



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE AIRE ACONDICIONADO EN EL INTERIOR DE UN AUTOBÚS MEDIANTE ANÁLISIS CFD”**

**LOAYZA TORO YUBERTH PAÚL  
RAMÍREZ HERRERA WILSON ENRIQUE**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN TIPO: PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

**Previa a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2017**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

---

2016-12-07

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**YUBERTH PAÚL LOAYZA TORO**

Titulada:

**“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE AIRE  
ACONDICIONADO EN EL INTERIOR DE UN AUTOBÚS MEDIANTE  
ANÁLISIS CFD”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño

**DECANO FACULTAD DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla

**DIRECTOR**

---

Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy

**ASESOR**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

---

2016-12-07

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**WILSON ENRIQUE RAMÍREZ HERRERA**

Titulada:

**“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE AIRE  
ACONDICIONADO EN EL INTERIOR DE UN AUTOBÚS MEDIANTE  
ANÁLISIS CFD”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño

**DECANO FACULTAD DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla

**DIRECTOR**

---

Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy

**ASESOR**

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LOAYZA TORO YUBERTH PAÚL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN: “ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE AIRE ACONDICIONADO EN EL INTERIOR DE UN AUTOBÚS MEDIANTE ANÁLISIS CFD”**

**Fecha de Examinación: 2017-08-18**

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza

**PRESIDENTE TRIB.**

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** RAMÍREZ HERRERA WILSON ENRIQUE

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE AIRE ACONDICIONADO EN EL INTERIOR DE UN AUTOBÚS MEDIANTE ANÁLISIS CFD”

**Fecha de Examinación:** 2017-08-18

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza

**PRESIDENTE TRIB.**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Yuberth Paúl Loayza Toro.

---

Wilson Enrique Ramírez Herrera.

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Loayza Toro Yuberth Paúl y Ramírez Herrera Wilson Enrique, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados. Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

Yuberth Paúl Loayza Toro.  
Cédula de Identidad: 070633387-9

---

Wilson Enrique Ramírez Herrera.  
Cédula de Identidad: 070587464-2

## **DEDICATORIA**

Dedico el éxito de mi proyecto de Titulación a Dios y a Virgen Santísima gracias a ellos hoy eh logrado concluir esta etapa de mi Vida.

A mi Familia especialmente a mis Padres, Hermanos y a mi Hijo por ser mi inspiración y mi Fortaleza para ser cada día mejor.

A mi Novia por su apoyo, por su carisma y ayuda incondicional en esta etapa tan importante de mi Vida.

A mi amigo Cristhian que juntos iniciamos con la ilusión de hacer realidad este Sueño y que por circunstancias de la Vida hoy desde el cielo comparte con nosotros esta alegría tan grande.

A mis amigos y a todas las personas que contribuyeron con su granito de arena, les dedico este logro tan importante en mi Vida sin la ayuda de todos Ustedes no hubiese sido posible lograrlo.

**Yuberth Paúl Loayza Toro**

Dedico este Proyecto de Titulación en primer lugar a Dios, por ser el pilar fundamental en mi vida, quien me da las fuerzas cada día para seguir adelante cumpliendo mis objetivos propuestos.

A mi familia: a mi padre Enrique, que siempre lo llevo presente en mi corazón y a pesar que no se encuentra físicamente a mi lado, sé que desde el cielo junto a Dios guía mis pasos como siempre lo hizo, a mi madre Marianita, que junto a mi padre fue quien me motivó a iniciar en la carrera de Ingeniería Automotriz y es el eje principal en mi familia, brindándome su apoyo y sabiduría.

A mis hermanos, Bolívar y Dianita, por darme palabras de aliento en momentos difíciles y apoyarme incondicionalmente durante todo este proyecto.

**Wilson Enrique Ramírez Herrera**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco de todo Corazón a Dios por permitirme estar aquí, por darme las fuerzas y la sabiduría necesaria para poder culminar mi Carrera con éxito. A mis padres Lorgio y Yeny, por brindarme su apoyo, su cariño y sus sabios consejos para poder sobrellevar de la mejor manera las diferentes circunstancias que me depara la Vida, a mis Hermanos: Eduardo, Anabel, y Nayeli por estar siempre pendientes de mí. A mi hijo Mathias por ser mi inspiración y mis ganas de ser cada día mejor.

A mi Hermosa Novia y futura Esposa María del Cisne, por su apoyo, por creer en mí y por ayudarme a cristalizar mis sueños en una bonita realidad. A mis Abuelitos que han sido un apoyo muy importante en el transcurso de esta etapa de mi Vida.

A mi compañero de Tesis Wilson por la paciencia y dedicación, y por ser un buen amigo. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, a sus docentes por impartirnos sus conocimientos que nos serán de gran Utilidad en el desarrollo de nuestra Vida profesional.

De Igual manera a nuestro Tutor y Asesor por ser nuestros guías en el desarrollo de nuestro proyecto de Titulación, y a todos nuestros amigos que de una u otra manera contribuyeron en el desarrollo exitoso de nuestro proyecto. Que Dios los Bendiga a todos.

**Yuberth Paúl Loayza Toro**

Agradezco a Dios por permitirme cumplir con el objetivo de culminar la carrera manteniéndome con fuerzas y ganas de superarme, a mi familia por ser el apoyo incondicional, por las palabras de aliento en los momentos difíciles.

A mis profesores quienes me brindaron sus conocimientos durante la preparación académica, en especial a los Ingenieros Edwin Pozo y Ramiro Cepeda por su motivación y apoyo para culminar con éxito esta etapa de la vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la oportunidad de pertenecer a esta familia estudiantil, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz por acogerme y ayudarme a cumplir satisfactoriamente mi carrera.

A mis amigos, que con lealtad y amistad sincera me han apoyado y motivado a no rendirme en situaciones difíciles, en especial a mi amigo Yuberth, por ser un amigo incondicional y una persona de grandes valores.

**Wilson Enrique Ramírez Herrera**

## CONTENIDO

Pág.

### 1. INTRODUCCIÓN

1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Justificación .....	1
1.3.	Objetivos .....	2
1.3.1.	<i>Objetivo general</i> .....	2
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	2

### 2. MARCO TEÓRICO

2.1.	Conceptos básicos de refrigeración. ....	3
2.1.1.	<i>Refrigeración</i> .....	3
2.1.2.	<i>Presión</i> .....	3
2.1.3.	<i>Temperatura</i> .....	3
2.1.4.	<i>Termómetro</i> .....	3
2.1.5.	<i>Calor</i> .....	4
2.1.6.	<i>Calor sensible</i> .....	4
2.1.7.	<i>Calor latente</i> .....	4
2.1.8.	<i>Humedad</i> .....	4
2.1.9.	<i>Entalpía</i> .....	4
2.1.10.	<i>Entropía</i> .....	4
2.1.11.	<i>Refrigerante</i> .....	4
2.1.12.	<i>Densidad</i> .....	5
2.1.13.	<i>Transferencia de calor</i> .....	5
2.2.	Sistema de aire acondicionado.....	5
2.2.1.	<i>Compresor</i> .....	6
2.2.1.1.	<i>Funcionamiento</i> .....	7
2.2.2.	<i>Condensador</i> .....	8
2.2.2.1.	<i>Funcionamiento</i> .....	8
2.2.3.	<i>Válvula de expansión</i> .....	9
2.2.3.1.	<i>Funcionamiento</i> .....	10
2.2.3.2.	<i>Tipos de válvula de expansión</i> .....	10
2.2.4.	<i>Evaporador</i> .....	11
2.2.4.1.	<i>Funcionamiento</i> .....	11

2.2.4.2.	<i>Tipos de evaporadores</i> .....	11
2.2.5.	<i>Filtro Deshidratador</i> .....	12
2.2.5.1.	<i>Función</i> .....	13
2.2.5.2.	<i>Tipos de filtro deshidratador</i> .....	13
2.2.6.	<i>Fluido Refrigerante</i> .....	13
2.2.6.1.	<i>Gas Refrigerante R-134a</i> .....	14
2.2.6.2.	<i>Características</i> .....	14
2.2.6.3.	<i>Desventajas</i> .....	15
2.2.6.4.	<i>Aplicaciones</i> .....	15
2.2.6.5.	<i>Propiedades físicas</i> .....	16
2.2.6.6.	<i>Compatibilidad con los materiales.</i> .....	17
2.2.7.	<i>Termómetro digital con sonda.</i> .....	18
2.2.7.1.	<i>Características</i> .....	18
2.3.	<i>Estándares de confort</i> .....	18
2.3.1.	<i>Factores que influyen en la confortabilidad.</i> .....	19
2.3.2.	<i>Condiciones de confort</i> .....	19
2.4.	<i>Efectos de la velocidad del aire</i> .....	21
2.5.	<i>Posibilidades de la dinámica de fluidos computacional CFD</i> .....	21
2.5.1.	<i>Aplicaciones</i> .....	22
2.5.2.	<i>Etapas en un análisis CFD</i> .....	22
2.5.3.	<i>Malla computacional</i> .....	23
2.6.	<i>Ansys</i> .....	23
2.6.1.	<i>Fluid Flow CFX</i> .....	23
2.6.2.	<i>Parametrización del Ansys</i> .....	23
2.7.	<i>Solidworks Flow Simulation</i> .....	24
2.7.1.	<i>Dinámica de fluidos computacional (CFD) en Flow Simulation.</i> .....	24
2.7.2.	<i>Visión general del análisis CFD</i> .....	24
2.8.	<i>Softwares capaces de desarrollar análisis CFD.</i> .....	25
2.8.1.	<i>ADINA.</i> .....	25
2.8.2.	<i>Autodesk Simulation.</i> .....	26
2.8.3.	<i>CF DESING UPFRONT CFD.</i> .....	26
2.8.4.	<i>Trelis.</i> .....	27
2.8.5.	<i>Xflow CFD.</i> .....	28

### **3. CONDICIONES DEL PROYECTO.**

3.1.	Partes del Autobús en las que está presente la transferencia de calor. ....	29
3.1.1.	Carrocería.....	29
3.1.2.	<i>Paredes</i> .....	29
3.1.3.	<i>Techo</i> .....	30
3.1.4.	<i>Piso</i> .....	30
3.1.5.	<i>Ventanas</i> .....	30
3.1.6.	<i>Puerta de ingreso y salida de pasajeros</i> .....	30
3.1.7.	<i>Capacidad</i> .....	30
3.2.	Condiciones Externas.....	30
3.3.	Condiciones Interiores. ....	31
3.4.	Método de cálculo térmico.....	31
3.4.1.	<i>Condiciones Generales.</i> .....	31
3.4.1.1.	<i>Cargas externas.</i> .....	32
3.4.1.2.	<i>Cargas internas.</i> .....	33
3.4.1.3.	<i>Infiltraciones</i> .....	33
3.4.2.	<i>Características y condiciones térmicas de los materiales de la carrocería. ..</i> .....	33
3.4.3.	<i>Desarrollo de ecuaciones.</i> .....	35
3.4.4.	<i>Cálculo de la ganancia térmica al interior del bus.</i> .....	37
3.4.4.1.	<i>Cálculo de la ganancia térmica en el vidrio.</i> .....	37
3.4.4.2.	<i>Cálculo de la ganancia térmica en el piso.</i> .....	38
3.4.4.3.	<i>Cálculo de la ganancia térmica del techo.</i> .....	38
3.4.4.4.	<i>Cálculo de la ganancia térmica en los laterales.</i> .....	40
3.4.4.5.	<i>Cálculo de la ganancia térmica en las personas.</i> .....	41
3.4.5.	<i>Resumen de las ganancias térmicas.</i> .....	42

### **4. ANALISIS COMPARATIVO VARIANDO LA TEMPERTURA DEL MEDIO AMBIENTE Y EL NUMERO DE PASAJEROS.**

4.1.	Análisis variando la temperatura del medio ambiente. ....	43
4.1.1.	<i>Cálculo de la ganancia térmica en el vidrio.</i> .....	43
4.1.2.	<i>Cálculo de la ganancia térmica en el piso.</i> .....	44
4.1.3.	<i>Cálculo de la ganancia térmica del techo.</i> .....	44

4.1.4.	<i>Cálculo de la ganancia térmica en los laterales.</i>	46
4.1.5.	<i>Cálculo de la ganancia térmica en las personas.</i>	47
4.1.6.	<i>Resumen de las ganancias térmicas variando la temperatura ambiente.</i>	48
4.2.	<i>Análisis variando la cantidad de ocupantes.</i>	49
4.2.1.	<i>Cálculo de la ganancia térmica en el vidrio.</i>	49
4.2.2.	<i>Cálculo de la ganancia térmica en el piso.</i>	50
4.2.3.	<i>Cálculo de la ganancia térmica del techo.</i>	50
4.2.4.	<i>Cálculo de la ganancia térmica en los laterales.</i>	52
4.2.5.	<i>Cálculo de la ganancia térmica en las personas.</i>	53
4.2.6.	<i>Resumen de las ganancias térmicas variando el número de ocupantes.</i>	54
4.3.	<i>Cálculo de ganancias térmicas variando la temperatura ambiente y la cantidad de ocupantes.</i>	54

## **5. SIMULACION DEL PROYECTO.**

5.1.	<i>Desarrollo de la simulación en el software Solidworks 2017.</i>	56
5.1.1.	<i>Diseño de la carrocería.</i>	56
5.1.2.	<i>Consideraciones para el diseño del habitáculo.</i>	57
5.1.3.	<i>Fases de simulación.</i>	58
5.1.3.1.	<i>Pre-Proceso</i>	58
5.1.3.2.	<i>Proceso</i>	64
5.1.3.3.	<i>Post – Proceso</i>	65
5.2.	<i>Desarrollo de la simulación en función del tiempo en el software ANSYS 18.1.</i>	72
5.2.1.	<i>Análisis cualitativo y cuantitativo en función del tiempo.</i>	72
5.2.2.	<i>Fases de simulación.</i>	73
5.2.2.1.	<i>Pre-Proceso</i>	73
5.2.2.2.	<i>Proceso</i>	78
5.2.2.3.	<i>Post – Proceso</i>	80

## **6. PROPUESTAS DE MEJORA PARA UN DESEMPEÑO ÓPTIMO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO.**

6.1.	<i>Cambio de las rejillas circulares a rectangulares.</i>	82
6.2.	<i>Implementación de rejillas en los costados de los porta equipajes (canastillas).</i>	83

6.3.	Colocar 2 rejillas más en la parte delantera y posterior de los porta equipajes. .....	84
------	---	----

**7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

7.1.	Conclusiones .....	86
7.2.	Recomendaciones .....	87

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

Pág.

<b>Tabla 2-1.</b> Propiedades físicas del refrigerante R-134a .....	16
<b>Tabla 2-2.</b> Compatibilidad con los materiales .....	17
<b>Tabla 3-1.</b> Coeficientes de conductividad, conductancia y resistencia térmica de los materiales utilizados en la carrocería del autobús. ....	34
<b>Tabla 3-2.</b> Área y espesor de los materiales. ....	34
<b>Tabla 3-3.</b> Ganancias térmicas debido a los pasajeros.....	34
<b>Tabla 3-4.</b> Suma de las ganancias térmicas. ....	42
<b>Tabla 4-1.</b> Ganancias térmicas debido a los pasajeros.....	47
<b>Tabla 4-2.</b> Suma de las ganancias térmicas variando la temperatura ambiente.....	48
<b>Tabla 4-3.</b> Suma de las ganancias térmicas variando el número de ocupantes.....	54
<b>Tabla 4-4.</b> Resultados obtenidos. ....	55
<b>Tabla 5-1.</b> Parámetros de la malla.....	59
<b>Tabla 5-2.</b> Características de los materiales en cada sección de la carrocería. ....	60
<b>Tabla 5-3.</b> Detalles de la condición de borde tipo entrada (Inlet).....	62
<b>Tabla 5-4.</b> Detalles de la condición de borde tipo salida (Outlet). ....	62
<b>Tabla 5-5.</b> Detalles de la condición de borde tipo pared (Wall). ....	63
<b>Tabla 5-6.</b> Resultados obtenidos del software. ....	66
<b>Tabla 5-7.</b> Resultados obtenidos experimentalmente. ....	66
<b>Tabla 5-8.</b> Resultados obtenidos del software. ....	67

<b>Tabla 5-9.</b> Resultados obtenidos experimentalmente. ....	68
<b>Tabla 5-10.</b> Resultados obtenidos del software. ....	69
<b>Tabla 5-11.</b> Resultados obtenidos experimentalmente. ....	69
<b>Tabla 5-12.</b> Características de los materiales en cada sección de la carrocería. ....	75
<b>Tabla 5-13.</b> Detalles de la condición de borde tipo entrada (Inlet).....	76
<b>Tabla 5-14.</b> Detalles de la condición de borde tipo pared (Wall). ....	77
<b>Tabla 5-15.</b> Detalles de la condición de borde tipo salida (Outlet). ....	78
<b>Tabla 5-16.</b> Valores de temperatura obtenidos experimentalmente.....	81

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 2-1.</b> Sistema de aire acondicionado.....	5
<b>Figura 2-2.</b> Compresor.....	6
<b>Figura 2-3.</b> Compresor rotativo de paletas. ....	7
<b>Figura 2-4.</b> Condensador .....	8
<b>Figura 2-5.</b> Serpentín de tubos de cobre. ....	9
<b>Figura 2-6.</b> Válvula de expansión.....	10
<b>Figura 2-7.</b> Válvula de expansión monobloque.....	10
<b>Figura 2-8.</b> Evaporador.....	11
<b>Figura 2-9.</b> Evaporador de placas. ....	12
<b>Figura 2-10.</b> Filtro Deshidratador .....	12
<b>Figura 2-11.</b> Refrigerante R-134a.....	14
<b>Figura 2-12.</b> Termómetro digital con Sonda.....	18
<b>Figura 2-13.</b> Carta de confort de ASHRAE.....	20
<b>Figura 2-14.</b> Simulación del aire acondicionado en una habitación. ....	21
<b>Figura 2-15.</b> Esquema de análisis Software ADINA.....	25
<b>Figura 2-16.</b> Esquema análisis software Autodesk Simulation. ....	26
<b>Figura 2-17.</b> Esquema análisis software Trelis.....	27
<b>Figura 2-18.</b> Esquema de análisis software Xflow CFD .....	28
<b>Figura 3-1.</b> Carrocería bus intercantonal. ....	29

<b>Figura 3-2.</b> Cargas externas .....	32
<b>Figura 3-3.</b> Cargas internas.....	33
<b>Figura 3-4.</b> Estructura del techo.....	39
<b>Figura 3-5.</b> Estructura de los laterales .....	40
<b>Figura 4-1.</b> Estructura del techo.....	45
<b>Figura 4-2.</b> Estructura de los laterales. ....	46
<b>Figura 4-3.</b> Estructura del techo.....	51
<b>Figura 4-4.</b> Estructura de los laterales .....	52
<b>Figura 5-1.</b> Diseño CAD de la carrocería. ....	56
<b>Figura 5-2.</b> Medición de los detalles internos del autobús. ....	57
<b>Figura 5-3.</b> Construcción porta equipajes de pasajeros. ....	58
<b>Figura 5-4.</b> Modelo final (Solidworks).....	58
<b>Figura 5-5.</b> Mallado del modelo. ....	59
<b>Figura 5-6.</b> Asignación de propiedades. ....	60
<b>Figura 5-7.</b> Definición del dominio. ....	61
<b>Figura 5-8.</b> Definición del Inlet. ....	62
<b>Figura 5-9.</b> Definición del Outlet.....	63
<b>Figura 5-10.</b> Definición del Wall.....	63
<b>Figura 5-11.</b> Estado de convergencia de la temperatura y velocidad máxima. ....	64
<b>Figura 5-12.</b> Estado de convergencia de la temperatura y velocidad mínima. ....	64
<b>Figura 5-13.</b> Puntos designados para la ubicación de los termómetros. ....	65
<b>Figura 5-14.</b> Temperatura en la sección delantera.....	66

<b>Figura 5-15.</b> Temperatura en la sección central.....	67
<b>Figura 5-16.</b> Temperatura en la sección posterior. ....	68
<b>Figura 5-17.</b> Temperatura del dominio vista lateral. ....	70
<b>Figura 5-18.</b> Temperatura del dominio vista frontal.....	70
<b>Figura 5-19.</b> Distribución volumétrica del aire en el habitáculo. ....	71
<b>Figura 5-20.</b> Temperatura volumétrica del aire en el habitáculo.....	71
<b>Figura 5-21.</b> Temperatura volumétrica (vista superior).....	72
<b>Figura 5-22.</b> Modelo final importado en Ansys.....	73
<b>Figura 5-23.</b> Geometría mallada en Ansys. ....	74
<b>Figura 5-24.</b> Detalles de la malla. ....	74
<b>Figura 5-25.</b> Definición del Inlet. ....	76
<b>Figura 5-26.</b> Definición de la pared (Wall). ....	77
<b>Figura 5-27.</b> Definición del contorno de salida (Outlet).....	77
<b>Figura 5-28.</b> Estado de convergencia de la simulación. ....	78
<b>Figura 5-29.</b> Estado de convergencia de la turbulencia. ....	79
<b>Figura 5-30.</b> Estado de convergencia de la transferencia de calor del fluido. ....	79
<b>Figura 5-31.</b> Error de almacenamiento del computador. ....	80
<b>Figura 5-32.</b> Error en la Licencia del Software. ....	80
<b>Figura 5-33.</b> Resultados obtenidos del reporte del software.....	81
<b>Figura 6-1.</b> Rejillas rectangulares .....	82
<b>Figura 6-2.</b> Simulación con rejillas rectangulares. ....	83
<b>Figura 6-3.</b> Rejillas en los costados de los porta Equipajes.....	84

<b>Figura 6-4.</b> Distribución del aire colocando las rejillas a los costados.....	84
<b>Figura 6-5.</b> Ubicación de 2 rejillas en los porta equipajes.....	85
<b>Figura 6-6.</b> Distribución del aire agregando las 2 rejillas.....	85

## SIMBOLOGÍA

$Q_m$	Calor material	BTU/h
$u$	Conductancia del material	W/K*m <sup>2</sup>
$A$	Area	m <sup>2</sup>
$T$	Temperatura	K
$R$	Índice de resistencia térmica	K*m <sup>2</sup> /W
$e$	Espesor	m
$\lambda$	Conductividad del material	W/K*m
$Q_{s.o.}$	Ganancia del calor sensible	BTU/h
$Q_v$	Calor del vidrio	BTU/h
$Q_p$	Calor pasajeros	BTU/h
$Q_s$	Calor sensible de ocupantes	BTU/h
$Q_{l.o.}$	Calor latente de las personas	BTU/h
$Q_t$	Calor del techo	BTU/h
$C_{s.o.}$	Calor sensible de los ocupantes	W
$C_{l.o.}$	Calor latente ocupantes	W

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
CFD	Dinámica de Fluidos Computacional
BTU	Unidad Térmica Británica
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado
CAD	Diseño Asistido por Computadora
CAE	Ingeniería Asistida por Computadora

## **LISTA DE ANEXOS**

- A.** Norma INEN 043
- B.** Interior del habitáculo
- C.** Dimensionamiento en canastillas
- D.** Instalación de conductos de aire acondicionado
- E.** Toma de datos
- F.** Salida de aire acondicionado

## RESUMEN

El estudio de la distribución del aire acondicionado al interior de un autobús de transporte intercantonal mediante el análisis CFD y validando los resultados obtenidos en el simulador con datos medibles en el habitáculo del automotor. El preámbulo de este proyecto se basa en la falta de estudio sobre la implementación de un sistema de aire acondicionado en medios de transporte de servicio público. Para dar inicio al estudio se ha tomado como referencia lo establecido en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE 043 que establece una temperatura de confort óptima de 23°C, generando un ambiente de comodidad a los pasajeros. Lograr un ambiente confortable mediante un sistema de aire acondicionado conlleva a un análisis de factores como el tipo de materiales utilizados para la construcción del habitáculo, su conductividad y resistencia térmica, la superficie que ocupa cada material, el número de pasajeros que transporta el autobús y el calor que emite cada uno de ellos, además de la distribución de las rejillas de ventilación y la capacidad del equipo utilizado para climatizar el volumen ocupado por las personas; todos estos parámetros son desarrollados matemáticamente y considerados en la simulación con software en el análisis CFD. Una vez realizado el análisis, se procede a tabular los datos y estudiar la optimización del sistema térmico, modificando parámetros que permitan una distribución uniforme del aire acondicionado, logrando que el habitáculo alcance los 23°C en el menor tiempo posible y el equipo de climatización opere en intervalos de tiempo menores a los que trabaja normalmente, permitiendo eficiencia en el sistema y ahorro de combustible. El estudio ha sido realizado en la empresa carrocería METÁLICAS PILLAPA ubicada en el cantón Pelileo, ciudad de Ambato, y está proyectado para análisis posteriores de implementación en unidades de transporte modelo ALFA 700.

