cuando el vehículo está apagado, lo que constituye una de sus principales ventajas. Sin embargo, presentan un tamaño robusto, por lo que suelen emplearse en camiones pesados o autobuses.

La segunda opción corresponde a los sistemas direct drive, los cuales operan mediante la energía mecánica suministrada por el motor del vehículo a través de una polea conectada al compresor. Estos equipos suelen complementarse con un sistema stand-by eléctrico que permite su funcionamiento cuando el vehículo está detenido, y se utilizan comúnmente en vehículos de menor tamaño (Thermo King, 2025).

#### **4.5. Software de Simulación ANSYS**

Este programa ofrece la capacidad avanzada de CFD para lograr la simulación de un flujo de fluidos y transferencia de calor. Incluye diferentes módulos especializados para análisis de fluidos, como externos, internos, multifásicos y de alta velocidad. Cuenta con varios sistemas de análisis dependiendo de las necesidades de estudio (Centers, 2026).

##### ***4.5.1. Etapas de trabajo de ANSYS Workbench***

Consta de cinco etapas fundamentales para la ejecución del modelado.

- **Geometry:** Cumple la función de crear o importa los modelos en 2D/3D dependiendo de la necesidad, definiendo la forma física y simplificándola.

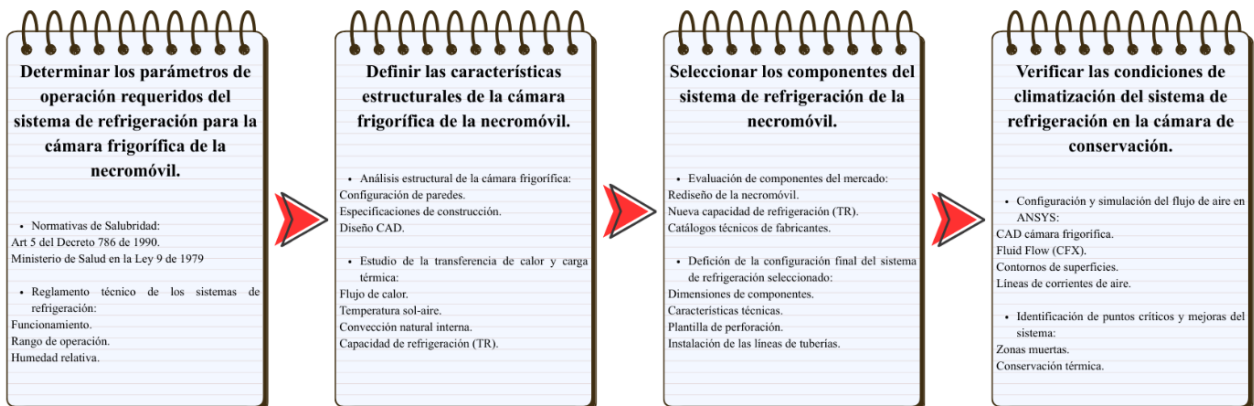
- **Mesh:** Etapa fundamental para el reconocimiento del espacio por medio del mallado, un proceso de división de geometría en figuras pequeñas (tetraedros, hexaedros), se puede modificar el número de nodo de malla para mejorar la precisión. También se definen las superficies límites por las que circulará el flujo.
- **Set Up:** Se definen las condiciones físicas de cada elemento o superficie del sistema, configurando parámetros como temperaturas, velocidades del fluido, presiones, materiales, calor transferido, etc.
- **Solution:** Se definen el número de iteraciones de la simulación (entre más iteraciones, más precisión) para la ejecución del cálculo numérico según las condiciones iniciales y obtener los resultados.
- **Results:** Después de finalizado el cálculo numérico, se observan y analizan los datos resultantes, como contornos de cada superficie y las interacciones con el fluido, definiendo la magnitud física de estudio (Temperatura, velocidad, densidad, transferencia de calor, etc).

## 5. Metodología

A continuación, se detallan las fases y actividades que se ejecutaron para alcanzar los objetivos establecidos:

**Figura 1**

*Descripción y alcance del proyecto*



### 5.1. Determinar los parámetros de operación requeridos del sistema de refrigeración para la cámara frigorífica de la necromóvil, considerando normativas y requerimientos térmicos para la conservación de cadáveres.

#### 5.1.1. Recopilación de Normas de Salubridad

Las necromóviles son vehículos especializados para garantizar la adecuada preservación de los cadáveres durante su traslado desde el lugar de los hechos hasta el sitio donde se practique la autopsia. Este procedimiento permite determinar la causa de muerte y obtener la información necesaria para la expedición del certificado de defunción, conforme a lo establecido en el artículo 5 del Decreto 786 de 1990.

De acuerdo con el artículo 6 del mismo decreto, el transporte de un cadáver en necromóvil se realiza principalmente en casos de muertes violentas, como homicidios, suicidios y accidentes de tránsito. Por tal motivo, estos vehículos deben cumplir con los requisitos de refrigeración necesarios para conservar el cuerpo durante el traslado. La ausencia de estas condiciones puede provocar una acelerada descomposición cadavérica, afectando el desarrollo de la autopsia y aumentando el riesgo de agentes infecciosos.

Si durante el proceso de traslado y manejo de los cuerpos no se aplican las medidas de prevención sanitaria establecidas por el Ministerio de Salud de la nación (2011) establece que los cadáveres pueden convertirse en focos de transmisión de enfermedades de origen bacteriano o viral hacia el personal. Entre las patologías de mayor riesgo se encuentran la hepatitis, el VIH, la tuberculosis y diversas enfermedades diarreicas.

En este sentido, una cámara frigorífica que carece de un adecuado acondicionamiento es un entorno propicio para la persistencia de bacterias y virus dentro del habitáculo. Estos agentes patógenos pueden sobrevivir por periodos prolongados cuando el aire permanece estancado y sin ventilación, lo cual es frecuente en este tipo de vehículos. (Dantherm Group, 2025).

### ***5.1.2. Investigación el Reglamento Técnico de los Sistemas de Refrigeración***

Con base en la normativa colombiana relacionada con la elaboración de especificaciones técnicas para la adquisición de vehículos (Anexos Policía Nacional, 2025), las necromóviles deben estar dotadas de un sistema de refrigeración que cumpla con los siguientes parámetros:

**Tabla 1***Especificaciones del Sistema de Refrigeración de una Necromóvil*

<b>Sistema de Refrigeración</b>	
<b>Funcionamiento</b>	Independiente
<b>Energía eléctrica</b>	12 V a 24 V
<b>Rango de operación</b>	Entre 0 y 5 °C
<b>Humedad relativa</b>	85 %
<b>Peso máximo</b>	52 kg
<b>Condensador</b>	No debe ser mayor a 92x75x25 cm, ubicado de forma horizontal sobre la superficie del habitáculo.
<b>Modos de carga</b>	Baterías AGM y carga corriente exterior.
Debe contar con un sistema de autochequeo para facilitar el mantenimiento.	

*Nota:* Especificaciones de la norma para el habitáculo de cadáveres.

La Tabla 1 reúne los parámetros de operación que deben cumplir los sistemas de refrigeración instalados en las necromóviles, con el fin de asegurar condiciones adecuadas de conservación durante el traslado de cuerpos, estableciendo límites en temperatura, peso, dimensiones y modos de operación.

Estos sistemas de refrigeración están diseñados para garantizar la preservación de los cadáveres, manteniendo rangos de temperaturas acordes con los lineamientos sanitarios. La independencia del sistema al vehículo establece el funcionamiento continuo, lo cual es crucial para el traslado y así asegurar una refrigeración constante en la cámara.

**5.2. Definir las características estructurales de la cámara frigorífica de la necromóvil, considerando la transferencia de calor con el ambiente y su impacto en la conservación adecuada.**

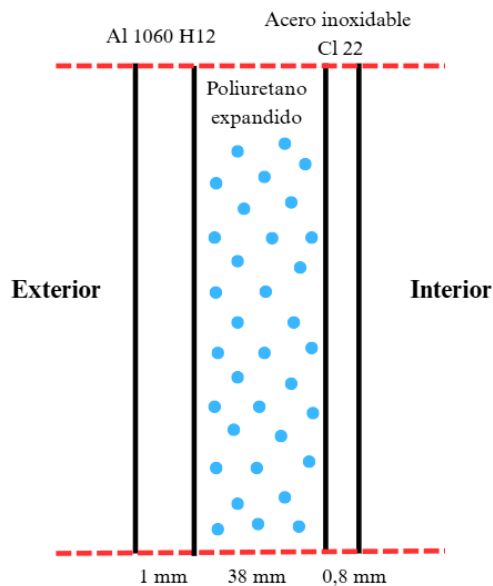
**5.2.1. *Análisis Estructural de la Cámara Frigorífica***

De acuerdo con los anexos establecidos para la construcción de una necromóvil, el furgón se instala sobre el platón original del vehículo, con una altura mínima de 1080 mm y un largo de 2000 mm, conservando el ancho original del platón. El furgón se encuentra fabricado mediante perfiles estructurales de aleación de aluminio AA6005-T5, unidos por soldadura, y revestido exteriormente con láminas de aluminio de 1,0 mm, aleación 1060-H12, recubiertos de pintura blanca de poliuretano.

Las paredes y el techo presentan una configuración tipo panel sándwich como se muestra en la figura 2, compuesta por una lámina exterior de aluminio 1060-H12, una capa intermedia de aislamiento térmico de poliuretano de alta densidad con un espesor de 38 mm y una lámina interior de acero inoxidable calibre 22; por su parte el piso del habitáculo se encuentra recubierto con aluminio extruido antideslizante.

**Figura 2**

*Sección transversal de paredes y techo*



La necromóvil se encuentra dividida en dos recámaras: la primera corresponde a la cámara frigorífica, destinada al transporte de los cuerpos; la segunda, a un compartimento para herramientas, donde se almacenan los empaques de los cuerpos, los elementos de bioseguridad necesarios para el levantamiento y otros implementos útiles para la recolección de evidencias en la zona de intervención. Adicionalmente, el sistema de refrigeración se ubica específicamente en la cámara frigorífica.

El habitáculo de cadáveres debe contar con las siguientes características, establecidas en la siguiente tabla:

**Tabla 2**

*Especificaciones de construcción de la cámara frigorífica de una Necromóvil - bajo norma*

<b>Estructura Interna</b>	Dos niveles fijos (Superior e inferior).
<b>Materiales</b>	Aleación de Aluminio 1060 H12 de 1 mm y Acero inoxidable calibre 22.
<b>Aislante térmico</b>	Fibra de vidrio, poliuretano de alta densidad o lamina de poliestireno de 38 mm.
<b>Bandeja de cadáveres</b>	Longitud de 2 metros y profundidad de 10 a 15 cm.
<b>Bastidor</b>	Acero inoxidable 304 Tipo 2B.
<b>Modo de carga</b>	El habitáculo cuenta con un sistema de carga tipo rodillos, para bandejas.
<b>Dimensiones mínimas</b>	Largo: 1900 mm Ancho: 1200 mm Alto: 1000 mm
<b>Puerta trasera</b>	Sistema roll-Up o manija, aluminio, sello hermético y cerradura de seguridad.

*Nota:* Especificaciones de la norma para el habitáculo de cadáveres.

La Tabla 2 presenta las características constructivas del habitáculo destinado a los cadáveres en la necromóvil. Estas especificaciones contemplan tanto los materiales de fabricación como los sistemas de aislamiento térmicos y las dimensiones mínimas internas, garantizando condiciones adecuadas de conservación y manipulación durante su traslado.

Estas características nos permiten identificar los materiales que intervienen en la transferencia de calor dentro del habitáculo, lo cual es clave para el cálculo de la carga térmica y el diseño del sistema de refrigeración. Asimismo, las dimensiones mínimas establecidas por la norma proporcionan criterios para la correcta distribución del espacio.

Como parte del análisis del diseño del sistema de refrigeración de la cámara frigorífica, se tomó como objeto de estudio una necromóvil ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga, la cual presenta las siguientes características:

- **Marca:** Nissan 2013
- **Clase:** Camioneta
- **Dimensiones:** largo de 2370 mm, ancho 1835 mm y altura de 1650 mm
- **Cilindraje:** 2488 cc
- **Peso Bruto:** 2740 kg
- **Tipo de carrocería:** Cabinado

**Figura 3**

*Necromóvil ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga*



La figura 3 muestra las medidas de la necromóvil en estudio. Sus dimensiones y características estructurales se ajustan a lo establecido en la normativa vigente, garantizando tanto la capacidad de carga como la adecuada instalación del habitáculo de refrigeración. De esta forma, las medidas señaladas en la imagen funcionan como referente para el posterior dimensionamiento del diseño CAD.

En cuanto a la cámara frigorífica, se realizaron mediciones en su interior empleando instrumentos métricos como el metro y el pie de rey. Además, se empleó elementos de

bioseguridad, tales como guantes y tapabocas, con el fin de evitar el contacto directo en el habitáculo y así garantizar condiciones seguras durante la toma de datos.

**Tabla 3**

*Especificaciones de la Necromóvil ubicada en el área metropolitana*

<b>Estructura Interna</b>	Dos niveles fijos (Superior e inferior)
<b>Materiales</b>	Aleación de Aluminio 1060 H12 de 1 mm y Acero inoxidable CL 22.
<b>Aislante térmico</b>	Fibra de vidrio, poliuretano de alta densidad o lamina de poliestireno de 38 mm.
<b>Bandeja de cadáveres</b>	Longitud de 2,02 metros, ancho de 66,5 cm y profundidad de 10 cm.
<b>Bastidor</b>	Acero inoxidable 304 Tipo 2B.
<b>Modo de carga</b>	El habitáculo cuenta con un sistema deslizante, para bandejas.
<b>Dimensiones mínimas</b>	Largo: 2314 mm Ancho: 785 mm Alto: 1554 mm
<b>Puerta trasera</b>	Sistema roll-Up o manija, aluminio, sello hermético y cerradura de seguridad.

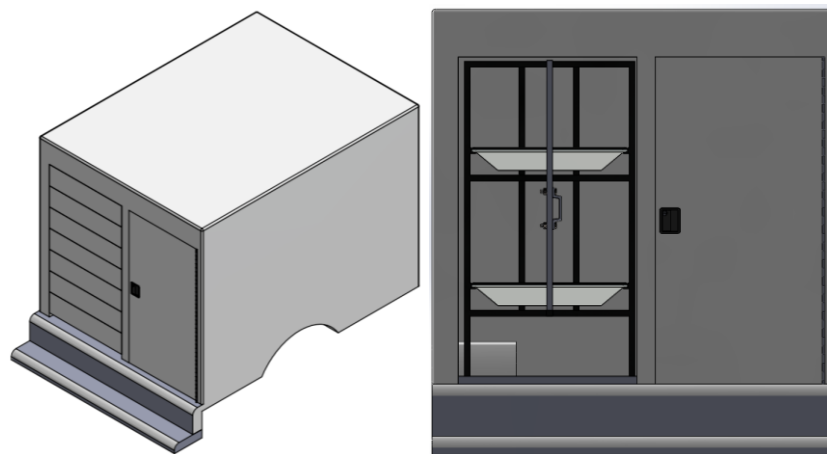
En la tabla 3 se evidencian las dimensiones de la cámara frigorífica de nuestro objeto de estudio, el diseño en su gran mayoría está adaptado bajo las normas técnicas de construcción de una necromóvil, con la diferencia de que el método de carga y descarga de las bandejas es deslizante, contrario al sistema de rodillos establecido por la norma y además las dimensiones del ancho del habitáculo es inferior a la establecida con una diferencia de 415 mm, el cual limita el espacio para elementos del sistema de refrigeración como el evaporador, la causa de estas diferencias se atribuye a la antigüedad del vehículo y/o a la carencia de conocimiento técnico al momento de su montaje y construcción.

Con las medidas obtenidas de la carrocería de la necromóvil se procedió a elaborar el diseño CAD por medio del programa SolidWorks, con el propósito de comprender su

dimensionamiento, visualizar la distribución de los espacios destinados a los elementos de refrigeración y disponer de una base métrica precisa para la realización de los cálculos de transferencia de calor y cargas térmicas.

#### **Figura 4**

*CAD de la necromóvil del área metropolitana de Bucaramanga*



*Nota: Creado en Solidworks*

Como se observa en la Figura 4, las medidas obtenidas de manera física fueron representadas en el diseño CAD, en el cual se detallan las dimensiones de la Necromóvil, conformada por la cámara frigorífica, el compartimento de herramientas, el bastidor, las bandejas para el transporte de los cadáveres y la puerta de acceso a las dos habitaciones.

#### **5.2.2. Estudio de la Transferencia de Calor y Carga térmica**

Se determinó la carga térmica y la transferencia de calor del sistema, considerando fuentes de calor internas, como los cuerpos e infiltraciones, así como fuentes externas, incluyendo la ganancia de calor a través de las paredes, radiación térmica y la radiación solar. Estas serán evaluadas con base en la conducción, convección y radiación que presenta la necromóvil.

