



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL HABITÁCULO DE UN
BUS TIPO URBANO DE LA EMPRESA “CARROCERÍAS
SANTACRUZ”.**

AUTORES:

CRISTIAN LEANDRO GONZÁLEZ JURADO

KEVIN PATRICIO RODRÍGUEZ FUENTES

DIRECTOR: ING. GUIDO TORRES.

LATACUNGA

2017



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICADO

Certifico que el trabajo de titulación, “ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL HABITÁCULO DE UN BUS TIPO URBANO DE LA EMPRESA “CARROCERÍAS SANTACRUZ”” realizado por los señores CRISTIAN LEANDRO GONZÁLEZ JURADO y KEVIN PATRICIO RODRÍGUEZ FUENTES, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores CRISTIAN LEANDRO GONZÁLEZ JURADO y KEVIN PATRICIO RODRÍGUEZ FUENTES, para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, agosto del 2017



DIRECTOR DEL PROYECTO



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

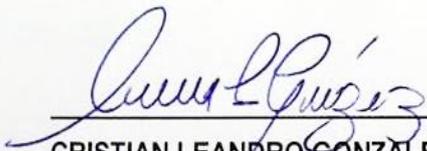
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, CRISTIAN LEANDRO GONZÁLEZ JURADO, con cédula de ciudadanía N° 0401707799 y KEVIN PATRICIO RODRÍGUEZ FUENTES, con cédula de ciudadanía N° 0401636659, declaramos que este trabajo de titulación “ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL HABITÁCULO DE UN BUS TIPO URBANO DE LA EMPRESA “CARROCERÍAS SANTACRUZ”” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, agosto del 2017

	
CRISTIAN LEANDRO GONZÁLEZ JURADO	KEVIN PATRICIO RODRÍGUEZ FUENTES
C.C: 0401707799	C.C: 0401636659

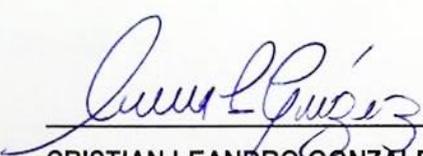


**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Nosotros *CRISTIAN LEANDRO GONZÁLEZ JURADO*, y *KEVIN PATRICIO RODRÍGUEZ FUENTES* autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL HABITÁCULO DE UN BUS TIPO URBANO DE LA EMPRESA “CARROCERÍAS SANTACRUZ”” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, agosto del 2017

	
_____ CRISTIAN LEANDRO GONZALEZ JURADO	_____ KEVIN PATRICIO RODRÍGUEZ FUENTES
C.C: 0401707799	C.C: 0401636659

DEDICATORIA

A mi querido sobrino Jorge Elian, que este trabajo signifique un símbolo de esfuerzo y amor al trabajo. Para que en algún momento lo tome, como motivación para su superación personal y profesional.

Cristian Leandro González Jurado

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado dedico a mis padres, Jaqueline Fuentes y Patricio Rodríguez, mis abuelos, German Rodríguez y Teresa Erazo quien siempre me apoyaron incondicionalmente en toda mi vida y lo siguen haciendo. A mis hermanas, Karen, Yuly y Sofia ellas son el motivo más importante que me inspiró para culminar esta etapa de mi vida espero sea un ejemplo para su vida profesional.

Kevin Patricio Rodríguez Fuentes

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis abnegados padres: Jorge y Doris, a mis hermanos: Andrés y Josselin y a mi compañera de vida: Liseth; quienes constituyen el pilar fundamental en mi vida, ya que, gracias a nuestro lazo de amor hemos podido conseguir grandes logros, como este.

A mis Familiares que siempre estuvieron pendiente de mí, con su apoyo incondicional.

A Kevin, mi amigo y compañero de tesis, por su don de perseverancia y compromiso para con el presente proyecto.

Al Ing. Guido Torres director del proyecto de titulación por el tiempo brindado hacia nosotros y sus consejos que fueron de vital importancia para el desarrollo de la tesis de grado.

A mis amigos por los gratos momentos compartidos durante esta maravillosa etapa universitaria.

Cristian Leandro González Jurado

AGRADECIMIENTO

Agradeciendo a Dios sobre todas las cosas por la salud y por haberme llenado de bendiciones, también agradezco el apoyo incondicional de mis padres.

A mi tío Patricio Fuentes quien fue parte importante en mi vida universitaria por los consejos y el apoyo que me brindo.

A Carla quien me acompaño en el transcurso de este proyecto brindándome su apoyo incondicional y emocional.

Agradezco al Ing. Guido Torres, director del proyecto de titulación por el tiempo que tuvo para nosotros y sus consejos que fueron de gran ayuda para el proyecto.

Agradezco de sobremanera a mi amigo y compañero de tesis Cristian quien desde un principio supimos congeniar y ayudarnos mutuamente.

Gracias a mis amigos por los recuerdos gratos que nunca olvidare llenos de alegría que se vivieron dentro y fuera de la universidad.

Kevin Patricio Rodríguez Fuentes

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICADO	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xix
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT	xxi

CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.2.1. Árbol del problema	2
1.3. Descripción resumida de la investigación.	2
1.4. Presentación	3
1.5. Justificación e importancia	4
1.6. Objetivos	5
1.6.1. Objetivo general	5
1.6.2. Objetivos específicos	5

		x
1.7.	Metas	6
1.8.	Hipótesis	6
1.9.	Variables de la investigación.....	7
1.9.1.	Variable independiente.....	7
1.9.2.	Variable dependiente	7
1.10.	Operacionalización de las variables	7
1.11.	Metodología de desarrollo del proyecto.....	8

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	15
2.1.	Antecedentes	15
2.2.	Tipos de transferencia de calor.....	15
2.2.1.	Conducción	15
2.2.2.	Convección	17
2.2.3.	Radiación	18
2.3.	Confort Ambiental	18
2.3.1.	Parámetros ambientales con mayor incidencia en el Confort ..	18
2.4.	Condiciones del proyecto.....	20
2.5.	Carga de Enfriamiento y Calentamiento	20
2.6.	Descripción del Bus	21
2.6.1.	Carrocería	21
2.6.2.	Capacidad.....	22
2.7.	Condiciones Exteriores	22
2.8.	Condiciones Interiores	23
2.9.	Aire acondicionado.....	23
2.9.1.	Componentes.....	24

2.10.	Estudio psicrométrico del aire	27
2.10.1.	Parámetros psicrométricos	28
2.10.2.	Deshumidificadores	31
2.11.	Ciclo de evolución del aire.....	31
2.11.1.	Descripción del proceso.....	31

CAPÍTULO III

3.	MEDICIONES DE PARÁMETROS PSICROMÉTRICOS	34
3.1.	Generalidades.....	34
3.2.	Equipos de medición.....	35
3.2.1.	Cámara termográfica FLIR.....	35
3.2.2.	Higrómetro	36
3.2.3.	Anemómetro.....	37
3.3.	Mediciones térmicas	38
3.3.1.	Terminología y Esquema	39
3.3.2.	Medición termográfica en el período 1	41
3.3.3.	Medición termográfica en el período 2	51
3.3.4.	Zona del conductor.....	60
3.3.5.	Zonas críticas	61
3.4.	Medición de humedad.....	64
3.5.	Medición de la velocidad del aire	66

CAPÍTULO IV

4.	MÉTODO DE CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA.....	69
4.1.	Cálculo de la ganancia o pérdida de calor a través de la carrocería.....	70
4.2.	Datos de diseño	70

4.2.1.	Condiciones geográficas y ambientales del lugar	71
4.2.2.	Consideraciones interiores de diseño	71
4.3.	Cálculo del balance térmico	72
4.3.1.	Áreas.....	73
4.3.2.	Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor.....	74
4.3.3.	Cálculo de la ganancia de calor a través del vidrio, carrocería, techo, piso y cubierta del motor.....	79
4.3.4.	Cálculo de la ganancia de calor efectivo por ocupantes	80
4.3.5.	Cálculo de ganancia o pérdida de calor por infiltración	81
4.3.6.	Cálculo de calor sensible ganado o perdido total (BT)	83
4.4.	Cálculo de la capacidad del control de aire y la temperatura de inyección	83
4.4.1.	Cálculo de la ganancia de calor latente por ocupantes.....	83
4.4.2.	Cálculo del factor de calor sensible.....	84
4.4.3.	Cálculo del flujo volumétrico.....	86
4.4.4.	Cálculo del flujo másico.....	86
4.5.	Cálculo de la temperatura de mezcla.....	87
4.6.	Cálculo de la capacidad del serpentín de enfriamiento.....	89
4.7.	Cálculo de la capacidad de los deshumificadores.....	90

CAPÍTULO V

5.	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO, DISTRIBUCIÓN DE DUCTOS Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA	91
5.1.	Introducción.....	91
5.2.	Casa de la calidad	91
5.2.1.	Voz del usuario.....	91

5.2.2.	Voz del ingeniero.....	92
5.2.3.	Conclusiones de la casa de la calidad	92
5.2.4.	Mapa morfológico.....	93
5.2.5.	Mapa de ponderación.....	94
5.3.	Distribución de los ductos de aire	95
5.4.	Diseño CAD del habitáculo del bus.....	98
5.5.	Análisis CAE	98
5.6.	Importación de archivo CAD al software CAE.....	99
5.6.1.	Mallado del habitáculo del autobús	100
5.6.2.	Introducción de datos de diseño	105
5.6.3.	Análisis de las figuras de velocidad en los diferentes tiempos	110
5.6.4.	Análisis de las figuras de temperatura en los diferentes tiempos	119

CAPÍTULO VI

6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	128
	CONCLUSIONES.....	128
	RECOMENDACIONES	129
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
	ANEXOS	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Árbol del problema.....	2
Figura 2.	Flujo de calor en una varilla de cobre	16
Figura 3.	Transferencia de calor por convección.	17
Figura 4.	Compresor	24
Figura 5.	Condensador.....	24
Figura 6.	Colector de refrigerante	25
Figura 7.	Secador con filtro	25
Figura 8.	Válvula de solenoide	26
Figura 9.	Válvula de expansión	26
Figura 10.	Evaporador	27
Figura 11.	Ventilador.....	27
Figura 12.	Líneas de temperatura de bulbo seco.....	28
Figura 13.	Líneas de temperatura de bulbo húmedo.	28
Figura 14.	Líneas de humedad absoluta.....	29
Figura 15.	Líneas de temperatura de punto de rocío.	29
Figura 16.	Líneas de entalpía total en BTU/lb de aire seco.....	30
Figura 17.	Líneas de volumen específico.....	30
Figura 18.	Esquema proceso típico de acondicionamiento de aire.	31
Figura 19.	Representación gráfica del proceso típico de acondicionamiento de aire en verano.....	32
Figura 20.	Unidad en la que se realizó la toma de mediciones.....	34
Figura 21.	Croquis de la ruta de la línea 121.	34
Figura 22.	Cámara termográfica FLIR xe320.....	35
Figura 23.	Termómetro e Higrómetro Clock Humidity HTC-1.....	37
Figura 24.	Termo/Anemómetro SAA125	38
Figura 25.	Esquema de distribución de zonas de los asientos.....	40
Figura 26.	Esquema de distribución de zonas de los vidrios izquierdos.	40
Figura 27.	Esquema de distribución de zonas de los vidrios derechos.	41
Figura 28.	Esquema de distribución de zonas del techo.	41

Figura 29.	Gráfica de temperaturas promedio de las zonas en el período 1.....	51
Figura 30.	Temperaturas promedio de las zonas en el período 2.	61
Figura 31.	Temperaturas promedio de las zonas críticas.....	64
Figura 32.	Gráfica de velocidad del viento	67
Figura 33.	Zona de confort ambiental	68
Figura 34.	Estructura del vidrio	76
Figura 35.	Estructura de la carrocería.....	76
Figura 36.	Estructura del techo.	77
Figura 37.	Estructura del piso.	77
Figura 38.	Estructura de la cubierta del motor.	78
Figura 39.	Determinación del punto de inyección en la carta psicrométrica	85
Figura 40.	Determinación del punto de mezcla en la carta psicrométrica.	89
Figura 41.	Casa de la calidad.....	92
Figura 42.	SONGZ (SZC-VI-D)	95
Figura 43.	Distribución de ductos.....	96
Figura 44.	Vista superior del autobús.....	96
Figura 45.	Vista en detalle de las dimensiones de la entrada.	97
Figura 46.	Corte del autobús.....	98
Figura 47.	Modelado del habitáculo en CAD.....	99
Figura 48.	Verificación de interferencias.	100
Figura 49.	Barra de preparar.....	100
Figura 50.	Crear un Mesh.	101
Figura 51.	Vinculación de la geometría con el mallado.....	101
Figura 52.	Programa de Mallado.....	102
Figura 53.	Detalles de la malla.....	103
Figura 54.	Selección de caras.....	103
Figura 55.	Cuadro de nombramiento de selecciones.....	104
Figura 56.	Mallado del solido	104
Figura 57.	Corte del sólido y datos obtenido.	105

Figura 58.	Crear un Fluid Flow	105
Figura 59.	Vinculación de mallado para CFD.....	106
Figura 60.	Ventana de setup.....	106
Figura 61.	Chequeo del mallado.	106
Figura 62.	Generalidades.....	107
Figura 63.	Activación de la opción energía.	107
Figura 64.	Cuadro de ingreso de datos.....	108
Figura 65.	Ingreso de la velocidad de entrada.	109
Figura 66.	Ventana de ingreso de datos y ejecución del programa. ...	110
Figura 67.	Velocidades en el corte medio del Plano YZ.....	118
Figura 68.	Velocidades en el corte del Plano XZ.	119
Figura 69.	Temperaturas en el corte medio del Plano YZ.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de la variable independiente.	7
Tabla 2.	Operacionalización de la variable dependiente.	7
Tabla 3.	Metodología instrumentación y lugar.	10
Tabla 4.	Parámetros de tolerancia.	20
Tabla 5.	Especificaciones técnicas de la cámara termográfica FLIR xe320.	36
Tabla 6.	Especificaciones del equipo Clock Humidity HTC-1.	37
Tabla 7.	Especificaciones técnicas del Termo/Anemómetro SAA125 ..	38
Tabla 8.	Medición termográfica de los asientos parte lateral izquierda período 1.	42
Tabla 9.	Medición termográfica de los asientos, parte lateral derecha, período 1.	45
Tabla 10.	Medición termográfica de ventanas período 1.	48
Tabla 11.	Medición termográfica del techo en el período 1.	50
Tabla 12.	Medición termográfica de asientos, parte lateral izquierda período 2.	52
Tabla 13.	Medición termográfica de asientos, parte lateral derecha, período 2.	54
Tabla 14.	Medición termográfica de las ventanas en el período 2.	57
Tabla 15.	Medición termográfica del techo en el período 2.	59
Tabla 16.	Medición termográfica de la zona del conductor.	60
Tabla 17.	Medición termográfica de las zonas críticas.	61
Tabla 18.	Medición de humedad en el período 1.	65
Tabla 19.	Medición de humedad en el período 2.	65
Tabla 20.	Medición de velocidad del aire.	66
Tabla 21.	Condiciones ambientales.	71
Tabla 22.	Condiciones de comodidad para el diseño de interiores.	71
Tabla 23.	Materiales del autobús.	72
Tabla 24.	Propiedades del aire.	72
Tabla 25.	Condiciones del balance térmico.	73

Tabla 26.	Vidrio.	73
Tabla 27.	Carrocería.....	74
Tabla 28.	Techo.....	74
Tabla 29.	Piso.....	74
Tabla 30.	Cubierta del motor.	74
Tabla 31.	Calor sensible y latente desprendido por persona.....	80
Tabla 32.	Distribución de espacio.....	81
Tabla 33.	Cambios de aire por hora debido a la infiltración.....	82
Tabla 34.	Valores de las propiedades psicrométricas del punto de inyección.	86
Tabla 35.	Valores de las propiedades psicrométricas punto 2.	87
Tabla 36.	Valores de las propiedades psicrométricas del Punto 3.	87
Tabla 37.	Mapa morfológico de la selección de aire acondicionado.....	93
Tabla 38.	Mapa de ponderación para la selección de un aire acondicionado.	94
Tabla 39.	Resumen de temperaturas y coeficientes de transferencia de calor.....	108
Tabla 40.	Intervalos de tiempo para el análisis.....	110
Tabla 41.	Velocidad del interior del bus a los 10 segundos.....	111
Tabla 42.	Velocidad del interior del bus a los 40 segundos.....	112
Tabla 43.	Velocidad del interior del bus a los 70 segundos.....	114
Tabla 44.	Velocidad del interior a los 100 segundos con las puertas abiertas.	115
Tabla 45.	Velocidad del interior a los 130 segundos con las puertas abiertas.	116
Tabla 46.	Temperatura del interior del bus a los 10 segundos.....	120
Tabla 47.	Temperatura del interior del bus a los 40 segundos.....	121
Tabla 48.	Temperatura del interior del bus a los 70 segundos.....	122
Tabla 49.	Temperatura del interior a los 100 segundos con las puertas abiertas.....	124
Tabla 50.	Temperatura del interior a los 130 segundos con las puertas abiertas.....	125

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Ley de Fourier.....	16
Ecuación 2.	Convección	17
Ecuación 3.	Carga por transmisión.....	70
Ecuación 4.	Coeficiente global de transferencia de calor	74
Ecuación 5.	Ganancia de calor sensible por ocupantes.	80
Ecuación 6.	Ganancia o pérdida de calor por infiltración.....	81
Ecuación 7.	Calor sensible total.....	83
Ecuación 8.	Calor latente por ocupantes.	83
Ecuación 9.	Factor de calor sensible	84
Ecuación 10.	Flujo volumétrico	86
Ecuación 11.	Flujo másico.....	86
Ecuación 12.	Temperatura de mezcla	87
Ecuación 13.	Capacidad del serpentín de enfriamiento.....	89
Ecuación 14.	Capacidad de los deshumificadores	90
Ecuación 15.	Flujo volumétrico en función de V y At.....	97

RESUMEN

El presente trabajo de titulación, propone un tema de investigación enfocado en el estudio y análisis del comportamiento térmico del habitáculo de un bus urbano de producción nacional. Por medio de la cámara térmica se obtuvieron los datos de las diferentes temperaturas del interior del autobús en funcionamiento normal, estos datos proporcionan las zonas de mayor temperatura en el interior del bus, a continuación, se llevó a cabo las mediciones de humedad del habitáculo del bus y velocidad del flujo de aire, con el fin de determinar si se encuentra en el confort adecuado para los ocupantes. Una vez obtenida la información necesaria se realizó el cálculo matemático de las cargas térmicas presentes en el habitáculo del autobús en donde se analizó la factibilidad de implementar un sistema de aire acondicionado mediante un modelo CAD del autobús. Con los datos generados se efectuaron ensayos de simulación utilizando el método computacional de elementos finitos con el proceso de fluido dinámico CFD, el cual permitió simular matemáticamente el comportamiento del fluido, como el caudal, temperatura, velocidad, y trayectoria del flujo dentro del bus en funcionamiento. Una vez realizado el diseño y análisis se logró demostrar que es posible optimizar el comportamiento térmico del habitáculo de un bus urbano que labora en la ciudad de Guayaquil mediante la implementación de un equipo de aire acondicionado.

PALABRAS CLAVE:

- **TRANSPORTE URBANO**
- **BUS URBANO - CARROCERÍA**
- **BUS URBANO - AIRE ACONDICIONADO**

ABSTRACT

The present project proposes a research topic focused on the study and analysis of the thermal behavior of the passenger compartment of an urban bus of national production. By means of the thermal chamber the data of the different temperatures of the interior of the bus in normal operation were obtained, these data provide the zones of greater temperature inside the bus, then the measurements of humidity of the passenger compartment of the bus were carried out. Bus and airflow speed, in order to determine if you are in the right comfort for the occupants. Once the necessary information was obtained, the mathematical calculation of the thermal loads present in the passenger compartment of the bus was performed, where the feasibility of implementing an air conditioning system was analyzed using a CAD model of the bus. With the data generated, we performed simulation tests using the finite element computational method with the CFD dynamic fluid process, which mathematically simulated the behavior of the fluid, such as flow, temperature, velocity, and flow path within the bus in functioning. Once the design and analysis was done, it was possible to demonstrate that it is possible to optimize the thermal behavior of the passenger compartment of an urban bus that works in the city of Guayaquil through the implementation of an air conditioning equipment.