**PALABRAS CLAVE:** <AIRE ACONDICIONADO>, <ANÁLISIS CFD>, <RESISTENCIA TÉRMICA>, <SIMULACIÓN>, <OPTIMIZACIÓN>, <TEMPERATURA DE CONFORT>, <IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CLIMATIZACION >, <MÁQUINA HERRAMIENTA>, <EFICIENCIA>.

## ABSTRACT

The study of the distribution of air conditioning to the interior of an intercity transport bus through CFD analysis and validating the results obtained in the simulator with measurable data in the passenger compartment of the automotive. The preamble of this Project is based in the lack of study on the implementation of an air conditioning system in public transport means. To start the study it has taken as a reference the established in the RTE 043 Ecuadorian Technical Regulation that establishes an optimal comfort temperature of 23°C, generating an environment of comfort to the passengers. Achieving a comfortable environment through an air conditioning system leads to an analysis of factors such as the type of materials used for the construction of the passenger compartment, its conductivity and thermal resistance, the area occupied by each material, the number of passengers carried by the bus and the heat emitted by each of them, in addition to the distribution of the ventilation grilles and the capacity of the equipment used to climatize the volume occupied by the people; all these parameters are mathematically developed and considered in the simulation with software in the CFD analysis. Once the analysis is done, the data is tabulated and the optimization of the thermal system is analysed, modifying parameters that allow a uniform distribution of the air conditioning, achieving that the cabin reaches the 23°C in the shortest time possible and the air conditioning equipment operates in less time intervals than normal work, allowing system efficiency and fuel economy. The study was carried out in the car company METALICAS PILLAPA located in the Pelileo canton, city of Ambato, and is projected for later analysis of implementation in transport units model ALFA 700.

**KEYWORDS:** <AIR CONDITIONING>, < CFD ANALYSIS>, <THERMAL RESISTANCE>, <SIMULATION>, <OPTIMIZATION>, <COMFORT TEMPERATURE>, <CLIMATIZATION SYSTEM IMPLEMENTATION>, <EFFICIENCY>.

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. Antecedentes.**

En nuestro país al no existir suficientes estudios sobre la distribución de aire del sistema de climatización dentro de una unidad de transporte de pasajeros, las empresas dedicadas a la fabricación de carrocerías realizan instalaciones del sistema de climatización de manera empírica.

Las empresas carroceras no se basan en cálculos termodinámicos adecuados y de distribución de flujo para la instalación, simplemente obedecen a observaciones y experiencias de los usuarios para realizar la instalación; provocando inconformidad en el usuario con respecto al confort.

Los avances tecnológicos en la industria automotriz proporcionan cada vez mayor confort y seguridad a los ocupantes. El transporte interprovincial de pasajeros no es la excepción al momento de adoptar estas tecnologías; por este motivo las empresas carroceras de nuestro país se encuentran en un proceso de implementación de sistemas de aire acondicionado que mejoren condiciones del viaje, creando un clima artificial agradable dentro del habitáculo.

Otro parámetro importante, es que al momento de implementar el sistema de aire acondicionado al autobús debemos considerar la optimización del consumo de combustible, al igual que preservar la vida útil de los componentes del equipo instalado.

#### **1.2. Justificación**

En Ecuador existen empresas carroceras que fabrican y equipan diferentes modelos de carrocerías con sistemas de climatización. En la actualidad el transporte interprovincial de pasajeros ofrece cada vez mayor seguridad, eficiencia y confort, siendo este último, uno de los aspectos que primero nota el usuario al contratar el servicio de transporte.

Al referirnos al confort incluimos los parámetros de ruido, vibraciones, iluminación, temperatura y humedad, y nos enfocamos a los dos últimos ítems, mejorando el interior de la unidad de transporte, con un adecuado sistema de climatización asegurando un viaje satisfactorio.

Con este proyecto se plantea realizar las simulaciones a través de software CAE siendo necesario el cálculo respectivo en el interior de la unidad de transporte, realizando el análisis CFD y basándonos en normativas respectivas. Para validar este procedimiento se tomará mediciones con los instrumentos adecuados. El estudio será realizado para optimizar la distribución del aire acondicionado con los recursos disponibles en nuestro medio.

Si después de realizar las diferentes pruebas y mediciones al interior de la carrocería, no se alcanza los parámetros exigidos por la Norma, se procederá a la reubicación de las rejillas, así como a la modificación de características del equipo de climatización.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general.***

Realizar el estudio para optimizar la distribución de aire acondicionado en el interior de un autobús mediante análisis CFD.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos.***

Definir las variables que intervienen en el acondicionamiento del habitáculo, a través de la norma vigente, para la distribución del flujo de aire dentro de un autobús a través de análisis dinámico de fluidos.

Realizar el diseño CAD de la carrocería, utilizando los softwares Solidworks y Ansys para su posterior estudio y simulación.

Analizar la dinámica de fluidos, mediante CFD, para observar el comportamiento y distribución del flujo de aire dentro del habitáculo.

Comparar los resultados obtenidos en el análisis CFD de dinámica de fluidos, con las características térmicas de los equipos de climatización a través de catálogos para comprobar las condiciones de trabajo.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Conceptos básicos de refrigeración.

##### 2.1.1. *Refrigeración*

Es el proceso que reduce la temperatura de un espacio determinado manteniendo temperaturas bajas según las necesidades requeridas como: enfriamiento de alimentos perecederos, productos farmacéuticos, enfriamiento de locales comerciales y para crear un ambiente agradable en el habitáculo de los vehículos. (Miranda, y otros, 2012)

##### 2.1.2. *Presión*

Es el cociente de dividir una fuerza por la superficie que recibe su acción, se puede medir en diferentes unidades dependiendo el propósito de la mediada. (Miranda, y otros, 2012)

##### 2.1.3. *Temperatura*

Es aquella propiedad o magnitud física que nos permite conocer las temperaturas las diferentes temperaturas, es decir nos proporciona una idea clara de cuanto frío o calor presenta el cuerpo de una persona, un objeto o una región determinada. También se la puede definir como el grado de calor sensible que tiene determinado cuerpo en comparación con otro. (Miranda, y otros, 2012)

##### 2.1.4. *Termómetro*

Es un instrumento utilizado para medir la temperatura, los más utilizados han sido los termómetros de mercurio pero en la actualidad son remplazados por los termómetros digitales. Generalmente la escala más usada en los termómetros el grado centígrado. (Miranda, y otros, 2012)

### **2.1.5. Calor**

Se denomina calor a la energía que se intercambia entre un sistema y el medio que lo rodea, debido al choque que se producen entre las moléculas del sistema y el exterior, el calor es una energía que está siempre en movimiento y se transmite de un cuerpo con mayor temperatura a uno con menor temperatura. (Miranda, y otros, 2012)

### **2.1.6. Calor sensible**

Es el calor medible que provoca el incremento de temperatura de un cuerpo sin producir cambios en su estado. (Miranda, y otros, 2012)

### **2.1.7. Calor latente**

Es un calor que no se puede medir ni se puede sentir; se denomina como la cantidad de calor absorbida o desprendida por una unidad de masa de una sustancia durante un cambio de estado a temperatura y presión constantes. (Miranda, y otros, 2012)

### **2.1.8. Humedad**

Es la condición en la que se encuentra el aire con respecto a la cantidad de vapor de agua que contiene. La temperatura modifica la cantidad de vapor de agua que está presente en el ambiente. (Miranda, y otros, 2012)

### **2.1.9. Entalpia**

Es la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno, usualmente se mide en Joules. (Cengel, 2007)

### **2.1.10. Entropía**

Es una magnitud termodinámica que indica el grado de desorden molecular de un sistema, mientras mayor es el desorden el grado molecular aumenta y viceversa. (Cengel, 2007)

### **2.1.11. Refrigerante**

Es una sustancia que actúa como agente de enfriamiento, con propiedades especiales de punto de evaporación y condensación. A baja presión y temperatura se evapora y con

alta presión y temperatura se condensa, son capaces de absorber calor de un ambiente. (Miranda, y otros, 2012)

### 2.1.12. Densidad

Se define como la relación de la masa por unidad de volumen. La densidad de una sustancia depende de dos propiedades: temperatura y presión; la densidad de la mayoría de los gases es proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura. (Cengel, 2007)

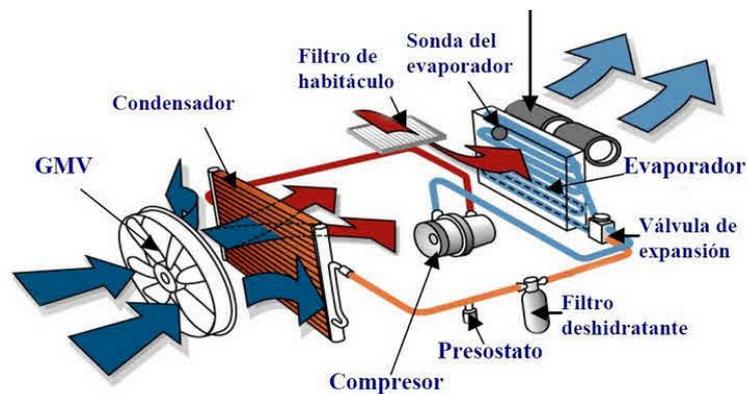
### 2.1.13. Transferencia de calor

Es el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a uno de menor temperatura. La transferencia de calor se puede dar por tres mecanismos físicos: conducción, convección y radiación. (3dCad, 2017)

## 2.2. Sistema de aire acondicionado.

El sistema de aire acondicionado está conformado por equipos de refrigeración y calefacción, conjuntamente regulan la temperatura del habitáculo del vehículo. Mediante el sistema de aire acondicionado presente en el vehículo e integrado en el sistema de ventilación, es posible regular una temperatura de confort agradable a los ocupantes, independientemente de la temperatura exterior.

**Figura 1.** Sistema de aire acondicionado



Fuente. [http://guiamecanica.blogspot.com/2012/07/aire-acondicionado-y-climatizacion-del\\_19.html](http://guiamecanica.blogspot.com/2012/07/aire-acondicionado-y-climatizacion-del_19.html)

El acondicionamiento del aire en el habitáculo del vehículo proporciona bienestar y seguridad al conductor y pasajeros.

Climatizar, involucra regular la temperatura, humedad, pureza y circulación del aire. El sistema de aire acondicionado en el vehículo lo enfría y a la vez extrae la humedad y el polvo. El conductor o los ocupantes pueden regular a su elección la temperatura en el interior mediante controles operados manualmente, y en otros casos se incorporan sistemas automáticos.

El sistema de aire acondicionado trabaja según el principio de refrigeración por compresión.

Principalmente el circuito de refrigeración se compone de 5 partes fundamentales que son: compresor, condensador, válvula de expansión, evaporador y acumulador. (Paz, 2010)

### **2.2.1. Compresor**

También se lo considera como el elemento principal del circuito, como su nombre lo dice comprime el gas refrigerante con la ayuda de la potencia del motor que se transmite a través de una banda.

**Figura 2.** Compresor



**Fuente.** <http://www.copartes.gt/repuestos/12/kia/43/sportage>

### 2.2.1.1. *Funcionamiento*

La función del compresor es aumentar la presión y temperatura del gas refrigerante permitiendo el funcionamiento en el sistema de aire acondicionado en carga y descarga. El compresor comprime el gas o fluido refrigerante permitiendo así en un ciclo de compresión/descompresión generar una transferencia de calor de un lugar a otro en el sistema de refrigeración.

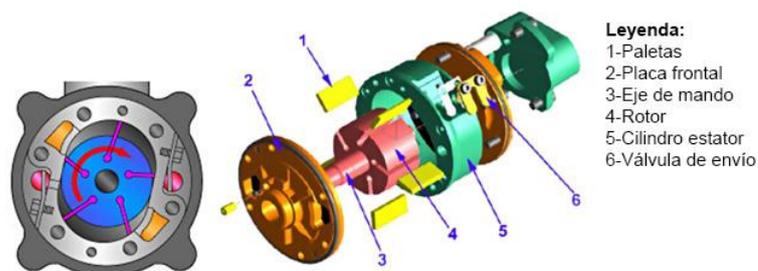
El compresor produce una fuerza comprimiendo el gas que llega desde el evaporador en estado gaseoso, la presión hace que aumente la temperatura del gas y debido a esto el gas vuelve a su estado líquido y se calienta. (THERMICPRO, 2012)

Tipos de compresor:

- Compresores alternativos
- Compresores rotativos de paletas
- Compresores de espiral.
- Compresores radiales

### **Compresores rotativos de paletas**

**Figura 3.** Compresor rotativo de paletas.



**Fuente:** <http://www.blogmecanicos.com/2016/12/evolucion-de-los-compresores-en-el-aire.html>

Su funcionamiento se da por la fuerza centrífuga que es producida por el mismo compresor posee unas ranuras longitudinales inclinadas en donde se alojan las paletas. El rotor cumple la función principal de generar un barrido del gas refrigerante y además lo comprime.

Este tipo de compresor posee un gran rendimiento a diferentes velocidades, sean estas medias o altas debido a los requerimientos de obtener una buena tolerancia de dilatación

longitudinal no se pueden acoplar totalmente y así dan paso a la salida de solo una parte del refrigerante. (THERMICPRO, 2012)

### 2.2.2. *Condensador.*

En el condensador se da la disipación del calor. Es muy similar a un radiador ya que los dos cumplen la misma función. El condensador está diseñado para disipar el calor, normalmente se encuentra ubicado en la parte delantera del radiador, en otros casos tiene otra ubicación debido al diseño y aerodinámica de la carrocería.

**Figura 4.** Condensador



**Fuente.** <http://www.otkachka-auto.ru/condensador-para-aire-acondicionado-automotriz/>

Cuando el sistema de aire acondicionado esté en funcionamiento el condensador debe tener un buen flujo de aire. Dentro del condensador, el gas refrigerante que proviene del compresor, se encuentra caliente, es enfriado; durante el proceso de enfriamiento, el gas se condensa y se convierte en un líquido a alta presión. (THERMICPRO, 2012)

#### 2.2.2.1. *Funcionamiento.*

Tiene la función específica de enfriar el refrigerante que proviene del compresor en forma de gas de alta presión. El condensador utiliza el aire del exterior para enfriar el gas refrigerante y de esta forma el refrigerante pasara de gaseoso a líquido de alta presión.

El condensador hace uso de uno o dos electro-ventiladores para generar una mejor condensación del gas.

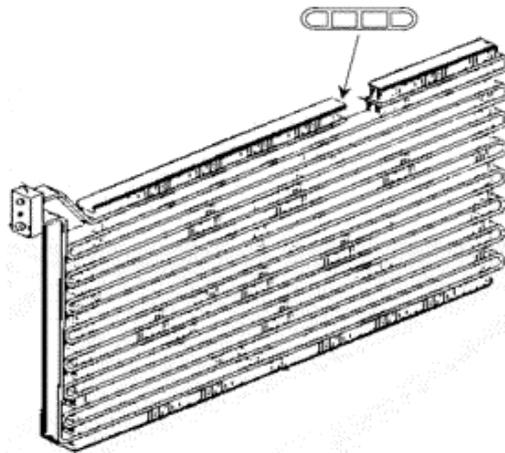
Una vez que el refrigerante ha sido condensado pasa al filtro deshidratador para limpiar las impurezas y agua que se encuentren en el circuito de aire acondicionado. (THERMICPRO, 2012)

Tipos de condensadores.

- Serpentín de tubos de cobre y aletas de aluminio
- Serpentín de tubo extrusionado plano.
- De flujo paralelo y multiflujo.

### **Serpentín de tubos de cobre y aletas de aluminio**

**Figura 5.** Serpentín de tubos de cobre.



Fuente: <http://www.netvisa.com.mx/aire-acondicionado-autos-condensador.htm>

Están constituidos por unos circuitos de tuberías de cobre. Los tubos de los condensadores son soldados en forma de horquilla y paseé un tubo de entrada y otro de salida. Utilizan la tecnología de serpentín de aluminio y se los utilizaba con el refrigerante R12 hoy en día sustituido por el R134a. Hay que tener en cuenta de utilizar agua a mucha presión por que podría dañar las celdas del condensador. (THERMICPRO, 2012)

#### **2.2.3. Válvula de expansión**

La válvula de expansión sirve para regular el caudal del fluido refrigerante dentro del evaporador. La expansión es el paso del fluido refrigerante que se encuentra en estado de alta presión y temperatura al estado de baja presión y temperatura. (Pelaez, 2004)

**Figura 6.** Válvula de expansión



**Fuente.** <http://www.directindustry.com/prod/honeywell-environmental-combustion-controls-emea/product-17675-362178.html>

### 2.2.3.1. *Funcionamiento*

La función de la válvula es expandir el fluido y regular el recalentamiento del mismo a la salida del evaporador. Esta regulación depende del caudal de fluido que atraviesa por el evaporador.

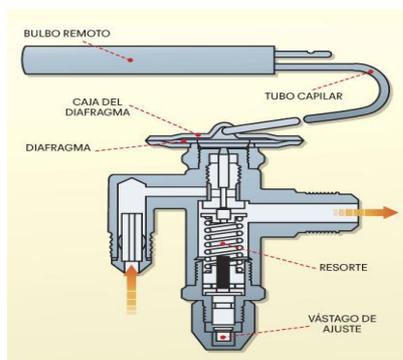
El ángulo de apertura de la válvula aumenta o disminuye de acuerdo a las necesidades del evaporador. (Pelaez, 2004)

### 2.2.3.2. *Tipos de válvula de expansión.*

- Válvula de expansión con regulación interna.
- Válvula de expansión con regulación externa o monobloque.
- Válvula de expansión de tubo de orificio fijo. (fuente David Alonso)

### **Válvula de expansión con regulación externa o monobloque.**

**Figura 7.** Válvula de expansión monobloque.



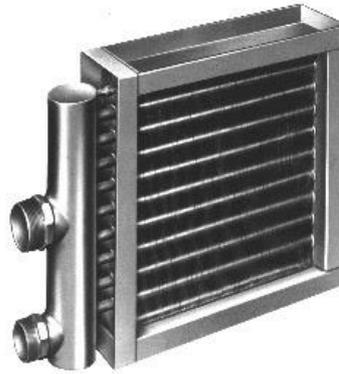
**Fuente.** <https://www.0grados.com/aplicacion-y-ajuste-de-las-valvulas-de-expansion-termostatica/>

Efectúa la compensación ideal requerida para recargar el gas en la membrana, hoy en día se usan este tipo de válvulas por no poseer un bulbo externo. Poseen un platillo en donde se apoya la membrana o cañería, esta también comunica al gas contenido en su cámara superior. (Pelaez, 2004)

#### **2.2.4. Evaporador**

El evaporador es un dispositivo del circuito ubicado en el lado de baja presión; el aire que circula a través del evaporador cede calor al fluido refrigerante pasando al habitáculo en un estado frío y deshumidificado. El fluido refrigerante se vaporiza en su totalidad al pasar por el evaporador. (Pelaez, 2004)

**Figura 8.** Evaporador



Fuente. <http://aireacondicionadoutomotriz.blogspot.com/2010/04/aire-acondicionado-automotriz.html>

##### **2.2.4.1. Funcionamiento.**

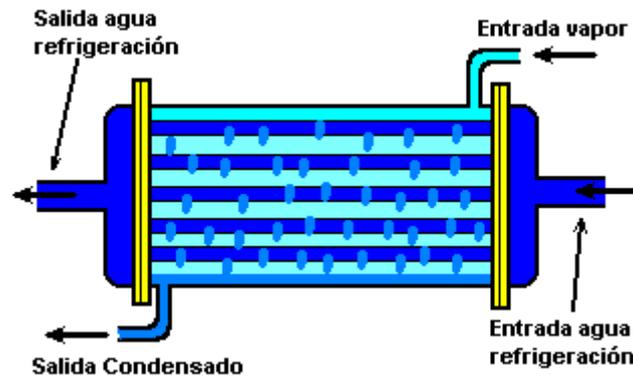
La función del evaporador es garantizar la evaporación total del fluido refrigerante, produciendo una transferencia de calorías del aire que ingresa a habitáculo al fluido refrigerante. En condiciones normales de funcionamiento, el gas refrigerante llega al evaporador con una temperatura de 5°C y sale en estado gaseoso a 8°C. (Pelaez, 2004)

##### **2.2.4.2. Tipos de evaporadores**

- Evaporador de serpentín
- Evaporador tubo / aletas
- Evaporador de placa

## Evaporador de placas.

Figura 9. Evaporador de placas.



Fuente. <http://www.blog.simec.biz/evaporadoresen-refrigeracion-parte-ix/>

Consta de unas placas finas que están soldadas en el equipo de aire acondicionado por un sistema de inducción, posee un tubo de entrada y otro de salida. Su principal ventaja es que puede remplazar las celdas porque son individuales y no pueden alterar su funcionamiento. (Pelaez, 2004)

### 2.2.5. Filtro Deshidratador

El filtro deshidratador es el componente del circuito, cuyo material filtrante no permite el paso de moléculas de agua pero sí de fluido refrigerante. Se ubica entre el condensador y el expansor, evitando la formación de hielo en este último elemento. (Pelaez, 2004)

Figura 10. Filtro Deshidratador



Fuente. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/aluminum-receiver-drier-r134a-filter-driers-60211928383.html>

#### 2.2.5.1. *Función*

Su función básica es restituir el refrigerante al sistema reteniendo las impurezas y humedad que contenga, depositándolas en un material filtrante.

#### 2.2.5.2. *Tipos de filtro deshidratador*

- Botella deshidratadora
- Filtro acumulador

#### 2.2.6. *Fluido Refrigerante*

El principal componente del sistema de aire acondicionado es el fluido refrigerante, el cual recorrerá todo el circuito, sometándose a continuos y diferentes cambios de temperatura y presión que van a ocasionar modificaciones en el mismo con las sucesivas evaporaciones y condensaciones, y así poder extraer el calor del aire que está dentro del vehículo y posteriormente deshacerse del mismo.

El fluido refrigerante cumple su función de acuerdo a las condiciones climáticas a las que esté sometido el vehículo; como son las elevadas temperaturas (de 40 o 50 °C) o a la alta tasa de humedad relativa del aire (70-80%). Para los sistemas de aire acondicionado es necesario que el fluido se vaporice a bajas temperaturas, puesto que si deseamos que el fluido se vaporice es necesario que las condiciones ambientales sean inferiores a los 25 °C. Por esta razón, los fluidos refrigerantes que se utilizan en los sistemas de aire acondicionado muestran una temperatura de ebullición relativamente baja, cerca de los -25°C a la presión atmosférica

La estabilidad térmica del fluido refrigerante a elevadas temperaturas debe también estar presente en su estructura molecular, de esta manera no se produce la descomposición parcial o total del fluido refrigerante en el sistema, es decir, que el fluido debe poseer una elevada estabilidad química, por lo cual todos los componentes del sistema deben estar fabricados con materiales que químicamente no sean perjudiciales para el fluido y viceversa, para que no ocurran acciones corrosivas contra los metales y gomas. (SIMEC, 2013)

### 2.2.6.1. Gas Refrigerante R-134a

En un HFC que reemplaza al R12 en instalaciones modernas. Como todos los refrigerantes HFC no contamina la capa de ozono. Tiene muy buena estabilidad tanto térmica como química, baja toxicidad y no es inflamable y a más de eso tiene una excelente compatibilidad con los materiales. No es miscible con los aceites del refrigerante R12; en cambio tiene una completa miscibilidad con los aceites poliéster es por eso que debe utilizarse con esta clase de aceites.

El R-134a se utiliza mucho en los sistemas de aire acondicionado de los automóviles y en refrigeradores domésticos e industriales, y en el transporte frigorífico en temperaturas positivas. (SIMEC, 2013)

**Figura 11.** Refrigerante R-134a



**Fuente.** <https://french.alibaba.com/product-detail/china-manufacturer-refrigerant-r134a-gas-price-60257841511.html>

### 2.2.6.2. Características

El R-134a tiene las mismas características que el refrigerante R12 y son:

- Poca toxicidad.
- En condiciones normales no es explosivo ni inflamable.
- Alto calor latente de vaporización.
- Su estado cambia cuando está en presiones poco elevadas.
- La temperatura de vaporización es la adecuada para sistemas de climatización.