### 5.2.2.1. Cálculos de transferencia de calor.

✓ Convección externa  $h_{ext}$ :

Primeramente, se definió realizar el estudio con el vehículo en movimiento en dirección al norte, definiendo una velocidad máxima del vehículo de 60 Km/h, con el objetivo de tener la mayor transferencia de calor del ambiente exterior en condiciones críticas. También, se determinó una temperatura ambiente de 30°C a las 12:00:00 del día, considerada como la mayor temperatura alcanzada a esa hora donde el sol se encuentra en su punto más alto de la trayectoria (Weather Spark, s.f.).

$$T_{\infty_{ext}} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U = 60 \frac{\text{Km}}{\text{h}} = 16,66 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L = 2,37 \text{ m}$$

#### Propiedades termodinámicas:

Se obtuvieron por medio de las Tablas y diagramas de propiedades (Sistema Internacional), Apéndice A, Tabla A-15 Propiedades del aire a la Presión de 1 atm.

$$\rho = 1,164 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$k = 0,02588 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}$$

$$\nu = 1,608 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr = 0,7282$$

Seguido se halló el número de Reynolds y así clasificar el régimen de flujo externo (laminar o turbulento).

$$Re_L = \frac{U * L}{\nu} \rightarrow Re_L = \frac{16,66 \frac{m}{s} * 2,37 m}{1,608 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 2455485,075$$

$$Re_L = 2,455 * 10^6 \text{ (Turbulento)}$$

Finalmente se halló el  $h_{ext}$ , por medio de la correlación de Nusselt para flujo turbulento sobre una placa plana.

$$Nu_L = \frac{h_{ext} * L}{k} = [0,037 * Re_L^{0,8} - 871] * Pr^{1/3}$$

$$Nu_L = [0,037 * (2,455 * 10^6)^{0,8} - 871] * (0,7282)^{1/3}$$

$$Nu_L = 3524,89 = \frac{h_{ext} * L}{k} \rightarrow h_{ext} = \frac{3524,89 * 0,02588 \frac{W}{m * K}}{2,37 m}$$

$$h_{ext} = 38,491 \frac{W}{m^2 * K}$$

✓ Transferencia de calor en paredes y techo  $q_{TOTAL}$ :

Para hallar el calor total transferido al interior del habitáculo, se tuvo en cuenta el calor por convección ( $q_{cv}$ ) transferida del ambiente exterior, la conducción de calor ( $q_{cd}$ ) en las paredes y la radiación ( $q_{rad}$ ) con respecto a los cambios de posición del sol a lo largo del día con ayuda del programa Possol.

Se realizaron los cálculos en tres paredes, puerta y en el techo (el área superficial que cubre la parte de la cámara frigorífica), como lo recomienda la norma. También se asumió el

piso aislado, ya que la cámara está sobre el platón, entonces entre el chasis del vehículo y el platón existe un espacio de corriente de aire que actúa como aislante térmico.

$$q_{TOTAL} = q_{cv} + q_{cd} + q_{rad} + q_{rad\ solar}$$

### Figura 5

#### *División del furgón*



*Nota:* Necromóvil de estudio, ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga

Las paredes están conformadas por los siguientes materiales que se detallan en la Tabla 4, los cuales representan las capas estructurales del furgón y la cámara frigorífica que intervienen en el proceso de transferencia de calor.

### Tabla 4

#### *Materiales de las paredes del furgón*

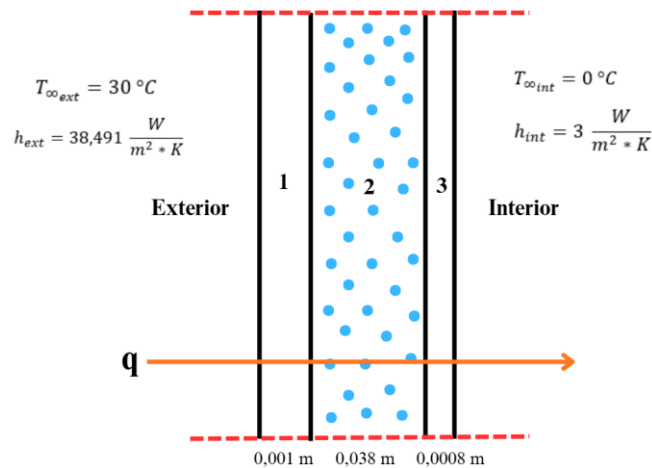
	<b>Material</b>	<b>Espesor [m]</b>	<b>Conductividad térmica [W/m*K]</b>
<b>1</b>	Aluminio 1060 H12	0,001	230
<b>2</b>	Poliuretano expandido	0,038	0,023
<b>3</b>	Acero Inoxidable	0,0008	15,6

Como se evidencia en la Tabla 4, se identifican los materiales que conforman cada capa de las paredes, junto con su respectivo espesor y conductividad térmica. Estos valores fueron obtenidos a partir de la información consignada en los apéndices B, C y D del documento.

En la Figura 6, se presenta el diagrama del flujo de calor en las paredes. Este esquema permite visualizar el recorrido del calor a través de las diferentes capas que componen la estructura, facilitando el análisis de las resistencias térmicas involucradas.

**Figura 6**

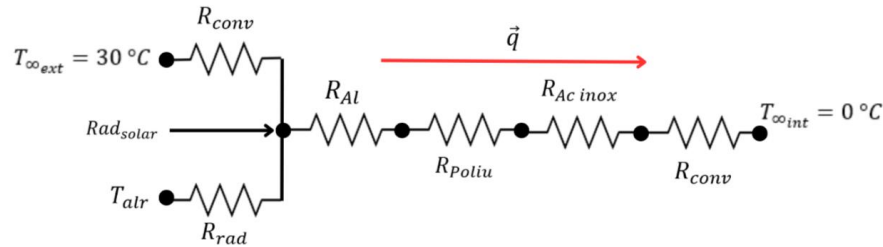
*Flujo de calor de la pared*



Se estableció el camino de resistencias térmicas para la pared 1, pared 2 y techo, los cuales son las superficies que reciben los efectos de radiación solar, radiación térmica con los alrededores y convección exterior.

**Figura 7**

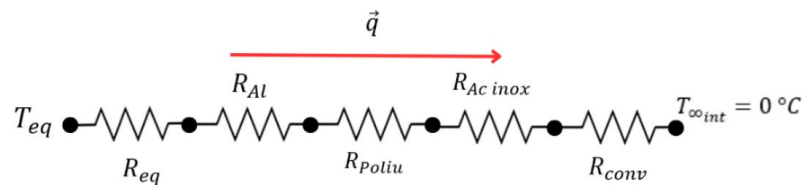
*Camino de resistencias de las paredes 1, 2 y techo*



De acuerdo con la Figura 7, se emplea la temperatura sol-aire con el propósito de incorporar, de manera simplificada, los efectos combinados de la radiación solar, la radiación térmica con los alrededores y la convección exterior, permitiendo representar estos fenómenos mediante una temperatura exterior equivalente para el cálculo del flujo de calor por conducción.

**Figura 8**

*Camino de resistencias simplificado para las paredes 1, 2 y techo*



- Pared 1:

Se definió las condiciones ambientales al interior de la cámara frigorífica y las exteriores anteriormente calculadas.

$$T_{\infty_{int}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$h_{int} = 3 \frac{W}{m^2 * K} \rightarrow \text{Asumido}$$

$$A_{supfurgón} = 3,823 m^2$$

$$A_{supcámara} = 3,506 m^2$$

### Flujo de calor:

Con base en el diagrama de resistencias térmicas (Figura 7), se halló la temperatura equivalente con la siguiente ecuación, obtenida del libro *Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado: Análisis y Diseño*, Capítulo 8 – La Carga de enfriamiento (pág. 256):

$$T_{eq} = T_o + \frac{\alpha * G_t}{h_o} - \frac{\varepsilon * \delta R}{h_o}$$

Definiendo cada variable y teniendo en cuenta que el revestimiento exterior de la pared (Lamina de Al 1060 H12) tiene una cobertura de pintura blanca:

- Radicación solar:

Se usó el Software Possol para calcular la radiación directa, difusa y reflejada del suelo, a cada hora del día. Teniendo en cuenta los parámetros geográficos de latitud y longitud correspondientes al área metropolitana de Bucaramanga (Figura 9). Además, para el análisis se tomó como referencia el día de máxima radiación solar, correspondiente al 21 de julio del 2025. Finalmente, se evaluó la orientación de la pared 1 con respecto al eje horizontal (90°) y su ángulo de inclinación respecto al sur en sentido antihorario (90°).

**Figura 9**

*Parámetros de entrada para el programa Possol*

*Nota:* Tomada de Software Possol

Como resultado, se obtuvieron los tres valores de radiación en cada hora. La sumatoria de las tres radiaciones (directa, difusa y reflejo del suelo) corresponde a la irradiación solar y se observó que el mayor valor se presentó a las 15:00:00 p.m. (Apéndice E).

$$G_t = G_b + G_d + G_r = 453,14 + 135,86 + 76,65$$

$$G_t = 665,65 \frac{W}{m^2}$$

De la pintura blanca que cubre el exterior de las paredes, se halló la absorptividad de la superficie, es decir, la cantidad de energía absorbida por radiación y la emisividad que corresponde a la emisión de radiación de la superficie. Estos valores se tomaron de la Tabla 1 (Ockfen, 2025) que se encuentra en el Apéndice F:

$$\alpha = 0,2$$

$$\varepsilon = 0,09$$

De acuerdo con la emisividad de la pintura, se halló la convección exterior combinada y coeficiente de transferencia de radiación, de la Tabla 5-2 del libro *Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado: Análisis y Diseño*. Se tuvo en cuenta el aire en movimiento en cualquier posición, en verano y cualquier dirección del flujo de calor debido a que se analizó la necromóvil en movimiento.

$$h_o = 22,7 \frac{W}{m^2 * K} \rightarrow \text{Apéndice G}$$

- Radiación térmica con los alrededores:

El término de la corrección de la radiación térmica, generalmente se tiene un valor de 0 °F (0°C) para superficies verticales (Faye C. McQuiston, 2003).

$$\frac{\varepsilon * \delta R}{h_o} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ya teniendo los términos de la ecuación de la temperatura equivalente o mejor conocida como temperatura sol-aire, se calculó:

$$T_{eq} = 30 \text{ } ^\circ\text{C} + \frac{0,2 * 665,65 \frac{W}{m^2}}{22,7 \frac{W}{m^2 * K}} - 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{eq} = 35,86 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se calcula el flujo de calor total de la pared 1:

$$\vec{q} = \frac{T_{eq} - T_{\infty_{int}}}{R_{eq} + R_{Al} + R_{poliu} + R_{Ac\ inox} + R_{conv_{int}}}$$

$$\vec{q} = \frac{T_{eq} - T_{\infty_{int}}}{\frac{1}{h_{ext} * A_{sup_{fur}}} + \frac{e_1}{k_1 * A_{sup_{fur}}} + \frac{e_2}{k_2 * A_{sup_{cám}}} + \frac{e_3}{k_3 * A_{sup_{cám}}} + \frac{1}{h_{int} * A_{sup_{cám}}}}$$

$$\vec{q} = \frac{35,86 - 0}{\frac{1}{38,491 * 3,823} + \frac{0,001}{230 * 3,823} + \frac{0,038}{0,023 * 3,506} + \frac{0,0008}{15,6 * 3,506} + \frac{1}{3 * 3,506}}$$

$$\vec{q} = 62,57 \text{ W}$$

#### Convección natural:

A partir del calor total obtenido, se determinó la temperatura superficial necesaria para calcular el coeficiente de transferencia de calor interno. Dado que inicialmente se había asumido un valor estimado de  $h_{int}$ , fue necesario realizar un proceso iterativo para ajustar dicho coeficiente. Este cálculo se efectuó teniendo en cuenta una pared vertical con temperatura constante.

$$L_{int} = 1,544 \text{ m}$$

$$q_{TOTAL} = h_{int} * A_{sup_{cámara}} * (T_s - T_{\infty_{int}})$$

$$62,57 \text{ W} = 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} * 3,506 \text{ m}^2 * (T_s - 0)$$

$$T_s = 5,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se calculó la temperatura de las propiedades características del proceso de convección natural y, a partir de esta, se determinaron las propiedades termo físicas del aire, como la

conductividad térmica ( $k$ ), la viscosidad cinemática ( $\nu$ ) y el número de Prandtl ( $Pr$ ), extraídos de la Tabla A -15.

$$T_{propiedades} = \frac{T_{\infty_{int}} + T_s}{2} = \frac{0 + 5,95}{2} = 2,975 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow \text{Apéndice A}$$

$$k = 0,0239 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$\nu = 1,364 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr = 0,735$$

Posteriormente, se determinó el número de Rayleigh, para lo cual fue necesario calcular el coeficiente de expansión térmica ( $\beta$ ).

$$\beta_{gases\ ideales} = \frac{1}{T_p + 273} = \frac{1}{2,975 + 273} = 3,624 * 10^{-3} \frac{1}{K}$$

$$Gr_L = \frac{g * \beta * (T_s - T_{\infty_{int}})}{\nu^2} * L^3$$

$$Gr_L = \frac{9,81 * (3,624 * 10^{-3}) * (5,95 - 0)}{(1,364 * 10^{-5})^2} * (1,544)^3$$

$$Gr_L = 4,184 * 10^9$$

$$Ra_L = Gr_L * Pr = (4,184 * 10^9) * 0,735$$

$$Ra_L = 3,077 * 10^9$$

Se calculó el número de Nusselt teniendo en cuenta la fórmula correspondiente a una placa vertical, y a partir de este valor se determinó el coeficiente de transferencia de calor

interno ( $h_{int}$ ). Con dicho valor, se continuó el proceso iterativo hasta obtener variaciones mínimas entre los coeficientes internos.

$$Nu_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * Ra_L^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * (3,077 * 10^9)^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{0,735} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu_L = 175,045 = \frac{h_{int} * L}{k} \rightarrow h_{int} = \frac{(175,045) * 0,0239}{1,544}$$

$$h_{int} = 2,705 \frac{W}{m^2 * K}$$

Teniendo el coeficiente de transferencia de calor por convección interna, se recalculó a partir del camino de resistencias con la nueva  $h_{int}$  (Figura 8). En la tabla 5 se muestra la iteración del cálculo, se determinó el coeficiente de convección interna y la temperatura superficial interna.

**Tabla 5**

*Iteración del coef. de transferencia de calor por convección interna de la pared 1*

<b>h</b> [W/m <sup>2</sup> *K]	<b>Flujo de calor</b> [W]	<b>Ts</b> [°C]	<b>Gr</b>	<b>Ra</b>	<b>Nu</b>	<b>h</b> [W/m <sup>2</sup> *K]
3	62,57	5,95	4,184E+09	3,077E+09	175,05	2,705
2,705	61,48	6,47	4,533E+09	3,333E+09	179,47	2,776
2,776	61,74	6,34	4,445E+09	3,269E+09	178,38	2,758
2,758	61,67	6,38	4,469E+09	3,286E+09	178,68	2,763
2,763	61,69	6,37	4,462E+09	3,282E+09	178,59	<b>2,762</b>

Dando como resultado un flujo de calor de 61,69 W;  $h_{int} = 2,762 \frac{W}{m^2k}$  y una temperatura superficial de 6,368 °C.

- Techo:

Para el cálculo de la transferencia de calor a través del techo, se tomó en cuenta exclusivamente el área correspondiente a la cámara frigorífica, ya que en este espacio se encuentra instalado el sistema de refrigeración. La sección restante corresponde al compartimento de herramientas, el cual no interviene en el proceso térmico. Con base en esta aclaración, se establecieron las siguientes dimensiones y parámetros iniciales para el desarrollo de los cálculos:

$$T_{\infty_{int}} = 0^{\circ}\text{C}$$

$$h_{int_{hab}} = 2,762 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}$$

$$A_{sup_{furg}} = 2,126 \text{ m}^2$$

$$A_{sup_{cam}} = 1,816 \text{ m}^2$$

La composición del techo es la misma que la pared 1 y sus especificaciones se pueden evidenciar en la Tabla 4.

Flujo de calor:

El techo presenta un diagrama de resistencias térmicas igual al mostrado en la Figura 7; por lo tanto, la temperatura equivalente del sistema se determinó de manera similar que para la pared 1, sin embargo, el componente de radiación térmica con los alrededores se presenta positivo debido a que existe contacto directo con el sol.

$$T_{eq} = T_o + \frac{\alpha * G_t}{h_o} + \frac{\varepsilon * \delta R}{h_o}$$

- Radiación Solar

El cálculo de radiación solar se efectuó mediante el programa *Possol* al igual que la pared 1, esta vez teniendo en cuenta parámetros específicos del techo de la necromóvil como su inclinación de  $0^\circ$  y el acimut de  $0^\circ$ .