KEYWORDS:

- **THERMAL BEHAVIOR**
- **URBAN BUS**
- **INTERNAL BUS**
- **AIR CONDITIONING**

CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

La industria de fabricación de carrocerías presenta un crecimiento y desarrollo significativo en los últimos años, gracias al apoyo y control del gobierno, gremios de empresas carroceras, organismos técnicos, que generan productos de calidad. Por lo cual la implementación de normas técnicas para la construcción y diseño de carrocerías aportan confianza a los sectores de transportistas nacionales para así dar crecimiento en la producción. Elementos necesarios para competir con el mercado nacional e internacional y producir carrocerías de buses de calidad, los cuales cumplan con los estándares de construcción de buses en el Ecuador NTE INEN 2205:2010 y NTE INEN 1323:2009, entre otros como ASHRAE para el tratamiento de aire y sus aplicaciones.

1.2. Planteamiento del problema

En el transporte urbano se debe considerar que el conductor y ayudante se encuentran en distintos tipos de ambiente; tanto calurosos como fríos que pueden ser causantes de problemas a la salud debido a las fluctuaciones de temperatura. Es importante realizar un estudio al habitáculo del autobús para determinar el estrés térmico que están expuestos los ocupantes. El estrés térmico “corresponde a la carga neta de calor a la que los trabajadores están expuestos y que resulta de la contribución combinada de las condiciones ambientales del lugar donde trabajan, la actividad física que realizan y las características de la ropa que llevan”. (Monroy Martí, 2011).

Debido a la falta de estudios similares de esta temática, no se puede establecer reglamentos nacionales y aspectos de diseño que deben ser

respetados por los fabricantes de carrocerías de buses en el proceso de construcción. En base de este estudio se dará a conocer que tan factible será implementar un sistema de acondicionamiento del aire.

1.2.1. Árbol del problema

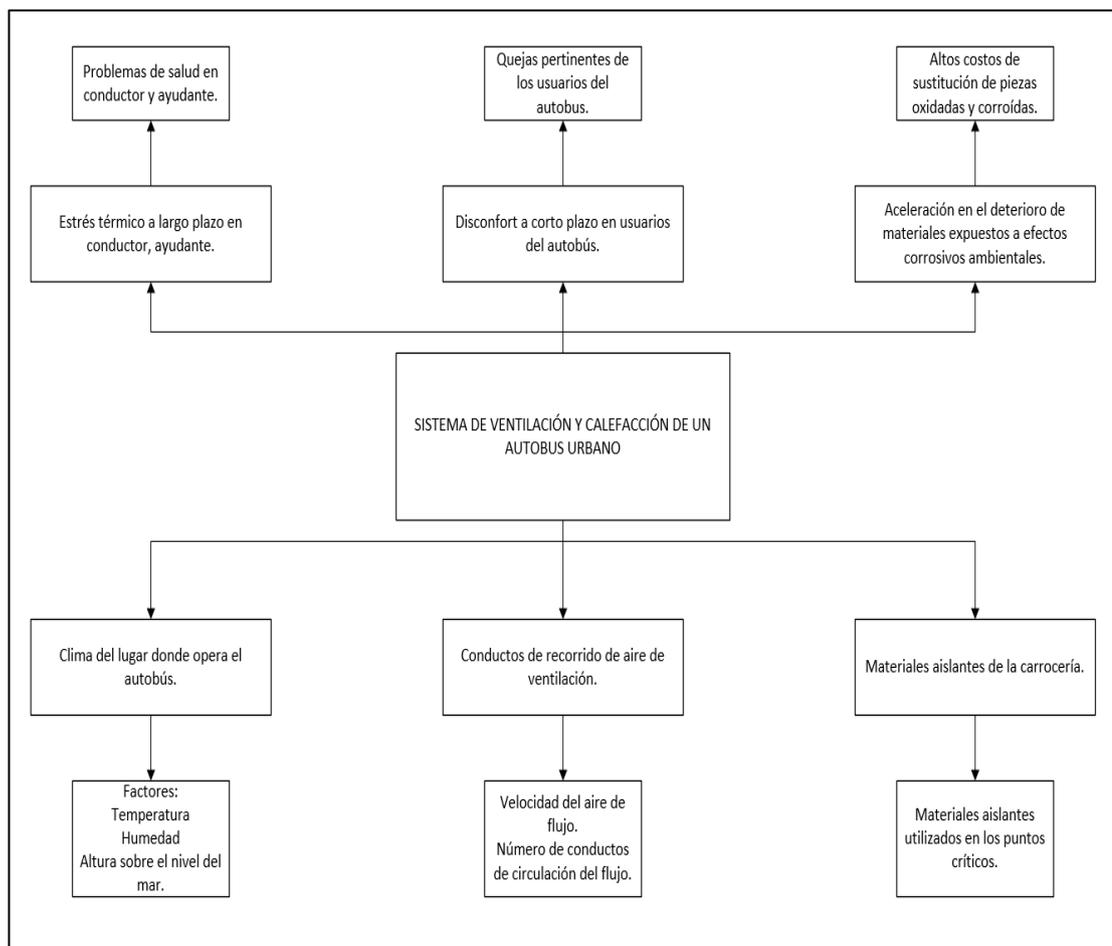


Figura 1. Árbol del problema

1.3. Descripción resumida de la investigación.

El presente proyecto, propone un tema de investigación enfocado en el estudio y análisis del comportamiento térmico, presente en el interior de un bus urbano de producción nacional, analizando el habitáculo del autobús.

Por medio de la cámara térmica se obtiene los datos de las diferentes temperaturas del interior del autobús en funcionamiento normal, las mediciones serán tomadas en un horario ya establecido del día, estos datos proporcionarán las zonas críticas de temperatura en el interior del bus, también se medirá la humedad del habitáculo del bus, para observar si esta se encuentra en el confort adecuado para los ocupantes.

Una vez obtenido estos datos se efectúa el modelado del bus el cual tendrá las dimensiones reales de construcción del mismo, las cuales son importantes para el cálculo de las áreas, luego de esto se desarrolla el cálculo de las cargas térmicas que se encuentran dentro del bus, por medio de tablas y fórmulas matemáticas que permiten determinar con exactitud dichas cargas.

Posteriormente se procede a la realización del cálculo de capacidad de la UTA (Unidad de tratamiento de aire), dentro de esto se considera la temperatura de inyección del aire tratado, así como también la capacidad del serpentín de enfriamiento y de los deshumificadores.

Por último, se lleva a cabo los ensayos de simulación en donde se utilizará el método computacional de elementos finitos con el proceso de fluido dinámico CFD, que es un software por el cual se puede simular matemáticamente el comportamiento térmico y la trayectoria del fluido, que pueden presentarse en la ventilación del bus en funcionamiento. Una vez realizado el diseño y análisis se podrá demostrar que es posible implementar este diseño en la industria carrocera.

1.4. Presentación

La investigación “ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL HABITÁCULO DE UN BUS TIPO URBANO DE LA EMPRESA “CARROCERÍAS SANTACRUZ” se basa en el análisis de los cambios de

temperatura para determinar la factibilidad de su uso de un sistema de refrigeración para el confort de los ocupantes.

El capítulo 1, se define el marco metodológico de la investigación para la caracterización y aplicación del sistema de refrigeración del habitáculo de un bus urbano.

El capítulo 2, se hace un recuento de las definiciones más utilizadas en el tema, como: los tipos de transferencia de calor, los aspectos técnicos, conceptos de confort y equipos de acondicionamiento de ambientes.

El capítulo 3, se realiza tabulación de mediciones directas en el objeto de estudio, así también el análisis de los resultados obtenidos en cada una de ellas.

El capítulo 4, corresponde al desarrollo y aplicación del método de cálculo de las cargas térmicas presentes en el habitáculo del autobús, con lo cual se establece la carga de enfriamiento necesaria para acondicionar el ambiente.

El capítulo 5, se efectúa la selección de un equipo de aire acondicionado, la distribución de ductos de enfriamiento. Además, la simulación CFD del comportamiento del fluido, utilizando un modelo optimizado de sistema de refrigeración del habitáculo.

El capítulo 6, corresponde a las conclusiones y recomendaciones finales del proyecto en cuestión.

1.5. Justificación e importancia

Las características ambientales como la temperatura y la humedad, que experimentan los usuarios de transporte urbano, cuando un vehículo circula en una ciudad con clima cálido - húmedo, son consideraciones

importantes al realizar el diseño de un bus tomando en cuenta todos los factores ambientales en los cuales esta unidad va a dar el servicio.

Al diseñar y construir una carrocería de bus se debe considerar la temperatura que generan los sistemas y elementos que constituyen chasis-carrocería, motor, sistema de admisión de aire del motor, caja de cambios, tren motriz entre otros. Ya que estos pueden incrementar la temperatura en el habitáculo de los pasajeros y conductor, pudiendo provocar alguna consecuencia grave. Razón por la cual es importante realizar este estudio.

La aplicación de software en ingeniería es importante para la optimización de recursos ya que permite simular situaciones reales para generar una perspectiva de las condiciones a las que está sometido el objeto de análisis. El proyecto está enfocado en el flujo de aire y sistema de refrigeración, que será analizado a través del software CAE.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

- Analizar el comportamiento térmico y optimizar el sistema de circulación del fluido para la refrigeración del habitáculo de los ocupantes, en buses de tipo urbano en la ciudad de Guayaquil carrozados por la empresa "SANTACRUZ".

1.6.2. Objetivos específicos

- Recolectar información técnica relacionada a los estándares de diseño y construcción de carrocerías de buses tipo urbano, sistemas utilizados para mejorar el confort en la construcción de buses.

- Obtener datos de las condiciones ambientales que presenta un bus de tipo urbano en desempeño normal de funcionamiento.
- Dibujar mediante software CAD la estructura del autobús utilizando los planos de construcción de la carrocería.
- Calcular las cargas térmicas presentes en el interior del habitáculo del bus y la capacidad de la UTA.
- Realizar la distribución de ductos de aire tratado para implementar en una estructura en el modelo de carrocería expuesta.
- Modelar computacionalmente el habitáculo del autobús mediante un software CAD, determinando las entradas y salidas del aire.
- Analizar el comportamiento del aire por medio del método de fluido dinámico computacional CFD y análisis térmico (Programas CAE), en el habitáculo del autobús.

1.7. Metas

Obtener un modelo de carrocería para un bus tipo urbano que cumpla con exigentes normas de calidad en cuanto al flujo térmico del aire.

Proponer un modelo técnico para la construcción de carrocerías de buses urbanos que laboren en la ciudad de Guayaquil y/o región Costa.

1.8. Hipótesis

¿La propuesta de diseño mejorará el confort tanto de los pasajeros como del conductor en base a los cálculos, simulaciones y datos obtenidos?

1.9. Variables de la investigación

1.9.1. Variable independiente

- Temperatura, humedad, velocidad del aire, altura sobre el nivel del mar.

1.9.2. Variable dependiente

- Confort del habitáculo.

1.10. Operacionalización de las variables

Tabla 1.

Operacionalización de la variable independiente.

Concepto	Dimensión	Indicadores	Unidad	Instrumentos
Medición de las condiciones ambientales a las cuales está expuesto el habitáculo del bus.	Temperatura	Temperatura máxima	°C	Cámara térmica
	Humedad	Humedad relativa	%	Higrómetro
	Velocidad del aire	Flujo del aire	Km/h	Anemómetro
	Altura sobre el nivel del mar	Presión Atmosférica	M	Altímetro

Tabla 2.

Operacionalización de la variable dependiente.

Concepto	Dimensión	Indicadores	Unidad	Instrumentos
Desarrollar un ambiente óptimo de bienestar y comodidad dentro del habitáculo, para los usuarios.	Características del aire proporcionado	Temperatura	°F	Cálculo
		Humedad	%	Cálculo
		Flujo	lb/h	Cálculo
	Mat. Aislantes	Coef. de Transf. de calor	Cal/m. °C.h	ASHRAE

1.11. Metodología de desarrollo del proyecto

- **Método Inductivo**

El método es aplicado a esta investigación de manera que, al realizar un análisis particular a un bus urbano estándar, este sea aplicativo a la producción general de la industria carrocería, utilizando las técnicas de construcción propias de la empresa, con ellas proponer un modelo optimizado para producción en serie.

- **Método deductivo**

El método se aplica al realizar la investigación de normas generales utilizadas en la fabricación de carrocerías de autobuses, de los sistemas de enfriamiento, así como también de los sistemas de aire acondicionado implementados en vehículos de transporte público.

- **Método analítico**

Este método considera un profundo análisis del flujo térmico que se encuentra dentro del habitáculo de los ocupantes de un bus urbano, particularizando zonas críticas en cuanto se refiere a temperatura, velocidad del aire, humedad, etc., mismos parámetros que son analizados dentro de los estándares de confort térmico de los usuarios.

- **Método de síntesis**

Este método se aplicó en la recopilación de datos obtenidos en pruebas físicas y de simulación para poder interpretar y analizar.

- **Método experimental**

La aplicación de este método tiene como finalidad la recopilación de datos técnicos reales que se presentan en un bus urbano en funcionamiento normal, en la ciudad de Guayaquil, mismos datos que se tabulan para poder realizar el ingreso de variables en el software de simulación. Además, con el desarrollo de este método se obtuvo información válida para realizar el análisis de zonas críticas del habitáculo.

- **Método comparativo**

Este método es utilizado para comparar los resultados obtenidos del análisis de la dinámica del fluido en un bus estándar, con la propuesta de modelo optimizado que pretende el presente proyecto de investigación.

- **Método de observación directa**

Este método permitió realizar una verificación visual del sistema de ventilación, que comprende el autobús estándar como son el número de escotillas, conductos del flujo, materiales de los cuales está constituida la carrocería, etc.

- **Método de medición**

El método de medición fue utilizado para la obtención de datos en el dimensionamiento de la carrocería, los cuales están bajo la norma NTE INEN 2205:2010, para construcción de buses urbanos mismos que son aplicados por la empresa carrocera "SANTACRUZ". Además, dentro del habitáculo de un bus en funcionamiento se realizó mediciones de temperatura por medio de la cámara termográfica FLIR, también mediciones de humedad y velocidad de viento.

- **Método de matematización**

El método de matematización se utilizó en la obtención de las cargas de transferencia de calor presentes en el habitáculo, mismos que proporcionan la información para la selección de un equipo de aire acondicionado. Además, se utilizó cálculos matemáticos del área de dinámica de fluido, para el desarrollo y distribución de los ductos de aire dentro del habitáculo del bus urbano.

En la Tabla 3 se visualiza el resumen de los métodos empleados en el proyecto de titulación.

Tabla 3.

Metodología instrumentación y lugar.

Metodología	Descripción	Equipo	Lugar
Inductivo	El método inductivo es aplicado a esta investigación de manera que, al realizar un análisis particular a un bus urbano estándar, este sea aplicativo a la producción general de la industria carrocera, utilizando las técnicas de construcción propias de la empresa, para con ellas proponer un modelo optimizado para producción en serie.	<ul style="list-style-type: none"> • Norma INEN 	Biblioteca
Deductivo	El método deductivo se	<ul style="list-style-type: none"> • Norma ASHRAE 	Biblioteca EPN

CONTINÚA 

	<p>aplica al realizar la investigación de normas generales utilizadas en la fabricación de carrocerías de autobuses, de los sistemas de calefacción y ventilación, así como también de los sistemas de aire acondicionado implementados en vehículos de transporte público.</p>	
Analítico	<p>El método analítico considera un profundo análisis del flujo térmico que se encuentre dentro del habitáculo de pasajeros de un bus urbano, particularizando zonas críticas en cuanto se refiere a temperatura, velocidad del aire, humedad, etc., mismos parámetros que son analizados dentro de los estándares de confort térmico de los usuarios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara termográfica • Software CAE • Software CAD <p>Bus en funcionamiento en Guayaquil</p>
Síntesis	<p>Este método se aplicó en la recopilación de datos obtenidos en pruebas físicas y de simulación para poder</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara termográfica • Anemómetro • Higrómetro • Termómetro <p>Bus en funcionamiento en Guayaquil</p>

	interpretar y analizar.	
Experimental	<p>La aplicación de este método tiene como finalidad la recopilación de datos técnicos reales que se presentan en un bus urbano en funcionamiento normal, en la ciudad de Guayaquil, mismos datos que se tabulan para poder realizar el ingreso de variables en el software de simulación.</p> <p>Además, con el desarrollo de este método se obtuvo información válida para realizar el análisis de zonas críticas de flujo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara termográfica • Anemómetro • Higrómetro • Termómetro <p>Bus en funcionamiento en Guayaquil</p>
Comparativo	<p>Este método es utilizado para comparar los resultados obtenidos del análisis de la dinámica del fluido en un bus estándar, con la propuesta de modelo optimizado que pretende el presente proyecto de investigación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Laptop TOSHIBA • Office
Observación Directa	<p>Este método permitió realizar una verificación visual del sistema de ventilación,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Laptop TOSHIBA • Software CAD

	<p>que comprende el autobús estándar como son el número de escotillas, conductos del flujo, materiales los cuales está constituida la carrocería, etc.</p>
Medición	<p>El método de medición fue utilizado para la obtención de datos en el dimensionamiento de la carrocería, los cuales están bajo la norma NTE INEN 2205:2010, para construcción de buses urbanos mismos que son aplicados por la empresa carrocera "SANTACRUZ".</p> <p>Dentro del habitáculo de un bus en funcionamiento se realizó mediciones con la cámara termográfica FLIR, también mediciones de humedad y velocidad de viento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • NORMA INEN 2205:2010
Matematización	<p>El método de matematización se utilizó en la obtención de las cargas de transferencia de calor presentes en</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laptop TOSHIBA • Office • Transferencia de calor • Manual de aire acondicionado

el habitáculo, mismos que proporcionan la información para la selección de un equipo de aire acondicionado. Además, se utilizó cálculos matemáticos del área de dinámica de fluido, para el desarrollo y distribución de los ductos de aire dentro del habitáculo del bus urbano.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En el presente capítulo se define los conceptos relacionados con el proyecto como son: los tipos de transferencia, el confort ambiental, las condiciones de estudio, las cargas de enfriamiento, las partes del bus, las condiciones externas e internas, los componentes del equipo aire acondicionado y el estudio psicrométrico del fluido.

2.2. Tipos de transferencia de calor

(B.V.Karlekar & R.M.Desmond, 1995) Dicen que: “Transferencia de calor es el área de ingeniería que trata los mecanismos encargados de la transferencia de energía de un lugar a otro cuando existe una diferencia de temperatura”. (p.1)

2.2.1. Conducción

(Incropera & DeWitt, 1999) Afirma que: “La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas”. (p.3)

El primer adelanto acerca de la conducción de calor se deben gracias, al esfuerzo del matemático francés Faurier (1822), quien propuso la ley de Fourier esta ley ayuda a predecir el comportamiento del calor a través de un elemento conductor, transmitiendo energía de una zona de alta temperatura a una zona de baja temperatura.

$$Q = \frac{kA(T_{int} - T_{ext})}{L} \quad (1)$$

Ecuación 1. Ley de Fourier

Fuente: (B.V.Karlekar & R.M.Desmond, 1995)

“Donde k es la constante de proporcionalidad, y se llama conductividad térmica de la pared. Dicha constante es una propiedad física del material en cuestión.