El R-134a no posee cloro en su composición química por lo que no es perjudicial para el medio ambiente, pero si contribuye al efecto invernadero pero en menores proporciones que el R12. (Brich, 1996)

#### 2.2.6.3. *Desventajas*

- En presencia de agua es corrosivo.
- Es miscible con aceites sintéticos, pero no es miscible con aceites minerales.
- Existen posibilidades de fuga por motivos de que sus moléculas son pequeñas.

#### 2.2.6.4. *Aplicaciones*

En el área automotriz los fabricantes están utilizando el refrigerante R-134a en los sistemas de aire acondicionado. Además están empujando métodos diversas metodologías de adaptación para que los sistemas de aire acondicionado actuales puedan funcionar de manera eficiente con el R134a dejando atarax al R-12.

El R-134a fue elaborado para diferentes aplicaciones de refrigeración como: vitrinas de supermercados, salas refrigeradas, refrigeración doméstica, del automóvil, entre otras.

Se puede utilizar para equipos de aire acondicionado nuevos y también se puede adaptar a los sistemas que anteriormente utilizaban el R-12. No serán necesarios cambios significativos en el diseño de los sistemas para sacar el máximo provecho de los beneficios y prestaciones que brinda el R-134a. (Brich, 1996)

2.2.6.5. *Propiedades físicas*

**Tabla 1.** Propiedades físicas del refrigerante R-134a

<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	<b>REFRIGERANTE R 134A</b>
Formula química	CH <sub>2</sub> F-CF <sub>3</sub>
Nombre químico	1,1,1,2- Tetrafluoroetano
Peso molecular	102 Kg/Kmol
Punto de ebullición	-26.2 °C
Punto de congelación	-101 °C
Temperatura crítica	101.1 °C
Presión crítica	40.67 Bar
Densidad crítica	0.51 Kg/l
Densidad del líquido a 25°C	1.206 (Kg/l)
Densidad del líquido a 0°C	1.293 (Kg/l)
Densidad del vapor a 25°C	32.25 (Kg/m <sup>3</sup> )
Densidad del vapor a 0°C	14.41 (Kg/m <sup>3</sup> )
Presión de vapor a 25°C	6.657 Bar
Presión de vapor a 0°C	216.4 Bar
Viscosidad del líquido a 25°C	0.202 cp
Presión superficial a 25°C	7.9 mN/m

**Tabla 1.** (Continuación) Propiedades físicas del refrigerante R-134a

Solubilidad del R134a en agua.	0.15 %
Capacidad volumétrica refrigerante a -25°C	1192.11 Kg/m <sup>3</sup>
Inflamabilidad	no

Fuente. <http://docplayer.es/13274923-Ficha-tecnica-r134-a.html>

#### 2.2.6.6. *Compatibilidad con los materiales.*

En la tabla se muestra la compatibilidad que tiene el refrigerante R-134a con la mayoría de los materiales que se utilizan en los diferentes sistemas de aire acondicionado. La compatibilidad con los materiales contribuye con el correcto funcionamiento de las partes del sistema y prolonga su vida útil. (Docplayer, 2001)

**Tabla 2.** Compatibilidad con los materiales

	ELASTOMEROS			PLASTOMEROS			
	C	PC	NC		C	PC	NC
Goma Butílica	X			Propileno	X		
Neopreno	X			PVC	X		
Buna N	X			Polietileno	X		
Buna S		X		Nylon	X		
Goma fluorada			X	Poliestireno		X	
Goma natural	X			PTFE	X		
Goma siliconada		X		Poliacetileno	X		
Goma EPDM	X			Resina epoxi	X		
Polisulfúrica	X			ABS		X	

**C = Compatible; PC = Poco Compatible; NC = No Compatible**

Fuente. <http://docplayer.es/13274923-Ficha-tecnica-r134-a.html>

### 2.2.7. *Termómetro digital con sonda.*

El termómetro digital es un instrumento simple que reemplaza al termómetro analógico de uso general. Se basa en un circuito electrónico integrado denominado comparador de tensión, que convierte los cambios de temperatura en una variación de tensión, que luego es evaluada por un microprocesador y mostrada sobre un display.

**Figura 12.** Termómetro digital con Sonda



**Fuente.** <http://www.newmobile.es/piezas-arduino/81-termometro-higrometro-digital-con-sonda-externa-medir-temperatura-y-humedad.html>

#### 2.2.7.1. *Características*

- Alta resistencia a la humedad.
- Precisión de la medición +/- 1°
- Resolución de temperatura en pantalla 0.1°C
- Rango de temperatura -50°C a +110°C
- Tensión de funcionamiento 1.5V. Batería LR44

### 2.3. **Estándares de confort**

La climatización es el conjunto de acciones generadas para mantener ciertas condiciones ambientales artificiales que proporcionen una sensación placentera a las personas que se encuentran en ese entorno. Estas condiciones incluyen una temperatura aproximada de 23°C y 50% de humedad relativa. Evidentemente la temperatura juega un papel importante para mantener condiciones idóneas de bienestar, mencionando además que un

ambiente seco genera una sensación más confortable que un ambiente húmedo. (Carrier, 2009)

### **2.3.1. Factores que influyen en la confortabilidad.**

La temperatura de confort es la temperatura en la que no tenemos sensación de frío ni de calor. Además de la temperatura existen otros factores como la humedad del aire, ruido, ventilación y purificación del aire sobre los que se debe tener control para producir las condiciones de bienestar.

Para lograr un control sobre los factores anteriormente mencionados, existen dos procedimientos: la climatización pasiva y la climatización activa. La climatización pasiva pretende crear condiciones óptimas de confort utilizando medios naturales como por ejemplo un diseño adecuado del lugar donde se encuentra el individuo, la utilización de la energía solar para generar calor, etc., mientras que la climatización activa emplea medios mecánicos para producir las condiciones necesarias de bienestar, siendo este último método el más eficaz.

El sistema de aire acondicionado debe ser apto para generar un ambiente agradable a los ocupantes en el interior del vehículo, reduciendo la temperatura del mismo. El cuerpo humano desprende calor, manteniendo su temperatura interna cerca de los 37°C, siendo necesario que la temperatura del aire exterior que nos rodea sea inferior, además, si el aire que nos rodea permanece estático, la sensación de malestar aumenta en las personas, debido a la no vaporización del sudor y eliminación del calor corporal.

Otra característica del sistema es que debe poseer elementos que filtren el aire circulante al interior del automotor, evitando el flujo de partículas de polvo, olores irritantes, productos químicos olorosos, que se encuentran en la atmosfera y son perjudiciales para la salud de los ocupantes. (Pelaez, 2004)

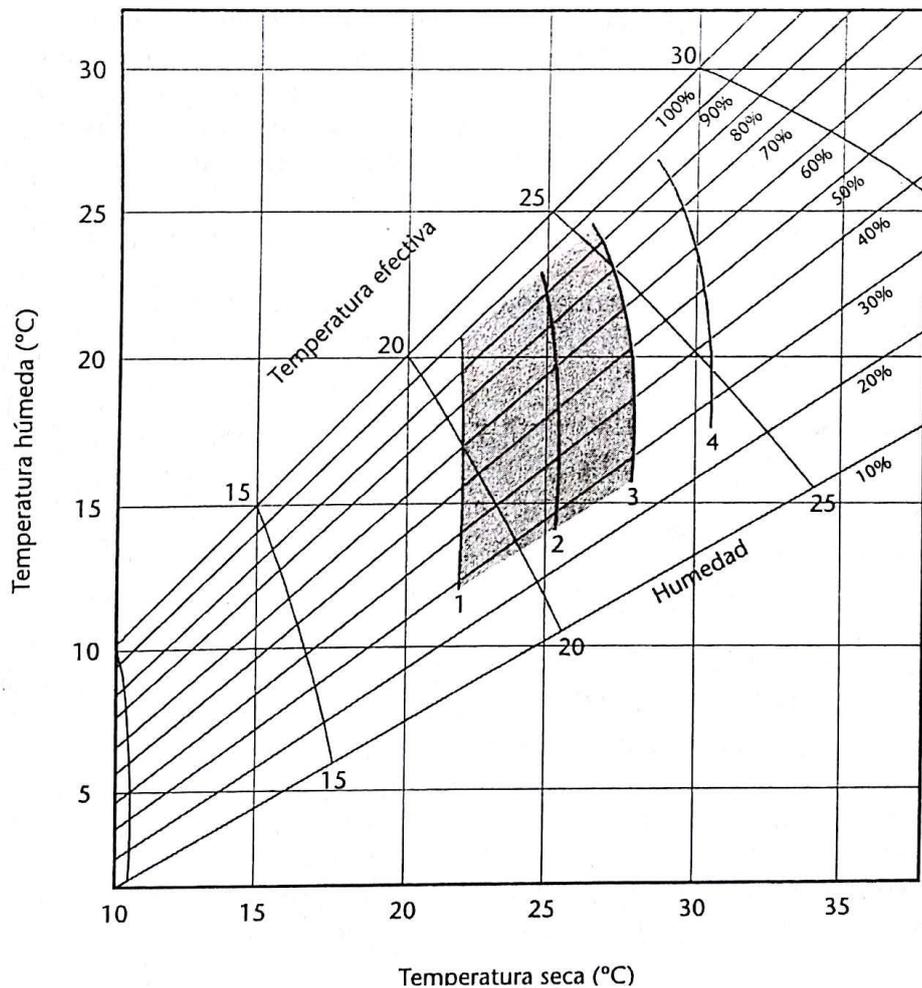
### **2.3.2. Condiciones de confort**

Mediante la utilización de métodos estadísticos, se lleva a cabo la determinación experimental del estado de confort de una persona, y representando en gráficos denominados Diagramas de Confort.

El diagrama más utilizado en el elaborado por ASHRAE (American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers) que se representa a continuación de su lectura.

En el eje horizontal se representa la temperatura seca y en el eje vertical la temperatura húmeda. Las líneas inclinadas de abajo arriba indican los grados de humedad relativa. Las líneas inclinadas que cortan a éstas a 15, 20, 25 y 30 °C son de la temperatura efectiva. Las líneas 1, 2, 3 y 4 significan: 1 ligeramente fresco, 2 confortable, 3 ligeramente caluroso y 4 caluroso.

**Figura 13.** Carta de confort de ASHRAE.



Fuente. Carrier

La zona comprendida entre las líneas 1 y 3 corresponde a la denominada zona de confort. Es necesario mencionar que para asegurar el bienestar de los ocupantes del vehículo, aparte de situarnos en la zona de confort, se debe analizar la distribución correcta de temperatura y una velocidad adecuada del aire.

## 2.4. Efectos de la velocidad del aire

El aire que genera el sistema de refrigeración en el interior del vehículo debe desplazarse adecuadamente, porque, en general, las corrientes de aire producen una sensación de inconformidad y mantiene el polvo y los microorganismos en movimiento.

El aire impulsado debe tener una velocidad adecuada para que se mezcle favorablemente con el presente en el habitáculo, para esto es importante una correcta distribución de las rejillas y difusores. (Carrier, 2009)

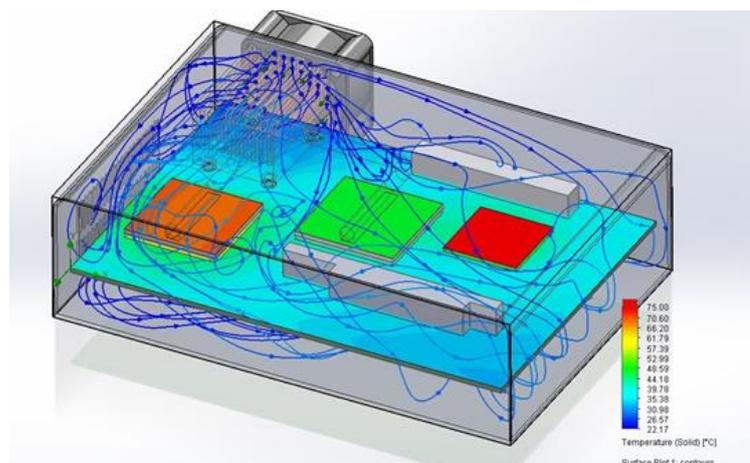
## 2.5. Posibilidades de la dinámica de fluidos computacional CFD

La dinámica de fluidos computacional (CFD) tiene como objetivo la simulación del flujo de fluidos y los procesos de transferencia de calor. El proceso de análisis se basa en la utilización de métodos numéricos para resolver las ecuaciones que describen la conservación de la masa, el momento y la energía en el seno de un fluido.

Las aplicaciones de la CFD son múltiples, se debe tener en cuenta que para la resolución de un determinado problema es necesario utilizar el software adecuado en cada caso.

En la actualidad el análisis CFD es una herramienta muy práctica y eficiente en el análisis de situaciones en las que intervienen fluidos, todo esto es posible por las posibilidades de los ordenadores y el desarrollo de los métodos numéricos. (Sala, 2010)

**Figura 14.** Simulación del aire acondicionado en una habitación.



**Fuente.** [https://www.hawkridgesys.com/blog/wp-content/uploads/2014/06/img\\_53ada5790fec7.png](https://www.hawkridgesys.com/blog/wp-content/uploads/2014/06/img_53ada5790fec7.png)

### **2.5.1. Aplicaciones**

La dinámica de fluidos computacional representa una herramienta en la industria del diseño, producción e incluso mantenimiento. Es ampliamente utilizada para analizar fenómenos termo fluidos en el medio ambiente, para predecir el movimiento del aire y el confort.

Mediante análisis CFD se puede resolver diferentes problemas de simulación, pero básicamente se resumen en:

Simulación de equipos existentes con el propósito de apreciar su funcionamiento y/o diagnosticar problemas.

Realizar mejoras a determinados equipos.

Ejecutar simulaciones de equipos o procesos con o sin transiciones de fase, interacciones de fluidos con sólidos, etc.

Son muchas ventajas que se obtiene a través de la CFD, teniendo en cuenta que las técnicas de CFD son complementarias a la teoría y los experimentos.

En la industria del automóvil la CFD nos proporciona datos que no se pueden medir directamente, además de una visualización de estructuras transitorias de flujo, incluyendo simulaciones de aerodinámica externa, sistema de ventilación, refrigeración del motor, sistema de escape, refrigeración de frenos, etc. (Sala, 2010)

### **2.5.2. Etapas en un análisis CFD**

El análisis de la dinámica de fluidos computacional consta de las siguientes etapas:

*Preproceso:* Consiste en formular el problema, plantear las ecuaciones y establecer las condiciones de contorno.

*Proceso:* Etapa principal en la que se ejecuta la solución numérica de las ecuaciones.

*Postproceso:* En esta etapa se realiza el análisis de los resultados.

### **2.5.3. Malla computacional**

La malla computacional es una descripción del dominio espacial en el cual se realizará la simulación numérica, dividiendo una región del espacio en pequeños volúmenes de control, también se emplean métodos numéricos que no usan mallas, técnica poco usada.

*Mallados estructurados:* Las celdas de malla son cuadriláteros en 2-D y hexaedros en 3-D. Se puede reproducir la geometría real pero el control sobre la resolución local de la malla es insuficiente.

*Mallados no estructurados:* Los elementos de la malla son una combinación de cuadriláteros y triángulos en 2-D y tetraedros y hexaedros en 3-D. Ofrecen gran flexibilidad en el tratamiento de geometrías complejas. Una desventaja de este tipo de mallado es la gran cantidad de memoria que ocupa en un computador. (Bohorquez, 2011)

## **2.6. Ansys.**

Es un software que permite simular las diferentes interacciones de la física estructural, dinámica de fluidos, transferencia de calor, entre otros. El Ansys nos permite pronosticar con la exactitud suficiente el funcionamiento equipo o elemento en el mundo real. Para la simulación y el análisis en 3D su código de funcionamiento está basado en la técnica de elementos finitos asistidos por un computador como su entorno virtual.

### **2.6.1. Fluid Flow CFX**

Es una plataforma del Ansys destinada a solucionar los problemas que se relacionan principalmente con los fluidos. Esta plataforma relaciona los procesos del flujo y transferencia de calor. Es una tecnología clave para lograr soluciones confiables y rápidas, el CFX se combina con los modelos físicos y se representan en un entorno gráfico y este a su vez es intuitivo, flexible y nos brinda la opción de personalizar las diferentes operaciones hasta alcanzar los resultados deseados. (3dCad, 2017)

### **2.6.2. Parametrización del Ansys**

La creación de la geometría; el mallado, la ejecución, el pre-proceso, el post-proceso para CFD son los principales parámetros en los que el Ansys se basa para poder realizar una simulación y obtener resultados fiables. (3dCad, 2017)

## **2.7. Solidworks Flow Simulation**

La última versión de Solidworks Flow Simulation ofrece gran variedad de mejoras requeridas por los usuarios, que garantizan y facilitan un análisis rápido y eficaz del impacto de un flujo sea líquido o gas en cada uno de los diseños durante la fase de construcción.

Tiene la capacidad de importar desde las condiciones del modelo que ya están definidas para realizar en otros proyectos como: propiedades de cada material, potencia térmica, capacidad para disipar el calor, etc. Gracias a esta opción se puede reducir drásticamente la definición del proyecto creando una biblioteca de modelos con parámetros predefinidos. (3dCad, 2017)

### **2.7.1. *Dinámica de fluidos computacional (CFD) en Flow Simulation.***

Utiliza este análisis para permitir una simulación rápida eficaz y fiable del flujo de un líquido o gas y de su transferencia de calor. Puede calcular con facilidad las fuerzas de los fluidos y comprender a la perfección el impacto de un líquido o un gas en el rendimiento de un producto.

Elimina la complejidad del análisis de flujo y puede convertirse en un elemento frecuente del proceso de diseño, lo que simplifica la necesidad de realizar prototipos, elimina las repeticiones y demoras, y ahorra tiempo y dinero. (3dCad, 2017)

### **2.7.2. *Visión general del análisis CFD***

Simula el paso de gases o líquidos a través de un objeto o a su alrededor. El análisis puede ser muy complejo como: un estudio que contenga transferencia de calor, mezclas y flujos inestables y compresibles, por lo que el análisis o la simulación puede resultar lento y costoso. (3dCad, 2017)

Solidworks Flow Simulation ofrece una amplia variedad de aplicaciones como:

- Flujo de líquido y gas con transferencia de calor.
- Flujo de gases y líquidos externo e interno.
- Flujos laminares, turbulentos y de transición.

- Transferencia de calor en sólidos.
- Configuración de la transferencia de calor.
- Flujo dependiente del tiempo.
- Entre otros.

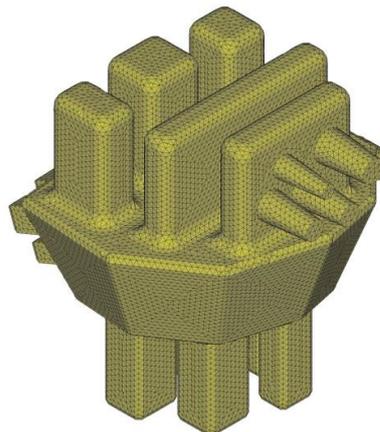
## **2.8. Softwares capaces de desarrollar análisis CFD.**

Además de Solidworks y Ansys, existen gran variedad de softwares que pueden desarrollar este tipo de análisis pero los que más se enfocan a nuestro análisis son los siguientes:

### **2.8.1. ADINA.**

Que significa Análisis no lineal incremental dinámico automático; es un software que se especializa en el análisis de elementos finitos para sistemas o estructuras lineales y no lineales. El principio fundamental es obtener soluciones para estructuras, fluidos, flujos, transferencia de calor y multidisco en un solo sistema. ADINA es compatible con Windows, Unix y Linux. (3dCad, 2017)

**Figura 15.** Esquema de análisis Software ADINA.



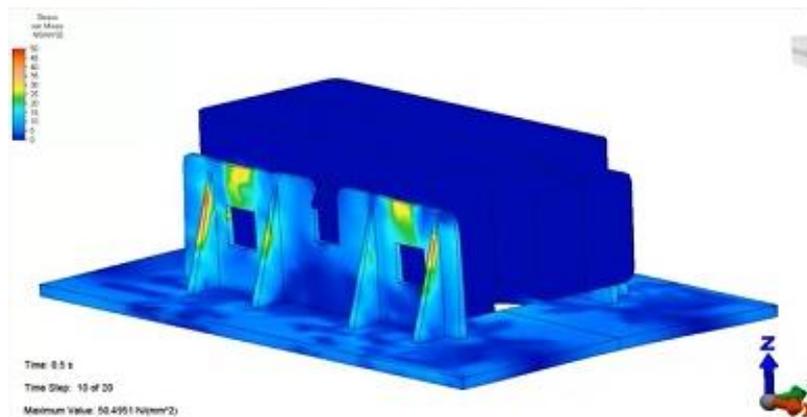
Fuente. <http://www.3dcadportal.com/images/stories/adina/adinamesh.jpg>

Una de las aplicaciones del software es ADINA CFD; sirve para el análisis de fluidos compresibles e incompresibles, posee la capacidad de una continua actualización de las condiciones y parámetros de frontera y su remalleo.

### 2.8.2. Autodesk Simulation.

Es un conjunto de programas que es utilizado para validar optimizar el diseño de los diferentes elementos o componentes que se realicen dentro del software, somete el diseño a esfuerzos y simulaciones virtuales para poder obtener un análisis de cómo será su comportamiento en el mundo real. Autodesk facilita un componente de software para cada uno de los fenómenos físicos que se requiera analizar.

**Figura 16.** Esquema análisis software Autodesk Simulation.



Fuente. <http://www.3dcadportal.com/images/stories/autodesk/2015/autodesk-nastran-suite.jpg>

Una de las aplicaciones del software es CFD Simulation, que consiste en una evaluación dinámica de fluidos en la cual se podrá realizar la estimación y verificación del comportamiento del fluido y sus interacciones con fenómenos como el térmico.

El CFD dentro de Autodesk Simulation es una herramienta de análisis de fluidos y su comportamiento térmico que colabora en el análisis de los diferentes proyectos de Ingeniería. Puede importar modelos CAD, generar diferentes mallados y optimizarlos al realizar la evaluación de los fluidos, se pueden realizar varios escenarios de estudio, resolver problemas y generar sus reportes. (3dCad, 2017)

### 2.8.3. CF DESING UPFRONT CFD.

Hoy en día se lo conoce como Autodesk Simulation CFD. Es un programa de análisis de ingeniería del más alto nivel CF desing es la única herramienta de computo de cálculo fluido dinámico y de transferencia de calor elaborada de con un método muy comprensible y accesible que permite a los usuarios afrontar y solucionar los problemas más complejos. CF Desing funciona con Catia, CoCreate, Inventor, NX, ProEnginner;

Autodesk Revit, SolidEdge, SolidWorks, SpaceClaim y es compatible únicamente con Windows.

Los tipos de análisis que maneja son los siguientes:

Flujos, laminar, turbulencia, internos, externos, incompresibles, subsónicos y transónicos.

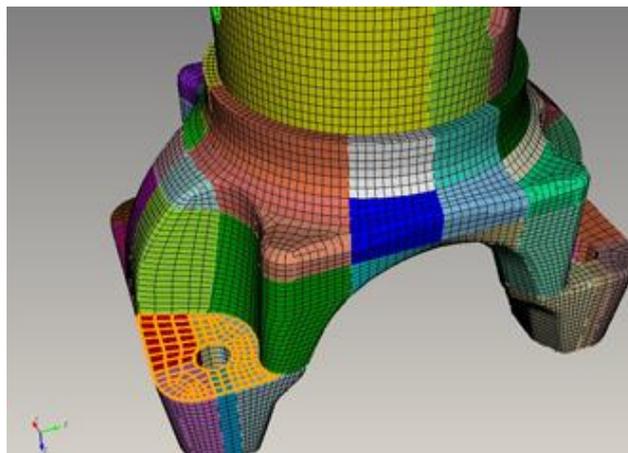
Calor, por conducción, convección, conjugado.