Como resultado, se obtuvieron los valores de radiación directa, difusa y reflejo del suelo para cada hora del día. La suma de estas tres contribuciones corresponde a la irradiación solar total, identificándose que el valor máximo se presenta a las 12:00:00 p.m. (Apéndice H).

$$G_t = G_b + G_d + G_r = 761,99 + 160,97 + 0$$

$$G_t = 922,96 \frac{W}{m^2}$$

El techo presenta un recubrimiento con pintura blanca, al igual que el resto de las paredes; por lo tanto, los valores de absorptividad a la radiación y emisividad se tomaron de la Tabla 1 (Ockfen, 2025).

$$\alpha = 0,2$$

$$\varepsilon = 0,09$$

Para el techo se adoptaron los mismos criterios de análisis térmico-aplicados a la pared 1 por lo tanto el coeficiente de transferencia de calor por convección exterior y radiación se obtuvo del apéndice G, considerando el aire en movimiento y condiciones de operación en verano, coherentes con la necromóvil en desplazamiento.

$$h_o = 22,7 \frac{W}{m^2 * K} \rightarrow \text{Apéndice G}$$

- Radiación térmica con los alrededores:

El término de corrección por radiación térmica se tomó el valor recomendado para superficies horizontales, de acuerdo con la referencia técnica. (Faye C. McQuiston, 2003).

$$\frac{\varepsilon * \delta R}{h_o} = 3,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Teniendo definido los términos de la ecuación de la temperatura equivalente se calculó su valor:

$$T_{eq} = 30 \text{ } ^\circ\text{C} + \frac{0,2 * 922,96 \frac{W}{m^2}}{22,7 \frac{W}{m^2 * K}} + 3,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{eq} = 42,03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Una vez determinada la temperatura equivalente, se estableció el camino de resistencias térmicas correspondiente al techo. Siguiendo el esquema simplificado presentado en la Figura 8, se calculó el flujo de calor transferido desde el ambiente exterior hacia el interior de la cámara frigorífica a través de esta superficie.

$$\vec{q} = \frac{T_{eq} - T_{\infty int}}{R_{eq} + R_{Al} + R_{poliu} + R_{Ac inox} + R_{conv int}}$$

$$\vec{q} = \frac{T_{equi} - T_{\infty int}}{\frac{1}{h_{ext} * A_{sup fur}} + \frac{e_1}{k_2 * A_{sup fur}} + \frac{e_2}{k_2 * A_{sup cám}} + \frac{e_3}{k_3 * A_{sup cám}} + \frac{1}{h_{int} * A_{sup cám}}}$$

$$\vec{q} = \frac{42,03 - 0}{\frac{1}{38,491 * 2,126} + \frac{0,001}{230 * 2,126} + \frac{0,038}{0,023 * 1,816} + \frac{0,0008}{15,6 * 1,816} + \frac{1}{2,762 * 1,816}}$$

$$\vec{q} = 37,48 \text{ W}$$

- Pared 2:

De la totalidad de la pared frontal del furgón se tomó en cuenta la sección correspondiente al habitáculo, para su análisis térmico y con las siguientes dimensiones.

$$A_{sup_{furg}} = 1,480 \text{ m}^2$$

$$A_{sup_{cam}} = 1,212 \text{ m}^2$$

Flujo de calor:

Siguiendo el camino de resistencia térmica correspondiente a figura 8, se determinó el flujo de calor transferido de la misma manera que en la pared 1.

- Radicación solar:

Se usó nuevamente el Software Possol para calcular la radiación directa, difusa y reflejo del suelo, a cada hora del día. Esta vez se evaluó la orientación de la pared 2 con respecto al eje horizontal  $90^\circ$  y su ángulo de inclinación respecto al sur  $0^\circ$  (Apéndice I).

Como resultado, se obtuvieron los tres valores de radiación en cada hora. La sumatoria de las tres radiaciones (directa, difusa y reflejo del suelo) corresponde a la irradiación solar y se observó que el mayor valor se presentó a las 12:00:00 p.m. (Apéndice J).

$$G_t = G_b + G_d + G_r = 0 + 67,44 + 45,94$$

$$G_t = 113,38 \frac{W}{m^2}$$

Anteriormente se determinaron los valores de absorptividad y emisividad de la pintura blanca. También se usó el mismo coeficiente de convección exterior combinada:

$$\alpha = 0,2$$

$$\varepsilon = 0,09$$

$$h_o = 22,7 \frac{W}{m^2 * K} \rightarrow \text{Apéndice G}$$

- Radiación térmica con los alrededores:

El término de la corrección de la radiación térmica, generalmente se tiene un valor de 0 °F (0°C) para superficies verticales (Faye C. McQuiston, 2003).

$$\frac{\varepsilon * \delta R}{h_o} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ya teniendo los términos de la ecuación de la temperatura equivalente o mejor conocida como temperatura sol-aire, se calculó:

$$T_{eq} = 30 \text{ } ^\circ\text{C} + \frac{0,2 * 113,38 \frac{W}{m^2}}{22,7 \frac{W}{m^2 * K}} - 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{eq} = 30,99 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ya habiendo obtenido el coeficiente de transferencia de calor interna (descrito en la pared 1), se calcula el flujo de calor:

$$\vec{q} = \frac{T_{eq} - T_{\infty_{int}}}{R_{eq} + R_{Al} + R_{poliu} + R_{Ac\ inox} + R_{conv_{int}}}$$

$$\vec{q} = \frac{T_{eq} - T_{\infty_{int}}}{\frac{1}{h_{ext} * A_{sup_{fur}}} + \frac{e_1}{k_1 * A_{sup_{fur}}} + \frac{e_2}{k_2 * A_{sup_{cám}}} + \frac{e_3}{k_3 * A_{sup_{cám}}} + \frac{1}{h_{int} * A_{sup_{cám}}}}$$

$$\vec{q} = \frac{30,99 - 0}{\frac{1}{38,491 * 1,480} + \frac{0,001}{230 * 1,480} + \frac{0,038}{0,023 * 1,212} + \frac{0,0008}{15,6 * 1,212} + \frac{1}{2,762 * 1,212}}$$

$$\vec{q} = 18,45 W$$

- Pared 3:

Se definió las condiciones ambientales del interior del cuarto de herramientas, así como las propiedades de la pared 3.

$$T_{\infty_{CH}} = 27^{\circ}C \rightarrow \text{Temp dentro del cuarto de herramientas}$$

$$h_{int_{CH}} = 8,29 \frac{W}{m^2 * K} \rightarrow \text{Tabla 3.4 de cargas térmicas externas (Apéndice K)}$$

$$h_{int_{hab}} = 2,762 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$T_{\infty_{int}} = 0^{\circ}C$$

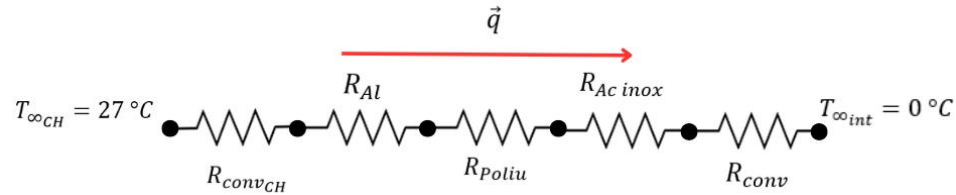
$$A_{sup} = 3,506 m^2$$

#### Flujo de calor:

Debido a que la pared 3 no presenta efectos de radiación solar o de alrededores, al encontrarse ubicada en el interior de la necromóvil, se estableció el camino de resistencias térmicas correspondiente para dicha pared y se determinó el flujo de calor transferido desde el cuarto de herramientas hacia el interior de la cámara frigorífica.

**Figura 10**

Camino de resistencias de la pared 3



$$\vec{q} = \frac{T_{eq} - T_{\infty int}}{R_{CH} + R_{Al} + R_{poliu} + R_{Ac\ inox} + R_{conv int}}$$

$$\vec{q} = \frac{T_{\infty CH} - T_{\infty int}}{\frac{1}{h_{intCH} * A_{sup}} + \frac{e_1}{k_2 * A_{sup}} + \frac{e_2}{k_2 * A_{sup}} + \frac{e_3}{k_3 * A_{sup}} + \frac{1}{h_{int hab} * A_{sup}}}$$

$$\vec{q} = \frac{27 - 0}{\frac{1}{8,29 * 3,506} + \frac{0,001}{230 * 3,506} + \frac{0,038}{0,023 * 3,506} + \frac{0,0008}{15,6 * 3,506} + \frac{1}{2,762 * 3,506}}$$

$$\vec{q} = 44,34 \text{ W}$$

- Pared 4 (Puerta):

Se determinó que el material empleado en la puerta de la cámara frigorífica de la necromóvil corresponde a una aleación de aluminio 6063 T5, seleccionada por sus propiedades de resistencia al viento, la corrosión y la humedad, condiciones presentes dentro del habitáculo. Este material es comúnmente utilizado en puertas tipo roll-up, debido a su durabilidad y buen desempeño en entornos exigentes (Mecanizado CNC, 2022).

$$k = 218 \frac{W}{m^2 * K} \rightarrow \text{Apéndice L}$$

A partir de las mediciones efectuadas, se determinó el área total y el espesor correspondiente a la puerta, datos fundamentales para el análisis de transferencia de calor.

$$A_{suppuert} = 1,212 \text{ m}^2$$

$$e = 4 \text{ mm}$$

$$h_{int_{hab}} = 2,762 \frac{W}{\text{m}^2 * K}$$

#### Flujo de calor:

Para el cálculo de calor en la puerta solo se tuvo en cuenta la transferencia de calor por convección, ya que, para calcular las cargas térmicas de un espacio, la carga por paredes requiere de mínimo 3 superficies en donde se tome en cuenta la radiación solar, térmica y la convección (Pared 1, pared 2 y techo). Además, la puerta no tiene contacto directo con la luz solar y sus efectos, porque hay una distancia entre la superficie posterior del furgón y la puerta, dejándola oculta por las paredes 1, 3 y techo.

$$\vec{q} = \frac{T_{\infty_{ext}} - T_{\infty_{int}}}{\frac{1}{h_{\infty_{ext}} * A_{suppuert}} + \frac{e_{puert}}{k_{puert} * A_{sup}} + \frac{1}{h_{int} * A_{suppuert}}}$$

$$\vec{q} = \frac{30 - 0}{\frac{1}{38,491 * 1,212} + \frac{0,004}{218 * 1,212} + \frac{1}{2,762 * 1,212}}$$

$$\vec{q} = 93,69 \text{ W}$$

#### ✓ Cargas térmicas:

Una vez determinados los flujos de calor en cada una de las paredes que conforman el habitáculo, se procedió al cálculo de las cargas térmicas totales. Este análisis permitió

establecer los componentes y la capacidad del sistema de refrigeración necesarios para garantizar las condiciones térmicas requeridas, considerando las cargas aportadas por paredes, techo, cadáveres e infiltraciones de aire.

- Paredes y Techo:

$$Q_{paredes} = q_1 + q_T + q_2 + q_3 + q_4$$

$$Q_{paredes} = 61,69 \text{ W} + 37,48 \text{ W} + 18,45 \text{ W} + 44,34 \text{ W} + 93,69 \text{ W}$$

$$Q_{paredes} = 255,65 \text{ W}$$

- Cadáveres:

Se usó la siguiente ecuación para calcular el calor suministrado por los cadáveres en el habitáculo.

$$Q_{cadáveres} = m_c * C_{p_c} * \Delta T$$

De acuerdo con el Anexo 03 Necromóvil, el peso máximo del cuerpo humano que pueden soportar las bandejas sin deformarse es igual a 120 Kg y se multiplicó por la cantidad de cadáveres máximo que se puede contener en el habitáculo de la necromóvil.

$$m_c = 2 \text{ cadáveres} * 120 \text{ Kg} = 240 \text{ Kg}$$

Dado que no existen normas ni referencias oficiales sobre el calor específico de los cadáveres humanos, se optó por utilizar como referencia comparativa la carne tipo “beef round (lean, full cut)”, debido a su composición y contenido de agua similares al tejido muscular humano, lo que permite una aproximación adecuada para los cálculos térmicos.

$$C_{p \text{ antes del punto de cong}} = 2,18 \frac{KJ}{Kg * K} \rightarrow \text{Tabla 3. Prop de alimentos (Apéndice M)}$$

$$Q_{\text{cadáveres}} = 240 \text{ Kg} * 2,18 \frac{KJ}{Kg * K} * (310 - 273) \text{ K} = 19358,4 \text{ KJ}$$

Se determinó un tiempo de 2 horas, establecido como el periodo mínimo de permanencia de un cadáver en la cámara durante el proceso de recepción y traslado a la morgue. Este parámetro se tomó como condición de diseño para calcular la carga térmica aportada por los cadáveres en ese tiempo.

$$Q_{\text{cadáveres}} = \frac{19358,4 \text{ KJ}}{2 \text{ Hrs}} = \frac{19358,4 \text{ KJ}}{7200 \text{ seg}} = 2,6886 \text{ KW} = 2688,6 \text{ W}$$

- Infiltraciones:

Se consideraron las infiltraciones de aire exterior que se producen durante la apertura de la puerta tipo roll-up en las operaciones de carga y descarga de cuerpos.

$$Q_{\text{inf}} = \frac{Vol_{\text{int}}}{t} * \rho_{\text{aire}} * C_{p \text{ aire}} * \Delta T$$

$$Vol_{\text{int}} = 2,314 \text{ m} * 0,785 \text{ m} * 1,544 \text{ m} = 2,804 \text{ m}^3$$

$$t = 2 \text{ horas} = 7200 \text{ seg}$$

$$\rho_{\text{aire}@0^\circ\text{C}} = 1,292 \frac{Kg}{m^3}$$

$$C_{p \text{ aire}@0^\circ\text{C}} = 1006 \frac{J}{Kg * K}$$

$$Q_{\text{inf}} = \frac{2,804 \text{ m}^3}{7200 \text{ seg}} * 1,292 \frac{Kg}{m^3} * 1006 \frac{J}{Kg * K} * (303 - 273) \text{ K}$$

$$Q_{inf} = 15,185 W$$

Finalmente se realizó la suma de todas las cargas térmicas previamente calculadas, con el propósito de obtener el valor total de calor generado dentro del habitáculo. A partir de este resultado, se determinó la capacidad de refrigeración necesaria, expresada en toneladas de refrigeración, para garantizar que la unidad frigorífica cumpla con los requerimientos térmicos del sistema.

$$Q_{TOTAL} = Q_{paredes} + Q_{cadáveres} + Q_{infiltraciones}$$

$$Q_{TOTAL} = 255,65 W + 2688,6 W + 15,185 W = 2959,44 W$$

$$Q_{TOTAL} = \frac{2,959 KW}{3,517} = 0,841 TR$$

**5.3. Seleccionar los componentes del sistema de refrigeración de la necromóvil, asegurando que cumplan con los requerimientos de espacio, capacidad térmica y eficiencia energética.**

Para el proceso de selección del equipo de refrigeración se consideraron las condiciones operativas del vehículo, así como los lineamientos establecidos en la norma, particularmente los temas relacionados con el tamaño, peso, tipo de funcionamiento, modo de carga y rango de temperatura.

Con base a la teoría, el sistema de refrigeración tipo: *direct drive* resulta el más adecuado para la necromóvil, dado que es un sistema que cumple con las restricciones de tamaño y peso establecidos en la norma vigente. Adicionalmente, los sistemas *direct drive* disponibles actualmente incorporan baterías auxiliares, que permiten su operación de manera

independiente al motor del vehículo cuando este se encuentre apagado, garantizando la continuidad del proceso de refrigeración.

### 5.3.1. Evaluación de componentes en el mercado.

Inicialmente se evidenció que una de las dimensiones del habitáculo no cumplía con la normativa de diseño. No obstante, se realizaron los cálculos con el propósito de mostrar las afectaciones que se pueden presentar, debido a que se generan inconvenientes al momento de la búsqueda del equipo, ya que no habrá un evaporador que se adapte a esas dimensiones internas y a su vez, satisfacer la carga de enfriamiento resultante. En la tabla 6, se comparan las dimensiones del habitáculo bajo norma y las tomadas por la necromóvil ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga.

**Tabla 6**

*Dimensiones del habitáculo*

Magnitud [mm]	Mínimas según norma	Tomadas de la Necromóvil de estudio
Largo	1900	2314
Ancho	1200	785
Alto	1000	1544

**Tabla 7**

*Equipos adaptados a las dimensiones del habitáculo en estudio*

Fabricante	Serie	Capacidad de refrigeración con motor del vehículo [Watts]	Capacidad de refrigeración en modo Stand[Watts]	Dimensiones de evaporador [cm]
Thermo King	V -100	1665 W	975 W	60,8x49x18,7
	V-100 MAX	2080 W	1260 W	60,8x49x18,7
King Clima	K-260-S	2050 W	1020W	61,0x55,0x17,5

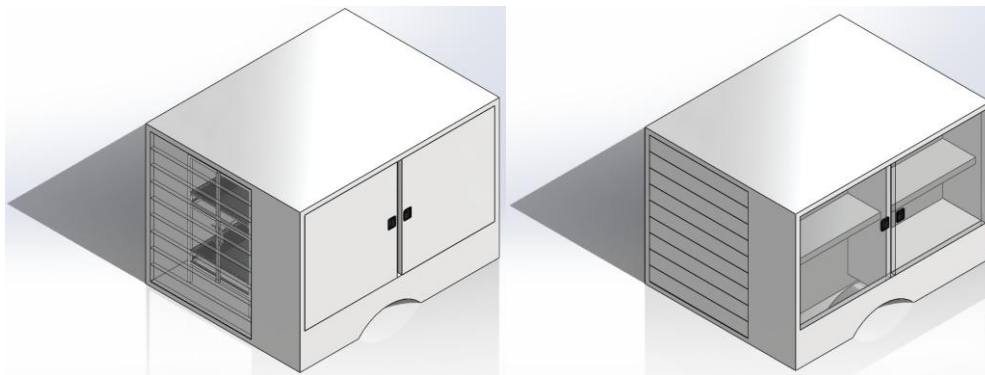
*Nota:* Tomado de catálogos: Thermo King y King Clima

En la Tabla 7 se presentan los evaporadores que se acomodan al espacio del habitáculo. Sin embargo, la capacidad de refrigeración de las tres opciones abarca menos de la capacidad requerida (2959,44 W) para llegar a la temperatura de conservación, volviéndolo un diseño poco favorecedor para el correcto funcionamiento.

De acuerdo con lo anterior, se optó por rediseñar el espacio del habitáculo, aumentando su ancho al mínimo requerido por la norma técnica de diseño (1200 mm). Debido a esto, al cuarto de herramientas también se le realizaron modificaciones reduciendo el ancho a 467 mm para respetar la dimensión total de la carrocería. Para no afectar la funcionalidad del cuarto de herramientas se propuso una mejor distribución del espacio, moviendo el acceso al costado de la carrocería y dividiéndolo en cuatro compartimientos, para su total aprovechamiento.