Las unidades de las diferentes cantidades que aparecen en la ecuación (1) son de la siguiente forma:

Q = razón de flujo de calor Btu/h o w

A = área de la pared normal al flujo de calor, $pies^2$ o m^2

T_{int} = temperatura de la superficie interna de la pared, $^{\circ}F$ o $^{\circ}C^d$

T_{ext} = temperatura de la superficie exterior de la pared, $^{\circ}F$ o $^{\circ}C$

k = conductividad térmica del material de la pared, $\frac{Btu}{h-pie^{\circ}F}$ o $\frac{W}{m^{\circ}C}$

L = espesor del lado interno y externo $pies$ o m ". (B.V.Karlekar & R.M.Desmond, 1995)

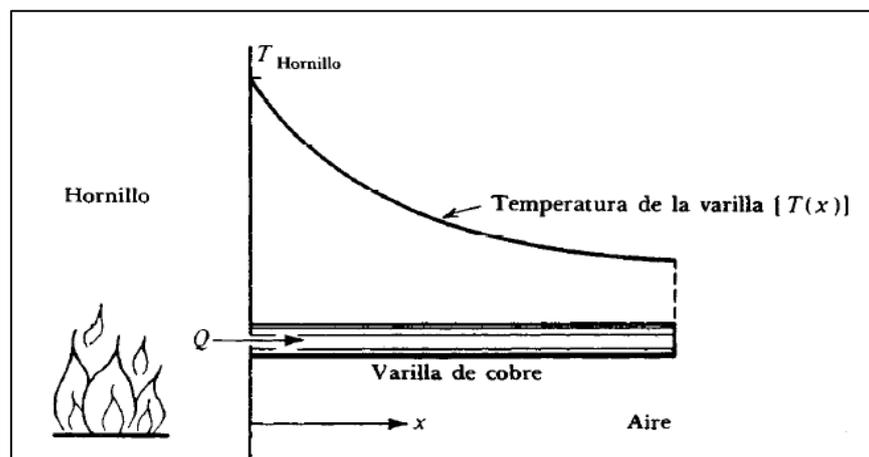


Figura 2. Flujo de calor en una varilla de cobre

Fuente: (B.V.Karlekar & R.M.Desmond, 1995)

2.2.2. Convección

(B.V.Karlekar & R.M.Desmond, 1995) Indica que: “La convección ocurre siempre que una superficie está en contacto con un fluido que tiene temperatura diferente a la de la superficie en cuestión”. (p. 14)

En la práctica se utiliza la siguiente ecuación para la transferencia por convección.

$$Q = h * A(T_s - T_{\infty}) \quad (2)$$

Ecuación 2. Convección

Fuente: (B.V.Karlekar & R.M.Desmond, 1995)

“Las unidades de las diferentes cantidades que aparecen en la ecuación (2) son:

Q = calor transferido de la superficie al fluido circulante, Btu/h o w

A = área de la superficie, $pies^2$ o m^2

T_s = temperatura en la superficie, $^{\circ}F$ o $^{\circ}C^d$

T_{∞} = temperatura del fluido circulante, $^{\circ}F$ o $^{\circ}C$. Se usa el subíndice ∞ para identificar aquella parte del fluido que está suficientemente alejado de la superficie como para que no le afecte está por medio del proceso de transferencia de calor.

h = coeficiente convectivo de transferencia de calor, $\frac{Btu}{h-pie^2 \ ^{\circ}F}$ o $\frac{W}{m^2 * C}$.

(B.V.Karlekar & R.M.Desmond, 1995)

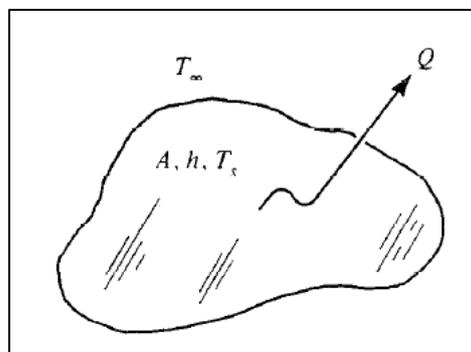


Figura 3. Transferencia de calor por convección.

Fuente: (B.V.Karlekar & R.M.Desmond, 1995)

2.2.3. Radiación

(Incropera & DeWitt, 1999) Afirma que: “La radiación es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas. La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas (o alternativamente, fotones)”. (p.8)

2.3. Confort Ambiental

(Boyce, 2000) Indica que: “La temperatura corporal normal de un adulto es de 37⁰C. Esta temperatura se conoce a veces como subsuperficial o profunda, para diferenciarla de la temperatura superficial o cutánea”. (p.6)

2.3.1. Parámetros ambientales con mayor incidencia en el Confort

(Ayala & Montenegro, 2010) Afirma que: “Los intercambios de calor que una persona efectúa con el ambiente que le rodea incide en equilibrio térmico del cuerpo, los parámetros del medio ambiente que tienen mayor importancia en estos intercambios son: Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad del Aire”.

a) Temperatura

(Boyce, 2000) Indica que: “En el cuerpo humano, las condiciones normales para una sensación de bienestar se corresponden con una temperatura entre 22 y 27 ⁰C”. (p.8)

b) Humedad relativa

La humedad del aire se mide en valores de humedad relativa (HR). La frase (50% de humedad relativa), por ejemplo, indica que el aire contiene la mitad del vapor de agua que es capaz de admitir para una temperatura dada.

Las condiciones normales para una sensación de confort corresponden como ya se mencionó esta entre una temperatura de 22 a 27 °C para un valor de humedad relativa del 45 al 50%.

La humedad relativa varía mediante la zona geográfica en algunas regiones, la HR media es normalmente del 50% o superior, tales zonas se dicen "húmedas", y para obtener un ambiente de bienestar para el cuerpo humano exigen una cierta deshumidificación. En otras áreas geográficas, el promedio de HR es inferior a 50% estas zonas se consideran "secar" o "áridas", y obligan normalmente a una humidificación para crear un entorno ideal.

Se recomienda que la humedad relativa se sitúe entre 40 al 60 % en este rango. (Boyce, 2000) Dice que: "Estudios recientes han demostrado que las bacterias, los hongos y los virus incrementan su actividad para índices de humedad inferiores al 40% y superiores al 60%". (p.8)

c) Velocidad del aire

(Guasch, 2007) Afirma que: "La velocidad del aire inferior a 0,25 m/s en ambientes no calurosos; inferior a 0,5 m/s en trabajos sedentarios en ambiente caluroso e inferior a 0,75% m/s en trabajos no sedentarios en ambientes calurosos. Para los sistemas de aire acondicionado, los límites son 0,25 m/s en trabajos sedentarios y de 0,35 m/s, en los demás casos".

2.4. Condiciones del proyecto

Al tomar los datos anteriores de los parámetros ambientales con mayor incidencia en el Confort (apartado 2.3.1) se tiene la temperatura de operación, la humedad relativa y la velocidad media del aire, con estos datos se describe los siguientes parámetros de tolerancia.

Tabla 4.

Parámetros de tolerancia.

Parámetro	Intervalo
Temperatura de operación	22 a 27 °C (71,6 a 80,6 °F)
Velocidad media del aire interior	0,25 a 0,5 m/s
Humedad relativa	40 a 60 %

2.5. Carga de Enfriamiento y Calentamiento

“Los parámetros a considerar para el diseño del sistema de aire acondicionado para un bus son:

- Datos de ocupación del bus (número de pasajeros, distancias de viaje, distancias de viaje entre paradas obligatorias, durabilidad típica).
- Dimensiones y propiedades ópticas de los vidrios.
- Condiciones ambientales externas (temperatura, humedad relativa, radiación solar).
- Dimensiones y propiedades térmicas de los materiales de la carrocería.
- Condiciones de diseño interiores (temperatura, humedad, y velocidad del aire).

Las cargas de calentamiento o enfriamiento en un bus de pasajeros pueden ser estimadas sumando el flujo de calor de las siguientes cargas:

- Paredes sólidas (paneles laterales, techo, piso)
- Vidrios (ventanas, parabrisas delantero y posterior)
- Pasajeros
- Motor y ventilación (diferencia de entalpías entre el aire interior y exterior)". (ASHRAE, 2007, citado en, Ayala & Montenegro, 2010)

2.6. Descripción del Bus

2.6.1. Carrocería

Un bus de tipo urbano es el que cumple con la norma INEN 2205 la cual indica los aspectos generales del autobús. Dichas características son básicas en comparación a otro tipo de buses tales son los interprovinciales o de turismo. El bus es marca Hino AK, ensamblada su carrocería en Ecuador por la empresa "Santacruz".

a) Paredes

La zona de paredes es de acero (ejemplo A36), y están conformadas por un armazón y planchas, que dejan un espacio de aire de 50mm de diferencia.

b) Techo

El techo está conformado de un compuesto acrílico el cual disminuye la transferencia de calor del exterior del habitáculo tiene un espesor de 5 mm.

c) Piso

El piso está conformado de una lámina de acero de 2 mm de espesor y sobre esta una plancha aluminio corrugado, que conforma en el corredor y gradas del autobús.

d) Ventanas y parabrisas

Los parabrisas y las ventanas son de vidrio templado los cuales son hechos por la empresa ALUVENT, tiene un espesor de 6 mm.

2.6.2. Capacidad

(NTE INEN 2205, 2010) Indica que: “Bus urbano. Vehículo automotor diseñado y equipado para uso en zonas urbanas, con una capacidad igual o superior a 60 pasajeros. Esta clase de vehículo tiene asientos y espacios considerados para pasajeros de pie y permite el movimiento de éstos correspondiente a paradas frecuentes”. (p.2)

La capacidad del autobús urbano de la empresa carrocera “Santacruz” es de 39 pasajeros sentados, 30 pasajeros parados y 2 personas que serían el conductor y ayudante, lo cual genera un máximo de personas de 71.

2.7. Condiciones Exteriores

En la ciudad de Guayaquil el clima varía dependiendo de las estaciones del año, en nuestro país existe el invierno y verano, esto hace que la humedad y la temperatura promedio no sean siempre las mismas.

“Entre las variables principales del clima se tiene: temperatura, humedad, lluvia, evaporación, tensión del vapor, dirección y fuerza del viento, radiación solar, etc.

Para calcular la carga de enfriamiento se toma en cuenta condiciones extremas de funcionamiento, es decir, a una temperatura máxima en la época de verano y radiación solar de máxima intensidad.

Los mayores efectos solares se presentan en una posición vertical de incidencia a las 12h00, sin embargo, se tiene valores mayores de incidencia de la radiación solar a las 15h00 debido a que los rayos solares inclinados penetran a través de los vidrios de la carrocería”. (ASHRAE, 2007, citado en, Ayala & Montenegro, 2010)

2.8. Condiciones Interiores

Un ambiente ideal es producido por el manejo correcto de temperatura, humedad relativa, velocidad e higiene del aire y la repartición dentro del habitáculo del bus.

Los indicadores ambientales para valorar el confort son:

- Temperatura.
- Humedad relativa.
- Movimiento del aire.

El efecto de bienestar puede tener varios aspectos psicológicos y fisiológicos. La norma ANSI / ASHRAE 55, reconoce y establece que el confort térmico es una apreciación mental, pero relacionado con el balance térmico del cuerpo.

2.9. Aire acondicionado

(ABC, 2017) Indica que: “Entendemos por aire acondicionado al sistema de refrigeración del aire que se utiliza de manera específica para refrescar los ambientes cuando las temperaturas del ambiente son muy altas

y calurosas. El aire acondicionado, si bien hace referencia al aire en sí, es un aparato que se instala en casas, locales y demás espacios cerrados con el objetivo de proveer de aire fresco que se renueva permanentemente”.

2.9.1. Componentes

El acondicionador de aire trabaja bajo el principio del sistema de refrigeración por compresor, y se compone de:

Compresor

Aspira refrigerante gaseoso y lo comprime.

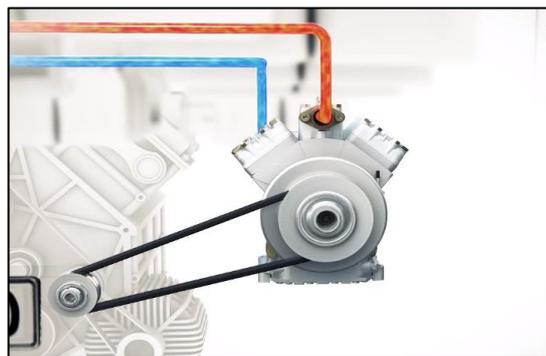


Figura 4. Compresor

Fuente: (GEA, 2017)

Condensador

Condensa el refrigerante gaseoso y extrae calor del refrigerante.



Figura 5. Condensador

Fuente: (GEA, 2017)

Colector de refrigerante

Sirve como depósito para el refrigerante. A través de él, se nivela después de la descongelación la demanda de refrigerante de la válvula de expansión en continuo cambio debido a las distintas condiciones de funcionamiento, como en la fase de arranque, almacenamiento y enfriamiento.

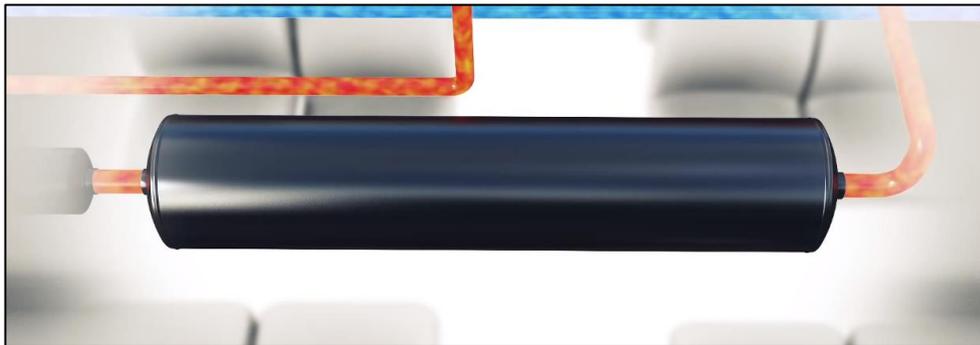


Figura 6. Colector de refrigerante

Fuente: (GEA, 2017)

Secador con filtro

Aglutina las impurezas y absorbe la humedad.

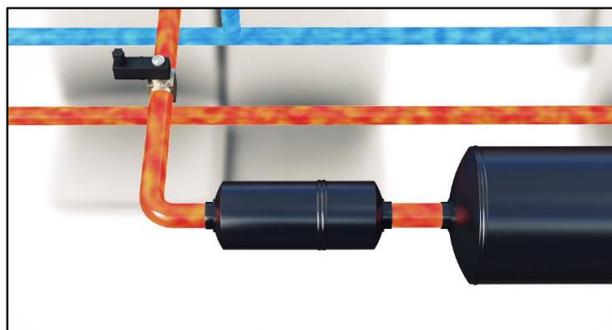


Figura 7. Secador con filtro

Fuente: (GEA, 2017)

Válvula de solenoide

Desconecta el compresor e interrumpe la corriente de refrigeración que va hacia el evaporador.

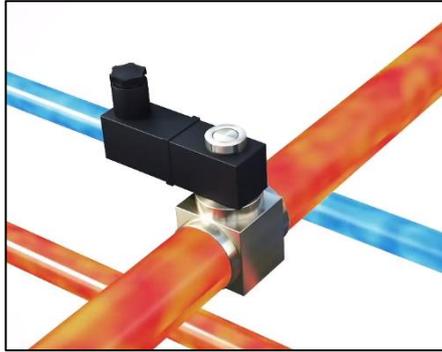


Figura 8. Válvula de solenoide

Fuente: (GEA, 2017)

Válvula de expansión

Regula la corriente de refrigeración que va hacia el evaporador. En el evaporador solo entra la misma cantidad de refrigerante que se puede evaporar en él.

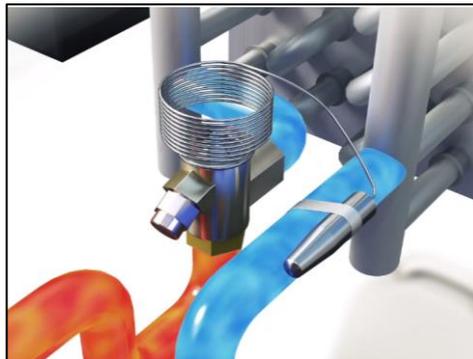


Figura 9. Válvula de expansión

Fuente: (GEA, 2017)

Evaporador

En el evaporador se inyecta el refrigerante líquido. El calor necesario para la evaporación se obtiene del aire y una vez enfriado, para al habitáculo del autobús.



Figura 10. Evaporador

Fuente: (GEA, 2017)

Ventilador

Aspira el aire enfriado por el evaporador y lo expulsa a continuación en el habitáculo.



Figura 11. Ventilador

Fuente: (GEA, 2017)

2.10. Estudio psicrométrico del aire

(CARRIER, 2012) Indica que: “La psicrometría es la ciencia que trata de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de humedad atmosférica sobre los materiales y sobre el confort humano”. (p.78)

Este estudio ayuda a determinar los parámetros psicrométricos relacionados con la instalación del aire acondicionado, por consiguiente, se

empieza estudiando el diagrama psicrométrico, así como la terminología del acondicionamiento del aire.

2.10.1. Parámetros psicrométricos

“**Temperatura seca.** Es la temperatura que registra un termómetro ordinario o también llamado de bulbo seco.

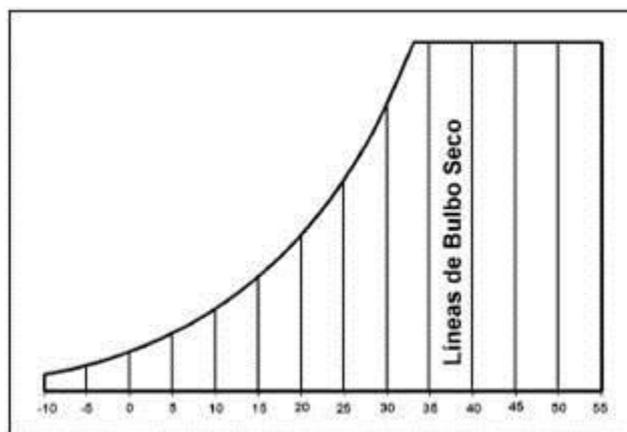


Figura 12. Líneas de temperatura de bulbo seco

Fuente: (wikispaces, 2017)

Temperatura húmeda. Es la temperatura que indica un termómetro cuyo bulbo está cubierto por una mecha húmeda y expuesto a una corriente de aire. Constituye una medición indirecta del grado de humedad del aire.

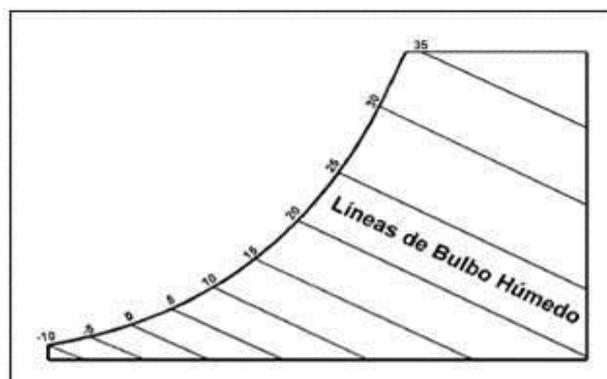


Figura 13. Líneas de temperatura de bulbo húmedo.

Fuente: (wikispaces, 2017)

Humedad específica o humedad absoluta. Es la relación entre la masa de vapor contenida en el aire y la masa de aire seco.

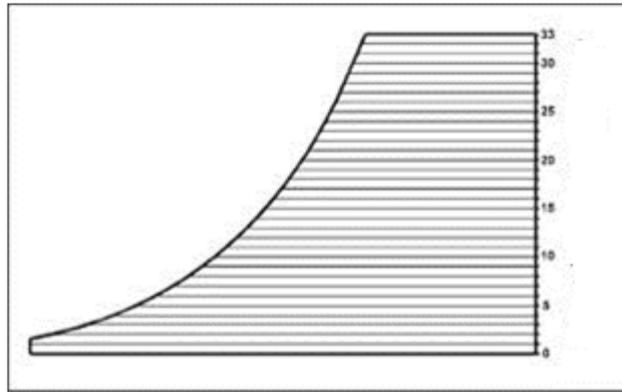


Figura 14. Líneas de humedad absoluta.