Diferentes Variaciones de las propiedades de los materiales en la base de datos, fluidos variables, múltiples fluidos, propiedades de solidificación, propiedades de resistencia térmica, resistencia distribuida, sopladores centrífugos, válvulas check, circuitos impresos, etc. (3dCad, 2017)

#### **2.8.4. Trelis.**

Posee un pre proceso de mallas en los modelos CAD que deben ser preparados previamente para el análisis por elementos finitos en ingeniería estructural o de fluidos, como principal objetivo tiene reducir el tiempo de mallado. Trelis posee un set muy variado de herramientas que se enfocan en este proceso para que el programa solver que lo utilice adquiera gran ventaja del modelo.

**Figura 17.** Esquema análisis software Trelis



Fuente. <http://www.3dcadportal.com/images/stories/trelis/trelisfea.jpg>

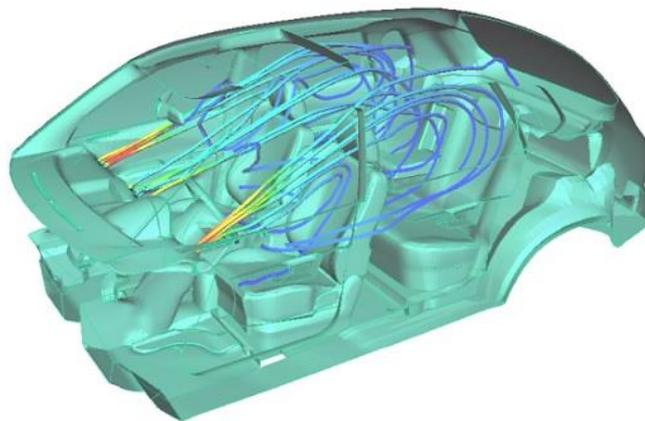
Además de las Pro que ofrece en el mallado y superficies usa otros elementos como Hexaedros, tetraedros, y modelado híbrido en diferentes algoritmos para modelos que resultan complejos.

Otra ventaja del Trelis es que el proceso de mallado puede ser checado en cualquier momento, o también puede ser verificado mediante un árbol de operaciones, las condiciones del mallado dependen principalmente de la plataforma de hardware. (3dCad, 2017)

#### 2.8.5. *Xflow CFD.*

Se basa en una tecnología de cálculo de modelado mecánico tipo Lattice Boltzmann que es un algoritmo diseñado específicamente para estudios que requieren mucha precisión en la simulación de flujos, aerodinámicos de transición, manejo de agua e interacción de fluidos. Xflow hace más sencillo el proceso y disminuye los cálculos en el mallado de los modelos.

**Figura 18.** Esquema de análisis software Xflow CFD



Fuente. <http://www.3dcadportal.com/images/stories/xflow/hvac-cfd-xflow.jpg>

El proceso de discretización en XFlow evita el proceso clásico de mallado, lo que ayuda a que la complejidad de la superficie no sea una limitante al momento de realizar el estudio, el usuario puede controlar el nivel del detalle mediante un envolvente modificando ciertos parámetros que ayuda a que el modelo se adapte a la geometría inicial y a la edición de la misma.

## CAPÍTULO III

### 3. CONDICIONES DEL PROYECTO.

#### 3.1. Partes del Autobús en las que está presente la transferencia de calor.

##### 3.1.1. Carrocería.

Un bus de transporte de pasajeros intercantonal cumple ciertos parámetros necesarios y algunos obligatorios, para brindar un mayor confort a sus usuarios. Dichas características son: asientos cómodos y reclinables, televisión, sistema de audio y un sistema de climatización que se adapte a las diferentes condiciones ambientales.

**Figura 1.** Carrocería bus intercantonal.



Fuente. Autores.

El bus es de la marca Hino AK serie 500 ensamblado en la Empresa carrocera Metálicas Pillapa, su carrocería es del modelo ALFA 700, y sus dimensiones se especifican en los planos anexados. Su capacidad es para 45 pasajeros, no posee baño, consta de un sistema de iluminación con luces incandescentes led.

La potencia del motor es de 250 HP a 2500 rpm, potencia que facilita el desplazamiento del autobús en condiciones normales.

##### 3.1.2. Paredes

Las paredes laterales y la pared posterior son de un acero A36, conformadas por una estructura de cerchas y planchas, en el interior se coloca una capa de acrílico de 5 mm de espesor. Las planchas de acero tienen un espesor de 2 mm.

### **3.1.3. Techo**

El techo al igual que las paredes está formado por una estructura de cerchas y planchas de acero, adicionalmente posee una capa de acrílico dándole forma de cielo raso con cúpulas conforme lo solicite el cliente.

### **3.1.4. Piso**

El piso está compuesto por una capa de madera de 19mm de espesor, tipo encofrado, con piso bus antideslizante.

### **3.1.5. Ventanas**

Las Ventanas deben de seguridad para uso automotriz con un espesor mínimo de 4mm, deben cumplir los requisitos de la Norma NTE INEN 1669, además de poseer un cierre totalmente hermético y cada ventana debe tener su respectiva cortina.

### **3.1.6. Puerta de ingreso y salida de pasajeros**

Funciona con un mecanismo que abre y cierra con facilidad, es de accionamiento neumático y sellado hermético con chapa de seguridad. Esta elaborada de un Vidrio especial que cumple con todas las especificaciones de la Norma NTE INEN 1669.

### **3.1.7. Capacidad**

La capacidad del bus es para 45 pasajeros sentados, más el conductor y el oficial, dando un total de 47 personas.

## **3.2. Condiciones Externas.**

Debido a que el Ecuador posee diferentes geografías podemos experimentar diversos climas el lugar donde nos encontremos, también influyen factores como la vegetación, la latitud, la infraestructura de los asentamientos poblacionales así mismo como la cantidad de personas que habitan en él, etc.

Entre las variables a considerar para el estudio del proyecto de titulación tenemos: la temperatura, humedad, cantidad de personas que utilizan el transporte, los materiales internos y externos del autobús.

Para el cálculo de la carga de enfriamiento se consideran condiciones extremas del clima (intensidad de calor), funcionamiento del sistema de aire acondicionado y la capacidad de transporte del autobús.

### **3.3. Condiciones Interiores.**

Una de las condiciones de confort para un bus intercantonal es que la temperatura del habitáculo no sea mayor a 23°C según la Norma RTE INEN 043:2010.

Las condiciones a considerar para evaluar el confort dentro del autobús son las siguientes:

- La temperatura.
- Materiales constructivos.
- Número de ocupantes.
- Velocidad del aire.

### **3.4. Método de cálculo térmico.**

#### **3.4.1. Condiciones Generales.**

Las condiciones de confort determinadas para una persona están sujetas a variación según características fisiológicas del individuo, sin embargo para el estudio de confort se generaliza la temperatura óptima según la norma mencionada.

Para alcanzar la temperatura de 23 °C es necesario el tratamiento térmico del aire que va a estar en contacto directo con los usuarios del autobús, este tratamiento involucra específicamente la transferencia de calor (cambio de temperatura).

Al mencionar la transferencia de calor se debe citar temas inherentes a la temperatura como son: carga sensible, calor sensible, carga latente y calor latente.

El calor sensible es aquel que recibe un cuerpo y hacen que aumente su temperatura sin afectar su estado.

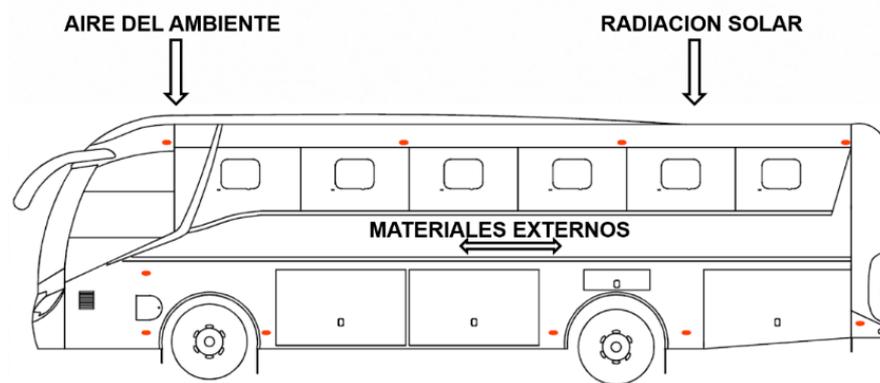
El calor latente es aquel que aplicado a una sustancia cambia su estado o fase sin aumentar la temperatura.

La carga sensible de enfriamiento es la tasa a la que el calor es removido dentro del espacio acondicionado, manteniendo la temperatura interior constante. La carga latente es una carga de enfriamiento instantánea.

Las cargas de calentamiento y enfriamiento son determinadas según los componentes que intervienen en el proceso (calentamiento o enfriamiento); y se detallan a continuación:

#### 3.4.1.1. Cargas externas.

**Figura 2.** Cargas externas



Fuente. Autores

Son cargas térmicas basadas en calor sensible que influyen directamente en la temperatura interna del autobús, estas cargas son: aire del ambiente, radiación solar y los materiales externos.

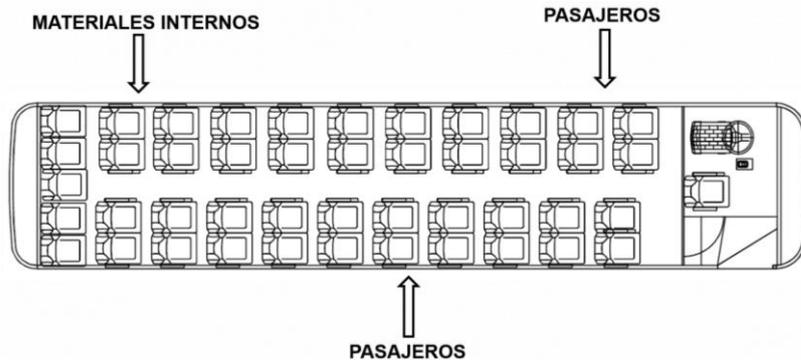
*Aire del ambiente.*- es considerado como carga externa ya que de esto depende el tiempo en que el equipo tardara en disminuir la temperatura del aire interior.

*Radiación solar.*- incide de forma directa en los laterales (vidrios), en la cubierta metálica superior y en la parte posterior.

*Materiales externos.*- el índice de conductividad de los materiales utilizados en la construcción externa del autobús influyen directamente en los rangos de temperatura internos.

### 3.4.1.2. Cargas internas.

**Figura 3.** Cargas internas.



Fuente. Autores.

Las cargas internas son aquellas fuentes o medios de transferencia de calor, que modifican la temperatura del habitáculo. Estas son: personas y materiales internos.

*Personas.*- son la principal fuente de calor del interior del bus, debido a su metabolismo y al esfuerzo físico que realicen aumentara la temperatura.

*Materiales internos.*- sirven para mantener al temperatura interna de confort y aislar el habitáculo de agentes térmicos externos.

### 3.4.1.3. Infiltraciones

El interior del autobús se considera un ambiente hermético, el mismo que no permite infiltraciones de aire proveniente del exterior, el sellado de los ventanales y las pequeñas ventanillas que posee en los laterales aíslan correctamente el habitáculo, sin embargo el aire es el único elemento que no ingresa calor al interior del autobús, mencionando que la temperatura aumenta debido a la transmisión de calor por radiación, conducción y convección.

### 3.4.2. Características y condiciones térmicas de los materiales de la carrocería.

Para poder realizar los cálculos térmicos debemos considerar valores de la conductividad térmica de cada uno de los materiales y también el área que ocupan cada uno de estos en el interior del bus. Para el cálculo en los pasajeros se considera el calor sensible y calor latente según la actividad que realicen.

A continuación se detallan los valores del índice de conductividad, el área de los materiales y el calor sensible y latente de las personas.

**Tabla 1.** Coeficientes de conductividad, conductancia y resistencia térmica de los materiales utilizados en la carrocería del autobús.

<b>Material</b>	<b>Conductividad <math>\lambda</math> (W/K.m)</b>	<b>Conductancia U (W/K.m<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la Conductividad R (K.m<sup>2</sup>/W)</b>
Vidrio para ventanas	-	1.05	-
Madera enchapada	-	0.13	-
Acero A36	51.9	-	-
Acrílico	0.19	-	-
Aire del Ambiente	-	-	0.16
Aire de vacío	-	-	0.14

Fuente. NORMA ARGENTINA IRAM 11601

**Tabla 2.** Área y espesor de los materiales.

<b>MATERIAL</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>
Acero A36	29	1,8-2
Vidrio para ventanas	20,12	4
Madera enchapada	24,56	19
Acrílico	23,11	5

Fuente. Autores

**Tabla 3.** Ganancias térmicas debido a los pasajeros.

<b>Grado de Actividad</b>	<b>Metabolismo de una persona promedio (W)</b>	<b>Temperatura del Habitáculo</b>	
		<b>30.1°C</b>	
		<b>Calor sensible (W)</b>	<b>Calor Latente (W)</b>
Sentados	102	67	35
Trabajo ligero	116	70	46

Fuente. (Carrier, 2009)

### 3.4.3. *Desarrollo de ecuaciones.*

Para obtener los resultados de la cantidad de calor al interior del autobús utilizamos las ecuaciones correspondientes a: calor, conductancia térmica y resistencia térmica; para los cálculos de determinados materiales (madera y vidrio), se utilizó el valor de conductividad térmica dado en tablas.

Las ecuaciones de las variables antes mencionadas se expresan de la siguiente manera:

#### a) **Ecuación de Calor**

$$Q_m = U * A * \Delta T \tag{1}$$

Donde:

$$Q_m = \text{Calor del material} \left( \frac{BTU}{h} \right)$$

$$U = \text{Conductancia del material} \left( \frac{W}{K * m^2} \right)$$

$$A = \text{Área} (m^2)$$

$$\Delta T = \text{Intervalo de temperaturas} (^\circ C)$$

#### b) **Ecuación de Conductancia del material**

$$U = \frac{1}{\sum R} \tag{2}$$

Donde:

$$U = \text{Coeficiente global de transferencia de calor} \left( \frac{W}{K * m^2} \right)$$

$$R = \text{Índice de resistencia térmica del material} \left( \frac{K * m^2}{W} \right)$$

**c) Ecuación de Resistencia térmica del material**

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

**(3)**

Donde:

$R =$  Índice de resistencia térmica del material  $\left(\frac{K * m^2}{W}\right)$

$e =$  Espesor del material (m)

$\lambda =$  Conductividad del material  $\left(\frac{W}{K * m}\right)$

**d) Ecuaciones de ganancia de calor debido a los ocupantes**

- Ganancia de calor sensible

$$Q_{s.o.} = (P_r * Q_s) + (P_l * Q_l)$$

**(4)**

Donde:

$Q_{s.o.} =$  Calor sensible de los ocupantes

$P_r =$  Número de personas en reposo

$Q_s =$  Calor sensible de personas en reposo

$P_l =$  Número de personas en trabajo ligero

$Q_s =$  Calor latente de personas en reposo

- Ganancia de calor latente

$$Q_{l.o.} = (P_r * Q_s) + (P_l * Q_l)$$

**(5)**

Donde:

$Q_{s.o.}$  = Calor latente de los ocupantes

$P_r$  = Número de personas en reposo

$Q_s$  = Calor sensible de personas en trabajo ligero

$P_l$  = Número de personas en trabajo ligero

$Q_s$  = Calor latente de personas en trabajo ligero

### 3.4.4. Cálculo de la ganancia térmica al interior del bus.

#### 3.4.4.1. Cálculo de la ganancia térmica en el vidrio.

**Datos:**

$$\text{Area} = 20,12m^2$$

$$T_1 = 26,9^\circ C$$

$$T_2 = 30,1^\circ C$$

$$U = 0,58 \frac{W}{m^2 K}$$

**Desarrollo:**

$$Q_v = U * A * \Delta T$$

$$Q_v = 0,58 \frac{W}{m^2 K} * 20,12m^2 * (30,1 - 26,9)^\circ C$$

$$Q_v = 0,58 \frac{W}{m^2 K} * 20,12m^2 * 276,25K$$

$$Q_v = 3223,73 W$$

$$Q_v = 0,77 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_v = 10999,82 \frac{BTU}{h}$$

3.4.4.2. *Calculo de la ganancia térmica en el piso.*

**Datos:**

$$Area = 24,56m^2$$

$$T1 = 26,9\text{ }^\circ C$$

$$T2 = 30,1\text{ }^\circ C$$

$$U = 0,13 \frac{W}{m^2 K}$$

**Desarrollo:**

$$Q_P = U * A * \Delta T$$

$$Q_P = 0,13 \frac{W}{m^2 K} * 24,56m^2 * (30,1 - 26,9)C$$

$$Q_P = 0,13 \frac{W}{m^2 K} * 24,56m^2 * 276,25K$$

$$Q_P = 882,01W$$

$$Q_P = 0,21 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_P = 3009,54 \frac{BTU}{h}$$

3.4.4.3. *Calculo de la ganancia térmica del techo.*

**Datos:**

$$Area = 23,11m^2$$

$$T1 = 26,9\text{ }^\circ C$$

$$T2 = 30,1\text{ }^\circ C$$

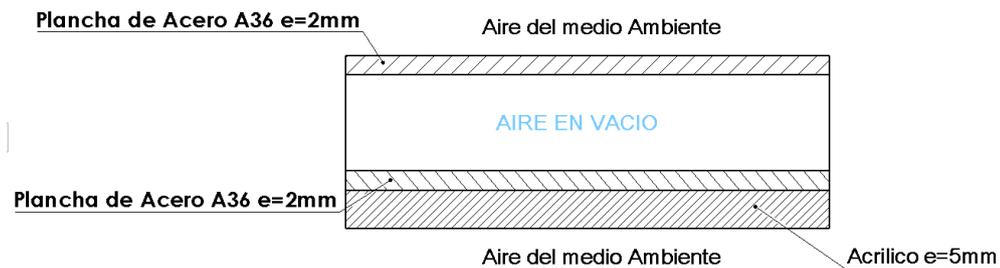
$$\lambda_{Acero} = 51,9 \frac{W}{m K}$$

$$\lambda_{\text{Acilico}} = 0,19 \frac{W}{m K}$$

$$R_{\text{Aire vacio}} = 0,14 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{\text{Aire ambiente}} = 0,16 \frac{m^2 K}{W}$$

**Figura 4.** Estructura del techo.



Fuente. Autores

**Desarrollo:**

Aplicando las ecuaciones 2 y 3 tenemos:

$$U = \frac{1}{2(R_{\text{Aire ambiente}}) + 2\left(\frac{e_{\text{Acero}}}{\lambda_{\text{Acero}}}\right) + R_{\text{Aire vacio}} + \frac{e_{\text{Acilico}}}{\lambda_{\text{Acilico}}}}$$

$$U = \frac{1}{2(0,16 \frac{m^2 K}{W}) + 2\left(\frac{0,002m}{51,9 \frac{W}{m K}}\right) + 0,14 \frac{m^2 K}{W} + \frac{0,005}{0,19 \frac{W}{m K}}}$$

$$U = 2,06 \frac{W}{m^2 K}$$

Finalmente reemplazando el valor de U en la ecuación 1 tenemos:

$$Q_T = 2,06 \frac{W}{m^2 K} * 23,11m^2 * 276,25K$$

$$Q_T = 13151,32W$$

$$Q_T = 3,14 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_T = 44874,17 \frac{BTU}{h}$$

3.4.4.4. *Calculo de la ganancia térmica en los laterales.*

**Datos:**

$$Area = 29m^2$$

$$T1 = 26,9^\circ C$$

$$T2 = 30,1^\circ C$$

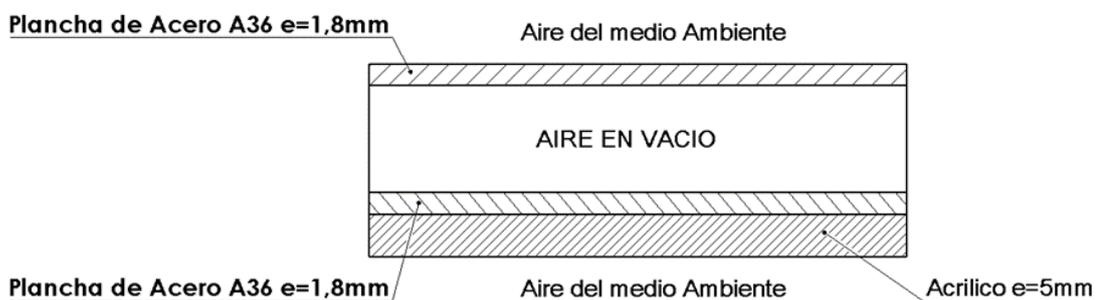
$$\lambda_{Acero} = 51,9 \frac{W}{m K}$$

$$\lambda_{Acrilico} = 0,19 \frac{W}{m K}$$

$$R_{Aire\ vacio} = 0,14 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{Aire\ ambiente} = 0,16 \frac{m^2 K}{W}$$

**Figura 5.** Estructura de los laterales



Fuente. Autores

**Desarrollo:**

Aplicando las ecuaciones 2 y 3 tenemos:

$$U = \frac{1}{2(R_{\text{Aire ambiente}}) + 2\left(\frac{e_{\text{Acero}}}{\lambda_{\text{Acero}}}\right) + R_{\text{Aire vacio}} + \frac{e_{\text{Acrilico}}}{\lambda_{\text{Acrilico}}}}$$

$$U = \frac{1}{2(0,16 \frac{m^2 K}{W}) + 2\left(\frac{0,0018m}{51,9 \frac{W}{m K}}\right) + 0,14 \frac{m^2 K}{W} + \frac{0,005}{0,19 \frac{W}{m K}}}$$

$$U = 2,06 \frac{W}{m^2 K}$$

Finalmente reemplazando el valor de U en la ecuación 1 tenemos:

$$Q_L = 2,06 \frac{W}{m^2 K} * 29m^2 * 276,25K$$

$$Q_L = 16503,18W$$

$$Q_L = 3,94 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_L = 56311,19 \frac{BTU}{h}$$

3.4.4.5. *Calculo de la ganancia térmica en las personas.*

Como datos tenemos los valores establecidos en la tabla 5.

**Desarrollo:**

Aplicando las ecuaciones 4 y 5 tenemos:

Calor sensible:

$$C_{SO} = (45 * 67) + (2 * 70)$$

$$C_{SO} = 3155 W$$

Calor latente:

$$C_{LO} = (45 * 35) + (2 * 48)$$

$$C_{LO} = 1671 W$$

$$Q_o = C_{SO} + C_{LO}$$

$$Q_o = 3155 + 1671$$

$$Q_o = 4826 W$$

$$Q_o = 1,15 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_o = 16466,99 \frac{BTU}{h}$$

#### 3.4.5. Resumen de las ganancias térmicas.

**Tabla 4.** Suma de las ganancias térmicas.

<b>Elementos analizados</b>	<b>Cantidad de calor por unidad de tiempo Q (BTU/h)</b>
Paredes Laterales	56311.19
Piso	3009.54
Techo	44874.17
Vidrio	10999.82
Personas (pasajeros)	16466.99
<b>TOTAL</b>	<b>131661.71</b>

Fuente. Autores

## CAPÍTULO IV

### 4. ANALISIS COMPARATIVO VARIANDO LA TEMPERTURA DEL MEDIO AMBIENTE Y EL NUMERO DE PASAJEROS.

#### 4.1. Análisis variando la temperatura del medio ambiente.

Considerando que el bus va a circular por lugares donde la temperatura media del ambiente es de 25.5°C, por lo tanto en el interior del bus se establece un aumento del 10%, dando como resultado 28.05.