### Figura 11

*Rediseño de la Necromóvil bajo norma*



*Nota: Creado en Solidworks*

En la figura 11 se contempla el nuevo diseño de la necromóvil adecuándolo bajo la norma. Se conservó el mecanismo roll-Up de la puerta del habitáculo, sin embargo, se mejoró su composición añadiéndole aislante térmico entre dos placas de aleación de aluminio (tipo

sándwich) para disminuir la transferencia de calor al interior, ya que la puerta original no contaba con ello. Según la empresa Whiting Door Colombia especializada en instalación y fabricación de puertas roll-Up para camiones o furgones, se escogió la Puerta Cold Saver, considerada la mejor alternativa para refrigerados y se definió la Aleación de aluminio 3003 (Apéndice N) para las dos placas de 0,070 pulgadas (1,778 mm) extruidas a 38 mm, que será el espacio destinado al aislante térmico (poliuretano expandido).

$$k_{Al\ 3003} = 162 \frac{W}{m^2 * K} \rightarrow \text{Apéndice O}$$

$$q_4 = \frac{30 - 0}{\frac{1}{38,491 * 1,852} + \frac{0,001778}{162 * 1,852} + \frac{0,038}{0,023 * 1,852} + \frac{0,001778}{162 * 1,852} + \frac{1}{2,762 * 1,852}}$$

$$q_4 = 27,23\ W$$

Teniendo en cuenta las anteriores modificaciones se recalcularon todos los flujos de calor y coeficientes de transferencia en cada superficie alterada (Techo, pared 2 y pared 4) por la ampliación del espacio. Siguiendo el mismo procedimiento de cálculo de la sección 5.2, se obtuvieron los siguientes valores de la Tabla 8:

**Tabla 8**

*Nuevos valores del flujo de calor, bajo norma*

Superficies	Área [m <sup>2</sup> ]		Coeficiente de transferencia de calor por convección interna [W/m <sup>2</sup> *K]	Flujo de calor Total [W]	Temperatura superficial [°C]
	Externa	Interna			
Pared 1	3,823	3,506		61,69	6,368
Techo	3,109	2,771		57,16	7,469
Pared 2	2,164	1,852	2,762	28,18	5,509
Pared 3	3,506	3,506		44,34	4,791
Pared 4	1,852	1,852		27,23	5,323

Teniendo todos los flujos de calor generadas en cada pared se halló la nueva capacidad de refrigeración, recalculando el calor por infiltración por el aumento de volumen interno.

$$Vol_{int} = 2,314 \text{ m} * 1,2 \text{ m} * 1,544 \text{ m} = 4,287 \text{ m}^3$$

$$Q_{inf} = \frac{4,287 \text{ m}^3}{7200 \text{ seg}} * 1,292 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1006 \frac{\text{J}}{\text{Kg} * \text{K}} * (303 - 273)\text{K}$$

$$Q_{inf} = 23,22 \text{ W}$$

Las nuevas toneladas de refrigeración son:

$$Q_{TOTAL} = Q_{paredes} + Q_{cadáveres} + Q_{infiltraciones}$$

$$Q_{TOTAL} = 218,6 \text{ W} + 2688,6 \text{ W} + 23,22 \text{ W} = 2930,42 \text{ W}$$

$$Q_{TOTAL} = \frac{2,930 \text{ KW}}{3,517} = \mathbf{0,833 \text{ TR}}$$

Continuando con el proceso de selección del sistema de refrigeración para el habitáculo rediseñado de la necromóvil, se establecieron los parámetros técnicos que debía cumplir el equipo, considerando tanto la carga térmica requerida como las restricciones dimensionales definidas por la normativa vigente y por el diseño propio de la cámara frigorífica. Los parámetros considerados fueron los siguientes:

- **Carga térmica requerida:** 2,930 kW (0,833 TR).
- **Funcionamiento independiente del motor del vehículo,** mediante modo stand-by eléctrico cuando el vehículo se encuentra apagado.
- **Dimensiones máximas del evaporador:** 120 cm de Ancho, 98,5 cm de largo y 30 cm de alto, medidas establecidas para evitar interferencias con el bastidor del vehículo.

Posteriormente, se realizó la consulta de catálogos técnicos de fabricantes reconocidos en el sector de refrigeración vehicular, entre los que se encuentran Hwansung Thermo, Thermo King, Guchen, Kingclima, Huabon Thermo, Doing Thermo, Carrier Transicold, Sinoclima y Supersnow. Estas empresas cuentan con una amplia trayectoria en aplicaciones para camiones, furgones, buses, microbuses y tractomulas destinados al transporte de productos sensibles a la temperatura, tales como alimentos, vacunas, carnes y flores, garantizando así condiciones térmicas controladas durante su transporte.

A partir del análisis de la información técnica recopilada, se descartaron aquellas unidades que no cumplían con la capacidad térmica requerida para el habitáculo o que no disponían de funcionamiento en modo stand-by eléctrico. Como resultado de este proceso de filtrado, la Tabla 9 recopila las unidades de refrigeración que presentan una mejor adaptación a las condiciones de la cámara frigorífica.

**Tabla 9**

*Parámetros técnicos de las unidades de refrigeración seleccionadas para el habitáculo*

Fabricante	Serie	Capacidad de refrigeración con motor del vehículo [Watts]	Capacidad de refrigeración en modo Stand-By eléctrico [Watts]	Dimensiones del evaporador [cm]	Volumen del flujo de aire [m <sup>3</sup> /h]
Thermo King	V-300 MAX	3330	2840	98,5x55,1x17,8	1379
	V 400	3220	2370	98,5x55,1x17,8	1420
	V 300	2965	2090	98,5x55,1x17,8	1400
Sinoclima	T-360ES	3220	2850	102x63,5x21	2200
	SF-300-ES	3000	1980	102x63,5x21	1200
Supersnow	KX-300RE	3050	2320	83x35x19,5	1000
Guchen	TR-350S	4250	3420	108x61,9x20	1830
Doing Thermo	100 ESC	3517	2673	100x64x18,5	-

*Nota:* Tomado de catálogos (Thermoking, Sinoclima, Supersnow, Guchen y Doing thermo)

La Tabla 9 presenta las principales especificaciones técnicas de las unidades seleccionadas, incluyendo la capacidad de refrigeración con el motor del vehículo en funcionamiento, la capacidad de refrigeración en modo stand-by eléctrico, las dimensiones del evaporador (ancho, profundidad y alto), y el flujo de aire.

### ***5.3.2. Definición de la configuración final del sistema de refrigeración seleccionado.***

Partiendo de las unidades de refrigeración previamente mencionadas en la Tabla 9, se desarrolló el proceso de selección final del equipo más adecuado para la necromóvil. El primer criterio de evaluación fue la dimensión del evaporador, dado que este debe instalarse dentro del habitáculo, el cual posee un ancho máximo de 120 cm. En consecuencia, se descartaron aquellos evaporadores que superan esta dimensión.

Posteriormente, se analizó la capacidad de refrigeración con el motor del vehículo en funcionamiento, considerando que la carga térmica necesaria es de 2,930 kW, correspondiente a la condición más crítica de operación. Las series V 300 y SF 300 ES presentan una capacidad frigorífica cercana al requerimiento térmico del sistema y suficiente para garantizar la adecuada conservación del habitáculo. En contraste, los equipos V 300 MAX, 400 X, T 360 ES, TR 350 S y 100 ESC poseen una capacidad de refrigeración elevada, lo que representa un sobredimensionamiento en la carga de refrigeración. En cámaras frigoríficas de pequeño volumen, como la necromóvil, este sobredimensionamiento afecta la eficiencia energética real del sistema e incrementa el consumo eléctrico, por lo tanto, no sería una opción adecuada.

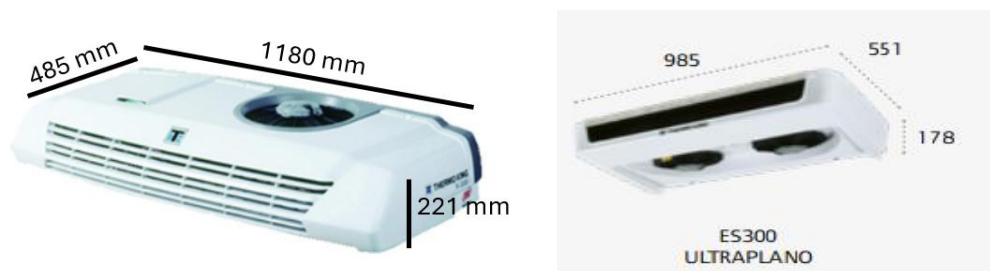
Finalmente, entre los modelos V 300 y SF 300 ESC, se seleccionó el modelo con mayor caudal de aire en el evaporador, lo cual favorece una mejor distribución del aire frío dentro del habitáculo, reduce la presencia de puntos calientes y mejora la uniformidad de

temperatura. Por lo tanto, se optó por el fabricante **ThermoKing serie V 300** por el volumen de flujo de aire que maneja.

Se seleccionó un equipo con una capacidad de 2,965 KW que permite cubrir adecuadamente la condición más exigente del sistema cuando el vehículo se encuentra en movimiento y predomina la convección forzada externa sobre las paredes del habitáculo, incrementando la ganancia de calor desde el ambiente. Por el contrario, cuando el vehículo está detenido, predomina la convección natural, disminuyendo la transferencia de calor y confirmando que una capacidad de 2,090 kW resulta más que suficiente para el control térmico del sistema.

### Figura 12

*Dimensiones del condensador y el evaporador, ThermoKing V 300*



*Nota:* Tomada de [https://thermokingzapp.com/download/products/pdf/V-300\\_ES.pdf](https://thermokingzapp.com/download/products/pdf/V-300_ES.pdf)

El modelo V 300 es una unidad de refrigeración vehicular accionada por el motor del vehículo, diseñada para aplicaciones en camiones. Incorpora un ventilador en el condensador y dos sopladores en el evaporador, lo que permite un elevado caudal de aire y una capacidad de enfriamiento eficiente. Su evaporador interno de diseño ultraplano perfecciona el espacio útil de carga. El sistema cuenta con control mediante microprocesador y alarmas de fallos, lo que garantiza una operación segura y confiable. Adicionalmente, dispone de opciones de

funcionamiento en modo stand-by eléctrico y multi-evaporador según sea conveniente (Thermo King Europe, 2025).

Seguido se detallaron las características técnicas del equipo seleccionado, las cuales juegan un papel importante en la instalación y correcto funcionamiento del equipo para así garantizar la capacidad de refrigeración adecuada, especificadas por el fabricante.

**Tabla 10**

*Características técnicas de la unidad de refrigeración Serie V 300*

<b>Características técnicas</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Características técnicas</b>	<b>Parámetros</b>
<b>Configuración</b>	Mono temperatura	<b>Número de ventiladores</b>	2
<b>Refrigerante</b>	R-134a	<b>Controlador</b>	Direct Smart Reefer DSR III
<b>Carga del refrigerante</b>	1.3 Kg	<b>Sistema de descarche</b>	Automático por gas caliente (AHGD)
<b>Capacidad durante el funcionamiento del motor a 0 °C</b>	2.965 W	<b>Peso total con funcionamiento eléctrico</b>	70 kg
<b>Capacidad durante el funcionamiento eléctrico a 0 °C</b>	2.090 W	<b>Modelo del compresor de carretera</b>	QP15
<b>Tipo de evaporador</b>	Ultraplano	<b>Potencia Nominal</b>	3,7 Kw
<b>Peso del evaporador</b>	18 kg	<b>Velocidad máxima del compresor</b>	3000 R.P.M
<b>Caudal de aire del evaporador</b>	1400 m <sup>3</sup> /h	<b>Fuente de alimentación eléctrica de reserva</b>	230 V, 1F, 50/60 Hz 230 V, 3F, 50/60 Hz 400 V, 3F, 50/60 Hz

*Nota:* Tomado de [https://thermokingzapp.com/download/products/pdf/V-300\\_ES.pdf](https://thermokingzapp.com/download/products/pdf/V-300_ES.pdf)

Como se evidencia en la tabla 10, se presentan las principales características técnicas del equipo de refrigeración, entre las cuales se incluyen el tipo y la carga de refrigerante, la capacidad frigorífica, el tipo y peso del evaporador, el modelo del compresor y su potencia

nominal, además de la fuente de alimentación eléctrica de respaldo. Estas especificaciones técnicas permiten garantizar el correcto funcionamiento, la confiabilidad operativa del sistema y el cumplimiento de la capacidad de refrigeración requerida del habitáculo.

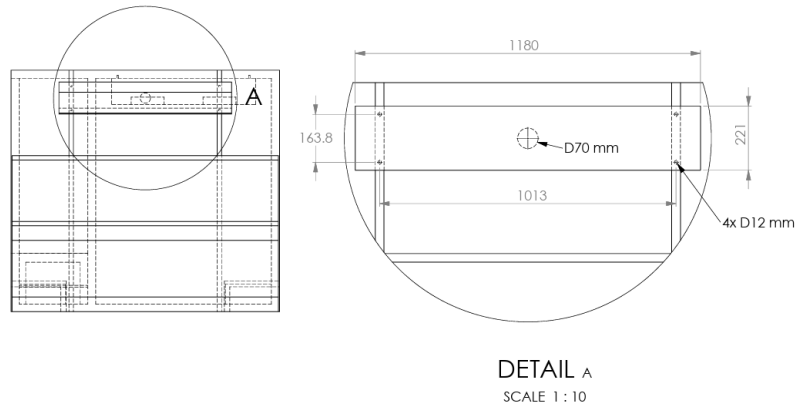
Para la definición final del sistema de refrigeración, se consultó la guía de instalación del fabricante ThermoKing, el cual establece los pasos guías a seguir para instalar los equipos (condensador y evaporador) en la cámara frigorífica.

Antes de iniciar el montaje, es fundamental que el panel frontal del cuerpo de la cámara esté estructuralmente reforzado, incorporando vigas verticales en los puntos de fijación. Esta preparación permite asegurar la instalación del condensador sobre la carrocería para que sea seguro y estable su peso. Los orificios de fijación deben coincidir con el centro de las vigas y además no deben interferir con el cableado eléctrico, ni con las mangueras.

Luego, se utiliza una plantilla de perforación como guía para ubicar con precisión los orificios de fijación y los orificios destinados al paso de las mangueras que conectan los componentes del sistema. Los orificios para los tornillos presentan un diámetro de 12 mm, mientras que los destinados al paso de las mangueras tienen un diámetro de 70 mm. Una vez marcados, se procede a perforar los orificios asegurando su correcta ubicación. Durante la instalación del condensador, es fundamental alinear con precisión los orificios de montaje con los pernos y aplicar la configuración de arandelas correspondiente, incluyendo arandelas planas grandes. Adicionalmente, todos los orificios, tanto los de paso de mangueras como los destinados a pernos, deben ser herméticamente sellados para garantizar la impermeabilidad y el correcto funcionamiento del sistema.

**Figura 13**

*Perfil de perforación del condensador V 300 sobre la pared frontal*



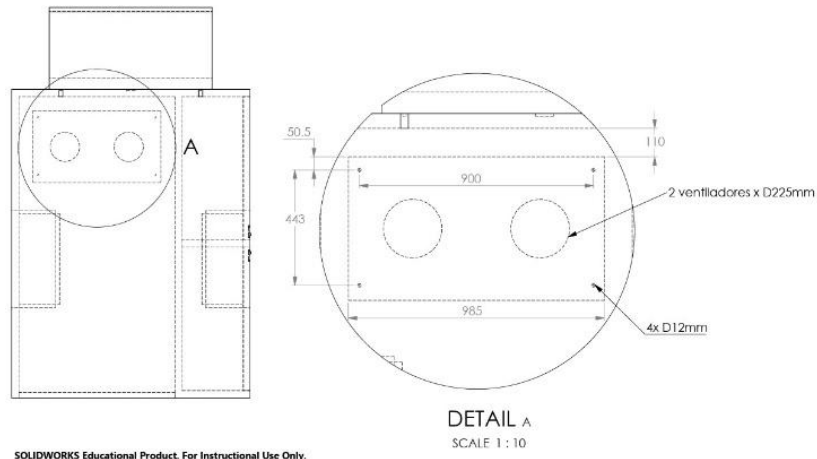
*Nota:* Creado en Solidworks

La Figura 13 muestra el perfil del condensador instalado en la parte frontal del furgón. En esta zona se disponen dos vigas estructurales de acero al carbono sobre las cuales se fijan los pernos de montaje  $M12 \times 1,75$  – clase 8.8, permitiendo una correcta sujeción del condensador, conforme a las referencias indicadas en el apéndice P.

La instalación del evaporador sigue un procedimiento análogo respecto al condensador. Se marcan y perforan los orificios de fijación, asegurando que la alineación sea precisa para un montaje estable y seguro. Posteriormente, se instalan las arandelas y se fijan los pernos y por último se realiza el sello hermético en los orificios.

**Figura 14**

*Perfil de perforación del evaporador V 300 sobre el techo*



La Figura 14 presenta el perfil de perforación del evaporador, el cual se instala en el techo de la cámara frigorífica, conforme a las referencias indicadas en el apéndice P.