Fuente: (wikispaces, 2017)

Temperatura de rocío o punto de rocío. Es la temperatura a la cual empieza la condensación del vapor de agua cuando el aire se enfría. Su obtención grafica es muy sencilla: basta situar el estado correspondiente de aire húmedo en el diagrama psicromético y trazar, desde allí una horizontal hasta cortar la curva de saturación.

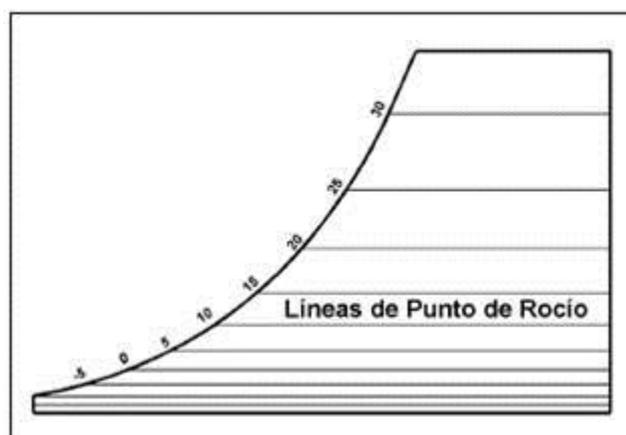


Figura 15. Líneas de temperatura de punto de rocío.

Fuente: (wikispaces, 2017)

Entalpia. Es la variable que se utiliza para determinar la energía térmica de un flujo de aire.

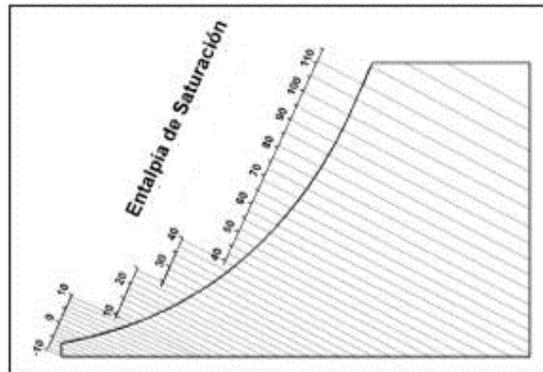


Figura 16. Líneas de entalpía total en BTU/lb de aire seco.

Fuente: (wikispaces, 2017)

Volumen específico. Son los m^3 de aire húmedo que corresponde a 1 kg de aire seco.

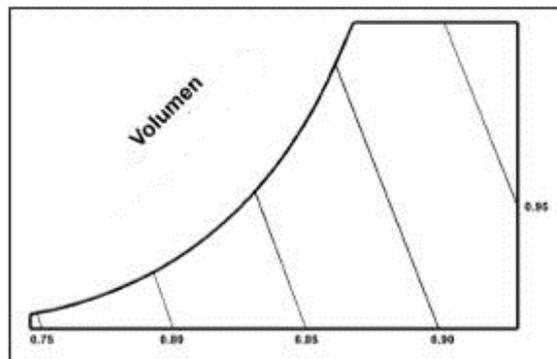


Figura 17. Líneas de volumen específico.

Fuente: (wikispaces, 2017)

Factor de calor sensible del local (FCS). Es la relación entre la carga sensible y la carga total (sensible más latente) del local". (CARRIER, 2012)

Punto de referencia o foco. Según (CARRIER, 2012) "Está situado a los $26.7^{\circ}C$ y 50% de humedad relativa y se emplea junto con la escala de factores de calor sensible para dibujar las líneas del proceso de aire acondicionado".

2.10.2. Deshumidificadores

(wikipedia.org, 2017) dice que: “Su funcionamiento consiste en pasar una corriente de aire por un condensador, el cual está a una temperatura por debajo del punto de rocío, provocando que la humedad ambiental se condense y gotee a un depósito o un desagüe. Después de ser secado y enfriado el aire pasa por el evaporador, con lo que recupera la temperatura ambiental y disminuye aún más su humedad relativa”.

2.11. Ciclo de evolución del aire

(CARRIER, 2012) Afirma que: “Se trata de materializar la propiedad de extraer calor del local, ¿Cómo hacerlo? Una forma es introducir frío dirigido en un fluido que en la práctica suele ser aire frío, agua fría, etc. En el caso que el frío se introduce con el aire de suministro este se mezcla con el aire del habitáculo. Cuando solo se emplea aire, para introducir frío en el local, el sistema de acondicionamiento se llama todo aire”. (p.1-86)

2.11.1. Descripción del proceso

“Cuando se utiliza aire frío, el método más empleado consiste en mezclar aire exterior con aire procedente del local; esta mezcla se enfría en la UTA (unidad de tratamiento de aire) y se envía al interior del local.

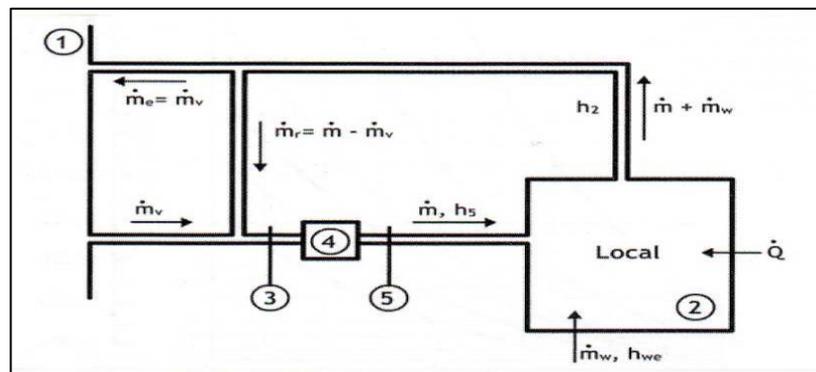


Figura 18. Esquema proceso típico de acondicionamiento de aire.

Fuente: (CARRIER, 2012)

1. Condiciones del aire en el exterior del local.
2. Condiciones del aire en el interior del local.
3. Condiciones del aire a la entrada de la UTA. Es el resultado de mezcla el aire exterior con el aire procedente del local.
4. Representa una temperatura llamada punto de rocío de la máquina, que se interpreta como la temperatura media de la superficie de la batería.
5. Condiciones del aire a la salida de la UTA. Este aire se llama aire de suministro.

En la Figura 11 se ha efectuado una representación del proceso de acondicionamiento de verano. El estado de aire (3), como es mezcla de (1) y (2), debe estar en la curva de saturación y le corresponde la temperatura mas baja; por eso, es el que está situado más a la izquierda. Dicho punto (4), es un estado del aire un tanto peculiar: representa el estado del aire que saldría de la unidad en condiciones ideales. Como el proceso no es ideal, el aire no sale en el estado (4), sino en el estado (5)". (CARRIER, 2012)

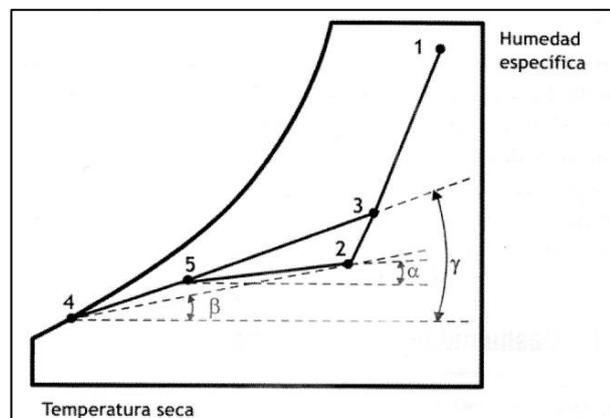


Figura 19. Representación gráfica del proceso típico de acondicionamiento de aire en verano.

Fuente: (CARRIER, 2012)

“Esta evolución se representa con la recta 3-4, más conocida como la recta de maniobra de la UTA. El aire que sale de la UTA entra en el espacio a acondicionar y puede decirse que evoluciona de (5) a (2). A la recta 5-2 se le conoce como recta térmica del local. La recta 2-4 es la llamada recta térmica efectiva del local”. (CARRIER, 2012)

CAPÍTULO III

3. MEDICIONES DE PARÁMETROS PSICROMÉTRICOS

3.1. Generalidades

Las mediciones se realizaron el día miércoles 26 de abril del 2017, dentro del habitáculo del bus urbano carrozado por la empresa “Santacruz” unidad No. 2386 - Línea 121 de la Cooperativa de transporte “Juan Pablo II” (Figura 20.) de la ciudad de Guayaquil que cumple con la ruta Terminal – Caraguay, detallada en el croquis (Figura 21).



Figura 20. Unidad en la que se realizó la toma de mediciones



Figura 21. Croquis de la ruta de la línea 121.

Fuente: (Politécnica, 2017)

Los horarios determinados para la toma de mediciones fueron estratégicamente seleccionados, considerando los períodos de mayor temperatura ambiental y humedad relativa en la ciudad de Guayaquil, que de acuerdo a un seguimiento detenido en la página web dedicada al comportamiento climático *División de Agencias Planetarias* con URL <http://guayaquil.exa.ec/Current.htm>, se pudo observar que:

- **Período 1** → Humedad relativa máxima → 07h30 a 09h30.
- **Período 2** → Temperatura máxima → 13h30 a 15h30.

3.2. Equipos de medición

3.2.1. Cámara termográfica FLIR

“La cámara termográfica es un equipo para medir la temperatura sin necesidad de contacto. Las cámaras termográficas detectan la energía infrarroja emitida, transmitida o reflejada por todos los materiales a temperaturas superiores al cero absoluto (0° Kelvin) y convierten el factor de energía en una lectura de temperatura o termograma. Un termograma es la imagen térmica del objeto que está emitiendo, transmitiendo o reflejando la energía infrarroja, mostrada por la cámara”. (es.omega.com, 2017). El equipo utilizado en este proyecto es el modelo FLIR xe320 (Figura 22), cuyas especificaciones técnicas están detalladas en la Tabla 5.



Figura 22. Cámara termográfica FLIR xe320

Tabla 5.**Especificaciones técnicas de la cámara termográfica FLIR xe320.**

Nombre:	Cámara Termográfica
Marca y Serie:	FLIR xe320
Resolución	320 x 240 pixeles
Campo de visión	25" x 19" (estándar)
Sensibilidad Térmica	0.08 °C a 25 °C
Rango Espectral	7.5 a 13 μ m
Zoom Digital	1x, 2x, 4x
Rango de Temperatura	-20°C a +250°C (-4 °F a 482°F) y 0°C a 500°C (32°F a 932°F) arriba de 1200°C (2192°F) Opcional
Tolerancias	$\pm 2^\circ\text{C}$ ($\pm 3^\circ\text{F}$) o $\pm 2\%$ de temperatura absoluta

3.2.2. Higrómetro

De acuerdo a (astromia.com, 2017) "Un higrómetro es un instrumento que se usa para la medir el grado de humedad del aire, o un gas determinado, por medio de sensores que perciben e indican su variación". El equipo utilizado en este proyecto es el Termómetro e Higrómetro Clock Humidity HTC-1 (Figura 23), en el cual viene incorporado un termómetro de bulbo seco, y un higrómetro de alta precisión, las especificaciones de esta herramienta se encuentran detalladas en la Tabla 6.



Figura 23. Termómetro e Higrómetro Clock Humidity HTC-1

Tabla 6.

Especificaciones del equipo Clock Humidity HTC-1.

Nombre:	Termómetro e Higrómetro
Marca y serie:	Clock Humidity HTC-1
Rango de temperatura:	Interior y exterior (-50 a 70) °C o (-58 a 158) °F
Apreciación y precisión de temperatura:	0.1 °C o 0.1 °F ± 2.0
Rango de humedad:	10% a 99% de humedad relativa
Apreciación y precisión de humedad	1% ± 1
Fuente de alimentación	1.5 V

3.2.3. Anemómetro

Afirma (es.omega.com, 2017) que “el anemómetro es un instrumento para medir la velocidad o rapidez de los gases ya sea en un flujo contenido, como el flujo de aire en un conducto, o en flujos no confinados, como un viento atmosférico”. Para este fin se utilizó el instrumento Anemómetro/Termómetro SMART ELECTRIC SAA125 (Figura 24), cuyas especificaciones técnicas de encuentran detalladas en la Tabla 7.



Figura 24. Termo/Anemómetro SAA125

Tabla 7.

Especificaciones técnicas del Termo/Anemómetro SAA125.

Nombre:		Termo – Anemómetro
Marca y Serie:		Smart Electric SAA125
Unidades	Rango	Precisión Básica
m/s	0.3 – 45	3%
Knots	0.6 – 88	3%
Km/hr	1 – 140	3%
Temp. °C	0 – 60	±1.5
Temp. °F	32 - 140	±2.0

3.3. Mediciones térmicas

En las mediciones térmicas se hizo uso del equipo FLIR xe320, para cual es necesario tener identificado las zonas de análisis, donde se va a tomar la respectiva termografía, misma que posteriormente debe ser analizada, ubicando puntos de mayor temperatura, zonas críticas del habitáculo, datos que permitirán dar un criterio de una posterior optimización en el diseño y construcción del habitáculo.

Las termografías fueron previamente analizadas, tomando mediciones de puntos estáticos mediante el uso del software FLIR TOOLS, mismo que es complemento informático de la cámara termográfica utilizada.

La empresa R2M fue la encargada de proveer del equipo de termografía, proporcionando un informe técnico del análisis de cada imagen. En el Anexo 1 se encuentra dicho informe certificado por la entidad emisora.

3.3.1. Terminología y Esquema

En este apartado se realiza la esquematización de las zonas de análisis termográfico, las cuales fueron utilizadas como referencia en la toma de mediciones térmicas dentro del habitáculo, en donde fue necesario utilizar una terminología propia, cuya designación se presenta a continuación:

- **Terminología**

L = Izquierda

R = Derecha

V = Vidrio

T = Techo

Del = Parte delantera

Int = Parte intermedia

Pos = Parte posterior

DIS = Zona de discapacitados

SAL (1 y 2) = Zonas de salida

Ejemplo: RSAL2 = Salida número 2 del lateral derecho del bus.

- **Esquema**

En las Figuras 25-28 se muestran esquemas gráficos de la distribución de zonas, con su respectiva designación y terminología, para cada zona de análisis dentro del habitáculo completo del bus, entre ellas se toma la carrocería, vidrio y techo como zonas generales.

Carrocería

En la Figura 25 se puede identificar las zonas laterales del habitáculo, comprendidas por los asientos, las paredes y la parte del piso que soporta los asientos, según el lateral correspondiente, este sea derecho o izquierdo.

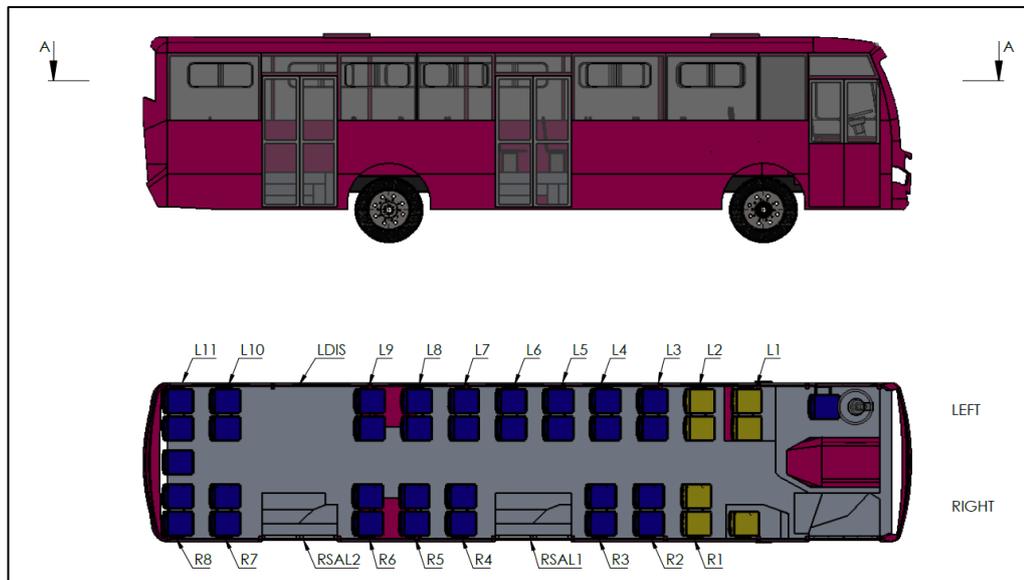


Figura 25. Esquema de distribución de zonas de los asientos.

Vidrio

Las figuras 26 y 27 representan la distribución de zonas compuestas por vidrio, tales como, ventanas y puertas, tanto para el lateral derecho, como izquierdo.

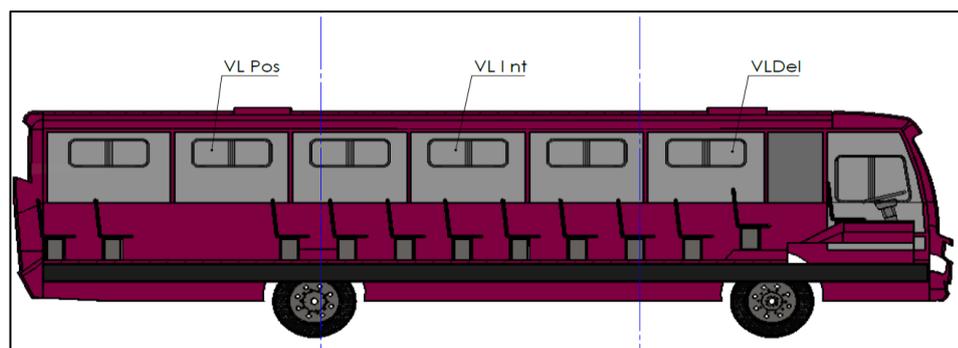


Figura 26. Esquema de distribución de zonas de los vidrios izquierdos.

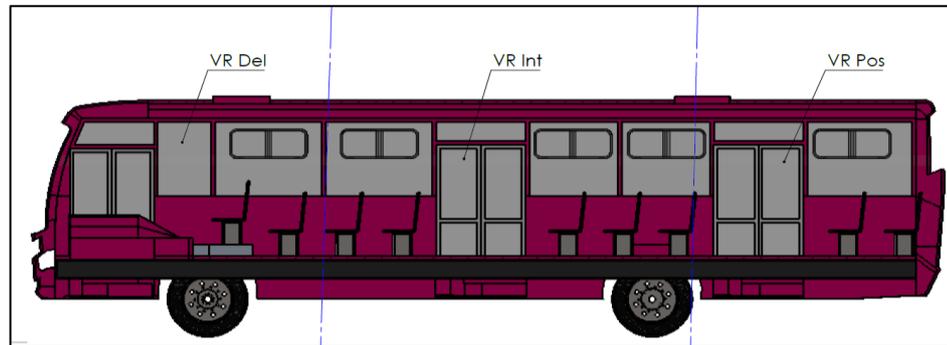


Figura 27. Esquema de distribución de zonas de los vidrios derechos.

Techo

La Figura 28 muestra la distribución de las zonas de análisis del techo del bus.

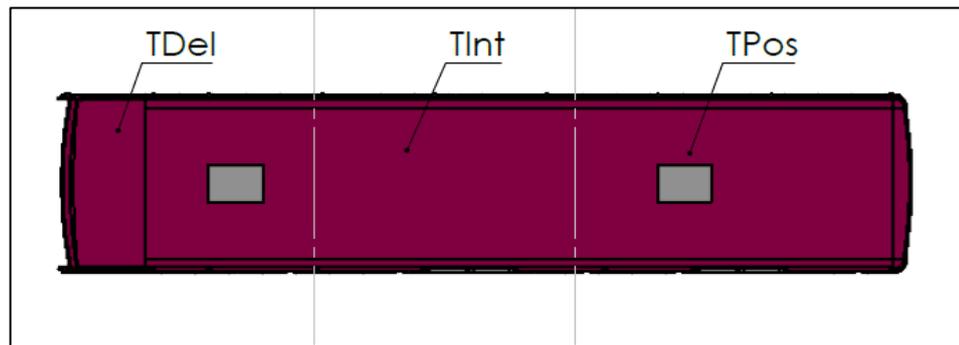


Figura 28. Esquema de distribución de zonas del techo.