##### 4.1.1. *Calculo de la ganancia térmica en el vidrio.*

**Datos:**

$$Area = 20,12m^2$$

$$T1 = 25.5 \text{ } ^\circ C$$

$$T2 = 28,05^\circ C$$

$$U = 0,58 \frac{W}{m^2 K}$$

**Desarrollo:**

$$Q_V = U * A * \Delta T$$

$$Q_V = 0,58 \frac{W}{m^2 K} * 20,12m^2 * (28,05 - 25,5)^\circ C$$

$$Q_V = 0,58 \frac{W}{m^2 K} * 20,12m^2 * 275,7K$$

$$Q_V = 3217,31 W$$

$$Q_V = 0,76 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_V = 10977,92 \frac{BTU}{h}$$

#### 4.1.2. *Calculo de la ganancia térmica en el piso.*

**Datos:**

$$Area = 24,56m^2$$

$$T1 = 25.5\text{ }^{\circ}C$$

$$T2 = 28,05^{\circ}C$$

$$U = 0,13 \frac{W}{m^2 K}$$

**Desarrollo:**

$$Q_P = U * A * \Delta T$$

$$Q_P = 0,13 \frac{W}{m^2 K} * 24,56m^2 * (30,1 - 26,9)C$$

$$Q_P = 0,13 \frac{W}{m^2 K} * 24,56m^2 * 275,7K$$

$$Q_P = 880,25W$$

$$Q_P = 0,21 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_P = 3003,53 \frac{BTU}{h}$$

#### 4.1.3. *Calculo de la ganancia térmica del techo.*

**Datos:**

$$Area = 23,11m^2$$

$$T1 = 25.5\text{ }^{\circ}C$$

$$T2 = 28,05^{\circ}C$$

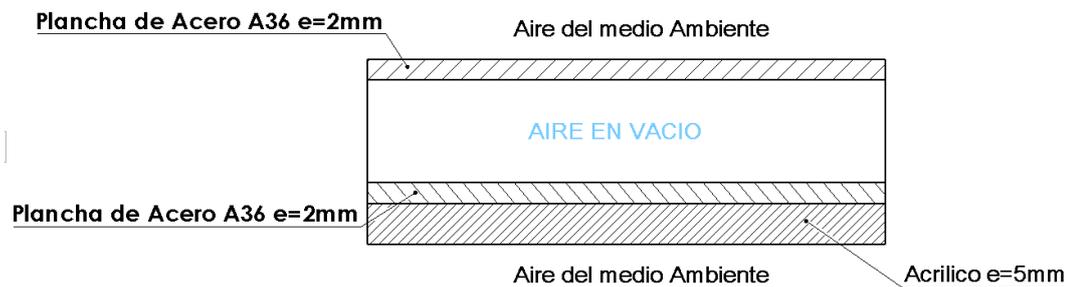
$$\lambda_{Acero} = 51,9 \frac{W}{m K}$$

$$\lambda_{\text{Acilico}} = 0,19 \frac{W}{m K}$$

$$R_{\text{Aire vacio}} = 0,14 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{\text{Aire ambiente}} = 0,16 \frac{m^2 K}{W}$$

**Figura 1.** Estructura del techo.



Fuente. Autores

### Desarrollo:

Aplicando las ecuaciones 2 y 3 tenemos:

$$U = \frac{1}{2(R_{\text{Aire ambiente}}) + 2\left(\frac{e_{\text{Acero}}}{\lambda_{\text{Acero}}}\right) + R_{\text{Aire vacio}} + \frac{e_{\text{Acilico}}}{\lambda_{\text{Acilico}}}}$$

$$U = \frac{1}{2\left(0,16 \frac{m^2 K}{W}\right) + 2\left(\frac{0,002m}{51,9 \frac{W}{m K}}\right) + 0,14 \frac{m^2 K}{W} + \frac{0,005}{0,19 \frac{W}{m K}}}$$

$$U = 2,06 \frac{W}{m^2 K}$$

Finalmente reemplazando el valor de U en la ecuación 1 tenemos:

$$Q_T = 2,06 \frac{W}{m^2 K} * 23,11m^2 * 275,7K$$

$$Q_T = 13125,14W$$

$$Q_T = 3,13 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_T = 44784,84 \frac{BTU}{h}$$

#### 4.1.4. Cálculo de la ganancia térmica en los laterales.

**Datos:**

$$Area = 29m^2$$

$$T1 = 25.5 \text{ } ^\circ C$$

$$T2 = 28,05^\circ C$$

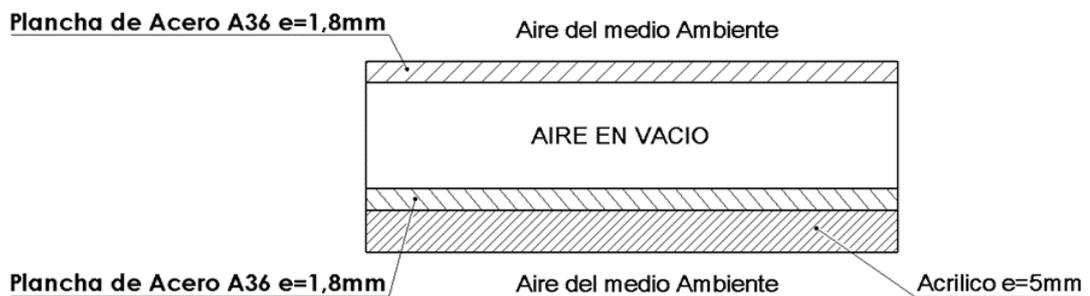
$$\lambda_{Acero} = 51,9 \frac{W}{m K}$$

$$\lambda_{Acrilico} = 0,19 \frac{W}{m K}$$

$$R_{Aire\ vacio} = 0,14 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{Aire\ ambiente} = 0,16 \frac{m^2 K}{W}$$

**Figura 2.** Estructura de los laterales.



Fuente. Autores

**Desarrollo:**

Aplicando las ecuaciones 2 y 3 tenemos:

$$U = \frac{1}{2(R_{\text{Aire ambiente}}) + 2\left(\frac{e_{\text{Acero}}}{\lambda_{\text{Acero}}}\right) + R_{\text{Aire vacio}} + \frac{e_{\text{Acrilico}}}{\lambda_{\text{Acrilico}}}}$$

$$U = \frac{1}{2(0,16 \frac{m^2 K}{W}) + 2\left(\frac{0,0018m}{51,9 \frac{W}{m K}}\right) + 0,14 \frac{m^2 K}{W} + \frac{0,005}{0,19 \frac{W}{m K}}}$$

$$U = 2,06 \frac{W}{m^2 K}$$

Finalmente reemplazando el valor de U en la ecuación 1 tenemos:

$$Q_L = 2,06 \frac{W}{m^2 K} * 29m^2 * 275,7K$$

$$Q_L = 16470,32W$$

$$Q_L = 3,93 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_L = 56199,06 \frac{BTU}{h}$$

#### 4.1.5. Cálculo de la ganancia térmica en las personas.

Para el cálculo en las personas consideramos los datos que se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Ganancias térmicas debido a los pasajeros.

Grado de Actividad	Metabolismo de una persona promedio (W)	Temperatura del Habitáculo	
		28,05°C	
		Calor sensible (W)	Calor Latente (W)
Sentados	98	65	33
Trabajo ligero	108	68	40

Fuente. (Carrier, 2009)

**Desarrollo:**

Aplicando las ecuaciones 4 y 5 tenemos:

**Calor sensible:**

$$C_{SO} = (45 * 65) + (2 * 68)$$

$$C_{SO} = 3061 W$$

**Calor latente:**

$$C_{LO} = (45 * 33) + (2 * 40)$$

$$C_{LO} = 1565 W$$

$$Q_o = C_{SO} + C_{LO}T$$

$$Q_o = 3155 + 1671$$

$$Q_o = 4626 W$$

$$Q_o = 1,10 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_o = 15784,57 \frac{BTU}{h}$$

**4.1.6. Resumen de las ganancias térmicas variando la temperatura ambiente.**

**Tabla 2.** Suma de las ganancias térmicas variando la temperatura ambiente.

<b>Elementos analizados</b>	<b>Cantidad de calor por unidad de tiempo Q (BTU/h)</b>
Paredes Laterales	56199,06
Piso	3003,53
Techo	44784,84
Ventanales	10977,92
Personas (pasajeros)	15784,57
<b>TOTAL</b>	<b>130749,92</b>

Fuente. Autores

$$Q_{T1} = Q_{T \text{ maxima}} - Q_{T \text{ temperatura}}$$

$$Q_{T1} = (131661.71 - 130749.92) \text{ BTU/h}$$

$$Q_{T1} = 911.79 \text{ BTU/h}$$

Equivalente al 0,69% de 131661.71 BTU/h

#### 4.2. Análisis variando la cantidad de ocupantes.

Para realizar este cálculo se considera un número de pasajeros promedio que viaja de manera constante en el autobús, generalmente 30.

##### 4.2.1. Cálculo de la ganancia térmica en el vidrio.

**Datos:**

$$Area = 20,12m^2$$

$$T1 = 26,9^\circ C$$

$$T2 = 30,1^\circ C$$

$$U = 0,58 \frac{W}{m^2 K}$$

**Desarrollo:**

$$Q_V = U * A * \Delta T$$

$$Q_V = 0,58 \frac{W}{m^2 K} * 20,12m^2 * (30,1 - 26,9)^\circ C$$

$$Q_V = 0,58 \frac{W}{m^2 K} * 20,12m^2 * 276,25K$$

$$Q_V = 3223,73 \text{ W}$$

$$Q_V = 0,77 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_V = 10999,82 \frac{BTU}{h}$$

#### 4.2.2. *Calculo de la ganancia térmica en el piso.*

**Datos:**

$$Area = 24,56m^2$$

$$T1 = 26,9\text{ }^\circ C$$

$$T2 = 30,1\text{ }^\circ C$$

$$U = 0,13 \frac{W}{m^2 K}$$

**Desarrollo:**

$$Q_P = U * A * \Delta T$$

$$Q_P = 0,13 \frac{W}{m^2 K} * 24,56m^2 * (30,1 - 26,9)C$$

$$Q_P = 0,13 \frac{W}{m^2 K} * 24,56m^2 * 276,25K$$

$$Q_P = 882,01W$$

$$Q_P = 0,21 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_P = 3009,54 \frac{BTU}{h}$$

#### 4.2.3. *Calculo de la ganancia térmica del techo.*

**Datos:**

$$Area = 23,11m^2$$

$$T1 = 26,9\text{ }^\circ C$$

$$T2 = 30,1\text{ }^\circ C$$

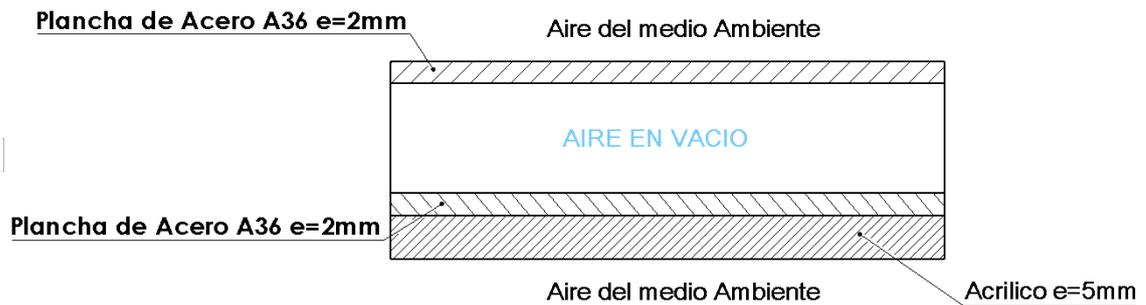
$$\lambda_{Acero} = 51,9 \frac{W}{m K}$$

$$\lambda_{\text{Acilico}} = 0,19 \frac{W}{m K}$$

$$R_{\text{Aire vacio}} = 0,14 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{\text{Aire ambiente}} = 0,16 \frac{m^2 K}{W}$$

**Figura 3.** Estructura del techo



Fuente. Autores

**Desarrollo:**

Aplicando las ecuaciones 2 y 3 tenemos:

$$U = \frac{1}{2(R_{\text{Aire ambiente}}) + 2\left(\frac{e_{\text{Acero}}}{\lambda_{\text{Acero}}}\right) + R_{\text{Aire vacio}} + \frac{e_{\text{Acilico}}}{\lambda_{\text{Acilico}}}}$$

$$U = \frac{1}{2(0,16 \frac{m^2 K}{W}) + 2\left(\frac{0,002m}{51,9 \frac{W}{m K}}\right) + 0,14 \frac{m^2 K}{W} + \frac{0,005}{0,19 \frac{W}{m K}}}$$

$$U = 2,06 \frac{W}{m^2 K}$$

Finalmente reemplazando el valor de U en la ecuación 1 tenemos:

$$Q_T = 2,06 \frac{W}{m^2 K} * 23,11m^2 * 276,25K$$

$$Q_T = 13151,32W$$

$$Q_T = 3,14 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_T = 44874,17 \frac{BTU}{h}$$

#### 4.2.4. Cálculo de la ganancia térmica en los laterales.

**Datos:**

$$Area = 29m^2$$

$$T_1 = 26,9^\circ C$$

$$T_2 = 30,1^\circ C$$

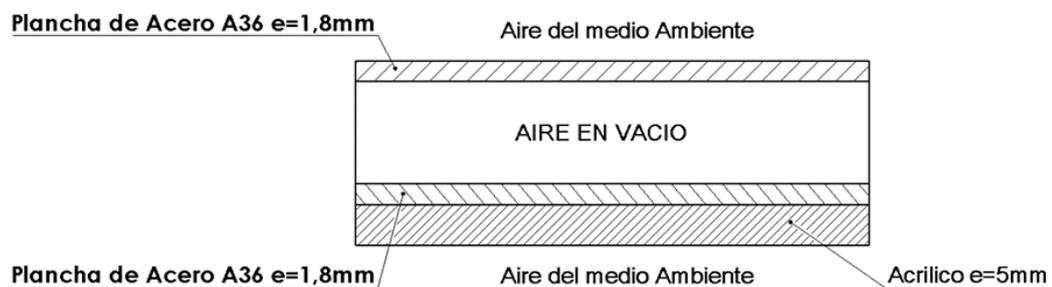
$$\lambda_{Acero} = 51,9 \frac{W}{m K}$$

$$\lambda_{Acrilico} = 0,19 \frac{W}{m K}$$

$$R_{Aire\ vacio} = 0,14 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{Aire\ ambiente} = 0,16 \frac{m^2 K}{W}$$

**Figura 4.** Estructura de los laterales



Fuente. Autores

**Desarrollo:**

Aplicando las ecuaciones 2 y 3 tenemos:

$$U = \frac{1}{2(R_{\text{Aire ambiente}}) + 2\left(\frac{e_{\text{Acero}}}{\lambda_{\text{Acero}}}\right) + R_{\text{Aire vacio}} + \frac{e_{\text{Acrilico}}}{\lambda_{\text{Acrilico}}}}$$

$$U = \frac{1}{2\left(0,16 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}\right) + 2\left(\frac{0,0018\text{m}}{51,9 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}\right) + 0,14 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,005}{0,19 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}}$$

$$U = 2,06 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Finalmente reemplazando el valor de U en la ecuación 1 tenemos:

$$Q_L = 2,06 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} * 29\text{m}^2 * 276,25\text{K}$$

$$Q_L = 16503,18\text{W}$$

$$Q_L = 3,94 \frac{\text{Kcal}}{\text{s}}$$

$$Q_L = 56311,19 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

#### 4.2.5. *Calculo de la ganancia térmica en las personas.*

Como datos tenemos los valores establecidos en la tabla 5.

##### **Desarrollo:**

Aplicando las ecuaciones 4 y 5 tenemos:

##### **Calor sensible:**

$$C_{SO} = (30 * 67) + (2 * 70)$$

$$C_{SO} = 2150\text{W}$$

##### **Calor latente:**

$$C_{LO} = (30 * 35) + (2 * 48)$$

$$C_{LO} = 1146 \text{ W}$$

$$Q_o = C_{SO} + C_{LO}$$

$$Q_o = 2150 + 1146$$

$$Q_o = 3296 W$$

$$Q_o = 0,78 \frac{Kcal}{s}$$

$$Q_o = 11246,42 \frac{BTU}{h}$$

#### 4.2.6. Resumen de las ganancias térmicas variando el número de ocupantes.

**Tabla 3.** Suma de las ganancias térmicas variando el número de ocupantes.

Elementos analizados	Cantidad de calor por unidad de tiempo Q (BTU/h)
Paredes Laterales	56311.19
Piso	3009.54
Techo	44874.17
Vidrio	10999.82
Personas (pasajeros)	11246,42
<b>TOTAL</b>	<b>126441,14</b>

Fuente. Autores

$$Q_{T2} = Q_{T\ maxima} - Q_{T\ ocupantes}$$

$$Q_{T1} = (131661.71 - 126441,14) \text{ BTU/h}$$

$$Q_{T1} = 5220,57 \text{ BTU/h}$$

Equivalente al 3,97% de 131661.71 BTU/h

#### 4.3. Calculo de ganancias térmicas variando la temperatura ambiente y la cantidad de ocupantes.

Para realizar el cálculo utilizamos los resultados obtenidos de variar la temperatura y el número de ocupantes.

**Tabla 4.** Resultados obtenidos.

<b>Cálculos realizados</b>	<b>Cantidad de calor por unidad de tiempo Q (BTU/h)</b>	<b>Cantidad de calor disminuida(BTU/h)</b>	<b>Porcentaje de reducción (%)</b>
Calculo en condiciones máximas de funcionamiento y capacidad.	131661.71	-	-
Calculo térmico variando la temperatura ambiente.	130749,92	911,79	0.69
Calculo térmico variando el número de ocupantes	126441,14	5220,57	3,97

Fuente. Autores

$$Q_{T3} = Q_{T1} + Q_{T2}$$

$$Q_{T1} = (911,79 + 5220,57) \text{ BTU/h}$$

$$Q_{T1} = 6132,36 \text{ BTU/h}$$

Equivalente al 4,66% de 131661.71 BTU/h

## CAPÍTULO V

### 5. SIMULACION DEL PROYECTO.

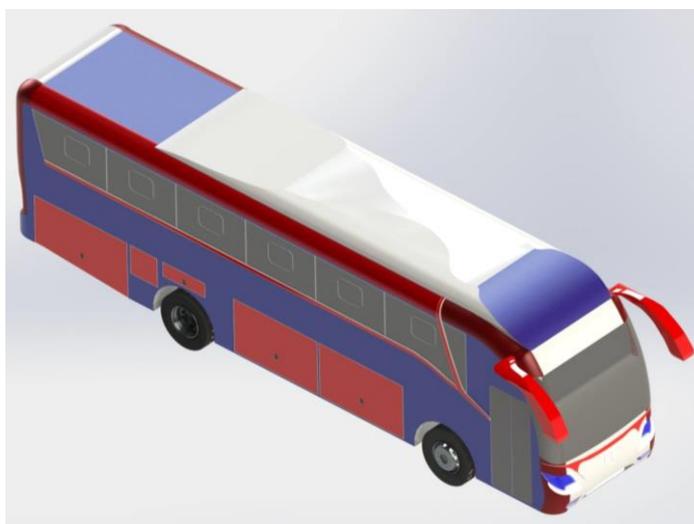
#### 5.1. Desarrollo de la simulación en el software Solidworks 2017.

Para la simulación del proyecto se ha utilizado el software Solidworks para generar información que garantice el correcto funcionamiento del sistema de aire acondicionado que luego será verificada con el software ANSYS WORKBENCH, de tal manera que se cumplan los objetivos propuestos inicialmente.

##### 5.1.1. *Diseño de la carrocería.*

En el diseño de la carrocería utilizamos los planos que nos facilitó la empresa obteniendo así un modelo CAD a escala real con dimensiones que cumplen con las especificaciones de la norma establecida para la construcción de carrocerías para autobuses intercantonal.

**Figura 1.** Diseño CAD de la carrocería.



Fuente. Autores

En la figura 14 se muestra el diseño renderizado de la carrocería propuesta para el análisis.

### 5.1.2. Consideraciones para el diseño del habitáculo.

Para definir la geometría del autobús en su totalidad nos basamos en los planos del modelo ALFA 700 que nos proporcionó la empresa, Utilizamos inicialmente el software Solidworks para crear el modelo en 3D.

**Figura 2.** Medición de los detalles internos del autobús.



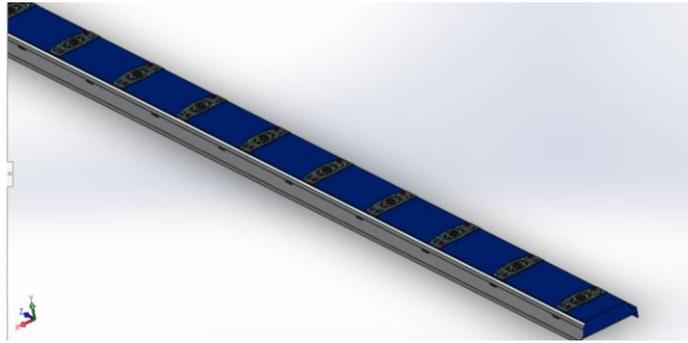
Fuente. Autores

El Solidworks tiene un sistema avanzado de interfaces que nos proporciona un vínculo directo con los modelos geométricos creados en los diferentes paquetes de CAD existentes y es en sí mismo una opción de CAD muy fácil de usar. Solidworks nos ayudara a crear la geometría con todos los detalles necesarios para la posterior simulación y obtención de resultados, así mismo nos da la facilidad de suprimir los análisis y condiciones interdisciplinarias.

Al momento de crear la geometría del autobús debemos omitir los elementos que no influyen de ninguna manera en la simulación, con el fin de que al momento de generar el mallado no se nos presente ningún tipo de inconveniente.

Algunos componentes del autobús fueron creados de manera individual para luego ser ensamblados al modelo final, como es el caso de los porta equipaje (canastillas) de los pasajeros.

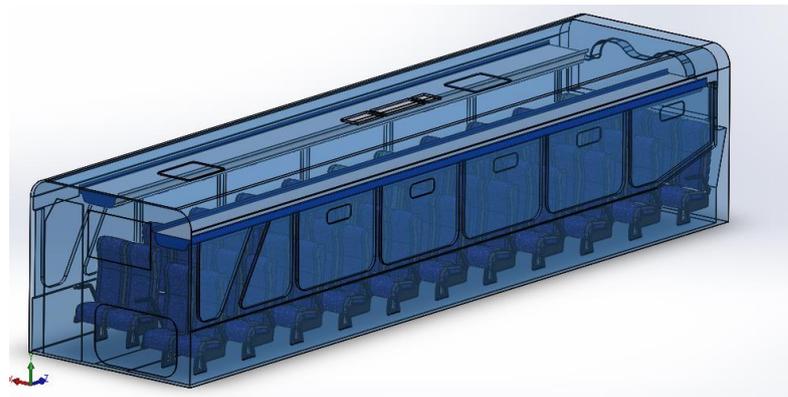
**Figura 3.** Construcción porta equipajes de pasajeros.



Fuente. Autores

Ensamblamos todos los componentes en el modelo final de tal manera que esté listo para poder realizar el siguiente proceso que es el mallado.

**Figura 4.** Modelo final (Solidworks)



Fuente. Autores.

### **5.1.3. Fases de simulación.**

#### **5.1.3.1. Pre-Proceso**

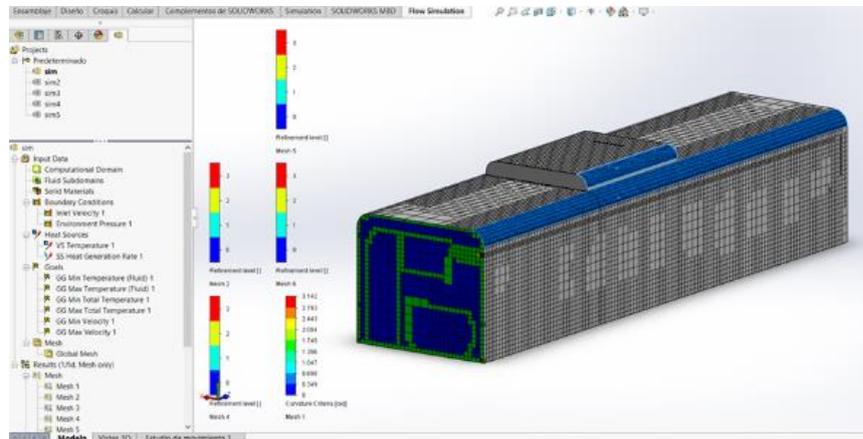
En esta fase de la simulación se define el planteamiento del problema, el cual comprende: mallado, condiciones iniciales de frontera, designación de materiales y sus características, propiedades del fluido, entre otros.

#### **1. Creación de la malla.**

Para generar resultados fiables y precisos CFD necesita de un mallado ya sea bajo, medio y superior, el tamaño y la calidad del mallado es muy importante para obtener un resultado favorable, por eso es muy necesario que el refinado de la malla sea el adecuado en las

diferentes áreas de estudio dependiendo principalmente de la precisión y de la capacidad computacional del computador con el que estemos desarrollando la simulación.

**Figura 5.** Mallado del modelo.



**Fuente.** Autores

Solidworks Flow Simulation tiene la opción de mallar automáticamente considerando la capacidad computacional y a los requerimientos geométricos y físicos. Esta tecnología permite al software simular de manera correcta los fenómenos de capas de contorno para efectos de flujo en nuestro caso de aire y transferencia de calor.