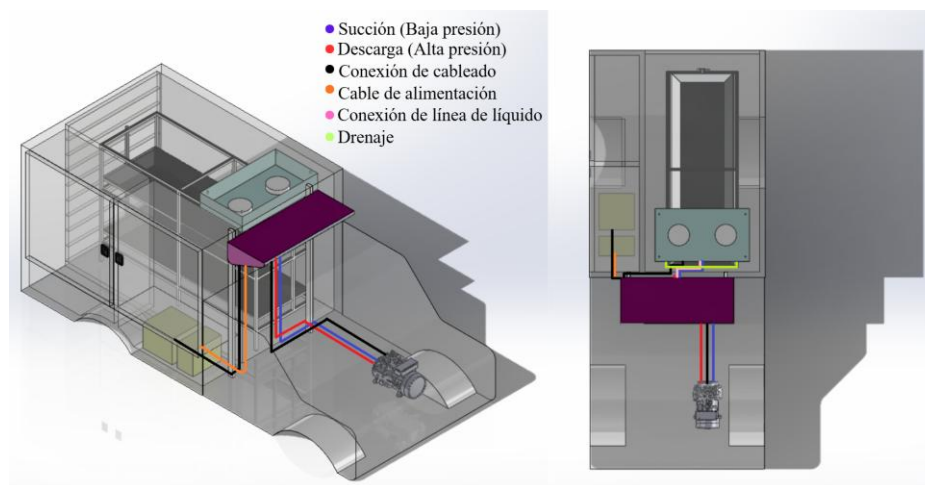
Posteriormente, se instala el compresor en el lateral del motor, asegurando su correcta alineación y fijación a los puntos de montaje del bloque mediante los pernos correspondientes, lo que garantiza su estabilidad. A continuación, se determina la longitud adecuada de la correa triangular midiendo la distancia entre la polea del motor y la del compresor, asegurando la correcta transmisión del movimiento sin deslizamientos ni holguras. Una vez ubicada la correa, se ajusta la barra tensora hasta alcanzar la tensión óptima, asegurando así el funcionamiento eficiente del compresor y la sincronización con el motor.

Finalmente, para la instalación de las líneas de tubería se tuvo en cuenta el tipo de configuración de mangueras correspondiente al sistema de refrigeración empleado. Este

sistema que integra las funciones de refrigeración, y descarche, operando tanto con el compresor accionado por el motor del vehículo como mediante el funcionamiento eléctrico del compresor, lo que condiciona la disposición y conexión de las líneas de succión, descarga, líquido, conexión de cableado, drenaje y alimentación en tierra (Thermo King LATAM, 2018).

### Figura 15

*Líneas de instalación de los componentes del equipo*



*Nota:* Creado en Solidworks

Como se evidencia en la Figura 15, se identifican las líneas principales de conexión correspondientes a la instalación de las tuberías del sistema de refrigeración, las cuales se disponen siguiendo las instrucciones establecidas en el Apéndice (Q, R y S), conforme a las normas de instalación para unidades de refrigeración V 300 ThermoKing.

El proceso de refrigeración inicia con la línea de succión, que conecta el evaporador con el compresor, permitiendo el retorno del refrigerante en fase gaseosa y a baja presión hacia el compresor. En este punto, el refrigerante ha absorbido el calor del interior de la cámara frigorífica, logrando así la reducción de la temperatura de la carga transportada.

Posteriormente, el refrigerante es impulsado por la línea de descarga hacia el condensador, donde se disipa el calor al ambiente y se produce la condensación. El refrigerante en estado líquido retorna al evaporador a través de la línea de líquido, permitiendo la absorción de calor del interior de la cámara frigorífica y manteniendo la temperatura requerida.

Adicionalmente, en la figura 15 se identifican las líneas de drenaje del evaporador, las cuales cumplen la función de evacuar el agua generada por la condensación de la humedad del aire. Estas líneas se conectan mediante una configuración en “Y” y descargan el agua hacia un sistema de drenaje instalado en el chasis de la necromóvil.

Finalmente se observa el tipo de conexión eléctrica del sistema, el cual permite el accionamiento del compresor tanto por el motor del vehículo como mediante alimentación eléctrica externa en Stand by apoyado por el sistema de baterías y conexión directa a la red eléctrica. Esta configuración garantiza una operación continua del sistema de refrigeración incluso cuando el vehículo se encuentre detenido.

Es fundamental garantizar una adecuada protección mecánica de las mangueras del sistema de refrigeración, evitando su contacto con partes móviles, superficies de alta temperatura y esfuerzos por tensión, mediante el recubrimiento slip-loom. Asimismo, los pasos a través de paneles deben sellarse correctamente para impedir el ingreso de humedad y el deterioro del aislamiento. La fijación debe realizarse mediante abrazaderas y soportes apropiados, asegurando la estabilidad del sistema (Thermo King Corporation, 2014).

**5.4. Verificar las condiciones de climatización del sistema de refrigeración en la cámara de conservación, considerando los parámetros de operación previamente determinados.**

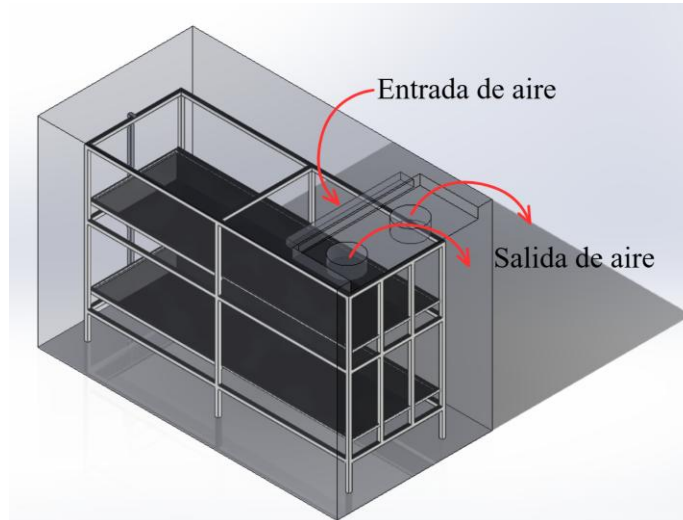
Se usó el software ANSYS a comparación de otros, por su alta precisión, confiabilidad y validación en el análisis numérico de dinámica de fluidos computacionales (CFD). Además, su capacidad de integración multiphysics posibilita evaluar simultáneamente variables térmicas y estructurales dentro del mismo entorno de trabajo, simplificando el proceso de simulación y análisis, por esto ANSYS constituye una herramienta adecuada y técnicamente sólida para el cumplimiento de los objetivos planteados en este proyecto. Para la simulación se tuvo en cuenta el equipo previamente seleccionado y sus parámetros técnicos como caudal de entrada y dimensiones.

***5.4.1. Configuración y Simulación del Flujo de Aire en ANSYS.***

A partir del CAD de la necromóvil bajo norma, se tomó en cuenta únicamente la sección interna de la cámara frigorífica para el análisis. Se modeló un cubo macizo en SolidWorks, incluyendo la entrada y salida del aire (evaporador) en la cámara frigorífica, de igual forma se ubicó el bastidor con las respectivas bandejas en el interior del cubo respetando el espacio ocupado por el evaporador, ya teniendo el modelado adecuado para la simulación en ANSYS, se exportó el archivo en formato “STEP” compatible con el programa (Figura 16).

**Figura 16**

*CAD de la cámara frigorífica bajo norma*



*Nota:* Creado en Solidworks

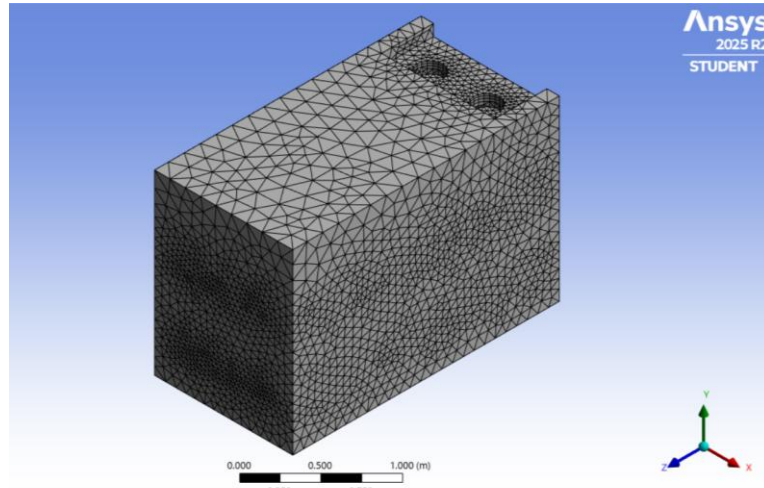
El análisis se llevó a cabo en el sistema *Fluid Flow (CFX)*, el cual permite realizar simulaciones de flujo de fluidos compresibles e incompresibles, así como de transferencia de calor, en geometrías complejas, como la considerada en este estudio.

Como primer paso, de la geometría principal, se substrajeron las partes (cuerpos) que representan la entrada y salida de aire, así como las bandejas. Esto se hizo con el propósito de que, al momento de generar la malla, se reconozca el espacio ocupado por las bandejas dentro de la geometría y se pueda analizar adecuadamente la circulación del aire sobre dichas superficies.

Como segundo paso, se nombraron todos los componentes de la geometría (Entrada de aire, salida de aire, pared 1, pared 2, pared 3, pared 4, techo, piso y bandejas) y se creó la malla sobre ellas. Además, se establecieron las capas límites (superficies que se comportan como paredes) para que el programa reconozca el volumen por el cual debe circular el aire.

**Figura 17**

*Mallado de la cámara frigorífica*

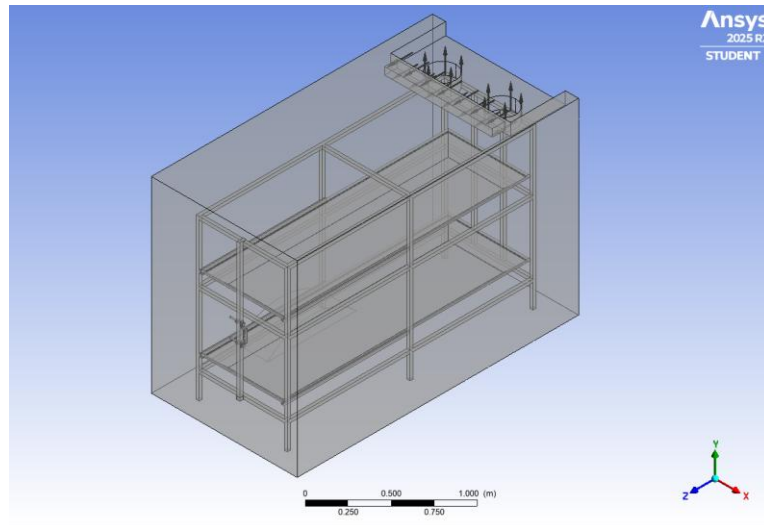


*Nota:* Creado en Fluid Flow (CFX) - Mesh

Como tercer paso, se establecieron los parámetros de entrada para la simulación, definiendo el tipo de fluido (gas ideal – Apéndice T), velocidad de entrada del aire de acuerdo con el caudal del evaporador (Apéndice U), temperaturas en cada pared (Tabla 8) y la presión por la cual sale el aire de la cámara frigorífica (Apéndice V), para lograr la interacción del fluido con las superficies como se observa en la figura 18.

**Figura 18**

*Interacción del fluido en la cámara frigorífica*

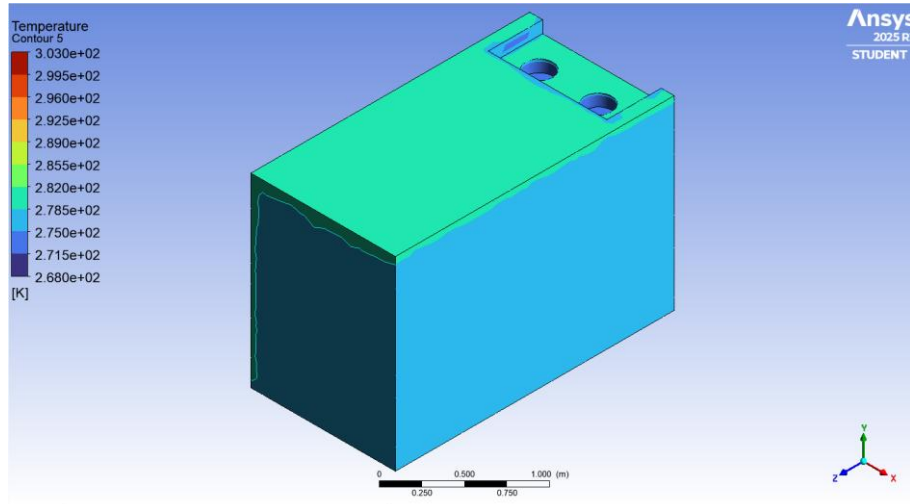


*Nota:* Creado en Fluid Flow (CFX) – CFX-Pre

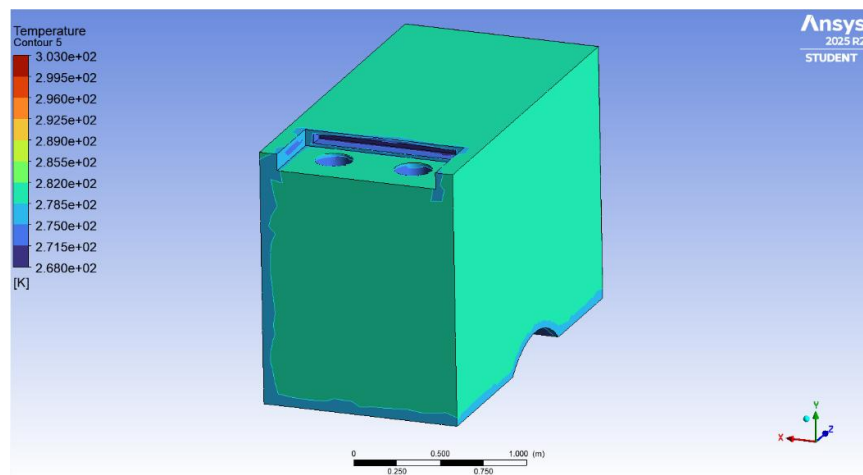
Finalmente, se ejecutó la simulación y se crearon contornos en cada superficie para observar la variación de la magnitud física (Temperatura) y la transferencia de calor, para evaluar el enfriamiento y detectar los puntos calientes. Se determinó un rango de temperatura entre 268 a 303 K (-5 a 30 °C) las correspondientes a la entrada de aire (Salida del evaporador) y la temperatura ambiente del exterior de la cámara frigorífica, para verificar que el habitáculo se encuentre a la temperatura establecida por la norma de 0 a 5 °C (Apéndice Y).

**Figura 19**

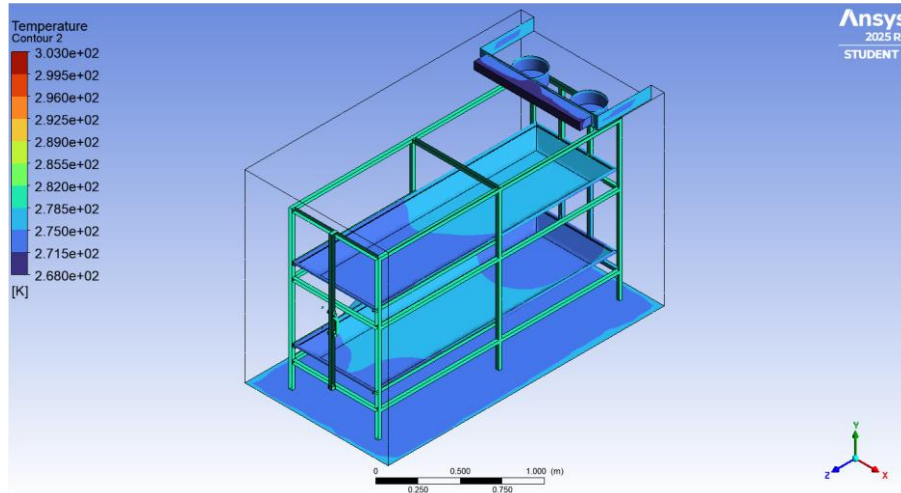
*Vistas de la transferencia de calor en las superficies*



**Nota:** Creado en Fluid Flow (CFX) – CFD-Post. Vista de Techo, Pared 3 y Pared 4 (Puerta)



**Nota:** Creado en Fluid Flow (CFX) – CFD-Post. Vista de Techo, Pared 1 y Pared 2

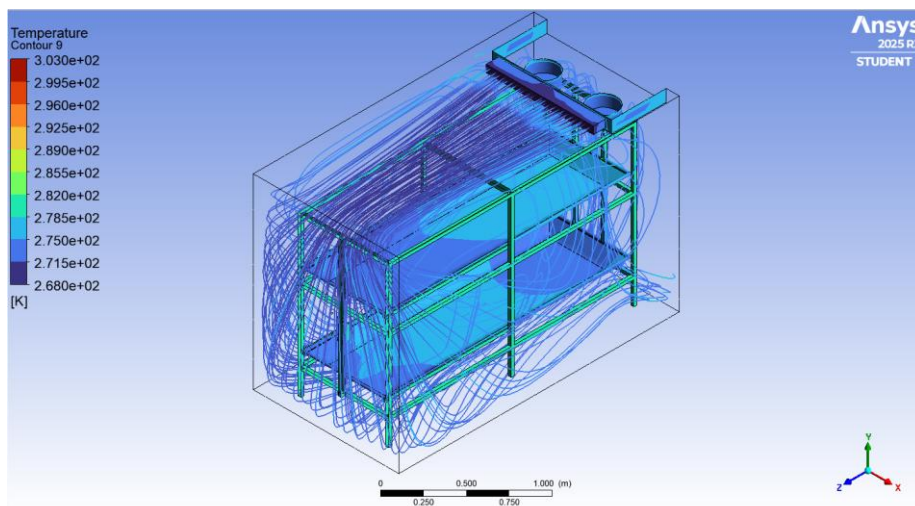


*Nota:* Creado en Fluid Flow (CFX) – CFD-Post. Vista de Piso, Bandejas y Bastidor

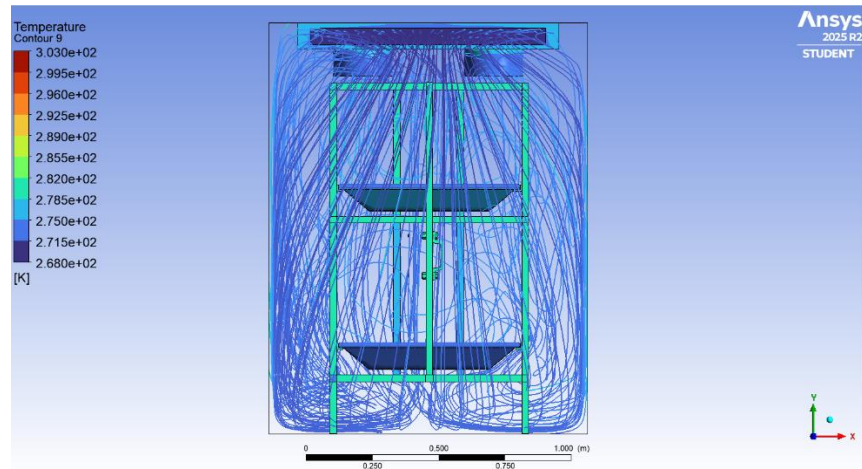
Asimismo, se generó las líneas de corriente para visualizar el comportamiento del aire en el habitáculo, reconociendo la dirección del flujo, las zonas muertas, la recirculación y distribución. Se estableció el mismo rango de temperatura para verificar las zonas donde el aire no está a la temperatura deseada y poder proponer mejoras al sistema (Apéndice Z).