3.3.2. Medición termográfica en el período 1

De acuerdo con el apartado 3.1 este es el período en que existe mayor humedad relativa, los valores térmicos superficiales del habitáculo del autobús presentan los siguientes valores.

Nota: Sp1 (Static point 1), representa el valor de temperatura en un punto estático de la termografía. Max es la temperatura máxima, Min es la temperatura mínima y Prm la temperatura promedio.

a) Asientos

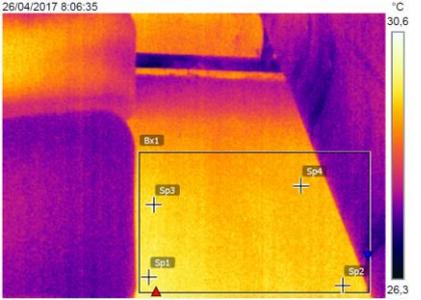
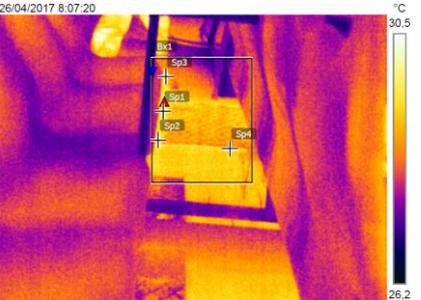
En la zona de asientos se considera los puntos de mayor valor de temperatura presentes tanto en asientos, pared adjunta y piso bajo ellos.

Tabla 8.

Medición termográfica de los asientos, parte lateral izquierda período 1.

Sección	Termografía	Fotografía	Medidas	°C
L1			Max	39,1
			Min	26,8
			Prm	29,8
			Sp1	36,7
			Sp2	34,8
			Sp3	36,0
			Sp4	34,3
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso de asiento 1.				
L2			Max	33,3
			Min	26,1
			Prm	29,1
			Sp1	31,0
			Sp2	32,8
			Sp3	31,6
			Sp4	31,9
Observación: Zona de mayor radiación térmica en pasillo central.				
L3			Max	32,6
			Min	26,9
			Prm	29,3
			Sp1	31,8
			Sp2	32,5
			Sp3	32,1
			Sp4	31,8
Observación: Zona de mayor radiación térmica en piso de asiento 3 y pasillo central.				
L4			Max	30,6
			Min	26,7
			Prm	28,7
			Sp1	30,1
			Sp2	30,0
			Sp3	30,0
			Sp4	29,9

CONTINÚA 

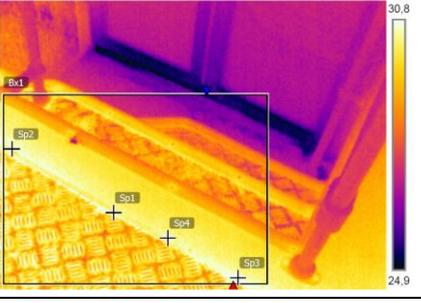
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
L5				Max	30,0
				Min	26,9
				Prm	29,1
			Sp1		29,6
			Sp2		29,3
			Sp3		29,3
			Sp4		29,2
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
L6				Max	29,9
				Min	26,8
				Prm	28,6
			Sp1		29,6
			Sp2		29,3
			Sp3		29,5
			Sp4		29,4
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
L7				Max	30,5
				Min	27,2
				Prm	28,7
			Sp1		29,9
			Sp2		29,7
			Sp3		29,7
			Sp4		29,5
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
L8				Max	31,8
				Min	26,6
				Prm	29,0
			Sp1		31,4
			Sp2		31,0
			Sp3		31,1
			Sp4		31,0
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					

LDIS	26/04/2017 8:10:47				Max	28,3
					Min	25,7
					Prm	27,4
				Sp1		27,7
				Sp2		27,7
				Sp3		27,8
			Sp4		27,6	
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del área de discapacitados.						
L10	26/04/2017 8:12:01				Max	29,5
					Min	26,3
					Prm	27,9
				Sp1		27,7
				Sp2		28,1
				Sp3		28,1
			Sp4		28,3	
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.						
L11	26/04/2017 8:12:20				Max	29,7
					Min	26,6
					Prm	27,9
				Sp1		28,6
				Sp2		28,7
				Sp3		28,4
			Sp4		27,9	
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.						

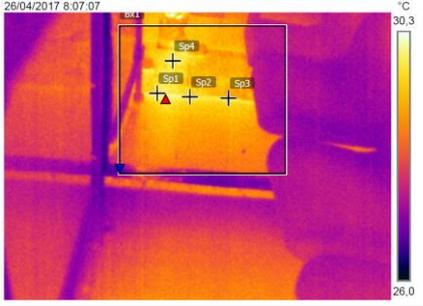
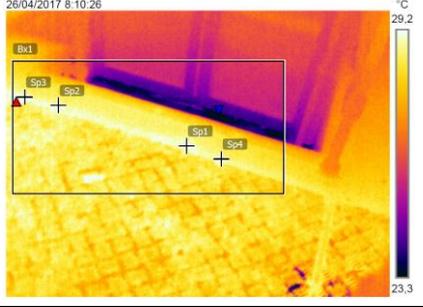
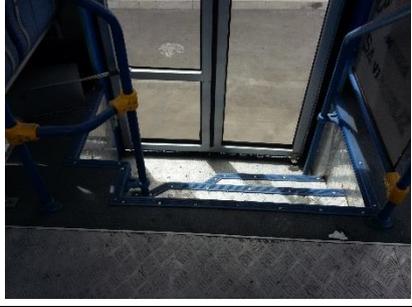
De acuerdo con la Tabla 8, los valores promedio de temperatura en cada una de las termografías de esta zona da un valor promedio de 28,68 °C. En donde los puntos más calientes son aquellos que se encuentran más cercanos al piso central del autobús y las paredes laterales, cuyos valores máximo y mínimo se presenta en las secciones L1 con una medición de 39,1°C y LDIS de valor 25,7°C respectivamente.

Tabla 9.

Medición termográfica de los asientos, parte lateral derecha período 1.

Sección	Termografía	Fotografía	Medidas	°C
R1			Max	36,5
			Min	27,2
			Prm	30,3
			Sp1	35,2
			Sp2	34,9
			Sp3	33,0
			Sp4	35,8
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento, hacia la cubierta del motor.				
R2			Max	33,5
			Min	26,5
			Prm	30,2
			Sp1	32,3
			Sp2	32,9
			Sp3	31,7
			Sp4	32,6
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento y temperatura reflejada por el pasillo central.				
R3			Max	32,6
			Min	26,9
			Prm	30,1
			Sp1	31,6
			Sp2	32,2
			Sp3	32,1
			Sp4	31,8
Observación: Zona de mayor radiación térmica temperatura reflejada del piso central en el asiento.				
RSAL1			Max	31,2
			Min	24,8
			Prm	29,2
			Sp1	30,7
			Sp2	30,5
			Sp3	30,6
			Sp4	30,5
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso central hacia las escaleras de la puerta de salida.				

CONTINÚA 

R4				Max	30,3
				Min	26,6
				Prm	28,6
			Sp1		29,8
			Sp2		29,6
			Sp3		29,4
			Sp4		29,8
Observación: Zona de mayor radiación térmica piso del asiento reflejado del piso central.					
R5				Max	31,2
				Min	27,0
				Prm	29,0
			Sp1		29,9
			Sp2		30,2
			Sp3		29,2
			Sp4		30,3
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
R6				Max	31,3
				Min	26,1
				Prm	28,6
			Sp1		30,6
			Sp2		30,7
			Sp3		30,9
			Sp4		30,1
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
RSAL2				Max	29,5
				Min	22,9
				Prm	27,4
			Sp1		28,9
			Sp2		29,0
			Sp3		29,2
			Sp4		28,9
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso de la escalera de salida.					

R7			Max	32,6
			Min	25,7
			Prm	28,0
			Sp1	27,1
			Sp2	26,6
			Sp3	28,3
			Sp4	27,6
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.				
R8			Max	31,0
			Min	26,2
			Prm	27,6
			Sp1	29,5
			Sp2	29,7
			Sp3	27,9
			Sp4	27,8
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.				

Como se aprecia en la Tabla 9, la temperatura promedio en esta zona es de 28.9 °C que es similar a la parte lateral contraria a ella. Así mismo los puntos más calientes, aquellos que se acercan al piso central y las paredes laterales del autobús. Los valores máximo y mínimo se presentan en las secciones R1 con valor de 36,5 °C y RSAL2 con 22,9 °C respectivamente.

En el análisis las Tablas 8 y 9, se observa que la concentración de calor se presenta en zonas más cercanas a la cabina de conducción, ya que las secciones L1 y R1 presentan los valores más altos de temperatura, por otro lado, las secciones de menor concentración de calor son aquellas que tienen ventilación como es el caso de las puertas de salida y zona de discapacitados.

b) Ventanas

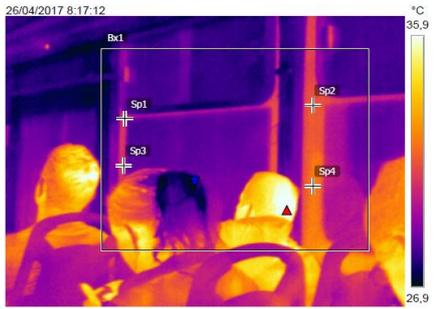
A continuación, se presenta las termografías tomadas a la parte constituida por vidrio, como es ventanas y puertas del habitáculo mismas que están divididas en tres subzonas que son delantera, intermedia y posterior.

Tabla 10.

Medición termográfica de ventanas período 1.

Sección	Termografía	Fotografía	Medidas	°C
VLDel			Max	31,4
			Min	26,6
			Prm	28,1
			Sp1	30,6
			Sp2	31,2
			Sp3	30,4
			Sp4	30,5
Observación: Zona de mayor radiación térmica es en los perfiles de ventanas presentan acumulación de calor.				
VLInt			Max	31,3
			Min	27,0
			Prm	28,4
			Sp1	30,9
			Sp2	30,9
			Sp3	30,9
			Sp4	30,1
Observación: Zona de mayor radiación térmica es en los perfiles de ventanas presentan acumulación de calor.				
VLPos			Max	35,8
			Min	26,5
			Prm	28,9
			Sp1	30,1
			Sp2	30,6
			Sp3	30,7
			Sp4	30,4
Observación: Zona de mayor radiación térmica es en los perfiles de ventanas presentan acumulación de calor.				
VRDel			Max	30,3
			Min	25,9
			Prm	27,6
			Sp1	28,7
			Sp2	29,9
			Sp3	29,9
			Sp4	29,6

CONTINÚA 

Observación: Zona de mayor radiación térmica es en los perfiles de ventanas presentan acumulación de calor.				
VRInt			Max	36,8
			Min	26,5
			Prm	29,6
			Sp1	30,7
			Sp2	31,2
			Sp3	30,4
			Sp4	32,2
Observación: Zona de mayor radiación térmica es en los perfiles de ventanas presentan acumulación de calor.				
VRPos			Max	30,9
			Min	23,4
			Prm	27,2
			Sp1	29,5
			Sp2	30,0
			Sp3	29,4
			Sp4	29,8
Observación: Zona de mayor radiación térmica es en los perfiles de ventanas presentan acumulación de calor.				

En la Tabla 10 se evidencia que en la zona de ventanas que son constituidos por vidrio, hay una temperatura promedio de 28.3°C, al ser esta una zona que ocupa gran parte del área total, afecta de manera significativa a la temperatura del ambiente del habitáculo del autobús. La temperatura máxima se presenta en los perfiles de las ventanas que, al ser de color negro, absorben gran parte de la energía radiante.

c) Techo

A continuación, se presenta las termografías del techo, mismo que se divide en tres subzonas que son delantera, intermedia y posterior.

Tabla 11.

Medición termográfica del techo en el período 1.

Sección	Termografía	Fotografía	Medidas	°C
TDel			Max	31,9
			Min	25,6
			Prm	27,8
			Sp1	28,1
			Sp2	27,1
			Sp3	28,1
			Sp4	29,7
Observación: La zona en el techo se observa con menor temperatura que el resto de los objetos.				
TInt			Max	30,2
			Min	25,6
			Prm	27,7
			Sp1	28,1
			Sp2	27,6
			Sp3	27,7
			Sp4	27,5
Observación: La zona en el techo se observa con menor temperatura que el resto de los objetos.				
TPos			Max	30,2
			Min	27,0
			Prm	28,2
			Sp1	27,9
			Sp2	28,4
			Sp3	29,1
			Sp4	29,6
Observación: La zona en el techo se observa con menor temperatura que el resto de los objetos.				

De acuerdo con la Tabla 11, la zona del techo al tener una cubierta no metálica se reduce la temperatura de transmisión directa al habitáculo lo cual da como promedio un valor de 27,9 °C, como se puede observar, en toda la superficie del techo existe una temperatura similar, es por eso que esta parte térmicamente uniforme.

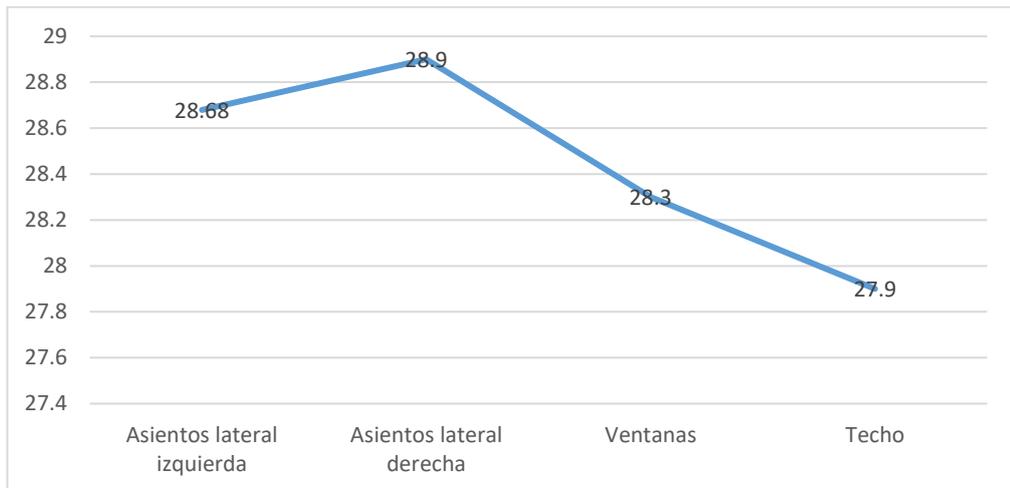


Figura 29. Gráfica de temperaturas promedio de las zonas en el período 1.

En la Figura 29 se observa la gráfica de análisis de cada una de las zonas del habitáculo, en la cual se puede observar que el pico más alto está en la zona de asientos de la parte lateral derecha con un valor promedio de 28,9 °C y la de menor temperatura es la del techo, la misma que por tener una cubierta aislante presenta un valor promedio de 27,9 °C.

3.3.3. Medición termográfica en el período 2

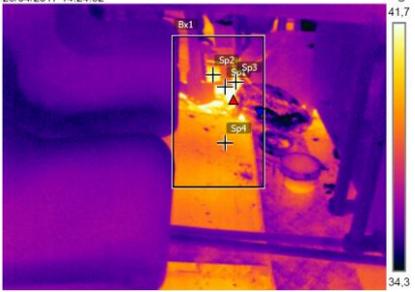
Las mediciones que se realizaron en el período 2 son las de mayor temperatura, en el mismo trayecto del bus que se realizó en el primer período. En este espacio de tiempo la temperatura ambiental es considerablemente más alta, por lo que habrá que tomar mayor énfasis en esta etapa.

a) Asientos

En la zona de asientos se considera los puntos de mayor valor de temperatura presentes tanto en asientos, pared adjunta y piso bajo ellos.

Tabla 12.

Medición termográfica de asientos, parte lateral izquierda período 2.

Sección	Termografía	Fotografía	Medidas	°C
L1			Max	44,9
			Min	33,9
			Prm	38,9
			Sp1	40,5
			Sp2	41,0
			Sp3	41,5
			Sp4	39,0
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.				
L2			Max	40,1
			Min	34,5
			Prm	38,2
			Sp1	39,4
			Sp2	39,2
			Sp3	39,3
			Sp4	38,6
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.				
L3			Max	38,8
			Min	33,9
			Prm	36,3
			Sp1	38,0
			Sp2	37,8
			Sp3	37,5
			Sp4	37,7
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.				
L4			Max	42,5
			Min	34,9
			Prm	39,0
			Sp1	41,6
			Sp2	41,4
			Sp3	41,7
			Sp4	40,7
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.				

CONTINÚA 

L5				Max	40,1
				Min	33,9
				Prm	36,4
		Sp1			39,4
		Sp2			39,8
		Sp3			40,0
		Sp4			39,9
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
L6				Max	39,3
				Min	34,4
				Prm	36,2
		Sp1			38,3
		Sp2			39,0
		Sp3			37,9
		Sp4			38,5
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
L7				Max	38,8
				Min	33,9
				Prm	36,1
		Sp1			38,3
		Sp2			37,9
		Sp3			37,2
		Sp4			37,3
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
L8				Max	37,4
				Min	34,0
				Prm	36,2
		Sp1			36,9
		Sp2			36,9
		Sp3			37,0
		Sp4			36,7
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
L10				Max	38,4
				Min	34,5
				Prm	36,8
		Sp1			37,8
		Sp2			37,8
		Sp3			37,9
		Sp4			37,9

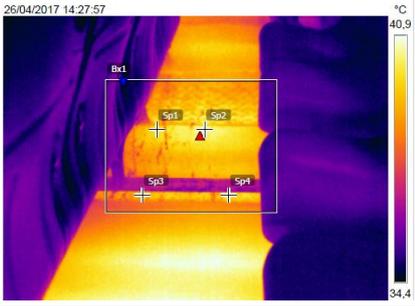
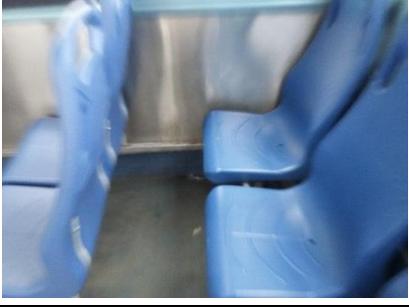
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.				
L11			Max	42,5
			Min	34,5
			Prm	37,9
			Sp1	41,6
			Sp2	40,0
			Sp3	41,5
			Sp4	41,8
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.				

En la Tabla 12 se puede notar que la variación de temperatura es significativa con relación a los valores presentados en la Tabla 8, que representa a las mediciones en el período 1; en este caso el valor promedio es de 37,2 °C, los puntos más calientes están ubicados en las partes cercanas al piso central y paredes laterales del habitáculo. La máxima concentración de calor está ubicada en la sección L1, por el contrario, la mínima se encuentra en las secciones L3 y L7.

Tabla 13.

Medición termográfica de asientos, parte lateral derecha, período 2.

Sección	Termografía	Fotografía	Medidas	°C
R1			Max	46,2
			Min	33,7
			Prm	38,0
			Sp1	43,3
			Sp2	44,3
			Sp3	40,1
			Sp4	38,6
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.				
R2			Max	37,2
			Min	33,9
			Prm	35,8
			Sp1	36,5
			Sp2	36,2
			Sp3	36,8
			Sp4	36,2
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.				

R3				Max	40,7
				Min	34,4
				Prm	38,0
		Sp1			39,6
		Sp2			40,4
		Sp3			39,1
		Sp4			39,7
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
R4				Max	39,0
				Min	34,5
				Prm	36,9
		Sp1			38,4
		Sp2			38,4
		Sp3			38,3
		Sp4			38,3
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
R5				Max	40,7
				Min	34,4
				Prm	38,2
		Sp1			39,7
		Sp2			40,2
		Sp3			40,4
		Sp4			40,3
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					
R6				Max	37,2
				Min	33,8
				Prm	35,6
		Sp1			36,8
		Sp2			36,4
		Sp3			36,9
		Sp4			36,4
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.					