Los beneficios de utilizar el mallado automático es que las piezas o modelos se pueden mallar en cuestión de minutos dependiendo la complejidad de los mismos, reduciendo drásticamente el tiempo de análisis.

## 2. *Parámetros de la malla.*

**Tabla 1.** Parámetros de la malla.

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Numero de celdas	156187
Celdas de solido	88926
Celdas de fluido	67261
Iteraciones	9000
Tiempo de mallado	15 minutos

**Fuente.** Autores

3. Designación y características de los materiales a cada sección de la carrocería.

En la siguiente tabla se muestran los valores correspondientes de cada material que conforman el interior y el exterior de la carrocería.

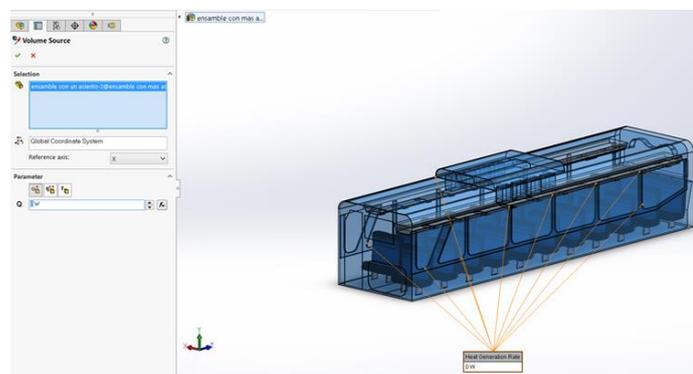
**Tabla 2.** Características de los materiales en cada sección de la carrocería.

Material	Sección de la carrocería	Conductividad $\lambda$ (W/K.m)	Conductancia U (W/K.m <sup>2</sup> )	Cantidad de Calor (W)
Acero A36	Techo Laterales Piso Sección delantera y trasera	51.9	-	16503,18
Acrílico	Interiormente recubre las secciones del : Techo Laterales Sección delantera y trasera	0.19	-	13151,32
Vidrio	Ventanas Vidrio trasero Puerta de ingreso al habitáculo	-	1.05	3223,73
Madera	Piso		0.13	882,01

Fuente. Autores

A continuación se muestra la manera de como asignar el material y sus propiedades a cada parte de la carrocería.

**Figura 6.** Asignación de propiedades.



Fuente. Autores

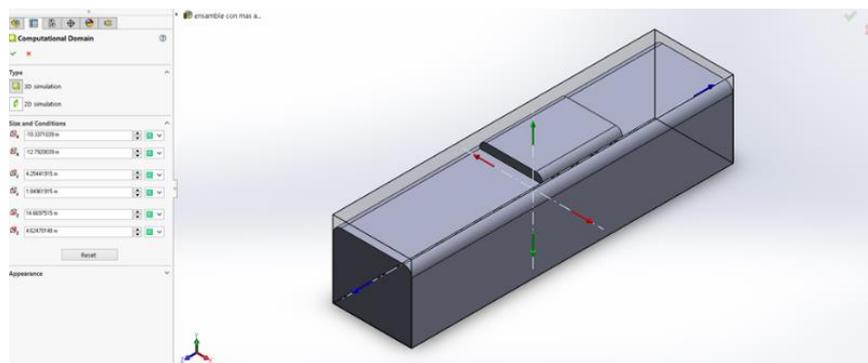
#### 4. Condiciones de contorno.

Una vez se ha mallado el dominio se definen las condiciones de contorno. La selección de las condiciones iniciales y de frontera resulta importantes, ya que son los parámetros que definen la entrada y salida del fluido que actúa al interior del habitáculo y donde se desplaza en ambiente cerrado. Para la simulación supondremos que el interior del habitáculo se encuentra vacío, sin personas que generen calor, todo esto para comprobar las mediciones reales obtenidas del autobús.

##### a) Dominio

El dominio para el análisis es rectangular cubriendo las dimensiones del habitáculo: paredes laterales, techo, piso, parte frontal y posterior.

**Figura 7.** Definición del dominio.



Fuente. Autores

##### b) Inlet Velocity (entrada- velocidad)

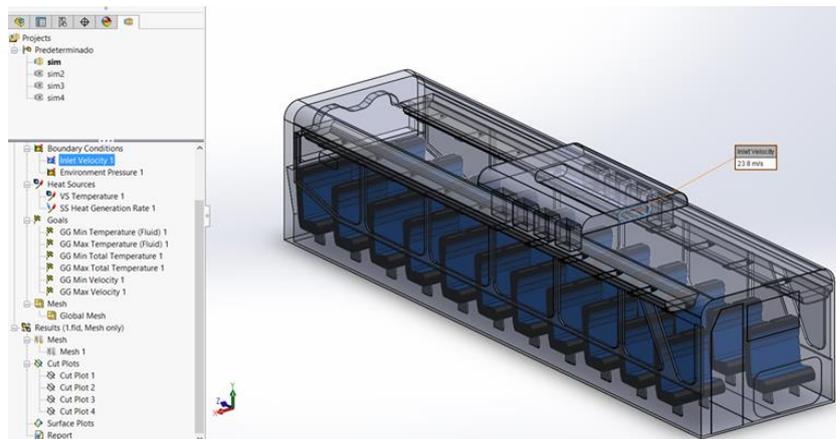
La primera condición de fronteras se sitúa en la parte superior del habitáculo, en el sistema de climatización, por donde ingresa el flujo de aire considerado como laminar y turbulento. Se definió como una inlet velocity que permite definir la velocidad del fluido, así como su temperatura, tanto la velocidad como la temperatura se encuentran dados en los catálogos del sistema.

**Tabla 3.** Detalles de la condición de borde tipo entrada (Inlet).

<b>Boundary - Inlet</b>	
Tipo de condición de borde	Velocity
Velocidad de entrada	23,8 m/s
Temperatura de fluido	13°C
Presión	101325 Pa

Fuente. Autores

**Figura 8.** Definición del Inlet.



Fuente. Autores

### c) Outlet (salida)

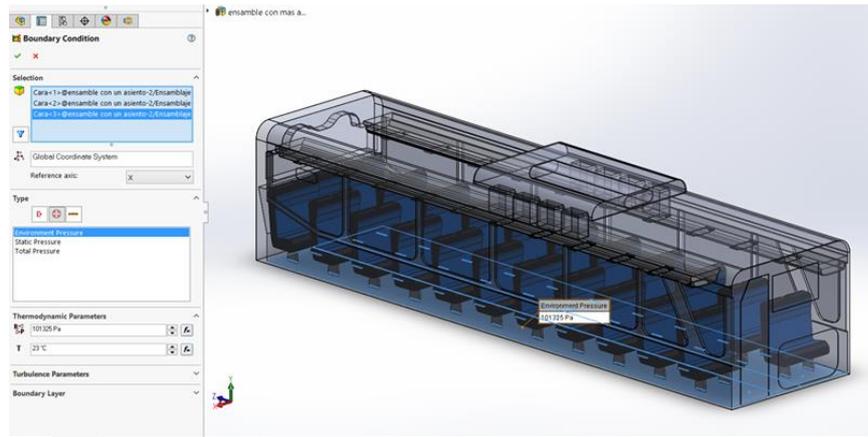
El piso del habitáculo se estableció como pressure openings tomando como condición la presión atmosférica y una temperatura de 23 grados centígrados, que se ha planteado como temperatura de confort.

**Tabla 4.** Detalles de la condición de borde tipo salida (Outlet).

<b>Boundary - Outlet</b>	
Tipo de condición de borde	Pressure Openings
Temperatura de fluido	23°C
Presión	101325 Pa

Fuente. Autores

**Figura 9.** Definición del Outlet.



Fuente. Autores

**d) Wall (pared)**

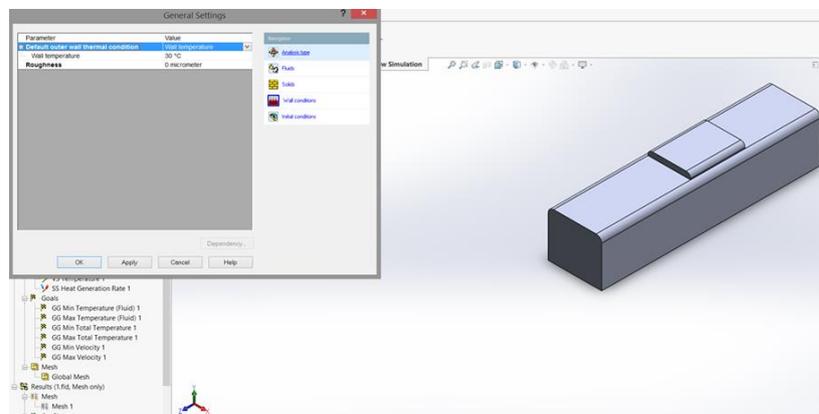
Las paredes son limites solidos del domino del fluido. La condición tipo Wall en el habitáculo se definió en el techo y en los laterales izquierdo y derecho, poseen propiedades de temperatura para su análisis en la simulación.

**Tabla 5.** Detalles de la condición de borde tipo pared (Wall).

Boundary - Wall	
Tipo de condición de borde	Pressure Openings
Temperatura	30°C
Rugosidad	Liso sin rugosidad

Fuente. Autores

**Figura 10.** Definición del Wall.



Fuente. Autores

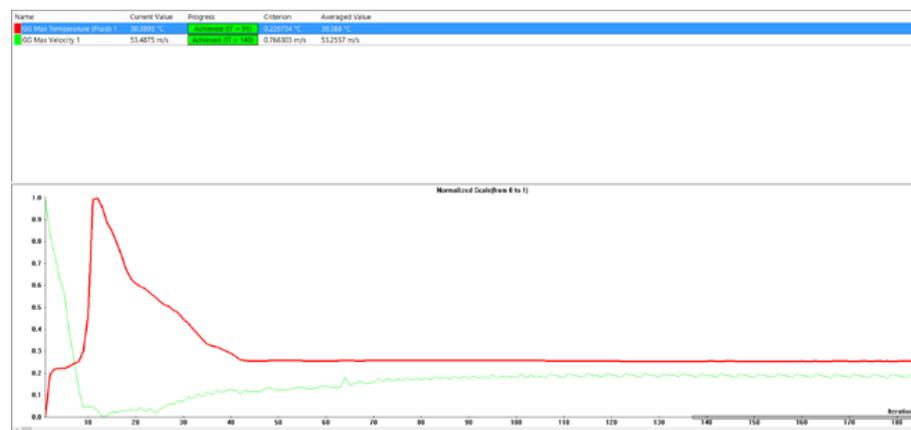
### 5.1.3.2. Proceso

En esta fase el solucionador del proceso resuelve las variables que integran las ecuaciones de la distribución del fluido, mediante la interfaz del software se puede visualizar si los resultados convergen o no en una gráfica de residuales.

La convergencia o no de la simulación depende del software y de los residuales de la gráfica. Los valores los asignamos de acuerdo a los requerimientos del modelo en este caso es de 0,001 para todos los residuos.

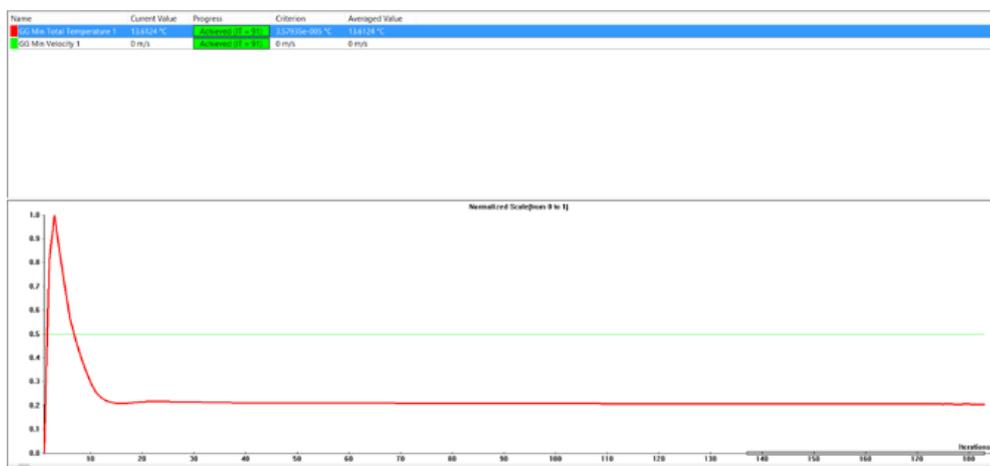
En la siguiente grafica se muestra que la simulación converge por debajo de los residuales asignados al inicio del análisis.

**Figura 11.** Estado de convergencia de la temperatura y velocidad máxima.



Fuente. Autores

**Figura 12.** Estado de convergencia de la temperatura y velocidad mínima.



Fuente. Autores

### 5.1.3.3. Post – Proceso

#### 1. Análisis de resultados.

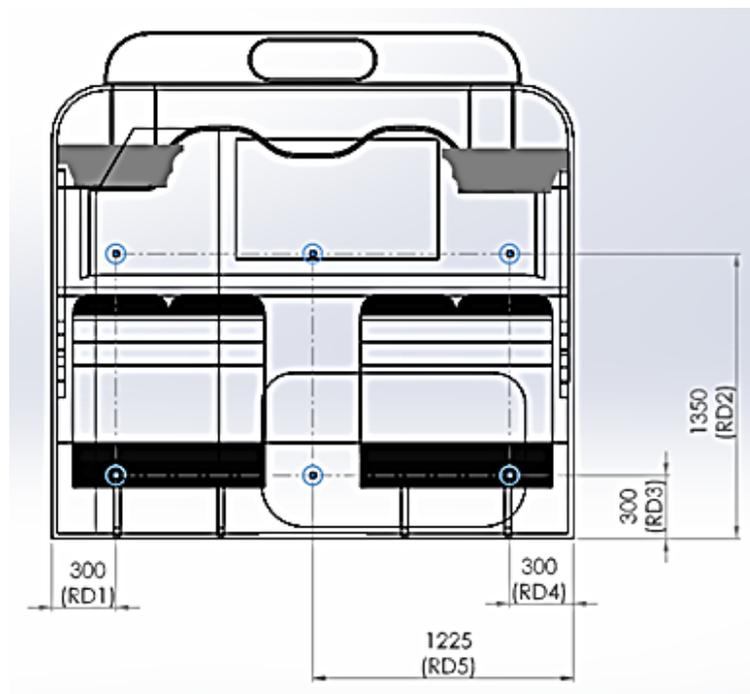
El post proceso integra los resultados calculados por solidworks y permite el análisis cuantitativo de la solución mediante la visualización de los gráficos y de los valores obtenidos, de la misma forma podemos realizar un análisis cualitativo comparando los resultados del software con las mediciones obtenidas experimentalmente.

#### 2. Análisis cuantitativo y cualitativo.

Para el análisis cuantitativo utilizaremos las gráficas que proporciona Solidworks Flow Simulation, y luego estos datos son comparados con las mediciones realizadas experimentalmente en el interior del bus.

Para las mediciones realizadas de manera experimental utilizamos 18 termómetros ubicados 6 en la sección delantera, 6 en la sección central y 6 en la sección posterior del habitáculo situados a diferentes alturas para obtener una mejor precisión en la toma de los datos.

**Figura 13.** Puntos designados para la ubicación de los termómetros.

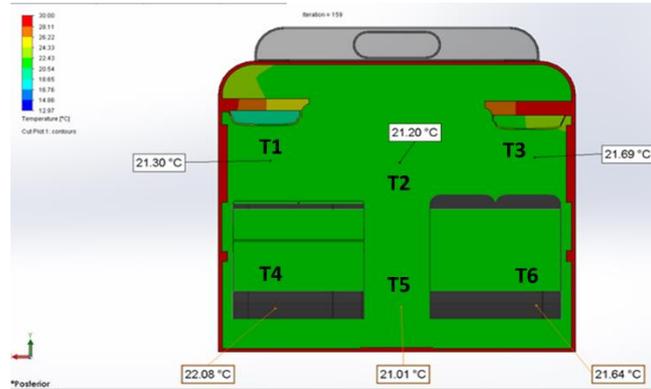


Fuente. Autores

En la figura 26 podemos apreciar las dimensiones en milímetros de donde se encuentran ubicados cada uno de los termómetros en el plano.

3. *Resultados de temperatura en la sección delantera del habitáculo.*

**Figura 14.** Temperatura en la sección delantera.



Fuente. Autores

**Tabla 6.** Resultados obtenidos del software.

Termómetro	Temperatura tiempo inicial (°C)	Temperatura tiempo final (°C)
T1	30	21,3
T2	30	21,2
T3	30	21,7
T4	30	22,1
T5	30	21
T6	30	21,6

Fuente. Autores

**Tabla 7.** Resultados obtenidos experimentalmente.

Termómetro	Temperatura tiempo inicial (°C)	Temperatura tiempo final (°C)
T1	30,1	22,9
T2	30,1	22,6
T3	30,1	23,5
T4	30,1	23,2
T5	30,1	23,8
T6	30,1	23,9

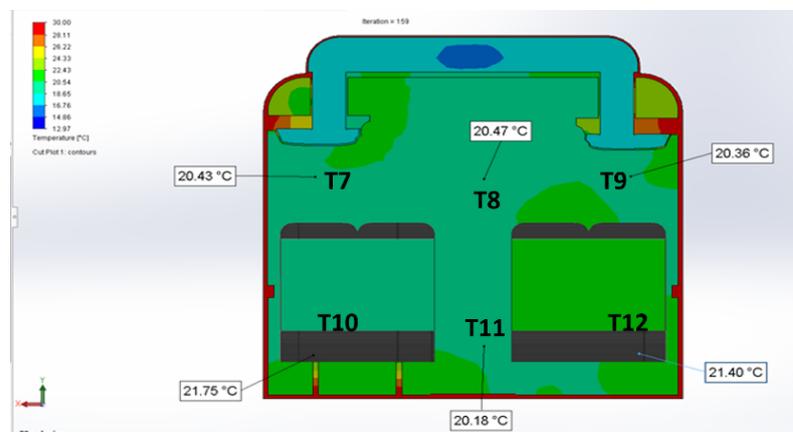
Fuente. Autores

Como podemos observar en las tablas 16 y 17 los resultados obtenidos del análisis y experimentalmente son similares, considerando el +/- 1°C en la precisión de medición del termómetro.

Existen variaciones considerables en la temperatura debido a que en la parte delantera del bus se encuentra la puerta de ingreso al habitáculo y también por el diseño de uno de los porta equipajes (canastillas), que por condiciones de accesibilidad al habitáculo se ha disminuido su longitud y por ende el número de rejillas es menor.

4. Resultados de temperatura en la sección central del habitáculo.

**Figura 15.** Temperatura en la sección central.



Fuente. Autores

**Tabla 8.** Resultados obtenidos del software.

Termómetro	Temperatura tiempo inicial (°C)	Temperatura tiempo final (°C)
T7	30	20,4
T8	30	20,4
T9	30	20,3
T10	30	21,7
T11	30	20,1
T12	30	21,4

Fuente. Autores

**Tabla 9.** Resultados obtenidos experimentalmente.

Termómetro	Temperatura tiempo inicial (°C)	Temperatura tiempo final (°C)
T7	30,1	21,9
T8	30,1	22,2
T9	30,1	21,7
T10	30,1	22,7
T11	30,1	22,9
T12	30,1	23,2

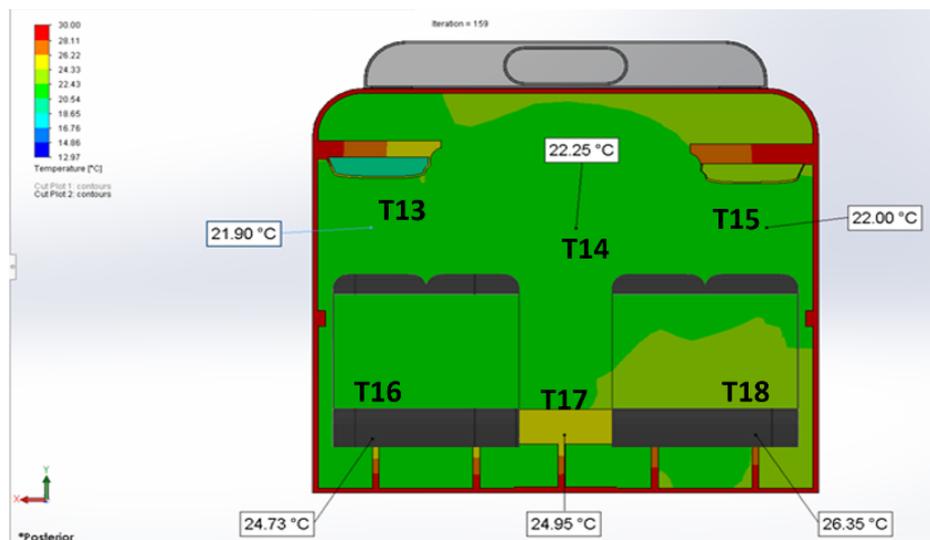
Fuente. Autores

En este caso observamos que los valores de temperatura de las tablas 18 y 19 presentan uniformidad en casi todos los valores, debido a que la distribución del aire en esta sección se da de manera eficiente por motivos de que el sistema de aire acondicionado se encuentra ubicado en la parte central del bus generando una distribución directa del flujo a partir de esa sección.

En la figura 28 podemos apreciar que la mayor parte de esta sección es de color verde, que en la escala nos indica un valor de aproximadamente 23°C siendo esta temperatura la de confort en el interior del habitáculo.

##### 5. Resultados de temperatura en la sección posterior del habitáculo.

**Figura 16.** Temperatura en la sección posterior.



Fuente. Autores

**Tabla 10.** Resultados obtenidos del software.

<b>Termómetro</b>	<b>Temperatura tiempo inicial (°C)</b>	<b>Temperatura tiempo final (°C)</b>
T13	30	21,9
T14	30	22,2
T15	30	22
T16	30	24,6
T17	30	24,9
T18	30	26,3

Fuente. Autores

**Tabla 11.** Resultados obtenidos experimentalmente.

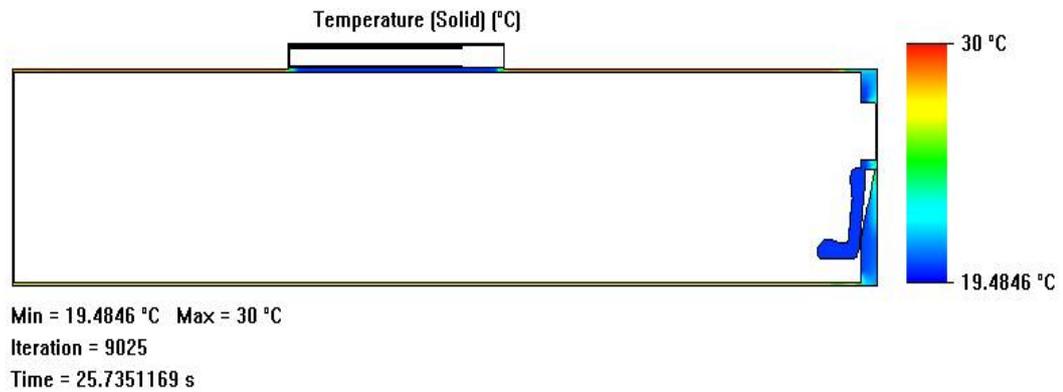
<b>Termómetro</b>	<b>Temperatura tiempo inicial (°C)</b>	<b>Temperatura tiempo final (°C)</b>
T13	30,1	21,9
T14	30,1	21,7
T15	30,1	22,6
T16	30,1	24,8
T17	30,1	23,9
T18	30,1	24,8

Fuente. Autores

En la figura 29 se observa que en esta sección del bus existe mayor temperatura en comparación con las otras 2 secciones, así mismo existen zonas que no cumplen con los estándares de confort debido a que en la parte posterior se encuentra ubicada la luneta o vidrio trasero permitiendo así una mayor incidencia de la radiación solar (mayor conductancia calorífica), otro factor que influye para que la temperatura sea mayor es que el flujo del aire va hacer menor por la distancia que tiene que recorrer desde la salida del sistema hasta la sección en análisis.