## Figura 20

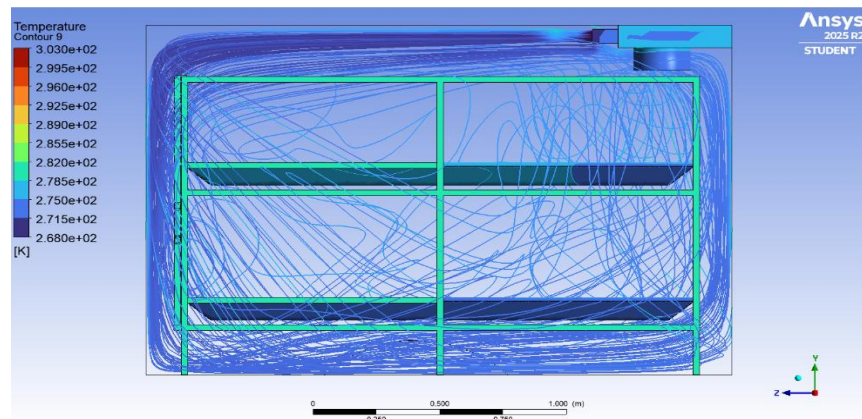
*Vistas del comportamiento del aire y variación de la temperatura*



*Nota:* Creado en Fluid Flow (CFX) – CFD-Post. Vista isométrica



*Nota:* Creado en Fluid Flow (CFX) – CFD-Post. Vista isométrica



*Nota:* Creado en Fluid Flow (CFX) – CFD-Post. Vista lateral

#### 5.4.2. Identificación de Puntos Críticos y Mejoras del sistema

A partir de las figuras 19 y 20, se apreció el efecto de temperatura de la corriente de aire con las superficies del habitáculo (Paredes, bastidor, bandejas). No se evidenció puntos concentrados de calor ni zonas muertas de circulación de aire, aunque la circulación entre bandejas es escasa a comparación del resto, no provoca puntos críticos que afecten la transferencia de calor.

En cuanto a las mejoras del sistema, se propusieron al momento de adecuar la necromóvil bajo la normativa de diseño, ya que la ampliación del ancho del habitáculo aseguró un buen flujo alrededor del bastidor debido al espacio disponible entre los extremos

y las paredes. También para evitar mayor transferencia de calor desde el exterior, se modificó la composición de la puerta al instalarla con aislamiento térmico para cumplir con la conservación de la temperatura interna. Además, la ubicación del evaporador fue tomada en cuenta al momento de la instalación, ya que se recomienda posicionarlo lejos de la puerta para evitar posibles infiltraciones.

De igual forma para garantizar aún más la conservación y mantener las bajas temperaturas del habitáculo, se propone la instalación de cortinas de aire (cortinas de lama de PVC) en la puerta para evitar que el aire caliente del exterior rompa con el flujo de aire frío al momento de carga o descarga de los cadáveres.

## **6. Trabajos a futuro**

Se plantea como etapa futura la instalación física de la nueva cámara frigorífica y del sistema de refrigeración seleccionado en la necromóvil estudiada, con el fin de evaluar su comportamiento térmico en condiciones reales de operación. La instalación de la cámara deberá ejecutarse garantizando su adecuado anclaje estructural sobre el platón del vehículo. Asimismo, deberán contemplarse el reemplazo del aislamiento térmico en la puerta y el rediseño del cuarto de herramientas, con base en las modificaciones establecidas en el nuevo diseño de la cámara frigorífica. Por su parte, la instalación y puesta en marcha del sistema de refrigeración deberá realizarse con el acompañamiento técnico de los proveedores autorizados por el fabricante Thermo King.

Posterior a la instalación, se propone realizar una verificación experimental del sistema mediante mediciones de temperaturas internas, apoyadas en sensores o termografía, con el fin de contrastar los resultados obtenidos en las memorias de cálculo con el

comportamiento térmico real del habitáculo. Esta validación permitirá comprobar la carga térmica estimada y la capacidad del equipo seleccionado, garantizando la adecuada conservación de cadáveres.

Adicionalmente, se plantea efectuar una evaluación integral que contemple el desempeño energético del sistema y un análisis de costos asociados a la implementación, operación y mantenimiento del equipo.

Finalmente, el proyecto puede proyectarse como una metodología de diseño replicable para vehículos de refrigeración a nivel nacional, estableciendo lineamientos técnicos para el dimensionamiento de la cámara frigorífica y la selección del equipo de refrigeración según el producto a conservar y sus rangos de temperatura y humedad relativa. Esta proyección puede materializarse mediante el desarrollo de una herramienta virtual o un programa de cálculo que, al ingresar variables como dimensiones del habitáculo, tipo de aislamiento y condiciones climáticas, permita determinar automáticamente la carga térmica requerida, facilitando el diseño y adaptación del sistema a diferentes aplicaciones de transporte refrigerado.

## 7. Conclusiones

- Se determinaron los parámetros de operación del sistema de refrigeración para la cámara frigorífica de la necromóvil, estableciendo un rango de temperatura entre 0 y 5 °C y una humedad relativa del 85 %, en concordancia con los requerimientos normativos y las condiciones térmicas necesarias para la adecuada conservación de cadáveres.
- Se definieron las características estructurales de la cámara frigorífica a partir de su rediseño, ampliando el ancho del habitáculo conforme a la normativa, reubicando el

cuarto de herramientas e incorporando aislamiento térmico en la puerta, obteniendo una carga térmica final de 2930,36 W (0,853 TR). Además, se definió la instalación estructural de los equipos de refrigeración sobre la necromóvil.

- Con base en la carga térmica del habitáculo rediseñado, selecciono la unidad de refrigeración Thermo King serie V 300 con una capacidad de 2965 W, la cual cumple con los requerimientos de capacidad térmica, eficiencia operativa sin incurrir en el sobredimensionamiento y compatibilidad con el espacio disponible para su instalación en la necromóvil.
- Mediante simulación CFD en ANSYS CFX se verificaron las condiciones de climatización dentro del habitáculo, evidenciando una adecuada distribución del flujo de aire frío en el interior de 0 a 3°C, sin presencia de zonas muertas ni de altas temperatura que comprometan la conservación térmica. La simulación permitió confirmar la correcta selección de aislante en la puerta y los rangos de temperatura en las bandejas entre 2 y 4 °C, asegurando la adecuada conservación de los cadáveres.

### Referencias bibliográficas

- Caterpillar. (s. f.). 273-2551: *Plancha de montaje para el condensador de refrigerante*. <https://parts.cat.com/es/catcorp/product/273-2551>
- Centers, T. E. (2026). *Ansys Fluids*. Brasil.
- Código Sanitario Nacional. (1979). *Artículo 529*. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=367>
- Consultorsalud. (5 de agosto de 2013). *Traslado de cadáveres en Colombia*. <https://consultorsalud.com/traslado-de-cadaveres-en-colombia/>
- Dantherm Group. (2025). *Cómo puede ayudar la refrigeración por evaporación a reducir la propagación de virus*. <https://www.danthermgroup.com/es/articulos/como-puede-ayudar-la-refrigeracion-por-evaporacion-a-reducir-la-propagacion-de-virus>
- Dickman, J. (5 de agosto de 2020). *How does a refrigerated truck work*. *Emerald Transportation Solutions*. <https://emeraldtransportationsolutions.com/how-does-a-refrigerated-truck-work/>
- Dongin Thermo Co., Ltd. (s. f.). *Catálogo de productos de unidades de refrigeración para vehículos especiales*. <https://irp.cdn-website.com/9037dbbe/MOBILE/pdf/catalogo6ced.pdf>
- Faye C. McQuiston, J. D. (2003). *Calefacción, ventilación y aire acondicionado: Análisis y diseño*. Balderas 95: Limusa, S.A de C.V. <https://es.scribd.com/document/406638617/CALEFACCION-VENTILACION-Y-AIRE-ACONDICIONADO-McQUISTON-pdf#page=275>
- Guchen Industry. (s. f.). *Unidades de refrigeración para camiones*. <https://www.guchen.com/es/truck-refrigeration-units/>
- KingClima. (s.f.). *Specifications of KING CLIMA refrigeration units*. <http://ko.kingclima.net/Content/upload/pdf/202133423/specs-of-KINGCLIMA-REFRIGERATION-UNITS.pdf>
- Mecanizado CNC. (2022). *Tipos de aluminio ¿Cuál usar en cada caso?* Barcelona. <https://grumeber.com/tipos-de-aluminio-cual-usar-en-cada-caso/>
- Ministerio de Salud de la Nación (Argentina). (2011). *Manejo seguro de cadáveres: Desastres, cólera y otras infecciones. Guía para equipos de salud (N.º 7)*. <https://iah.msal.gov.ar/doc/Documento95.pdf>

- Noticias Caracol. (2014). *Nuevo necromóvil para la atención de accidentes de tránsito*. <https://www.noticiascaracol.com/colombia/nuevo-necromovil-para-la-atencion-de-accidentes-de-transito>
- Ockfen, A. (2025). *Fundamentos de la radiación: compresión de la emisividad y la absorptividad*. <https://www.electronics-cooling.com/2025/03/radiation-basics-making-sense-of-emissivity-absorptivity/>
- Policía Nacional de Colombia. (11 de julio de 2023). *Especificaciones Técnicas de Movilidad Nacional*. (Versión 01). [https://www.policia.gov.co/sites/default/files/descargables/Anexo%201%20Necromovil\\_0.pdf](https://www.policia.gov.co/sites/default/files/descargables/Anexo%201%20Necromovil_0.pdf)
- Policía Nacional de Colombia. (2025). *Especificaciones para carrocerías tipo furgón necromóvil rural pick-up* (Anexo 3). [https://www.policia.gov.co/sites/default/files/2025-07/10.%20anexo\\_3\\_necromovil\\_rural\\_pick\\_up1%20%282%29.pdf](https://www.policia.gov.co/sites/default/files/2025-07/10.%20anexo_3_necromovil_rural_pick_up1%20%282%29.pdf)
- Shenyang Roundfin Technology Co. Ltd. (16 de marzo de 2023). *How to store a corpse*. <https://www.roundfin.com/news/how-to-store-a-corpse>
- Sinoclima. (s.f.). *SF-450ES Electric Standby Truck Refrigeration Units*. <https://es.sinoclima.com/products/electric-standby-truck-refrigeration-units/sf-450es.html>
- Thermo King Corporation. (2014). *V-200 and V-300 series NAD truck edition installation manual (TK 51856-1-IM)*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/380195295/V-200-and-V-300-51856-1-IM>
- Thermo King Europe. (2025). *V-300: Unidades de transmisión directa para camión (modelos monotemperatura)*. [https://thermokingzapp.com/download/products/pdf/V-300\\_ES.pdf](https://thermokingzapp.com/download/products/pdf/V-300_ES.pdf)
- Thermo King LATAM. (2023). *Serie VX: alto rendimiento y refrigeración sostenible con un control de la temperatura preciso (TK 80083 (02-2023)-ES V2.0)*. [https://www.thermoking.com.br/content/dam/thermoking/la/catalogs/TK80083\\_Vx-Series\\_02-2023\\_ES\\_V2.0\\_LR-ES.pdf](https://www.thermoking.com.br/content/dam/thermoking/la/catalogs/TK80083_Vx-Series_02-2023_ES_V2.0_LR-ES.pdf)
- Thermo King LATAM. (2018). *Serie V DSR-III: Manual de operación (Manual No. TK61651-18-Rev.A-ESP)*. <https://www.thermoking.com/content/dam/thermoking/la/manuais/esp/Serie-V-DSR-III-Manual-Operacion-TK61651-18-Rev.A-ESP.pdf>
- Thermo King. (2017). *Manual de instalación: Sistemas SLXi monotemperatura y multitemperatura (TK 61451-2-IM, Rev. 2)*. <https://url-shortener.me/D6LC>

Thermo King. (2021). *Installation Manual: V-Series (V-500, V-600, V-800, V-1000) (Manual No.61906-18-IM-EN)*

<https://www.thermoking.com/content/dam/thermoking/documents/products/V-500-V-600-V-800-V-1000-installation-manual-61906-18.pdf>

Thermo King. (2025). *Unidades de refrigeración para camiones grandes o pequeños.*

<https://www.thermoking.com.br/la/es/road/trucks-and-vans.html>

WeatherSpark. (s. f.). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Bucaramanga, Colombia.* <https://es.weatherspark.com/y/24381/Clima-promedio-en-Bucaramanga-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Zhengzhou Kaixue Cold Chain Co., Ltd. (s. f.). *Van drive unit (transport refrigeration unit). SuperSnow.* <https://www.supersnowcold.com/trucktrailer-refrigeration-units/van-drive-unit/>

## Apéndices

## Apéndice A

*Propiedades termodinámicas del aire*

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T$ , °C	Densidad, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $c_p$ , J/kg · K	Conductividad térmica, $k$ , W/m · K	Difusividad térmica, $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica, $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-6}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de  $\rho$ , a la temperatura dada, por  $P$  y al dividir  $\nu$  y  $\alpha$  entre  $P$ .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-306067020-8.

## Apéndice B

### Conductividad térmica de la aleación de Al 1060 H12

Grado	Temple	Conductividad térmica (W/(m·K))
1050	O	220-237
1060	H12	220-235
1100	O	218-222
2014	T6	150-160

Nota: Tomado de <https://hts-alu.com/es/thermal-conductivity-of-aluminium/>

## Apéndice C

### Conductividad térmica del aislante Poliuretano expandido

**TABLA A-6**

Propiedades de materiales aislantes  
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, $L$ mm	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, $k$ W/m · K	Calor específico, $c_p$ kJ/kg · K	Valor $R$ (para los espesores de la lista, $L/k$ ), K · m <sup>2</sup> /W
<b>Colcha y lámina</b>					
Fibra mineral (forma fibrosa procesada a partir de roca, escoria o vidrio)	50 a 70 mm	4,8-32	—	0,71-0,96	1,23
	75 a 90 mm	4,8-32	—	0,71-0,96	1,94
	135 a 165 mm	4,8-32	—	0,71-0,96	3,32
<b>Tablero y losa</b>					
Vidrio celular		136	0,055	1,0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0,036	0,96	—
Poliuretano expandido (bolitas moldeadas)		16	0,040	1,2	—
Poliuretano expandido (R-11 expandido)		24	0,023	1,6	—
Perlite expandida (ligamento orgánico)		16	0,052	1,26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0,032	1,68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0,042	0,71	—
Corcho		120	0,039	1,80	—

## Apéndice D

## Conductividad térmica del Acero inoxidable

TABLA A-5

Propiedades de materiales de construcción (conclusión)  
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, <i>L</i> mm	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, <i>k</i> W/m · K	Calor específico, $c_p$ kJ/kg · K	Valor <i>R</i> (para los espesores de la lista, <i>L/k</i> ), K · m <sup>2</sup> /W
<b>Material para techos</b>					
Tejas de asbesto-cemento		1 900	—	1.00	0.037
Asfalto en rollos		1 100	—	1.51	0.026
Tejas de asfalto		1 100	—	1.26	0.077
Techado incorporado	10 mm	1 100	—	1.46	0.058
Pizarra	13 mm	—	—	1.26	0.009
Tejas de madera (simples o con cara de plástico/película)		—	—	1.30	0.166
<b>Materiales para revoque</b>					
Revoque de cemento, agregado de arena	19 mm	1 860	0.72	0.84	0.026
Revoque de yeso:					
Agregado ligero	13 mm	720	—	—	0.055
Agregado de arena	13 mm	1 680	0.81	0.84	0.016
Agregado de perlita	—	720	0.22	1.34	—
<b>Material para forro exterior (sobre superficies planas)</b>					
Tejas de asbesto-cemento	—	1 900	—	—	0.037
Forro de tablero duro	11 mm	—	—	1.17	0.12
Forro de madera (rebajada)	25 mm	—	—	1.30	0.139
Forro de madera (contrachapada), traslapada	10 mm	—	—	1.21	0.111
Forro de aluminio o acero (sobre encofrado):					
Con respaldo hueco	10 mm	—	—	1.22	0.11
Con respaldo de tablero aislante	10 mm	—	—	1.34	0.32
Vidrio arquitectónico	—	2 530	1.0	0.84	0.018
<b>Maderas</b>					
Maderas duras (arce, roble, etc.)	—	721	0.159	1.26	—
Maderas suaves (abeto, pino, etc.)	—	513	0.115	1.38	—
<b>Metales</b>					
Aluminio (1 100)	—	2 739	222	0.896	—
Acero dulce	—	7 833	45.3	0.502	—
Acero inoxidable	—	7 913	15.6	0.456	—

Fuente: Las tablas A-5 y A-6 se adaptaron tomándolas del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1993), Cap. 22, tabla 4. Usadas con autorización.