R7			Max	38,3
			Min	35,0
			Prm	37,0
			Sp1	37,5
			Sp2	37,8
			Sp3	37,8
			Sp4	37,7
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.				
R8			Max	37,2
			Min	33,9
			Prm	36,3
			Sp1	36,4
			Sp2	36,7
			Sp3	37,0
			Sp4	36,6
Observación: Zona de mayor radiación térmica en el piso del asiento.				

La Tabla 13 muestra que la temperatura promedio en esta zona es de 36,97 °C que es similar a la parte lateral contraria a ella. Así mismo los puntos más calientes, son aquellos que se acercan al piso central y las paredes laterales del autobús. Los valores máximo y mínimo se presentan en las secciones R1 con valor de 46,2 °C y R6 con 33,8 °C respectivamente.

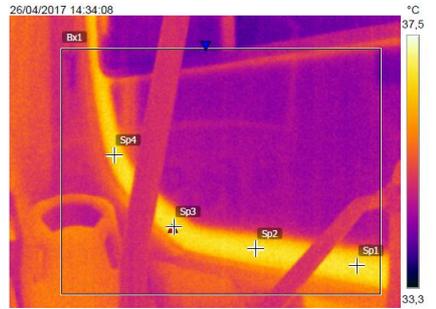
En las Tablas 13 y 14, se observa que la concentración de calor se presenta en zonas más cercanas a la cabina de conducción, ya que las secciones L1 y R1 presentan los valores más altos de temperatura, por otro lado, las secciones de menor concentración de calor son aquellas que tienen ventilación como es el caso de las puertas de salida y zona de discapacitados.

b) Ventanas

A continuación, se presenta las termografías tomadas a la parte constituida por vidrio, como es ventanas y puertas del habitáculo mismas que están divididas en tres subzonas que son delantera, intermedia y posterior.

Tabla 14.

Medición termográfica de las ventanas en el período 2.

Sección	Termografía	Fotografía	Medidas	°C
VLDel			Max	37,8
			Min	33,7
			Prm	35,3
			Sp1	37,4
			Sp2	37,4
			Sp3	37,5
			Sp4	37,1
Observación: Zona de mayor radiación térmica es en los perfiles de ventanas presentan acumulación de calor.				
VLInt			Max	37,8
			Min	33,8
			Prm	35,3
			Sp1	37,5
			Sp2	37,0
			Sp3	36,7
			Sp4	36,8
Observación: Zona de mayor radiación térmica es en los perfiles de ventanas presentan acumulación de calor.				
VLPos			Max	37,2
			Min	33,8
			Prm	35,1
			Sp1	36,9
			Sp2	36,7
			Sp3	36,9
			Sp4	36,6
Observación: Zona de mayor radiación térmica es en los perfiles de ventanas presentan acumulación de calor.				
VRDel			Max	36,3
			Min	33,4
			Prm	34,9
			Sp1	35,9
			Sp2	35,9
			Sp3	35,9
			Sp4	35,9
Observación: Zona de mayor radiación térmica es en los perfiles de ventanas presentan acumulación de calor.				

CONTINÚA 

VRInt			Max	36,2
			Min	33,3
			Prm	34,8
			Sp1	35,7
			Sp2	35,8
			Sp3	35,8
			Sp4	35,5
Observación: Zona de mayor radiación térmica es en los perfiles de ventanas presentan acumulación de calor.				
VRPos			Max	36,3
			Min	32,2
			Prm	34,8
			Sp1	36,1
			Sp2	36,1
			Sp3	35,9
			Sp4	35,9
Observación: Zona de mayor radiación térmica es en los perfiles de ventanas presentan acumulación de calor.				

Se observa en la Tabla 14, que en el período 2 la temperatura es máxima por lo cual los rayos del sol calientan con mayor intensidad la superficie de vidrio, que llega a tener 35,03°C como promedio. Las subzonas que presentan los valores máximo y mínimo de temperatura son VLdel y VLint con 37,8 °C y VRPos con 32,2 °C respectivamente. Lo que evidencia que los rayos solares entran por la parte lateral izquierda del autobús.

c) Techo

A continuación, se presenta las termografías del techo, mismo que se divide en tres subzonas que son delantera, intermedia y posterior.

Tabla 15.

Medición termográfica del techo en el período 2.

Sección	Termografía	Fotografía	Medidas	°C
TDel			Max	36,8
			Min	34,2
			Prm	35,6
			Sp1	36,2
			Sp2	35,8
			Sp3	36,3
			Sp4	35,8
Observación: La zona en el techo se observa con mayor temperatura que la de tarde.				
TInt			Max	38,5
			Min	34,8
			Prm	36,8
			Sp1	37,7
			Sp2	37,8
			Sp3	38,0
			Sp4	37,7
Observación: La zona en el techo se observa con mayor temperatura que la de tarde.				
TPos			Max	39,1
			Min	33,9
			Prm	35,4
			Sp1	35,9
			Sp2	36,5
			Sp3	35,9
			Sp4	35,8
Observación: La zona en el techo se observa con mayor temperatura que la de tarde.				

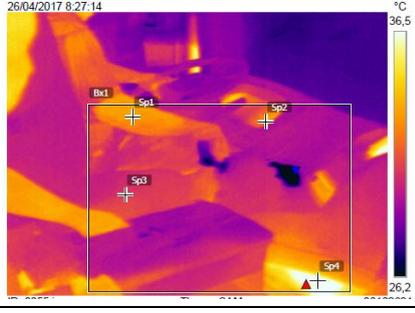
Al ser el techo el elemento que más incidencia tienen los rayos del sol, en este período se puede observar un aumento considerable en su temperatura, que como se indica en la Tabla 15, tiene un valor promedio de 35,93 °C. Se presenta la temperatura máxima y mínima en la subzona TPos con 39,1 °C, y 33,9 °C respectivamente. El área tiene valores similares de temperatura en toda su superficie.

3.3.4. Zona del conductor

La zona del entorno del conductor es tomada como un sector aislado ya que en el existe mayor aporte de calor, gracias a los controles e instrumentos de conducción que hay cerca de él, además que se encuentra en la parte superior izquierda del motor.

Tabla 16.

Medición termográfica de la zona del conductor.

Sección	Termografía	Fotografía	Medidas	°C
Entorno del Conductor 1			Max	40,3
			Min	27,6
			Prm	35,3
			Sp1	36,8
			Sp2	37,7
			Sp3	37,3
			Sp4	38,6
Observación: Zona crítica de operación por el alto promedio de temperatura.				
Entorno del Conductor 2			Max	37,7
			Min	25,6
			Prm	30,7
			Sp1	33,1
			Sp2	32,6
			Sp3	30,6
			Sp4	36,8
Observación: Zona crítica de operación debido a la alta temperatura.				

La zona de trabajo del conductor se encuentra cerca del motor y artefactos de control electrónico que generan calor, debido a esto se considera como un caso de análisis aislado, muestra una temperatura promedio de 33°C. Como se evidencia en la Tabla 16, el valor máximo de temperatura es de 40,3 °C presente en el Entorno del Conductor 1, y el mínimo está en la termografía que representa al entorno del Conductor 2 con valor de 25,6 °C.

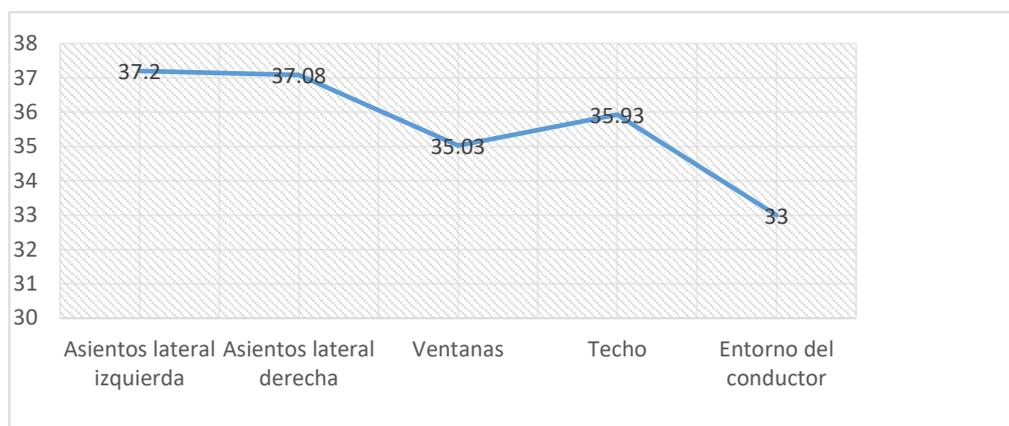


Figura 30. Temperaturas promedio de las zonas en el período 2.

En la Figura 30 se tiene la gráfica de temperaturas promedio en cada zona, tomada en el período 2 de medición, mismas que representan los valores críticos de máxima temperatura promedio dentro del bus, es por eso son considerados para introducirlos en el análisis CFD posterior.

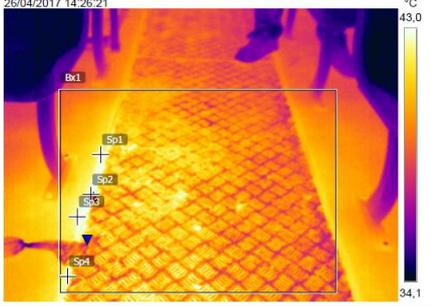
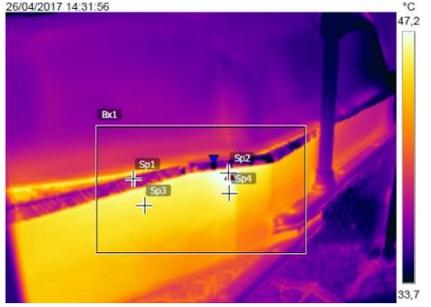
3.3.5. Zonas críticas

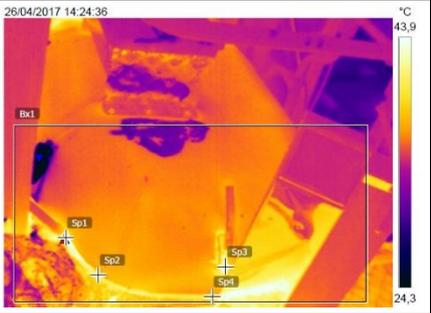
Las zonas críticas son aquellas donde hay un aporte considerable de calor hacia el habitáculo, aquí se encuentra la cubierta del motor y el piso central.

Tabla 17.

Medición termográfica de las zonas críticas.

Sección	Termografía	Fotografía	Medidas	°C
Piso central delantero			Max	51,5
			Min	32,5
			Prm	41,8
			Sp1	48,0
			Sp2	48,6
			Sp3	47,9
			Sp4	47,3
Observación: La zona de mayor radiación térmica es en el corredor del bus.				

Piso central intermedio	26/04/2017 14:26:21				Max	43,5
					Min	36,7
					Prm	40,2
				Sp1		42,8
				Sp2		42,9
				Sp3		42,4
				Sp4		42,0
Observación: La zona de mayor radiación térmica es en el corredor del bus.						
Piso central posterior	26/04/2017 14:26:37				Max	42,5
					Min	33,6
					Prm	37,0
				Sp1		40,5
				Sp2		40,3
				Sp3		39,1
				Sp4		38,7
Observación: La zona de mayor radiación térmica es en el corredor del bus especialmente en la parte posterior.						
Cubierta lateral del motor	26/04/2017 14:31:56				Max	48,2
					Min	28,6
					Prm	42,0
				Sp1		37,3
				Sp2		48,0
				Sp3		45,5
				Sp4		46,5
Observación: La zona de mayor radiación térmica se observa en la parte inferior del cobertor del motor.						
Cubierta lateral del motor	26/04/2017 14:32:15				Max	48,9
					Min	35,8
					Prm	41,5
				Sp1		47,5
				Sp2		47,0
				Sp3		47,1
				Sp4		46,9
Observación: La zona de mayor radiación térmica se observa en la parte inferior del cobertor del motor.						

Cubierta superior del motor			Max	44,8
			Min	20,8
			Prm	26,5
			Sp1	44,0
			Sp2	41,7
			Sp3	42,2
			Sp4	42,7
Observación: La zona de mayor radiación térmica se observa alrededor de la cubierta del motor.				

En la Tabla 17 se puede observar en detalle la temperatura de cada subzona, en donde se evidencia que la temperatura máxima es de 51,5 °C en el piso central delantero, exactamente donde se ubica la caja de cambios del vehículo, por otro lado, la temperatura mínima se encuentra ubicada en la cubierta superior del motor con valor de 20,8 °C, a esto se debe la cubierta aislante que posee. A continuación, se detalla detenidamente cada zona crítica.

Piso Central

El piso central presenta altos grados de temperatura debido a los elementos de transmisión de movimiento que hay bajo el, además de la plancha de aluminio con que se recubre esta parte, aquí existe una temperatura promedio de 39,67°C.

Cubierta lateral del motor

La zona de mayor temperatura de todo el habitáculo es la que recubre el motor, aquí se marca una medición promedio de 41,75°C, en las partes más cercanas de recubrimiento metálico.

Cubierta superior del motor

Es importante considerar que en la cubierta del motor se coloca una capa de material aislante, mismo que reduce considerablemente la temperatura superficial del mismo, que en este caso es de 26,5°C promedio de toda la zona.

En la Figura 31 se aprecian las temperaturas promedio de las zonas críticas de alta temperatura en el habitáculo del autobús. Estas medidas serán consideradas en la simulación CFD posterior.

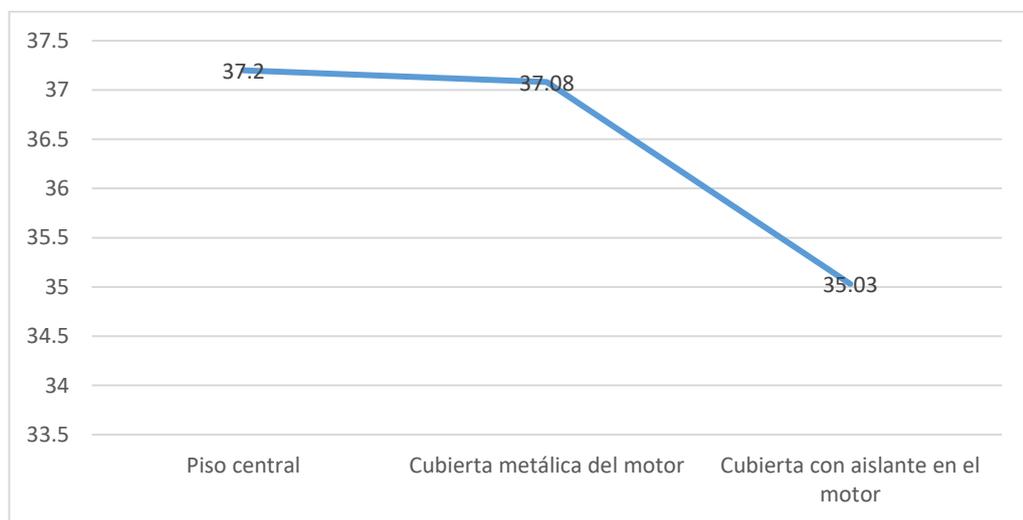


Figura 31. Temperaturas promedio de las zonas críticas

3.4. Medición de humedad

Las Tablas 19 y 20, muestra el porcentaje de humedad y temperatura ambiente tomadas en la hora especificada. Se realizó 12 mediciones cada 10 minutos, el equipo utilizado cuya descripción se encuentra en el apartado 3.2.2., tiene la capacidad de mostrar al mismo tiempo la temperatura, humedad y hora, da como resultado la siguiente tabulación.

Tabla 18.**Medición de humedad en el período 1.**

No. Medición	Hora	Temperatura (°C)	Humedad %
1	7:30	28,6	82
2	7:40	28,8	82
3	7:50	29,1	87
4	8:00	29,7	80
5	8:10	29,8	82
6	8:20	29,9	82
7	8:30	30,0	81
8	8:40	30,1	84
9	8:50	30,2	83
10	9:00	30,5	78
11	9:10	30,6	76
12	9:20	30,7	77
Promedio		29,83	81,16

La Tabla 18, muestra que en el período 1 se registró una humedad promedio de 81,16% de humedad, mismo dato con el que se trabajará en la sección de cálculos, debido a que en este intervalo del día se registran los más altos índices de humedad en el día. Cabe destacar que por otra parte la temperatura ambiente promedio fue de 29,83°C.

Tabla 19.**Medición de humedad en el período 2.**

No. Medición	Hora	Temperatura (°C)	Humedad %
1	13:30	32,5	68
2	13:40	32,5	67
3	13:50	32,6	72
4	14:00	32,8	72
5	14:10	32,9	70
6	14:20	33,0	68
7	14:30	33,2	69
8	14:40	33,4	75
9	14:50	33,8	75
10	15:00	33,9	73
11	15:10	34,0	74

CONTINÚA 

12	15:20	34,2	76
Promedio		33,23	71,58

Se observa en la Tabla 19 que en el período 2 se registró una humedad promedio de 71,58% de humedad, lo cual es significativamente menor a la tomada en el período 1. La temperatura ambiente promedio fue de 33,23°C que en su defecto es mayor a la anterior.

3.5. Medición de la velocidad del aire

En la Tabla 20. se aprecia las mediciones de velocidad del aire que se realizaron con el equipo descrito en el apartado 3.2.3., mismas que se definieron según las condiciones de aislamiento del habitáculo con el ambiente exterior. Para cada condición se tomaron 4 muestras, las cuales son promediadas, esto permitirá analizar cómo se mueve el flujo de aire a través de cada una de las alternativas de operación.

Tabla 20.

Medición de velocidad del aire.

Condiciones	No. Medición	Velocidad del aire m/s	Promedio m/s
Cerrado Totalmente	1	0,03	0,02
	2	0	
	3	0,03	
	4	0,03	
Ventana abierta	1	2,5	3,07
	2	2,86	
	3	4,22	
	4	2,69	
Puerta 1 abierta	1	1,11	1,05
	2	0,89	
	3	0,67	
	4	1,53	
Puerta 2 abierta	1	0,67	0,57
	2	0,5	
	3	0,42	

CONTINÚA 

	4	0,69	
Puerta 3 abierta	1	0,31	0,40
	2	0,47	
	3	0,39	
	4	0,44	
Escotilla 1	1	1,67	1,67
	2	1,72	
	3	1,61	
	4	1,67	
Escotilla 2	1	1,69	1,74
	2	1,81	
	3	1,75	
	4	1,72	

La velocidad del viento en cada una de las condiciones es notablemente variable. Como se observa cuando, el habitáculo está totalmente cerrado, la velocidad es casi 0, por lo cual va a existir una acumulación de calor importante dentro de él.

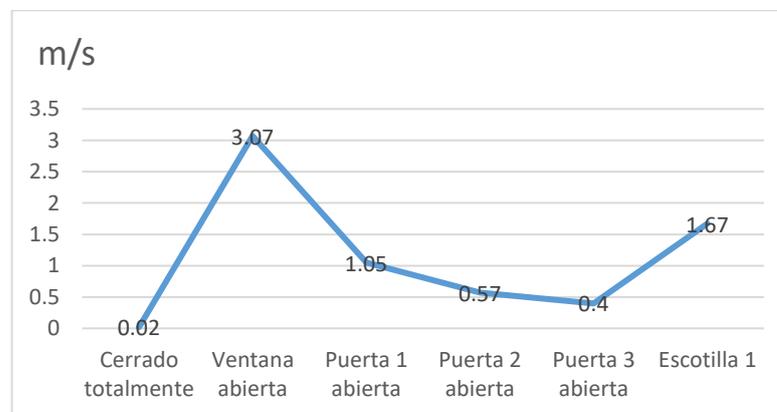


Figura 32. Gráfica de velocidad del viento

En las demás condiciones existe una velocidad cambiante explicadas de mejor manera en la Figura 32, es por eso que para optimizar el flujo térmico dentro del bus es necesario que el aire circule a una velocidad de confort que según la Figura 25 va de acuerdo a la temperatura del ambiente, información relevante en la instalación de un aire acondicionado.