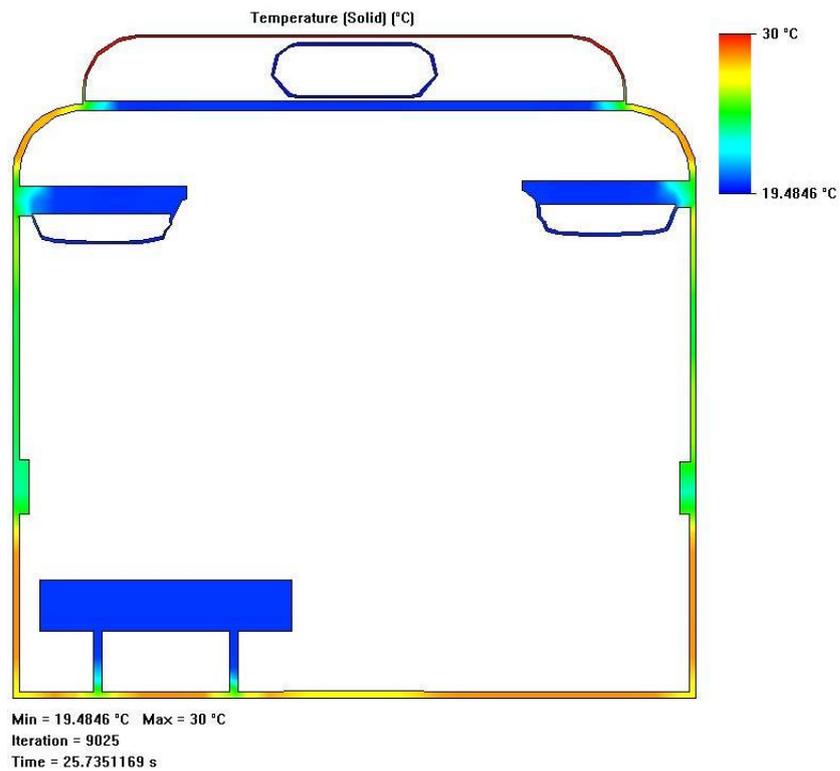
6. Resultados de temperatura de las paredes del dominio.

**Figura 17.** Temperatura del dominio vista lateral.



Fuente. Autores

**Figura 18.** Temperatura del dominio vista frontal.



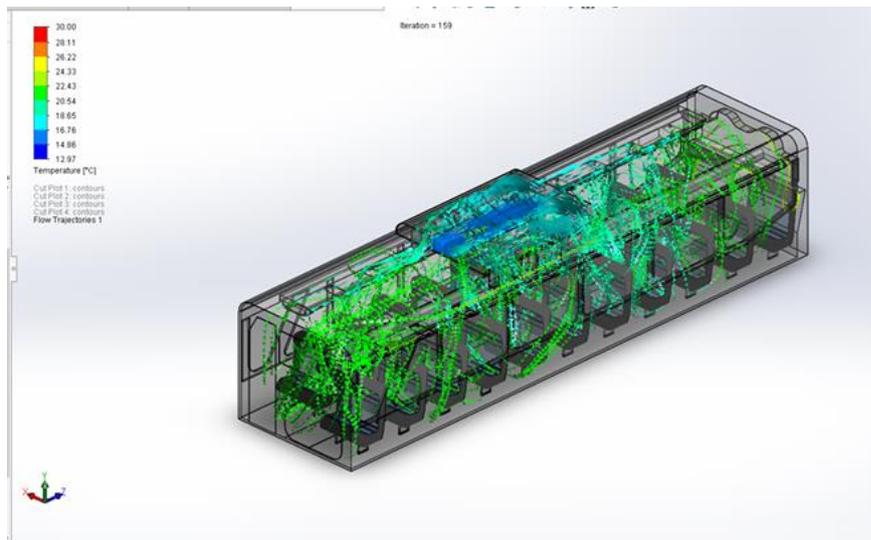
Fuente. Autores

Basándonos en las figuras 30 y 31 podemos observar que el sistema a más de mantener el habitáculo en una temperatura de confort, también disminuye la temperatura de las paredes, evidenciando así que el equipo de aire acondicionado es apto para refrigerar el habitáculo en las condiciones establecidas.

Al realizar una comparación entre los resultados de los cálculos matemáticos de la capacidad del equipo y los resultados de la simulación se puede demostrar que el funcionamiento del sistema es fiable para climatizar el ambiente dentro del bus.

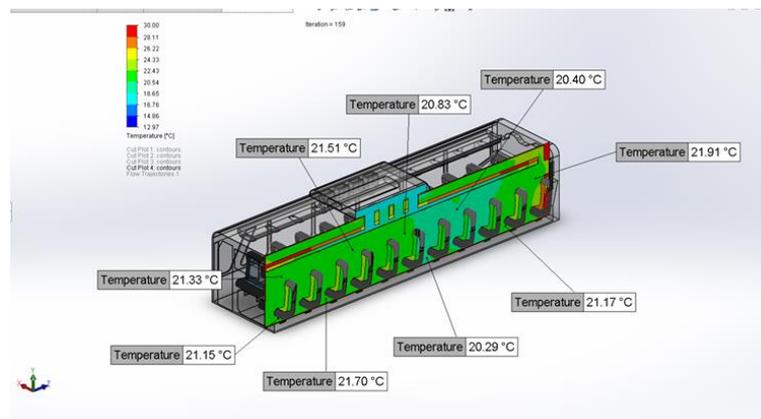
7. *Distribución volumétrica del aire en todo el habitáculo.*

**Figura 19.** Distribución volumétrica del aire en el habitáculo.



Fuente. Autores

**Figura 20.** Temperatura volumétrica del aire en el habitáculo.

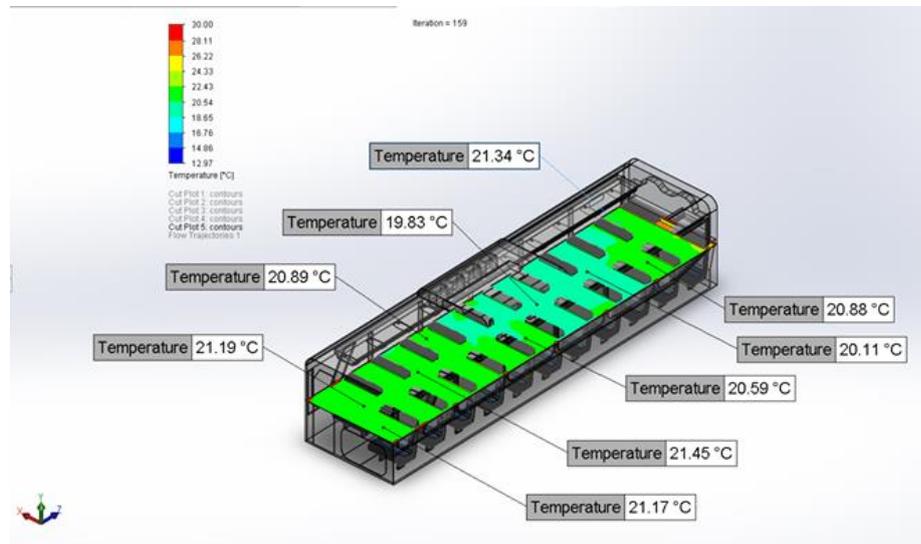


Fuente. Autores

El análisis volumétrico que se muestra en la figura 32, realizado en el habitáculo muestra una distribución más uniforme y completa del aire en las diferentes zonas, apreciando el comportamiento del flujo de aire al circular por contorno de los diferentes volúmenes que se encuentran en el habitáculo, comprobando así que las masas de aire cubren todos los volúmenes presentes en el interior del bus.

La figura 33 muestra el estado de temperatura en el que se encuentra el espacio interior del habitáculo (color verde) que es de aproximadamente 22°C.

**Figura 21.** Temperatura volumétrica (vista superior).



Fuente. Autores

En la figura 34 podemos apreciar desde otra perspectiva que la distribución de la temperatura sigue siendo uniforme en su mayoría, con variaciones mínimas en la parte central, debido a las causas explicadas anteriormente.

## 5.2. Desarrollo de la simulación en función del tiempo en el software ANSYS 18.1.

### 5.2.1. Análisis cualitativo y cuantitativo en función del tiempo.

Para realizar el análisis en función del tiempo, no se pudo ejecutar en el mismo Software (Solidworks), por motivos de falta de recursos computacionales, es por eso que seleccionamos el software ANSYS 18.1.

Seleccionamos Ansys como software adecuado para este tipo de análisis teniendo en cuenta que posee complementos que son comúnmente utilizados para la simulación de fluidos en función del tiempo.

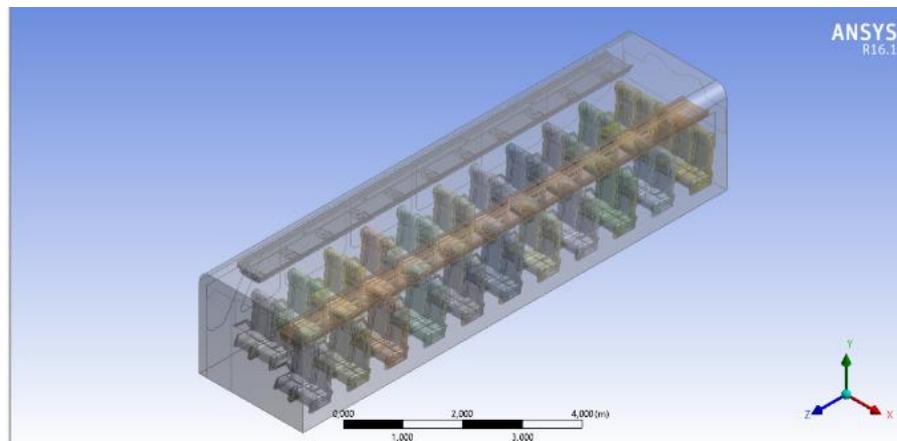
## 5.2.2. Fases de simulación.

### 5.2.2.1. Pre-Proceso

#### 1. Creación de la geometría.

Para proceder al desarrollo de la simulación debemos importar geometría al Software Ansys, para su posterior simulación. Utilizamos el Solidworks para crear el modelo ya que su interfaz es más fácil de manipular, una vez realizado el modelo lo guardamos en formato IGES que es compatible para luego importar la geometría en Ansys.

**Figura 22.** Modelo final importado en Ansys.

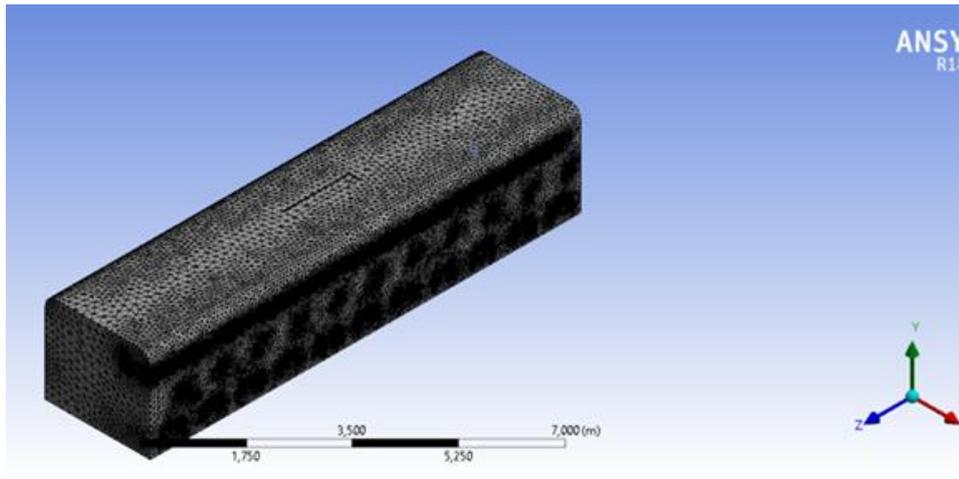


Fuente. Autores

#### 2. Mallado

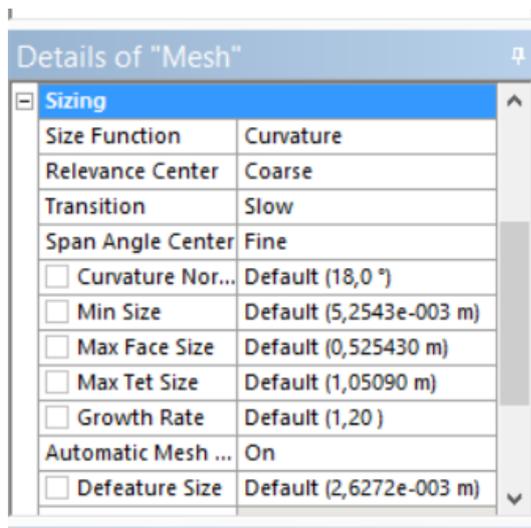
La creación de la malla en Solidworks al igual que en Ansys depende principalmente de la capacidad computacional y del tipo de análisis que vamos a realizar, mientras la calidad de la malla sea mejor, los resultados que obtenemos son lo más próximos a la realidad del modelo.

**Figura 23.** Geometría mallada en Ansys.



Fuente. Autores

**Figura 24.** Detalles de la malla.



Fuente. Autores

### **3. Designación y características de los materiales a cada sección de la carrocería.**

En la siguiente tabla se muestran los valores correspondientes de cada material que conforman el interior y el exterior de la carrocería.

**Tabla 12.** Características de los materiales en cada sección de la carrocería.

Material	Sección de la carrocería	Conductividad $\lambda$ (W/K.m)	Conductancia U (W/K.m <sup>2</sup> )	Cantidad de Calor (W)
Acero A36	Techo Laterales Piso Sección delantera y trasera	51.9	-	16503,18
Acrílico	Interiormente recubre las secciones del : Techo Laterales Sección delantera y trasera	0.19	-	13151,32
Vidrio	Ventanas Vidrio trasero Puerta de ingreso al habitáculo	-	1.05	3223,73
Madera	Piso		0.13	882,01

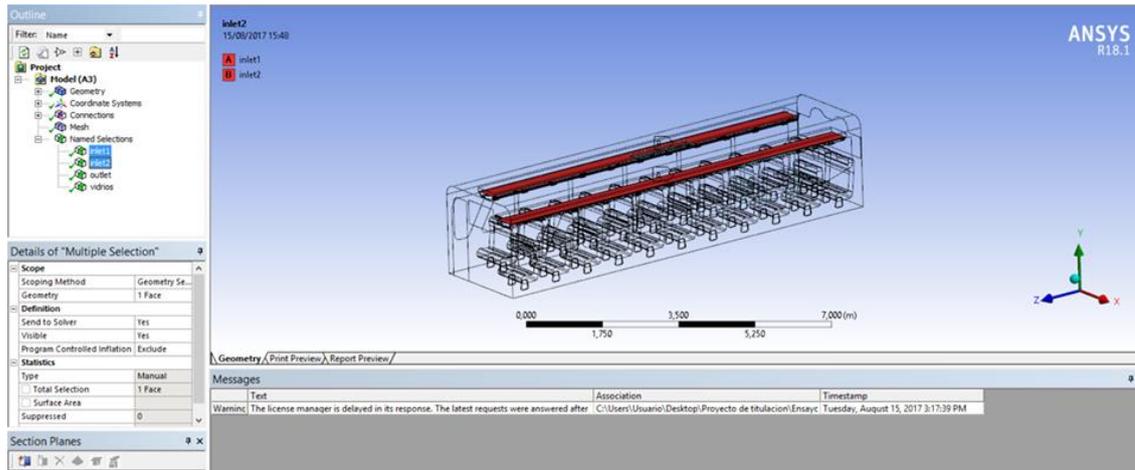
Fuente. Autores

#### 4. Condiciones de contorno.

- **Condición de entrada (Inlet).**

El Intel lo utilizamos para definir la zona de entada y sus condiciones al momento de ingresar al dominio, permiten la entrada o salida de flujo, por esta razón se debe indicar la dirección del flujo, en el caso nuestro definimos la condición de entrada con la velocidad. En la figura 39 se muestra que parte de la carrocería seleccionamos como inlet.

**Figura 25.** Definición del Inlet.



Fuente. Autores

**Tabla 13.** Detalles de la condición de borde tipo entrada (Inlet).

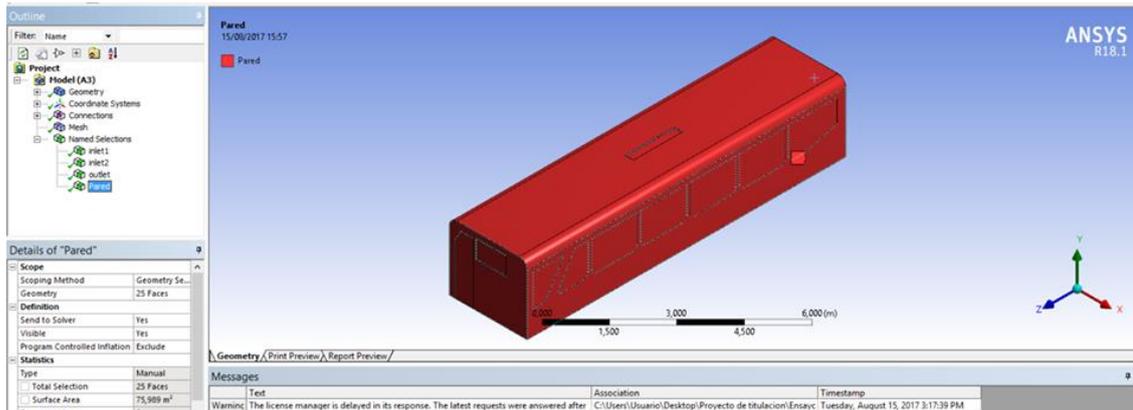
<b>Boundary - Inlet</b>	
Tipo de condición de borde	Velocity
Velocidad de entrada	23,8 m/s
Temperatura de fluido	13°C
Presión	101325 Pa

Fuente. Autores

- **Condición de pared (Wall)**

Las paredes son los límites sólidos del dominio por donde circula el fluido. La condición tipo Wall utilizamos para definir las paredes que indican cual es el dominio por donde va a moverse el aire, posee diferentes propiedades como la de transferencia de calor. En la figura 40 se muestra la condición que seleccionamos para el estudio así mismo como sus características.

**Figura 26.** Definición de la pared (Wall).



Fuente. Autores

**Tabla 14.** Detalles de la condición de borde tipo pared (Wall).

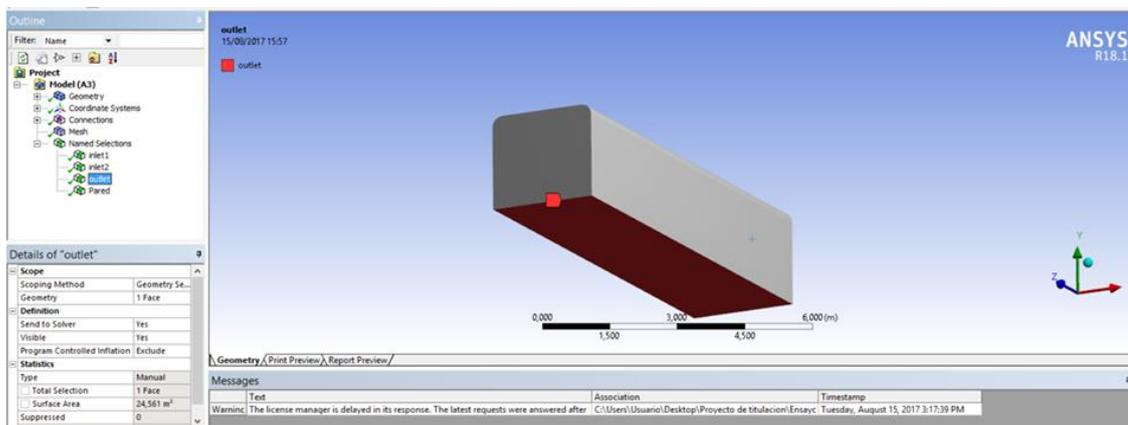
Boundary - Wall	
Tipo de condición de borde	Pressure Openings
Temperatura	30°C
Rugosidad	Liso sin rugosidad

Fuente. Autores

- **Condición de salida (Outlet)**

Se utilizó para determinar la salida del aire o hasta donde se requiere que llegue el mismo, puesto que a su vez el flujo debe pasar por el interior de todo el habitáculo y salir hasta la atmosfera. En la figura 41 se muestra el Outlet y sus características.

**Figura 27.** Definición del contorno de salida (Outlet).



Fuente. Autores

**Tabla 15.** Detalles de la condición de borde tipo salida (Outlet).

<b>Boundary - Outlet</b>	
Tipo de condición de borde	Pressure
Temperatura de fluido	23°C
Presión	101325 Pa

Fuente. Autores

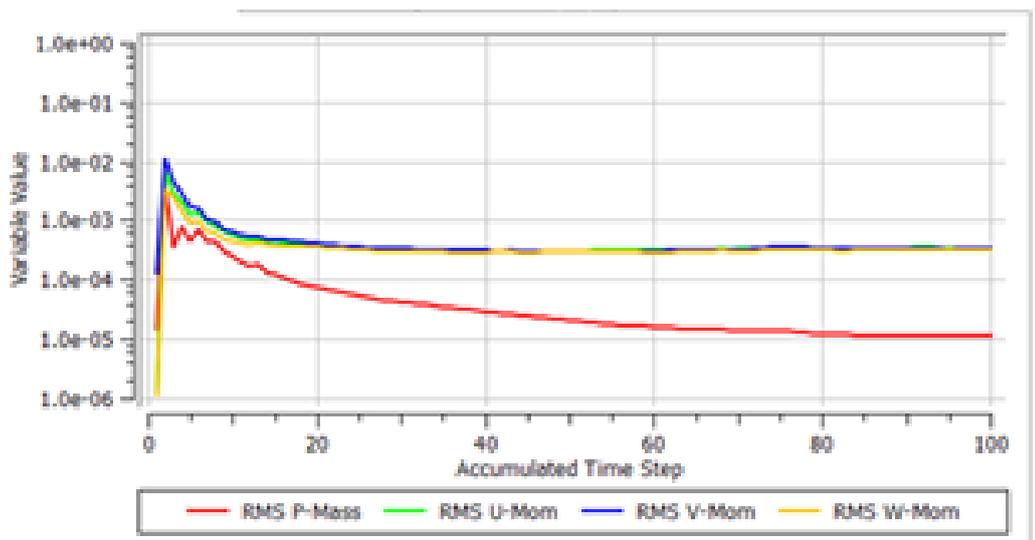
#### 5.2.2.2. *Proceso*

Al igual que le solidworks el Ansys inicia el estudio con un numero de iteraciones dependiente del tipo de análisis, y al igual que en Solidworks el solucionador del proceso resuelve las variables que integran las ecuaciones de la distribución del fluido, mediante la interfaz del software se puede visualizar si los resultados convergen o no en una gráfica de residuales.

La convergencia o no de la simulación depende del software y de los residuales de la gráfica. Los valores los asignamos de acuerdo a los requerimientos del modelo en este caso es de 0,0001 para todos los residuos.

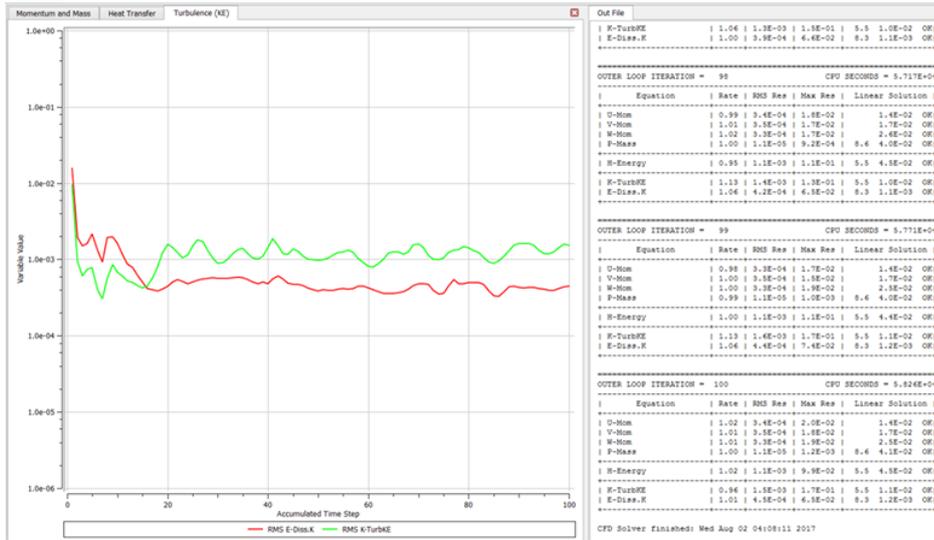
En las figuras 42, 43 y 44 se muestra el resultado de la convergencia en Ansys.