**Apéndice E**

*Radiación directa, difusa y del reflejo del suelo de la pared 1*

U	0.49714222	K/W	alpha/ho	0.026				
A	3.823	m^2	temp diseño	0 °C				
Hora	To (°C)	Eb	Ed	Er	Tsa	Theta	Irradiancia solar W/m^2	
1	23.2	0	0	0	0	23.2	104.31	0
2	22.8	0	0	0	0	22.8	118.21	0
3	22.4	0	0	0	0	22.4	131.76	0
4	22.1	0	0	0	0	22.1	144.48	0
5	21.9	0	0	0	0	21.9	155	0
6	22.1	0	10.08	2.99	0.34	22.44	159.56	13.07
7	22.9	0	36.41	23.92	1.57	24.47	154.67	60.33
8	24.8	0	52.31	51.55	2.7	27.5	144.01	103.86
9	26.9	0	62.73	77.59	3.65	30.55	131.24	140.32
10	28.8	0	69.45	98.31	4.36	33.16	117.67	167.76
11	30.6	0	75.48	111.51	4.86	35.46	103.76	186.99
12	31.7	3.75	91.33	115.93	5.49	37.19	89.73	211.01
13	32.6	191.02	110.06	111.16	10.72	43.32	75.69	412.24
14	33.1	350.33	127.18	97.63	14.95	48.05	61.79	575.14
15	33.1	453.14	135.86	76.65	17.31	50.41	48.24	665.65
16	32.4	466.05	128.15	50.47	16.76	49.16	35.52	644.67
17	31.6	337.19	95.27	22.89	11.84	43.44	25	455.35
18	30.4	20.36	24.09	2.54	1.22	31.62	20.44	46.99
19	28.7	0	0	0	0	28.7	25.33	0
20	27.5	0	0	0	0	27.5	35.99	0
21	26.5	0	0	0	0	26.5	48.76	0
22	25.5	0	0	0	0	25.5	62.33	0
23	24.7	0	0	0	0	24.7	76.24	0
24	23.9	0	0	0	0	23.9	89.73	0

Nota: Los valores del recuadro rojo son los obtenidos por el software Possol.

**Apéndice F**

*Absortividad solar y emisividad de la pintura blanca*

Si bien la emisividad espectral simplificada de la Figura 8 fue útil para demostrar el proceso de cálculo, en la Tabla 1 se proporciona un cálculo preciso utilizando todos los conjuntos de datos espectrales para las pinturas blanca y negra .

	ABSORTIVIDAD SOLAR, A <sub>s</sub>	EMISIVIDAD HEMISFÉRICA TOTAL, E	A <sub>s</sub> / E
Pintura blanca <sup>1</sup>	0,19	0,91	0,21
Pintura negra	0,94	0,89	1.06

Nota: Tomado de <https://www.electronics-cooling.com/2025/03/radiation-basics-making-sense-of-emissivity-absorptivity/>

Apéndice G

Convección exterior combinada y coeficiente de radiación

Tabla 5-2a Conductancias superficiales unitarias y resistencias unitarias para el aire\*

Posición de la superficie	Dirección del flujo de calor	Emitancias superficiales											
		$\epsilon = 0.9$				$\epsilon = 0.2$				$\epsilon = 0.05$			
		h		R		h		R		h		R	
		Btu hr-ft <sup>2</sup> -F	W m <sup>2</sup> -C	hr-ft <sup>2</sup> -F	m <sup>2</sup> -C	Btu hr-ft <sup>2</sup> -F	W m <sup>2</sup> -C	hr-ft <sup>2</sup> -F	m <sup>2</sup> -C	Btu hr-ft <sup>2</sup> -F	W m <sup>2</sup> -C	hr-ft <sup>2</sup> -F	m <sup>2</sup> -C
<b>Aire tranquilo</b>													
Horizontal	Hacia arriba	1.63	9.26	0.61	0.11	0.91	5.2	1.10	0.194	0.76	4.3	1.32	0.232
Declive: 45 grados	Hacia arriba	1.60	9.09	0.62	0.11	0.88	5.0	1.14	0.200	0.73	4.1	1.37	0.241
Vertical	Horizontal	1.46	8.29	0.68	0.12	0.74	4.2	1.35	0.238	0.59	3.4	1.70	0.298
Declive: 45 grados	Hacia abajo	1.32	7.50	0.76	0.13	0.60	3.4	1.67	0.294	0.45	2.6	2.22	0.391
Horizontal	Hacia abajo	1.08	6.13	0.92	0.16	0.37	2.1	2.70	0.476	0.22	1.3	4.55	0.800
<b>Aire en movimiento</b> (cualquier posición)	Cualquiera	6.0	34.0	0.17	0.029								
Viento de 15 mph o 6.7 m/s (en invierno)													
Viento de 7.5 mph o 3.4 m/s (en verano)	Cualquiera	4.0	22.7	0.25	0.044								

\*Las conductancias son para superficies de la emitancia mencionada y bajo el supuesto de que el medio circundante se comporta como cuerpo negro a la misma temperatura que el ambiente. Los valores están basados en un diferencial de 10 F entre la temperatura de la superficie y la del aire, y para una temperatura superficial de 70 F.

Fuente: Adaptada con permiso del ASHRAE Handbook, Fundamentals, Volume.

Apéndice H

Radiación directa, difusa y del reflejo del suelo del techo

U	0,497	K/W	alpha/ho	0,026					
A	2,126	m <sup>2</sup>	temp diseño	24	°C				
Hora	To (°C)	Eb	Ed	Er	Tsa	Theta	Irradiancia solar W/m <sup>2</sup>		
1	23,2	0	0	0	3,9	27,1	148,58		
2	22,8	0	0	0	3,9	26,7	139,39		
3	22,4	0	0	0	3,9	26,3	127,61		
4	22,1	0	0	0	3,9	26	114,63		
5	21,9	0	0	0	3,9	25,8	101,07		
6	22,1	1,6	1,11	0	3,97	26,07	87,2		
7	22,9	110,98	23,45	0	7,4	30,3	73,19		
8	24,8	296,82	59,68	0	13,17	37,97	59,14		
9	26,9	481,85	98,27	0	18,98	45,88	45,2		
10	28,8	632,56	131,42	0	23,76	52,56	31,65		
11	30,6	729,54	153,48	0	26,86	57,46	19,47		
12	31,7	761,99	160,97	0	27,9	59,6	13,32		
13	32,6	726,47	152,77	0	26,76	59,36	19,94		
14	33,1	626,75	130,11	0	23,58	56,68	32,24		
15	33,1	473,98	96,58	0	18,73	51,83	45,82		
16	32,4	288,03	57,91	0	12,89	45,29	59,77		
17	31,6	103,4	22,02	0	7,16	38,76	73,82		
18	30,4	0,79	0,73	0	3,94	34,34	87,83		
19	28,7	0	0	0	3,9	32,6	101,69		
20	27,5	0	0	0	3,9	31,4	115,23		
21	26,5	0	0	0	3,9	30,4	128,17		
22	25,5	0	0	0	3,9	29,4	139,87		
23	24,7	0	0	0	3,9	28,6	148,89		
24	23,9	0	0	0	3,9	27,8	152,43		

Nota: Los valores del recuadro rojo son los obtenidos por el software Possol.

**Apéndice I**

*Parámetros para la pared 2*

The screenshot shows a software window titled "Posición del sol" with the following sections:

- Posición solar:**
  - Hora local: 12:00:00 (Formato: HH:MM:SS)
  - Día: 21/07/2025 (Formato: DD.MM.AAAA)
  - Latitud: 07.07.31.4 N (Formato: GG.MM.SS N/S)
  - Longitud: 73.04.11.3 W (Formato: GG.MM.SS W/E)
  - Diferencia a tiempo universal: -75 (grados)
  - Acimut: 178.61
  - Declinación: 20.44
  - Elevación: 76.68
- Pared:**
  - Inclinación de la pared: 90
  - Acimut de la pared: 0
  - Azimuth superficie sol: 178.61
  - Angulo de incidencia: 103.32
- Intensidad solar:**
  - Mes: (dropdown)
  - Reflectancia (Albedo): 0.1
  - Tau b: 0.5
  - Tau b: 2.2
  - Directa: 0.00 W/m<sup>2</sup>
  - Difusa: 67.44 W/m<sup>2</sup>
  - Reflejada: 45.94 W/m<sup>2</sup>
  - Total: 113.37 W/m<sup>2</sup>

Nota: Software Possol

**Apéndice J**

*Radiación directa, difusa y del reflejo del suelo de la pared 2*

U	0.49714222	K/W	alpha/ho	0.026				
A	3.823	m <sup>2</sup>	temp diseño	0	°C			
Hora	To (°C)	Eb	Ed	Er	Tsa	Theta	Irradiancia solar W/m <sup>2</sup>	
1	23.2	0	0	0	0	23.2	117.3	
2	22.8	0	0	0	0	22.8	116.54	
3	22.4	0	0	0	0	22.4	115.36	
4	22.1	0	0	0	0	22.1	113.83	
5	21.9	0	0	0	0	21.9	112.08	
6	22.1	0	9.96	1.22	0.29	22.39	110.23	
7	22.9	0	32.79	9.64	1.1	24	108.41	
8	24.8	0	46.34	20.59	1.74	26.54	106.73	
9	26.9	0	55.97	30.85	2.26	29.16	105.3	
10	28.8	0	62.45	39.01	2.64	31.44	104.21	
11	30.6	0	66.23	44.21	2.87	33.47	103.54	
12	31.7	0	67.44	45.94	2.95	34.65	103.32	
13	32.6	0	66.11	44.04	2.86	35.46	103.56	
14	33.1	0	62.22	38.7	2.62	35.72	104.26	
15	33.1	0	55.6	30.42	2.24	35.34	105.36	
16	32.4	0	45.82	20.09	1.71	34.11	106.8	
17	31.6	0	32.01	9.17	1.07	32.67	108.49	
18	30.4	0	8.58	1.02	0.25	30.65	110.32	
19	28.7	0	0	0	0	28.7	112.17	
20	27.5	0	0	0	0	27.5	113.91	
21	26.5	0	0	0	0	26.5	115.42	
22	25.5	0	0	0	0	25.5	116.59	
23	24.7	0	0	0	0	24.7	117.32	
24	23.9	0	0	0	0	23.9	117.57	

Nota: Los valores del recuadro rojo son los obtenidos por el software Possol.

## Apéndice K

### *Cargas térmicas externas*

**Table 3.4 Surface Film Coefficients/Resistances**

(Source: ASHRAE Handbook—Fundamentals [2013], Chapter 26, Table 10)

Position of Surface	Direction of Heat Flow	Surface Emittance, $\varepsilon$					
		Nonreflective $\varepsilon = 0.90$		Reflective			
		$h_i$	$R_i$	$\varepsilon = 0.20$		$\varepsilon = 0.05$	
				$h_i$	$R_i$	$h_i$	$R_i$
<b>Indoor</b>							
Horizontal	Upward	9.26	0.11	5.17	0.19	4.32	0.23
Sloping at 45°	Upward	9.09	0.11	5.00	0.20	4.15	0.24
Vertical	Horizontal	8.29	0.12	4.20	0.24	3.35	0.30
Sloping at 45°	Downward	7.50	0.13	3.41	0.29	2.56	0.39
Horizontal	Downward	6.13	0.16	2.10	0.48	1.25	0.80
<b>Outdoor (any position)</b>		$h_o$	$R_o$				
Wind (for winter) at 6.7 m/s	Any	34.0	0.030	—	—	—	—
Wind (for summer) at 3.4 m/s	Any	22.7	0.044	—	—	—	—

**Notes:**

1. Surface conductance  $h_i$  and  $h_o$  measured in  $W/(m^2 \cdot K)$ ; resistance  $R_i$  and  $R_o$  in  $(m^2 \cdot K)/W$ .
2. No surface has both an air space resistance value and a surface resistance value.
3. Conductances are for surfaces of the stated emittance facing virtual blackbody surroundings at same temperature as ambient air. Values based on surface/air temperature difference of 5.6 K and surface temperatures of 21°C.
4. See Chapter 4 for more detailed information.
5. Condensate can have significant effect on surface emittance (see Table 2). Also, oxidation, corrosion, and accumulation of dust and dirt can dramatically increase surface emittance. Emittance values of 0.05 should only be used where highly reflective surface can be maintained over the service life of the assembly.

## Apéndice L

### *Conductividad térmica aleación de Al 6063 - Original*

Propiedades		Condiciones	
		T (°C)	Tratamiento
Expansión térmica	23.4 ( $10^{-6}/^{\circ}C$ )	20-100	-
Conductividad térmica	218 W/mK	25	-

Nota: Tomado de <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6637>

**Apéndice M**

*Capacidad calorífica de Carne de res (Macro, corte completo)*

**Table 3 Unfrozen Composition Data, Initial Freezing Point, and Specific Heats of Foods\* (Continued)**

	Moisture		Protein, %	Carbohydrate			Initial Freezing Point, °C	Specific Heat Above Freezing, kJ/(kg·K)	Specific Heat Below Freezing, kJ/(kg·K)	Latent Heat of Fusion, kJ/kg
	% $x_{wo}$	% $x_p$		Fat, % $x_f$	Total, % $x_c$	Fiber, % $x_{fb}$				
<b>Beef</b>										
Brisket	55.18	16.94	26.54	0.0	0.0	0.80	—	3.19	2.33	184
Carcass, choice select	57.26	17.32	24.05	0.0	0.0	0.81	-2.2	3.24	2.31	191
Liver	58.21	17.48	22.55	0.0	0.0	0.82	-1.7	3.25	2.24	194
Ribs, whole (ribs 6-12)	68.99	20.00	3.85	5.82	0.0	1.34	-1.7	3.47	2.16	230
Round, full cut, lean and fat	54.54	16.37	26.98	0.0	0.0	0.77	—	3.16	2.32	182
Round, full cut, lean	64.75	20.37	12.81	0.0	0.0	0.97	—	3.39	2.18	216
Sirloin, lean	70.83	22.03	4.89	0.0	0.0	1.07	—	3.52	2.12	237
Short loin, porterhouse steak, lean	71.70	21.24	4.40	0.0	0.0	1.08	-1.7	3.53	2.11	239
T-bone steak, lean	69.59	20.27	8.17	0.0	0.0	1.01	—	3.49	2.14	232
Tenderloin, lean	69.71	20.78	7.27	0.0	0.0	1.27	—	3.49	2.14	233
Veal, lean	68.40	20.78	7.90	0.0	0.0	1.04	—	3.45	2.14	228
Veal, lean	75.91	20.20	2.87	0.0	0.0	1.08	—	3.65	2.09	254

Nota: Tomado de *2014 ASHRAE Handbook - Refrigeration (SI)*

**Apéndice N**

*Selección de aleación de aluminio para puerta roll up - Norma*

**PRINCIPALES ALEACIONES, FORMATOS, CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES parte 1/5**

Aleaciones	Formatos	Características	Aplicaciones
1050	Planchas/Placas	Alta resistencia a la corrosión. Buena confortabilidad y soldadura. Baja resistencia mecánica. Apropiaada a anodización decorativa.	Reflectores, luminarios, utensilios domésticos, tanques y cubos estructurales en las industrias química Y alimentaria, intercambiadores de calor.
	Bobinas		
	Tubos		
1100	Planchas/Placas	Alta resistencia a la corrosión. Buena confortabilidad y soldadura. Baja resistencia mecánica. Apropiaada a anodización decorativa.	Paneles decorativos, etiquetas metálicas, utensilios domésticos, reflectores, aletas.
	Bobinas		
1200	Planchas/Placas	Alta resistencia a la corrosión. Buena confortabilidad y soldadura. Baja resistencia mecánica. Apropiaada a anodización decorativa. Painéis decorativos, etiquetas metálicas.	
	Bobinas		
1350	Barra redonda	Apropiaada a anodización decorativa. Alta soldadura y resistencia a corrosión. Alta conductividad eléctrica. Buena confortabilidad.	Conductores Eléctricos.
	Barras Planas		
	Tubos		
2011	Barra redonda	Alta resistencia mecánica. Buena industria. Mediana resistencia a la corrosión. No recomendada para soldadura.	Piezas de usina en torno automático.
3003	Planchas/Placas	Medía resistencia mecánica. Alta resistencia a la corrosión. Buena confortabilidad. Buena soldadura	Intercambiadores de Calor, aislante térmico, industria química, utensilios domésticos, carretero.
	Bobinas		
3104	Planchas/Placas	Buena resistencia a la corrosión. Carreteros para autobuses y camiones, utensilios domésticos, equipos para industria química y alimentaria, latas para bebidas y alimentos, coberturas, canaletas.	Carreteros para autobuses y camiones, utensilios domésticos.
	Bobinas		