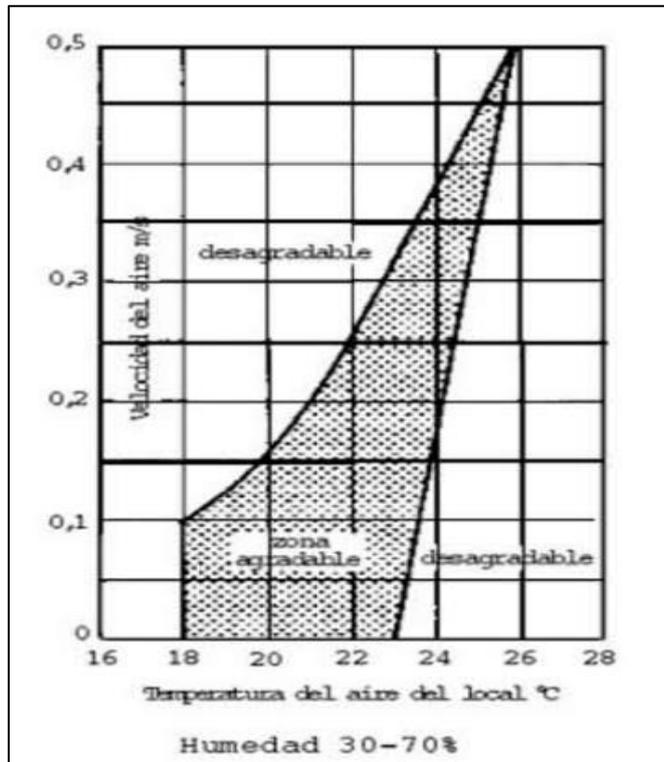


Figura 33. Zona de confort ambiental

Fuente: (Soler&Palau Ventilation Group, 2015)

En la Figura 33 se observa la gráfica: Velocidad del aire (m/s) vs. Temperatura (°C); el área sombreada bajo la curva representa la zona agradable a la que el aire debe circular en un área cerrada, el área de color blanco representa las zonas no confortables en cada intersección de temperatura y velocidad del aire.

CAPÍTULO IV

4. MÉTODO DE CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA

En el diseño y selección de un equipo de aire acondicionado es necesario realizar un Balance Térmico, el mismo que proporciona los datos de la cantidad de calor presente en el volumen de análisis. En el cual intervienen los siguientes conceptos:

Según (MIJAHILI, 2016) las ganancias que intervienen son:

1. “Ganancia o pérdida de calor a través de muros, puertas, techo, piso y ventanas.
2. Ganancia de calor por ocupantes.
3. Ganancia o pérdida de calor de infiltración.
4. Ganancia de calor por alumbrado y equipo.
5. Ganancia de calor por efecto solar”.

La ganancia por efecto solar en este estudio será omitida, debido a que en las investigaciones para la implementación de aire acondicionado en buses o habitáculos móviles se forma una película externa de aire, lo que impide que exista transferencia de calor solar. Cabe mencionar que a mayor velocidad la densidad del aire aumenta su valor, lo cual lo convierte en una barrera contra la radiación del sol. Los instantes que permanece estático el bus son muy cortos, por lo cual no se considera tal efecto.

El aporte de calor por iluminación y dispositivos electrónicos no se considerarán dentro de este estudio, ya que el bus urbano al trabajar en horas del día, por lo cual el alumbrado interno del bus tendrá poco tiempo de trabajo, en relación a las ganancias por dispositivos electrónicos, se debe mencionar que los buses urbanos no disponen de equipos electrónicos como TV, DVD, etc., que aporten calor al espacio.

Fundamentos del cálculo del balance térmico

Según el método descrito en (CARRIER, 2012), para la selección del equipo de aire acondicionado, se utiliza cálculos matemáticos con el fin de obtener datos que permiten elegir el óptimo sistema de acondicionamiento mismo que será puesto como alternativa en la futura implementación de equipos de este tipo, en buses urbanos para la ciudad de Guayaquil.

4.1. Cálculo de la ganancia o pérdida de calor a través de la carrocería

La carrocería del autobús es el medio por el cual se va a tener transferencia de calor desde el ambiente, hacia el habitáculo por, lo que se considera como zonas de análisis las puertas, techo, ventanas, piso, paredes.

$$(\pm)\dot{Q}_{TRANSMISIÓN} = AU\Delta T = AU(T_{EXT} - T_{INT}) = \frac{BTU}{h} \quad (3)$$

Ecuación 3. Carga por transmisión

Fuente: (Holman, 1998)

Donde:

$(\pm)\dot{Q}_{TRANSMISIÓN}$ = Ganancia o Pérdida de calor por transmisión (Carrocería y Ventanas).

U = Coeficiente global de transferencia de calor $(\frac{BTU}{h^{\circ}F ft^2})$.

ΔT = Diferencia de temperaturas ($^{\circ}F$)

4.2. Datos de diseño

Para la selección de un equipo de A/C es importante determinar los parámetros de diseño, ya que con estos datos se valida las diferentes necesidades de un sistema en específico. Se llama datos de diseño a todas las condiciones físicas normalizadas que se localizan en el lugar. El proyecto de aire acondicionado utilizará las condiciones a las que se quiere

acondicionar un bus urbano para la confortabilidad de los ocupantes. En este caso se trata de las propiedades psicrométricas a las que se debe llegar.

En este estudio se tomó como lugar la ciudad de Guayaquil, ya que es una de las ciudades con mayor tráfico vehicular y altas temperaturas. A continuación, se darán a conocer las condiciones físicas normalizadas y ambientales.

4.2.1. Condiciones geográficas y ambientales del lugar

De acuerdo con las Tablas de ASHRAE que se encuentra en el Anexo 2 y los datos obtenidos por mediciones se obtiene los datos de la Tabla 21:

Tabla 21.

Condiciones ambientales.

Factores	Valores
Lugar	Guayaquil
Altitud S.N.M	20 ft
Humedad relativa	76% HR
Temperatura bulbo seco	92°F
Temperatura bulbo húmedo	80°F

Fuente: (ASHRAE, 1972)

4.2.2. Consideraciones interiores de diseño

Los valores determinados en la Tabla 22 se basan en los parámetros de tolerancia presentados en la Tabla 5.

Tabla 22.

Condiciones de comodidad para el diseño de interiores.

Condiciones	Valores
Temperatura bulbo seco	74°F
Humedad relativa	55%

Fuente: (ASHRAE, 1972)

Los coeficientes de materiales se obtuvieron de las Tablas de ASHRAE que se encuentra en el Anexo 3, para lo cual se extrajo los valores de los coeficientes, para materiales utilizados en la construcción de carrocerías como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23.
Materiales del autobús.

Parte	Material	K(BTU/h-ft ² -°R)
Carrocería	Acero	26.2
	Aluminio	128
	Acrílico	0.22
	Alfombra	0.08
Ventanas	Vidrio	0.59

Fuente: (ASHRAE, 1972)

En la Tabla 24 se presentan las propiedades del aire utilizadas en el cálculo posterior.

Tabla 24.
Propiedades del aire.

Propiedades	Valor
P (Presión)	2116.8 Lb/ft ²
R (Constante Particular)	53.54 Lb-ft/Lb-°R
Cp (Calor específico)	0.24 BTU/Lb-°F

Fuente: (MIJAHELI, 2016)

4.3. Cálculo del balance térmico

A continuación, se desarrollará el balance térmico el cual servirá para determinar la carga térmica total que gana el habitáculo del autobús. Para lo cual se determinó cuatro puntos de análisis.

Punto 1: Punto de inyección de refrigerante al habitáculo.

Punto 2: Punto de condiciones de diseño.

Punto 3: Punto de condiciones ambientales del exterior.

Punto 4: Punto de condiciones de mezcla de aire externo e interno.

Los datos de Tabla 25 son extraídos de los siguientes apartados: 2.6.2.; 4.2.1.; 4.2.2. respectivamente.

Tabla 25.

Condiciones del balance térmico.

Condiciones	Valores
No. De Personas	71 ocupantes
Temperatura de bulbo seco (T_{BS3}) y Humedad Exterior (HR)	92°F – 76%
Temperatura de bulbo seco (T_{BS2}) y Humedad de diseño (HR)	74°F – 55%

4.3.1. Áreas

Las áreas se obtuvieron del modelado CAD del autobús que se evidencia en el Anexo 5, cuyos planos de origen son los proporcionados por la empresa carrocera “Santacruz” Anexo 4.

Tabla 26.

Vidrio.

Elementos	m²	ft²
Ventanas laterales derechas	8.3	89.29
Ventanas laterales izquierdas	11.85	127.49
Parabrisas frontal	3.99	42.93
Parabrisas posterior	2.2	23.67
Puertas	7.89	84.88

CONTINÚA 

Total	42.53	457.55
--------------	-------	--------

Tabla 27.

Carrocería.

Elementos	m²	ft²
Carrocería lateral derecha	9.22	99.19
Carrocería lateral izquierda	9.54	102.64
Carrocería frontal	0.77	8.28
Carrocería posterior	2.42	26.04
Total	56.59	608.82

Tabla 28.

Techo.

Elementos	m²	ft²
Carrocería techo	25.86	278.21

Tabla 29.

Piso.

Elementos	m²	ft²
Carrocería piso	25.42	273.48

Tabla 30.

Cubierta del motor.

Elementos	m²	ft²
Cubierta del motor	1.66	17.86

4.3.2. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor

El coeficiente global de transferencia de calor que se emplea en la ecuación 4 se define por:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_1} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{f_2}} \quad (4)$$

Ecuación 4. Coeficiente global de transferencia de calor

Fuente: (Holman, 1998)

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor ($\frac{BTU}{h \cdot ^\circ F \cdot ft^2}$).

$e_{1,2}$ = Espesor del material (ft).

$k_{1,2}$ = Coeficiente de conductividad térmica ($\frac{BTU \cdot in}{h \cdot ^\circ F \cdot ft^2}$).

$f_{1,2}$ = Película de aire.

v_1 = Velocidad del aire

- **Cálculo de la película de aire**

$$f_1 = 2 + 0.4v_1$$

$$f_2 = 2 + 0.4v_2$$

$$v_1 = 15.2 \frac{km}{h} \times \frac{1 \text{ milla}}{1,609 km} = 9.44 \frac{\text{millas}}{h}$$

$$f_1 = 2 + 0.4 \left(9.44 \frac{\text{millas}}{h} \right) = 5.78 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ R}$$

$$f_2 = 2 + 0.4 \left(0 \frac{\text{millas}}{h} \right) = 2 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ R}$$

El cálculo de la película de aire que existe entre dos recubrimientos, ya sean estos del mismo material o diferente, llevará la nomenclatura de f_3 .

$$f_3 = 2 + 0.4 \left(0 \frac{\text{millas}}{h} \right) = 2 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ R}$$

- Vidrio

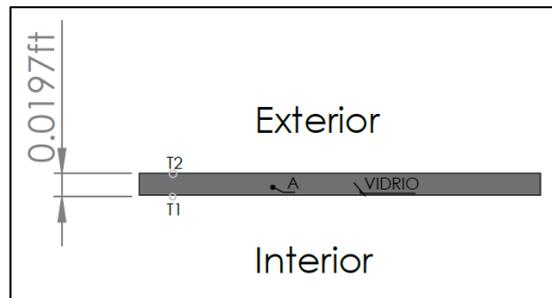


Figura 34. Estructura del vidrio

$$U_{\text{vidrio}} = \frac{1}{\frac{1}{f_1} + \frac{L_A}{K_A} + \frac{1}{f_2}}$$

$$U_{\text{vidrio}} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{0.0197ft}{0.57 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ R}} + \frac{1}{5.78}}$$

$$U_{\text{vidrio}} = 1.42 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ R}$$

- Carrocería

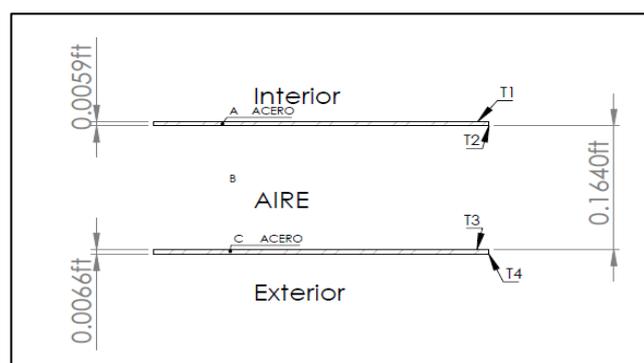


Figura 35. Estructura de la carrocería.

$$U_{\text{carrocería}} = \frac{1}{\frac{1}{f_1} + \frac{L_A}{K_A} + \frac{1}{f_3} + \frac{L_C}{K_C} + \frac{1}{f_2}}$$

$$U_{carrocería} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{0.0059ft}{26.2 \frac{BTU}{h-ft^2-0R}} + \frac{1}{2} + \frac{0.0066ft}{26.2 \frac{BTU}{h-ft^2-0R}} + \frac{1}{5.78}}$$

$$U_{carrocería} = 0.852 \frac{BTU}{h-ft^2-0R}$$

- Techo

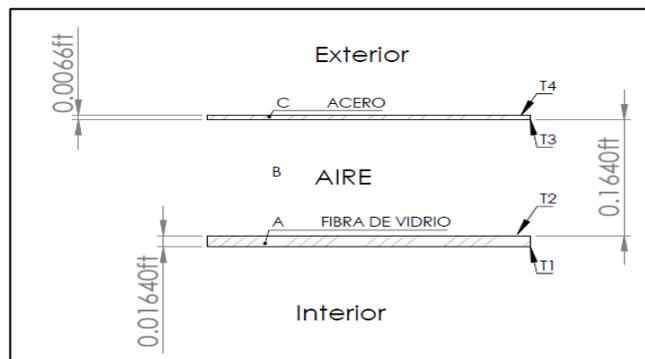


Figura 36. Estructura del techo.

$$U_{techo} = \frac{1}{\frac{1}{f_1} + \frac{L_A}{K_A} + \frac{1}{f_3} + \frac{L_C}{K_C} + \frac{1}{f_2}}$$

$$U_{techo} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{0,0164ft}{0,22 \frac{BTU}{h-ft^2-0R}} + \frac{1}{2} + \frac{0,0066ft}{26,2 \frac{BTU}{h-ft^2-0R}} + \frac{1}{5,78}}$$

$$U_{techo} = 0,801 \frac{BTU}{h-ft^2-0R}$$

- Piso

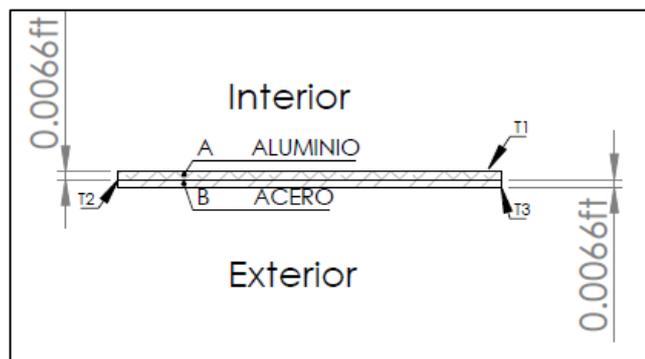


Figura 37. Estructura del piso.

$$U_{\text{piso}} = \frac{1}{\frac{1}{f_1} + \frac{L_A}{K_A} + \frac{L_B}{K_B} + \frac{1}{f_2}}$$

$$U_{\text{piso}} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{0.0066ft}{128 \frac{BTU}{h-ft^2-^{\circ}R}} + \frac{0.0066ft}{26.2 \frac{BTU}{h-ft^2-^{\circ}R}} + \frac{1}{5.78}}$$

$$U_{\text{piso}} = 1.485 \frac{BTU}{h-ft^2-^{\circ}R}$$

- **Cubierta del motor**

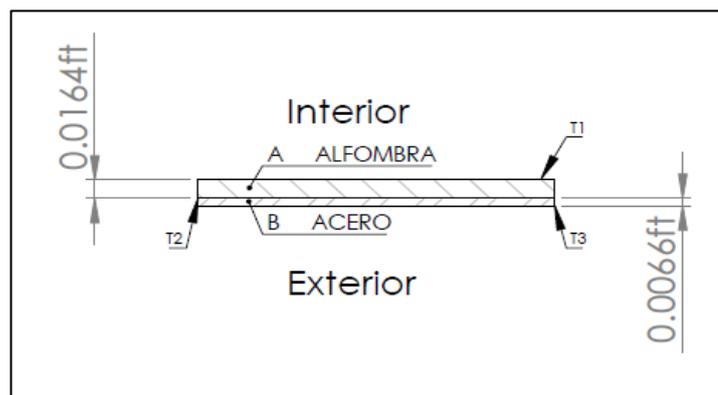


Figura 38. Estructura de la cubierta del motor.

$$U_{\text{piso}} = \frac{1}{\frac{1}{f_1} + \frac{L_A}{K_A} + \frac{L_B}{K_B} + \frac{1}{f_2}}$$

$$U_{\text{cubierta del motor}} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{0.00164ft}{0.08 \frac{BTU}{h-ft^2-^{\circ}R}} + \frac{0.0066ft}{26.2 \frac{BTU}{h-ft^2-^{\circ}R}} + \frac{1}{5.78}}$$

$$U_{\text{piso}} = 1.138 \frac{BTU}{h-ft^2-^{\circ}R}$$

4.3.3. Cálculo de la ganancia de calor a través del vidrio, carrocería, techo, piso y cubierta del motor

$$\dot{Q}_{\text{vidrio}} = (475.55 \text{ft}^2) \left(1.42 \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{R}}\right) (92 - 74)^\circ\text{F}$$

$$\dot{Q}_{\text{vidrio}} = 11694.978 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{carrocería}} = (608.82 \text{ft}^2) \left(0.852 \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{R}}\right) (92 - 74)^\circ\text{F}$$

$$\dot{Q}_{\text{carrocería}} = 9336.924 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{techo}} = (278.21 \text{ft}^2) \left(0.801 \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{R}}\right) (92 - 74)^\circ\text{F}$$

$$\dot{Q}_{\text{techo}} = 4011.23 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{piso}} = (273.48 \text{ft}^2) \left(1.485 \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{R}}\right) (92 - 74)^\circ\text{F}$$

$$\dot{Q}_{\text{piso}} = 7310.1204 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{cubierta motor}} = (17.86 \text{ft}^2) \left(1.138 \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{R}}\right) (176 - 74)^\circ\text{F}$$

$$\dot{Q}_{\text{cubierta motor}} = 2073.1174 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{carrocería total}} = \dot{Q}_{\text{vidrio}} + \dot{Q}_{\text{carrocería}} + \dot{Q}_{\text{techo}} + \dot{Q}_{\text{piso}} + \dot{Q}_{\text{cubierta motor}}$$

$$\dot{Q}_{\text{carrocería total}}$$

$$= (11694.978 + 9336.924 + 4011.23 + 7310.1204 + 2073.1174) \text{BTU/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{total}} = 34427.1038 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

4.3.4. Cálculo de la ganancia de calor efectivo por ocupantes

Los ocupantes de un habitáculo en general realizan un aporte de calor según las actividades que ellos realicen dentro de él, para poder definirlo se tiene la Ecuación 5 y la Tabla 31.

$$\dot{Q}_{SOCUPANTES} = \text{No. de personas} \times hs \left(\frac{BTU}{h} \right) \quad (5)$$

Ecuación 5. Ganancia de calor sensible por ocupantes.

Fuente: (CARRIER, 2012)

Donde:

$\dot{Q}_{SOCUPANTES}$ = Ganancia de calor por ocupantes (BTU/h)

hs = Calor sensible producido por persona por hora (BTU/h)

Tabla 31.

Calor sensible y latente desprendido por persona.