**Figura 28.** Estado de convergencia de la simulación.



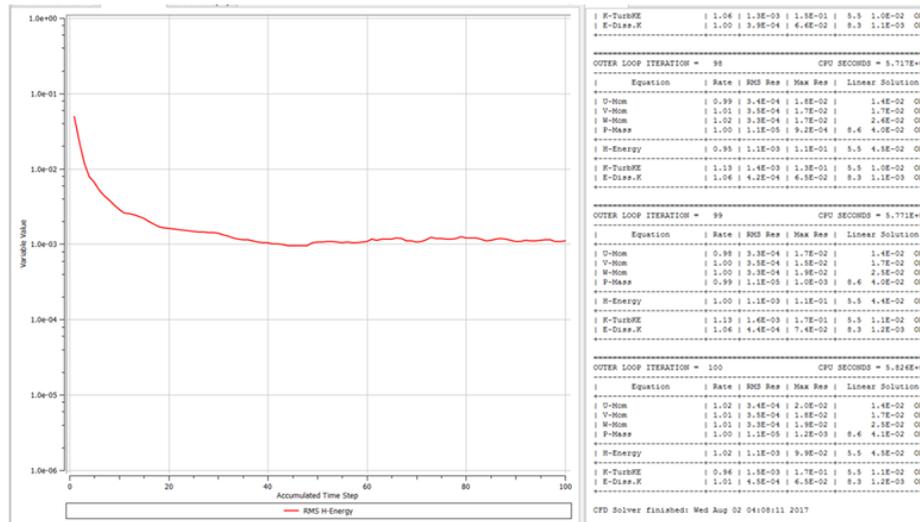
Fuente. Autores

**Figura 29.** Estado de convergencia de la turbulencia.



Fuente. Autores

**Figura 30.** Estado de convergencia de la transferencia de calor del fluido.

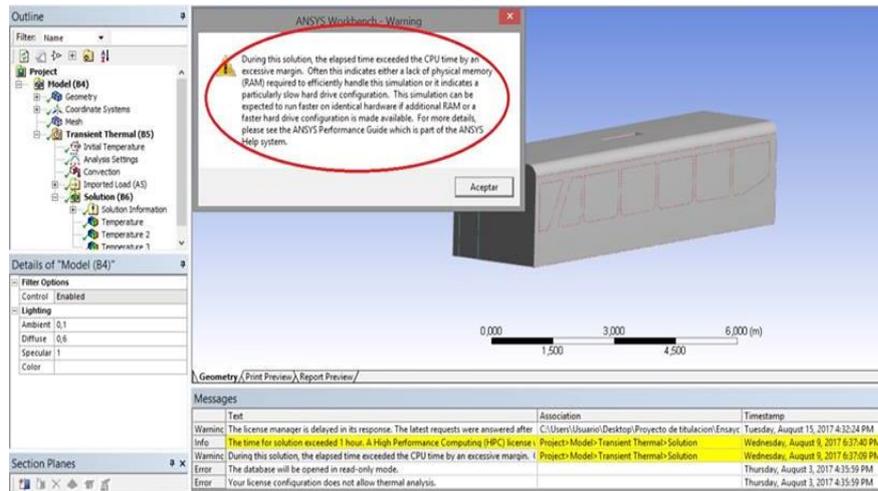


Fuente. Autores

Una vez concluido el análisis y al comprobar que los resultados obtenidos si convergen, el Ansys proporcionó 2 mensajes de error, errores de tipo computacional que limitan el desarrollo de la simulación.

El error que se presentó en el proceso es que no hay suficiente espacio para almacenar toda la información que proporciona el estudio por lo que el Ansys se detuvo y proporciono como resultados finales los valores analizados en la última iteración. En la figura 46 se muestra más detallado el error que se presentó al final de la simulación.

**Figura 31.** Error de almacenamiento del computador.



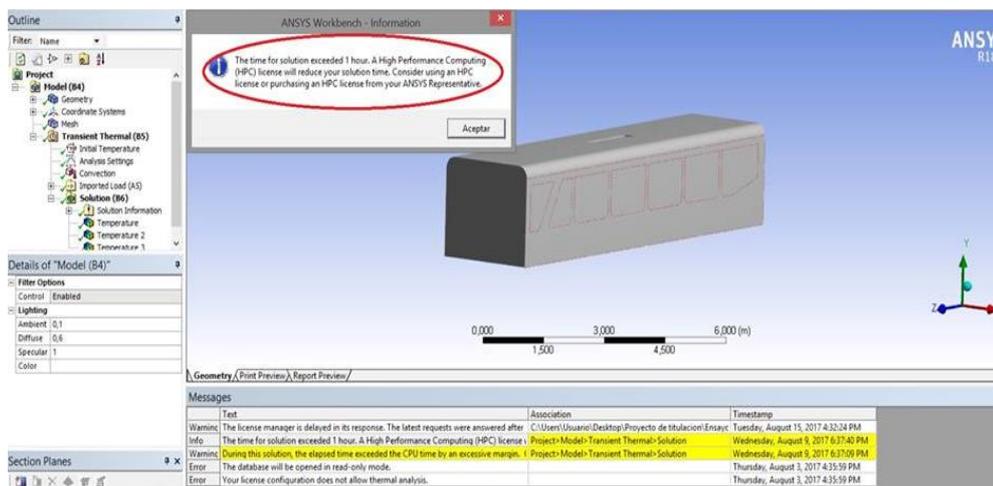
Fuente. Autores

### 5.2.2.3. Post – Proceso

El error en la licencia del Software no nos permite obtener los resultados en su totalidad, debido a que en este caso la Licencia es Crakeada. El software nos muestra como información que con este tipo de licencia no se puede realizar un análisis tan complejo. En la figura 45 se muestra el inconveniente que se nos presentó una vez que culminó el análisis.

Al momento de querer visualizar las gráficas (Surface plot) el software notifica un nuevo error esta vez de la Licencia del mismo.

**Figura 32.** Error en la Licencia del Software.



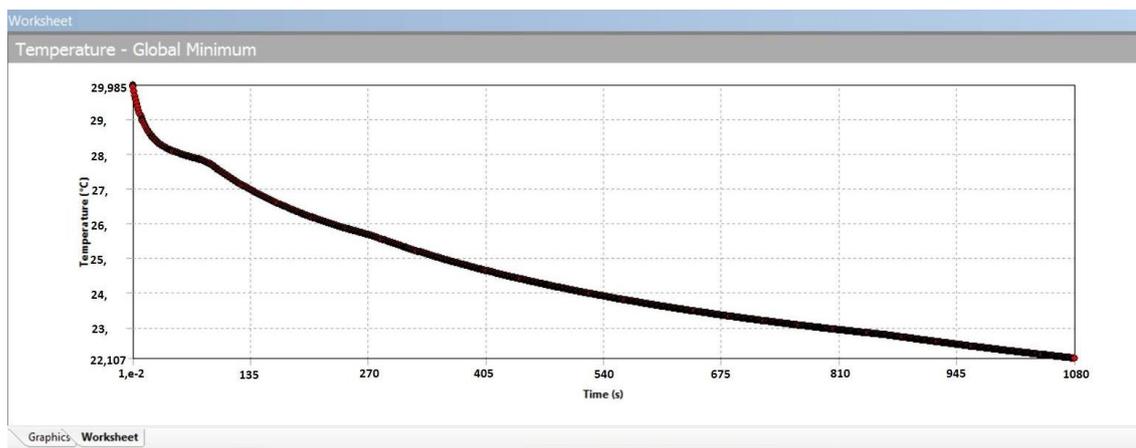
Fuente. Autores

**Tabla 16.** Valores de temperatura obtenidos experimentalmente.

	(°C)	Min 0	Min 2	Min 4	Min 6	Min 8	Min 10	Min 12	Min 14	Min 16	Min 18
SECCION DELANTERA	T1	30,1	27,8	26,3	25,8	25	24,7	24,2	23,7	23,2	22,9
	T2	30,1	27,5	26,2	24,9	24,7	24,2	23,9	23,3	22,9	22,6
	T3	30,1	27,5	26,3	25,4	25	24,8	24,3	23,5	23,8	23,5
	T4	30,1	29,2	28,4	27,5	27,3	26,7	25,6	24,4	23,7	23,2
	T5	30,1	28,4	27	25,9	25,8	26,2	26,8	25,2	24,1	23,8
	T6	30,1	29,7	29,1	28,1	27,2	27,1	27,8	26,5	25,9	24,9
SECCION CENTRAL	T7	30,1	28,1	27,2	26,2	25,6	23,9	23,2	22,7	22,1	21,9
	T8	30,1	28,6	26,7	25,6	24,4	24,7	24,1	23,5	22,7	22,2
	T9	30,1	27,2	26,3	25,5	24	23,4	22,9	22,7	22,3	21,7
	T10	30,1	28,2	27,7	27,2	26,7	26	25,5	23,8	23,1	22,7
	T11	30,1	28,4	27,7	26,6	25,4	24,9	24,3	23,8	23,2	22,9
	T12	30,1	28,3	27,4	27	26,5	26	25,4	23,9	23,5	23,2
SECCION POSTERIOR	T13	30,1	27,5	26,4	25,2	24,2	23,8	23,5	22,9	22,3	21,9
	T14	30,1	28	26,8	25,5	24,2	23,8	23,4	23	22,2	21,7
	T15	30,1	28	26,5	25,6	24,3	23,9	23,7	23,3	23	22,6
	T16	30,1	28,1	27,4	26,3	25,2	24,9	24,4	23,8	23,1	22,8
	T17	30,1	28	27,6	26,4	25	24,9	24,4	23,8	23,2	22,9
	T18	30,1	28,3	27,9	27	25,4	24,6	24	23,6	23,1	22,8

Fuente. Autores

**Figura 33.** Resultados obtenidos del reporte del software.



Fuente. Autores

El software Ansys nos proporciona un reporte en el cual podemos evidenciar en la figura 60 cuál es el comportamiento de la temperatura en función del tiempo, la temperatura empieza en 30 °C y una vez transcurridos 1080 segundos (18 minutos) la temperatura disminuye hasta llegar a 22°C aproximadamente.

Al comparar los valores de la tabla 26 y de la figura 60 se demuestra que la información proporcionada por el software y los datos medidos experimentalmente son aproximadamente iguales, de tal manera se puede verificar así que el desarrollo de la simulación es el adecuado.

## CAPÍTULO VI

### 6. PROPUESTAS DE MEJORA PARA UN DESEMPEÑO ÓPTIMO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO.

Las mejoras que proponemos no se enfocan a menorar costos del sistema, si no a optimizar el uso del mismo de tal forma que estaríamos disminuyendo el consumo de combustible y alargando su vida útil y la vida útil del motor del bus.

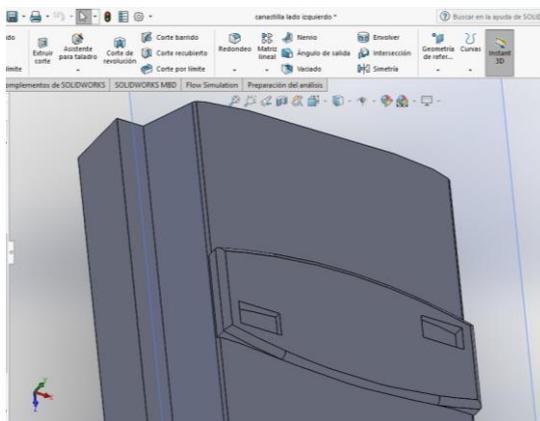
También se centran en proporcionar un ambiente de confort en el menor tiempo posible, variando la distribución del flujo de manera que el sistema no este encendido en intervalos largos de tiempo.

#### 6.1. Cambio de las rejillas circulares a rectangulares.

Al cambiar las rejillas circulares por rectangulares obtenemos los siguientes beneficios:

- Mejor distribución del aire en el interior del habitáculo.
- Obtendremos la temperatura de confort en un menor tiempo.
- El equipo permanecerá encendido menor tiempo.
- Ahorro en el consumo de combustible.
- Alarga la vida útil del sistema y del autobús.

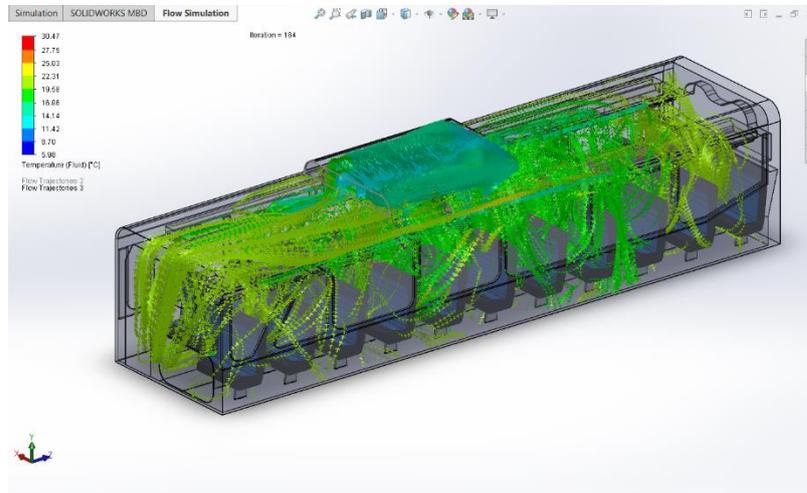
**Figura 1.** Rejillas rectangulares



Fuente. Autores

En la Figura 47 se observa como mejora la distribución del fluido en el interior del bus, debido al cambio de las rejillas.

**Figura 2.** Simulación con rejillas rectangulares.



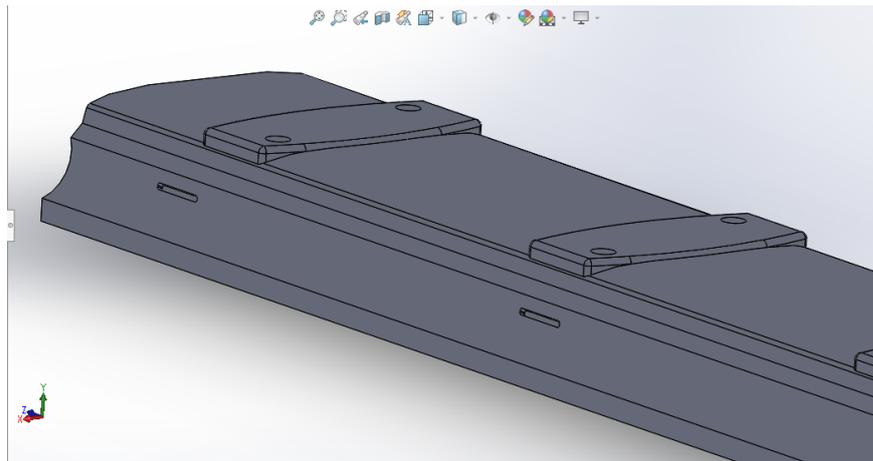
Fuente. Autores

## 6.2. Implementación de rejillas en los costados de los porta equipajes (canastillas).

Al igual que el caso anterior, al colocar rejillas en los costados de las portas equipajes obtenemos los siguientes beneficios:

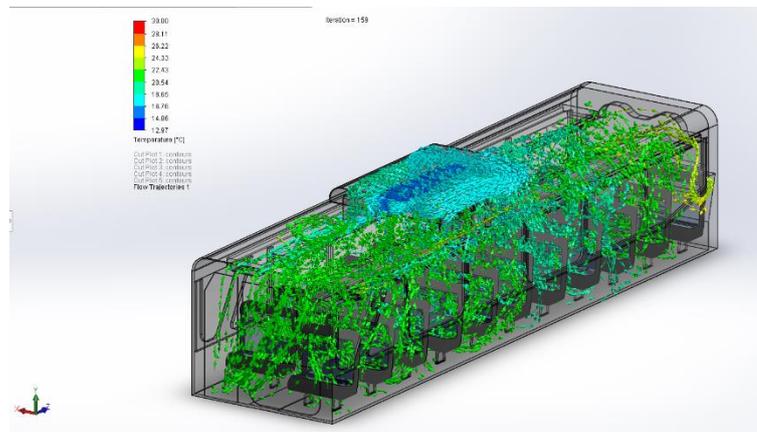
- Mejora la distribución del aire en el interior del habitáculo.
- Enfría hasta llegar a la temperatura de confort en un intervalo más corto de tiempo.
- A más de mantener un ambiente de confort agradable, enfría las superficies del habitáculo manteniéndolo así más tiempo frío.
- El sistema permanece encendido menos tiempo y por ende reduce el consumo de combustible.

**Figura 3.** Rejillas en los costados de los porta Equipajes.



Fuente. Autores

**Figura 4.** Distribución del aire colocando las rejillas a los costados.



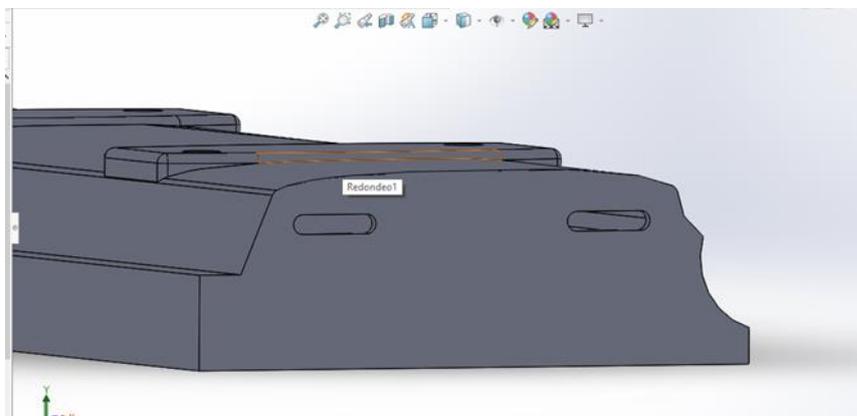
Fuente. Autores

### **6.3. Colocar 2 rejillas más en la parte delantera y posterior de los porta equipajes.**

Al poner 2 rejillas en la parte delantera y 2 en la parte trasera de cada porta equipaje se obtienen los siguientes beneficios:

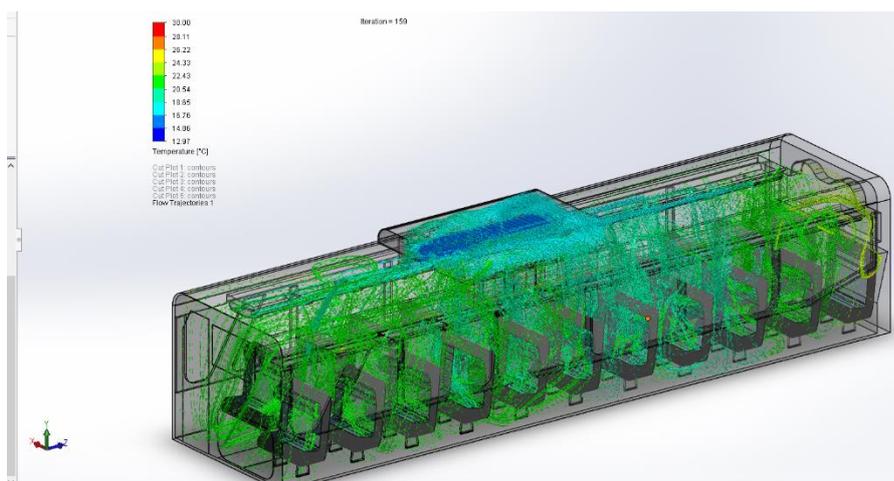
- El aire llegara a todas las zonas del habitáculo de manera uniforme y rápida.
- El flujo de aire llega a zonas donde anteriormente no cubría por falta de estas rejillas.
- El sistema de aire acondicionado estará prendido menos tiempo.
- Alarga la vida útil del sistema y del autobús

**Figura 5.** Ubicación de 2 rejillas en los porta equipajes.



Fuente. Autores

**Figura 6.** Distribución del aire agregando las 2 rejillas.



Fuente. Autores

## CAPÍTULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

Se han definido las variables que rigen la simulación de la distribución del flujo de aire en el habitáculo, éstas se han obtenido mediante mediciones en el interior del autobús y la adquisición de catálogos del sistema de aire acondicionado, que nos proporcionan información útil para el análisis dinámico del fluido en estudio, para nuestro caso el estudio de aire refrigerado.

Se realizó el diseño CAD de la carrocería a partir de mediciones realizadas en el proceso de construcción del autobús, utilizando software solidworks 2017, desarrollando en el esquema las características más relevantes del habitáculo para su posterior simulación.

Al realizar vistas de corte en varias secciones (delantera, central y posterior), se ha podido observar como es el comportamiento de la temperatura variando desde los 30°C hasta los 23°C en todas las zonas internas del habitáculo, también mediante la simulación y las herramientas de análisis se ha podido observar que la distribución se da de manera correcta y uniforme en el interior de habitáculo.

Al calcular la cantidad de calor que tiene que disipar el sistema 131661.71 BTU/h, y luego al introducir este valor en la simulación nos dimos cuenta que las características de cada uno de los componentes, están aptos para contrarrestar las condiciones de funcionamiento reales que se consideró para el análisis.

Es necesario ir modificando la geometría para simplificar superficies por que los Softwares las consideran como conflictivas ya sea por su complejidad o por su tamaño reducido, estas son las superficies que pueden crear problemas en el proceso de mallado.

## **7.2. Recomendaciones**

Diseñar el modelo geométrico en base a los planos proporcionados por la empresa y a las mediciones que se realicen durante el proceso de construcción de la carrocería.

Simplificar la geometría en lo que más sea posible, para que en el momento del mallado no se presente ningún tipo de inconveniente con respecto a la geometría.

Tener en cuenta todas las características y propiedades de los materiales que se van asignar a las diferentes superficies del habitáculo.

Realizar la simulación en un computador de gama alta que se acople a la perfección con los softwares de diseño y así poder evitar cualquier tipo de problema que se relacione con la capacidad computacional.

Obtener los conocimientos necesarios en el ámbito de mallado y simulación para poder resolver cualquier inconveniente que se presente en el desarrollo del análisis.

## **Bibliografía**

**SIMULACIÓN EN 3D.** *Cae*. [En línea] Mexico D.F, 2017. [Consulta: 28 de Mayo de 2017.] Disponible en: <http://www.3dcadportal.com/3d-software/cae/>.

**BOHORQUEZ, Patricia.** *Mecánica de Fluidos Computacional*. [En línea] 20 de Febrero de 2011. [Consulta: 25 de Abril de 2017.] Disponible en: <http://blogs.ujaen.es/pr-medina/wp-content/uploads/2012/06/PRESENTACIONMFC.pdf>.

**BRICH, Tom.** *Manual de aire acondicionado y calefaccion automotriz*. España: Prentice-Hall, 1996 pp. 13 - 20.

**CARRIER.** *Manual de aire acondicionado*. Barcelona - España: Marcombo, 2009 pp. 9 - 20.

**CENGEL, Yunus.** *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill, 2007 pp. 373 - 374.

**DOCPLAYER.** *Ficha tecnica R134 a*. [En línea] 2001. [Consulta: 15 de Mayo de 2017.] Disponible en: <http://docplayer.es/13274923-Ficha-tecnica-r134-a.html>.

**MIRANDA, Angel & DOMENECH, Angeles.** *ABC del Aire Acondicionado*. Barcelona - España : Marcombo, 2012 pp. 15 - 22.

**PAZ, Arias.** *Manual de automoviles*. España: Dossat, 2010 pp. 575 - 576.

**PELAEZ, David Alonso.** *Tecnicas del automovil, Sistemas de climatizacion*. España: Paraninfo, 2004 pp. 175 - 185.

**SALA, J. M.** *Interes y posibilidades de la dinamica de fluidos computacionales*. [En línea] 15 de Junio de 2010. [Consulta: 10 de Mayo de 2017.] Disponible en: <http://www.casbil.com/documentacion/Technical%20Articles/INTERESCFD.pdf>.

**SIMEC.** *Refrigerante R134a*. [En línea] 4 de Noviembre de 2013. [Consulta: 15 de Junio de 2017.] Disponible en: <http://www.blog.simec.biz/refrigerante-r134a-pautas-para-su-utilizacion/>.

**THERMICPRO.** *Compresor*. [En línea] 2012. [Consulta: 20 de Junio de 2017.] Disponible en: <http://thermicpro.blogspot.com/p/compresor-el-compresor-del-aire.html>.