Nota: Tomado de <https://www.coppermetal.com.br/catalogos-es/catalogo-aluminio-es.pdf>

**Apéndice O**

*Conductividad térmica de aleación de Al 3003 - Norma*

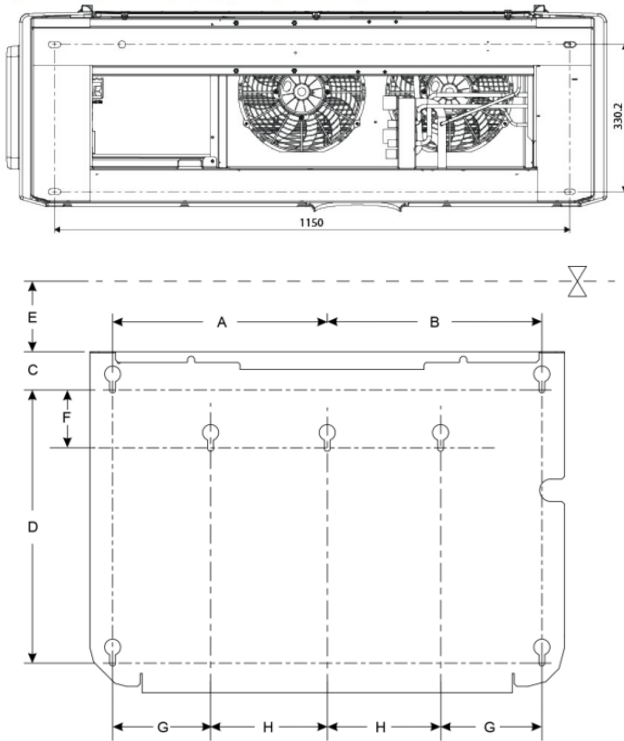
Propiedades	Condiciones		
		T (°C)	Tratamiento
Coefficiente de expansión térmica	23,2 (10 <sup>-6</sup> / °C)	20-100	-
Conductividad térmica	162 W/mK	25	H12

Nota: Tomado de <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6618>

**Apéndice P**

*Perfil de perforación establecidos por el fabricante (ThermoKing) para equipo V 300*

Figure 17. Condenser Roof Top Mounting/Access Hole Locations (V-500/V-600)



BEN1734

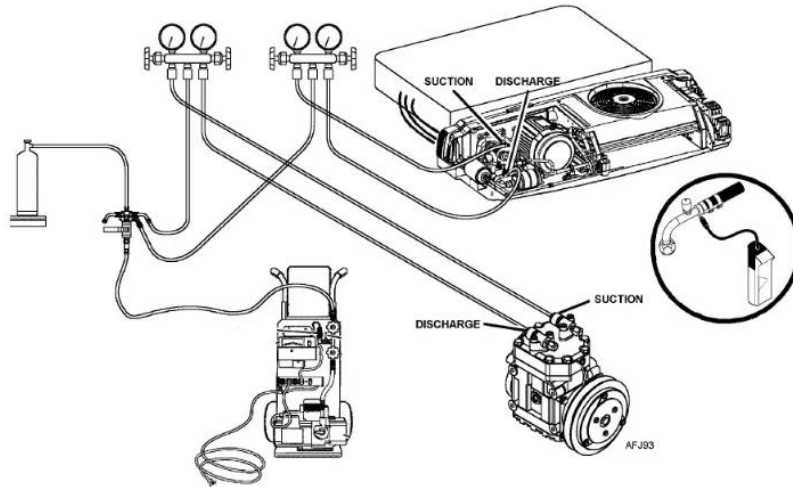
Model	A	B	C	D	E	F	G	H
ES100N	197.5 mm	197.5 mm	70.5 mm	410 mm	110 mm	NA	NA	NA
ES150	335 mm	335 mm	60.1 mm	427.5 mm	110 mm	NA	NA	NA
ES300	450 mm	450 mm	50.5 mm	443 mm	110 mm	NA	NA	NA
ES400	470 mm	470 mm	50 mm	450 mm	150 mm	NA	NA	NA
ES500	595 mm	595 mm	50 mm	450 mm	150 mm	NA	NA	NA
ES800	755 mm	755 mm	50.5 mm	450 mm	150 mm	NA	NA	NA
ES1000	NA	NA	50.5 mm	520	150 mm	99.5	442.5 mm	412.5 mm

Nota: Tomado de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/thermo\\_king\\_v400x.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/thermo_king_v400x.pdf)

## Apéndice Q

### Conexión de manguera del modelo V 300

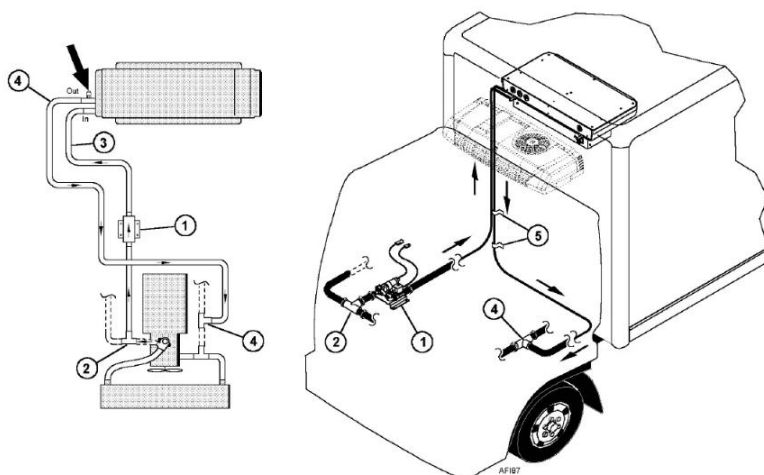
#### System Leak Check and Evacuation



Nota: Tomado de <https://es.scribd.com/document/380195295/V-200-and-V-300-51856-1-IM>

## Apéndice R

### Conexiones de cableado del modelo V 300

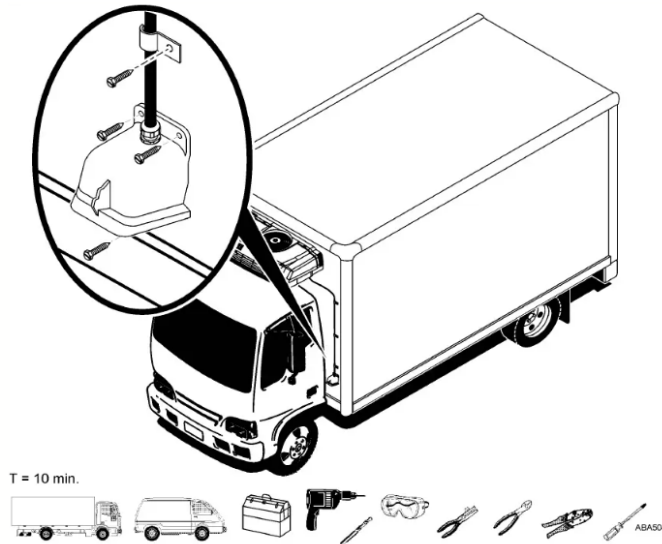


Nota: Tomado de <https://es.scribd.com/document/380195295/V-200-and-V-300-51856-1-IM>

## Apéndice S

*Instalación de la fuente de alimentación - Unidades con reserva eléctrica*

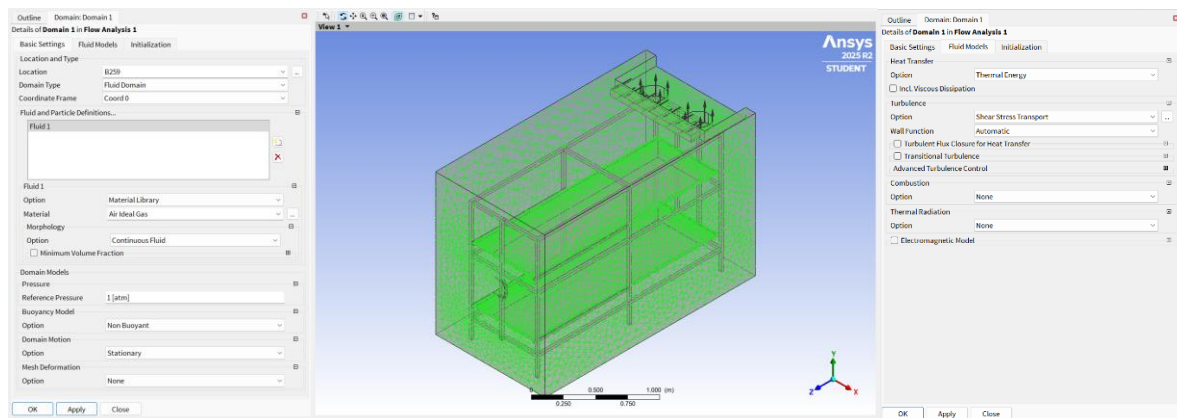
### Installation of the Electric Standby Power Supply (OPTION)



*Nota:* Tomado de <https://es.scribd.com/document/380195295/V-200-and-V-300-51856-1-IM>

## Apéndice T

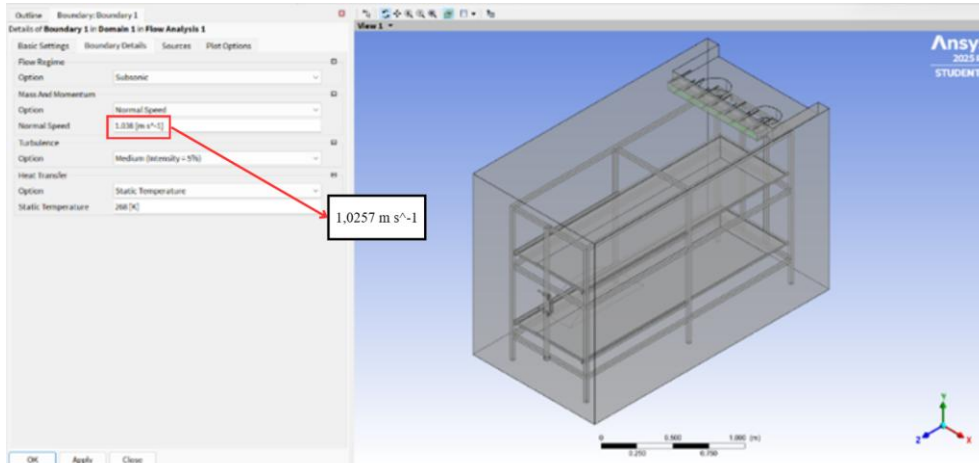
*Parámetros del fluido*



*Nota:* Se determina material del fluido y la locación por donde pasará el flujo de aire, también se especifica la forma de transferencia de calor que será por energía térmica.

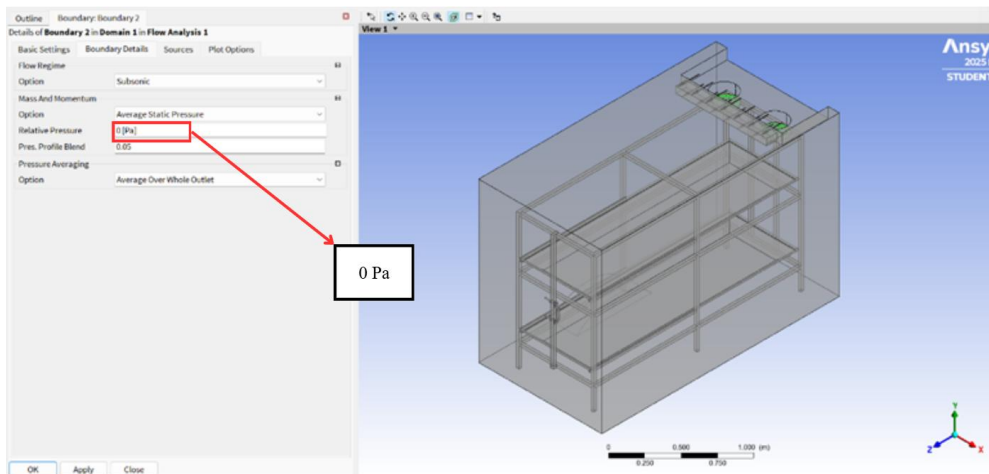
## Apéndice U

### *Parámetros de entrada de aire*



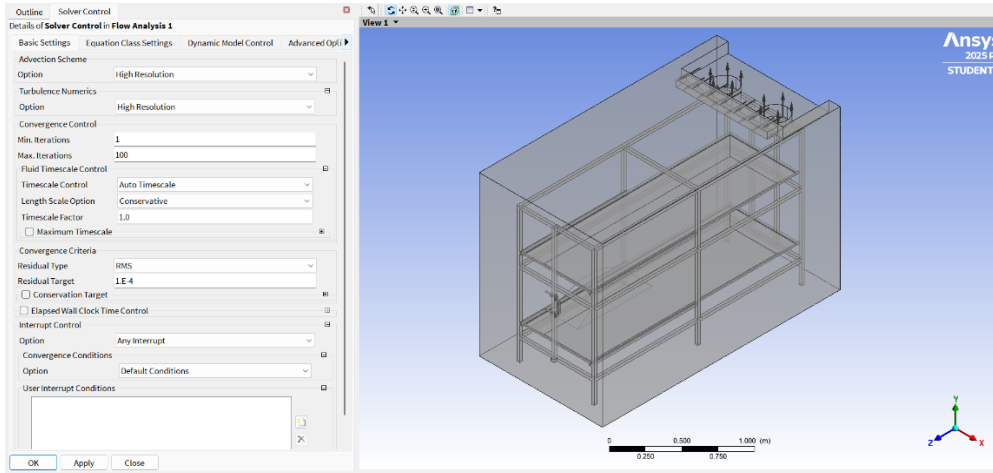
## Apéndice V

### *Parámetros de salida de aire*



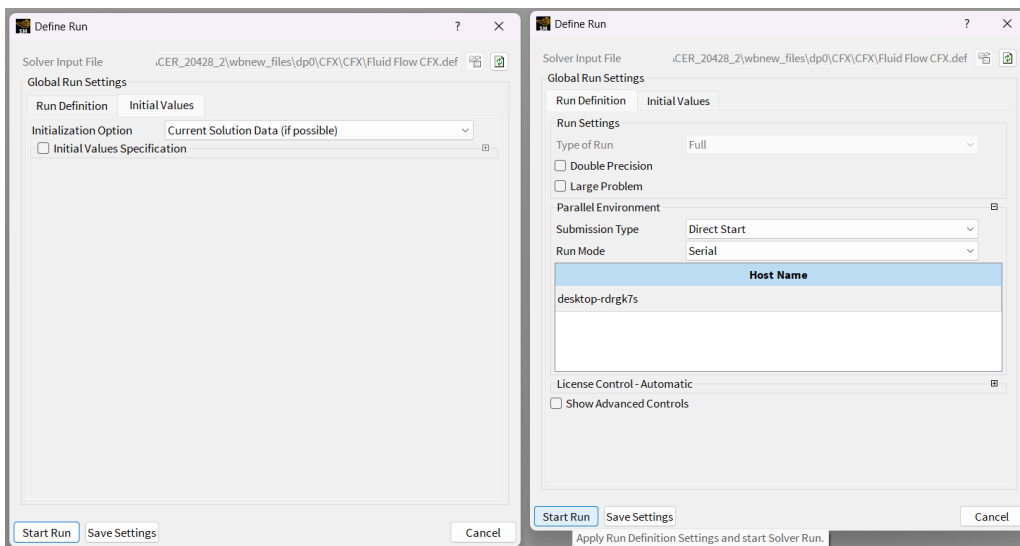
## Apéndice W

*Variables para ejecutar el cálculo de las ecuaciones*



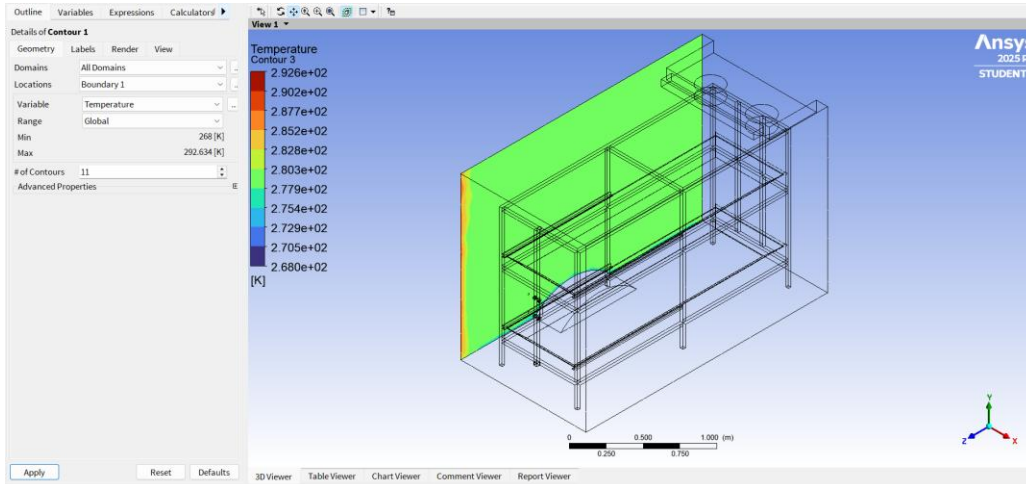
## Apéndice X

*Definición de parámetros de inicio de cálculos de iteraciones*



## Apéndice Y

*Definición del comportamiento de cada superficie, en magnitud de la temperatura*



## Apéndice Z

*Definición de las líneas de corriente de aire, en magnitud de la temperatura*