Tipo de actividad	hs ($\frac{BTU}{h}$)	hl ($\frac{BTU}{h}$)
Para personas sentadas en reposo	195	155
Para personas sentadas con trabajo ligero	195	205
Para personas paradas con trabajo ligero	200	250
Para personas caminando en intervalos	200	300
para personas con trabajo ligero	220	530
Para personas con trabajo medio	300	700
Para personas con trabajo pesado	465	985
Para personas con trabajo muy pesado	500	1500

Fuente: (MIJAHILI, 2016) (p. 42)

Tabla 32.

Distribución de espacio.

Estado	Ocupantes	Numero	Total
Sentados	Chofer	1	41
	Ayudante	1	
	Pasajeros	29	
Parados	Pasajeros	30	30

$$\dot{Q}_{ocupantes\ sentados} = No.\ de\ personas \times h_s$$

$$\dot{Q}_{ocupantes\ sentados} = (41) \left(195 \frac{BTU}{h} \right) = 7995 \frac{BTU}{h}$$

$$\dot{Q}_{ocupantes\ parados} = No.\ de\ personas \times h_s$$

$$\dot{Q}_{ocupantes\ parados} = (30) \left(200 \frac{BTU}{h} \right) = 6000 \frac{BTU}{h}$$

$$\dot{Q}_{ocupantes} = \dot{Q}_{ocupantes\ sentados} + \dot{Q}_{ocupantes\ parados}$$

$$\dot{Q}_{ocupantes} = (7995 + 6000) \frac{BTU}{h} = 13995 \frac{BTU}{h}$$

4.3.5. Cálculo de ganancia o pérdida de calor por infiltración

$$(\pm)\dot{Q}_{INF} = mCp(T_{EXT} - T_{REQ})CA\left(\frac{BTU}{h}\right) \quad (6)$$

Ecuación 6. Ganancia o pérdida de calor por infiltración.

Fuente: (CARRIER, 2012)

Donde:

 \dot{Q}_{INF} = Ganancia o pérdida de calor por infiltración (BTU/h) m = Masa de aire (lb) CA = Cambios de aire por hora T_{EXT} = Temperatura exterior (°F) T_{REQ} = Temperatura de diseño (°F)

Tabla 33.

Cambios de aire por hora debido a la infiltración.

Características del espacio	Número de cambios de volumen de aire por hora
Espacios con puerta y/o ventanas interiores.	0.5 – 0.75
Espacios con puerta y/o ventanas en un muro exterior.	0.75 – 1.0
Espacios con puerta y/o ventanas en dos muros exteriores.	1.0 – 1.5
Espacios con puerta y/o ventanas con tres muros exteriores.	1.5 – 2.0
Espacios con puerta y/o ventanas con cuatro muros exteriores.	2.0 – 3.0

Fuente: (MIJAHELI, 2016)

$$\dot{Q}_{inf} = mCp(T_{ext} - T_{req})CA \quad (Ec.6)$$

$$m = \frac{PV}{RT}$$

$$V = B \times H \times A$$

$$V = 11.82m \times 2.52m \times 2.54m$$

$$V = 75.657m^3 \left(\frac{(3.28ft)^3}{1m^3} \right) = 2669.75ft^3$$

$$m = \frac{(2098.538 \frac{lb}{ft^2})(2669.75ft^3)}{(53.54 \frac{lb-ft}{lb-^{\circ}R})(74 + 460^{\circ}R)}$$

$$m = 195.960 lb$$

$$\dot{Q}_{inf} = (195.960lb) \left(0.24 \frac{BTU}{lb-^{\circ}F} \right) (92 - 74)^{\circ}F(1.5) = 1269.82 \frac{BTU}{h}$$

4.3.6. Cálculo de calor sensible ganado o perdido total (BT)

En esta parte se obtiene la carga ganada o pérdida total del espacio que se pretende acondicionar, mismo valor que servirá para la selección del equipo.

$$\dot{Q}_{ST} = \dot{Q}_{TRANSMISIÓN} + \dot{Q}_{OCUPANTES} + \dot{Q}_{INF} = \left(\frac{BTU}{h}\right) \quad (7)$$

Ecuación 7. Calor sensible total

Fuente: (CARRIER, 2012)

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{ST\ total} &= \dot{Q}_{carroceria\ total} + \dot{Q}_{ocupantes} + \dot{Q}_{inf} \\ \dot{Q}_{ST\ total} &= (34427.1038 + 13995 + 1269.82) \frac{BTU}{h} \\ \dot{Q}_{ST\ total} &= 49691.924 \frac{BTU}{h} \end{aligned}$$

4.4. Cálculo de la capacidad del control de aire y la temperatura de inyección

El control de aire es un componente muy importante dentro de los sistemas acondicionadores de aire, de ella depende la cantidad de aire que se suministrará a un espacio por segundos, minutos u horas.

En el siguiente proceso matemático se calcula la capacidad del equipo de A/C.

4.4.1. Cálculo de la ganancia de calor latente por ocupantes.

$$\dot{Q}_{LOCUPANTES} = No. \ de \ personas \times h_l = \left(\frac{BTU}{h}\right) \quad (8)$$

Ecuación 8. Calor latente por ocupantes.

Fuente: (CARRIER, 2012)

Donde:

$\dot{Q}_{LOCUPANTES}$ = Ganancia de calor latente por los ocupantes (BTU/h).

No. de personas = Número de personas en el espacio.

h_l = Calor latente desprendido por persona (BTU/h).

$$\dot{Q}_L = N^{\circ} \text{de personas} \times h_l$$

$$\dot{Q}_{L \text{ SENTADOS}} = (41) \left(155 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right)$$

$$\dot{Q}_{L \text{ SENTADOS}} = 6355 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{L \text{ PARADOS}} = (30) \left(250 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right)$$

$$\dot{Q}_{L \text{ PARADOS}} = 5700 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_{L \text{ SENTADOS}} + \dot{Q}_{L \text{ PARADOS}}$$

$$\dot{Q}_{L \text{ PARADOS}} = (6355 + 5700) \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_L = 13855 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

4.4.2. Cálculo del factor de calor sensible

$$F.C.S. = \left(\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_S + \dot{Q}_L} \right) \quad (9)$$

Ecuación 9. Factor de calor sensible

Fuente: (CARRIER, 2012)

Donde:

$F.C.S.$ = Factor de calor sensible

\dot{Q}_S = Calor sensible (BTU/h)

\dot{Q}_L = Calor latente (BTU/h)

Este parámetro sirve para trazar la línea de acondicionamiento para el método gráfico y determinar el valor numérico de la temperatura de inyección.

$$F.C.S. = \frac{\dot{Q}_{ST}}{\dot{Q}_{ST} + \dot{Q}_L}$$

$$F.C.S = \frac{49691.924 \frac{BTU}{h}}{49691.924 \frac{BTU}{h} + 13855 \frac{BTU}{h}}$$

$$F.C.S = 0.782$$

Una vez obtenido el valor del factor de calor sensible, se procede al trazo de dos líneas paralelas en la carta psicrométrica Anexo 6, en la Figura 39, la primera línea a trazar será con el punto de referencia o foco explicado en el apartado 2.11.1 (Punto Focal) y el factor de calor sensible (F.C.S.). La siguiente línea paralela se traza tomando los valores de diseño (Punto 2). La cual proyecta el punto de inyección (Punto 1), ajustado al 100% HR.

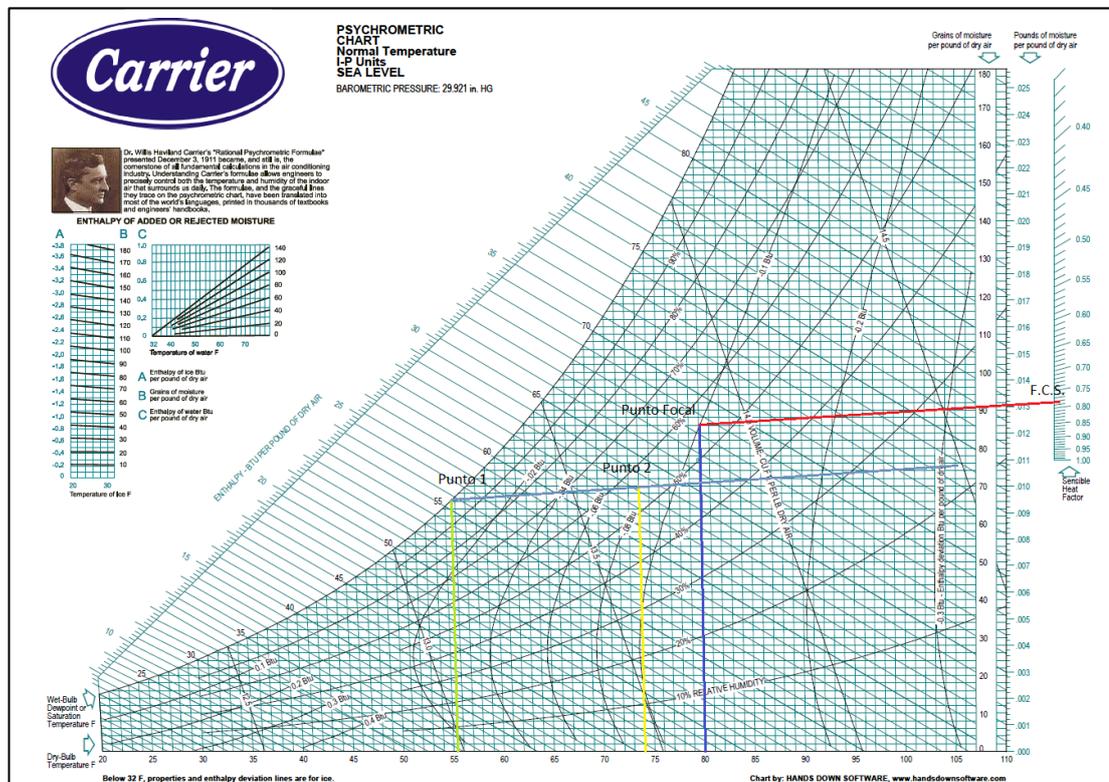


Figura 39. Determinación del punto de inyección en la carta psicrométrica

Los valores de la Tabla 34 son tomados de los trazos en la carta psicrométrica de la Figura 39.

Tabla 34.

Valores de las propiedades psicrométricas del punto de inyección.

Condiciones	Valor
T_{BS1}	55.5°F
h_{a1}	0.00938Lb _{VA} /Lb _{AS}
H_{T1}	23.5BTU/Lb

4.4.3. Cálculo del flujo volumétrico

$$\dot{V} = \left(\frac{\dot{Q}_{ST}}{0.18 \times 60 \times \Delta T} \right) = \frac{ft^3}{min} \quad (10)$$

Ecuación 10. Flujo volumétrico

Fuente: (CARRIER, 2012)

Donde:

 \dot{V} = Flujo volumétrico (ft³/min). \dot{Q}_{ST} = Calor sensible total obtenido del balance térmico (BTU/h). ΔT = Diferencia de temperaturas ($T_2 - T_1$) (°F).

$$\dot{V} = \frac{(49691.924 \frac{BTU}{h})}{0.018 \times 60 \times (74 - 55.5)^{\circ F}}$$

$$\dot{V} = 2487.083 \frac{ft^3}{min}$$

$$\dot{V} = 4225.58 m^3/h$$

4.4.4. Cálculo del flujo másico

$$\dot{m} = V \times 4.5 = \frac{lb}{h} \quad (11)$$

Ecuación 11. Flujo másico.

Fuente: (CARRIER, 2012)

$$\dot{m} = \dot{V} \times 4.5 = \left(2487.083 \frac{ft^3}{min} \right) 4.5 = 11191.875 \frac{lb}{h}$$

Tabla 35.**Valores de las propiedades psicrométricas punto 2.**

Condiciones	Valor
T_{BS2}	74 °F
%HR ₂	55
h_{a2}	0.0098Lb _{vA} /Lb _{AS}
H_{T2}	28.53BTU/Lb

Según la Tabla 35 los dos últimos valores fueron obtenidos de la carta psicrométrica.

Tabla 36.**Valores de las propiedades psicrométricas del Punto 3.**

Condiciones	Valor
T_{BS3}	92°F
%HR ₃	76
h_{a3}	0.0286Lb _{vA} /Lb _{AS}
H_{T3}	53.70BTU/Lb

Los valores obtenidos en la Tabla 36 son resultado de graficar el Punto 3 en la tabla psicrométrica de acuerdo con los valores dados: temperatura de bulbo seco y porcentaje de humedad relativa.

4.5. Cálculo de la temperatura de mezcla

$$T_{BSM} = \frac{T_{BS2}m_2 + T_{BS3}m_3}{m_2 + m_3} = °F \quad (12)$$

Ecuación 12. Temperatura de mezcla

Fuente: (CARRIER, 2012)

Donde:

T_{BSM} = Temperatura de bulbo seco de mezcla (°F)

T_{BS2} = Temperatura de bulbo seco en el punto 2 (°F)

T_{BS3} = Temperatura de bulbo seco en el punto 3 (°F)

m_2 = Flujo másico punto 2 (ft³/min)

m_3 = Flujo másico punto 3 (ft³/min)

$$\dot{m}_3 = 80\% * \dot{m} = (0.8) \left(11191.875 \frac{lb}{h} \right) = 8953.5 \frac{lb}{h}$$

$$\dot{m}_2 = 20\% * \dot{m} = (0.2) \left(11191.875 \frac{lb}{h} \right) = 2238.375 \frac{lb}{h}$$

$$T_{BSM} = \frac{(74^{\circ}F) \left(2238.375 \frac{lb}{h} \right) + (92^{\circ}F) \left(8953.5 \frac{lb}{h} \right)}{2238.375 \frac{lb}{h} + 8953.5 \frac{lb}{h}}$$

$$T_{BSM} = 88.4^{\circ}F$$

En la Figura 40, se determina la humedad absoluta de mezcla, mediante el trazo de líneas en la carta psicrometrica. La primera línea se traza desde el Punto 2 al Punto 3, luego con la temperatura de mezcla calculada anteriormente se traza una línea que corte a la anterior, para obtener el punto de mezcla y por consiguiente el valor de la humedad absoluta de mezcla es de 0,0167 Lb_{VA}/Lb_{AS}.

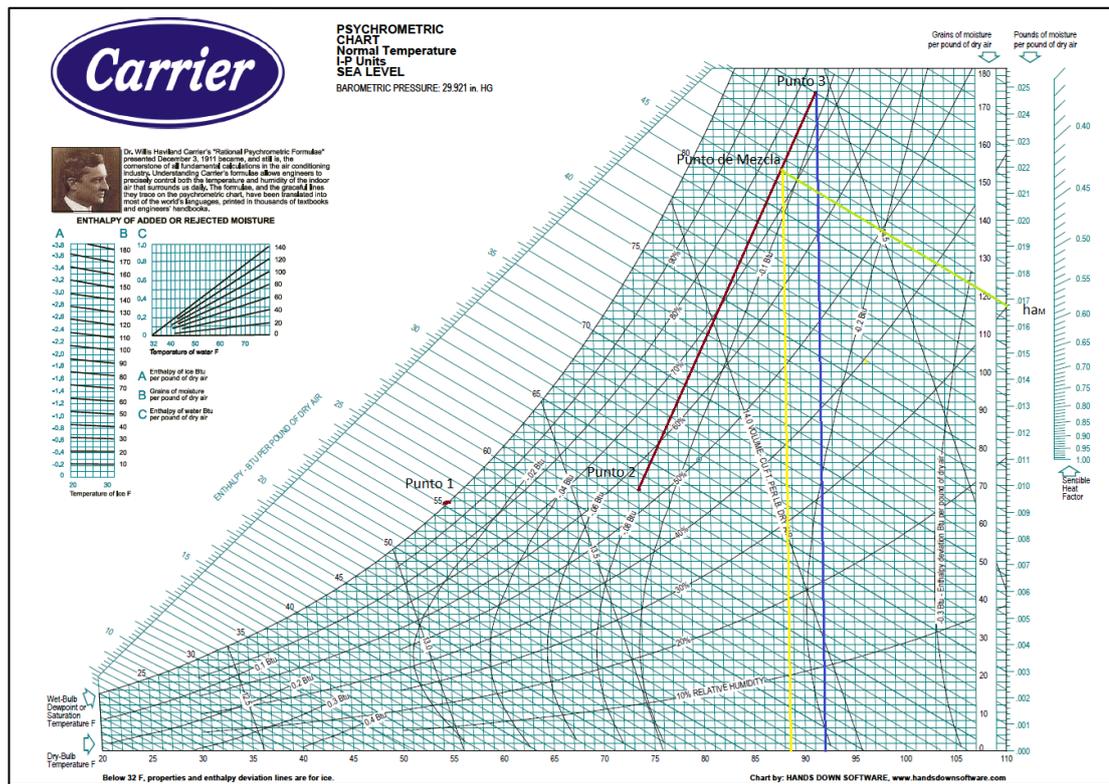


Figura 40. Determinación del punto de mezcla en la carta psicrométrica.

4.6. Cálculo de la capacidad del serpentín de enfriamiento

(13)

$$(\pm)\dot{Q}_S = \dot{m}Cp(T_{BS1} - T_{BSM}) = \left(\frac{BTU}{h}\right)$$

Ecuación 13. Capacidad del serpentín de enfriamiento

Fuente: (CARRIER, 2012)

Donde:

\dot{Q}_S = Capacidad del serpentín (BTU/h)

\dot{m} = Flujo másico (ft³/min)

T_{BS2} = Temperatura de bulbo seco en el punto 2 (°F)

T_{BSM} = Temperatura de bulbo seco de mezcla (°F)

$$\dot{Q}_S = \left(11191.875 \frac{lb}{h}\right) \left(0.24 \frac{BTU}{bl - ^\circ F}\right) (55.5 - 88.4)^\circ F$$

$$\dot{Q}_s = -88371.045 \frac{BTU}{h}$$

4.7. Cálculo de la capacidad de los deshumificadores

$$(\pm)\dot{H}_a = \dot{m}\Delta ha = \dot{m}(ha_1 - ha_M) = \left(\frac{lb_{VA}}{h}\right) \quad (14)$$

Ecuación 14. Capacidad de los deshumificadores

Fuente: (CARRIER, 2012)

Donde:

H_a = Capacidad de humidificador o deshumificador (lb_{VA}/h)

\dot{m} = Flujo másico (ft^3/min)

ha_1 = Humedad absoluta en el punto 1 (lb_{VA}/lb_{AS})

ha_M = Humedad absoluta de mezcla (lb_{VA}/lb_{AS})

$$\dot{H}_a = \left(11191.875 \frac{lb_{AS}}{h}\right) (0.00938 - 0.0167) \frac{lb_{VA}}{lb_{AS}} = -81.92 \frac{lb_{VA}}{h}$$

CAPÍTULO V

5. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO, DISTRIBUCIÓN DE DUCTOS Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA

5.1. Introducción

En este capítulo se realiza la selección del equipo de aire acondicionado y se mencionará las consideraciones necesarias para realizar una correcta distribución del flujo dentro del habitáculo, de modo que todo el compartimiento se encuentre refrigerado en todo momento, además de las simulaciones por elementos finitos del mismo, mediante el uso de la herramienta CFD, de un software CAE.

5.2. Casa de la calidad

La casa de la calidad es una herramienta la cual facilita la selección de un elemento, material, etc. Este método es amigable con el usuario en este caso ya que toma en cuenta las peticiones de los usuarios transformándolo en criterios y características técnicas.

5.2.1. Voz del usuario

De acuerdo al criterio del usuario, se tendrá que valorar las siguientes características:

- Calidad
- Mantenimiento
- Tecnología
- Precio
- Confort
- Peso

- El fabricante obtuvo la mayor ponderación ya que se relaciona con la mayoría de los requisitos del usuario, esto quiere decir que el prestigio de la empresa fabricante es muy importante para la selección de un aire acondicionado, ya que es posible tener antecedentes de la calidad y durabilidad del producto. Pero al tener dos equipos en cuestión con el mismo fabricante, su valor de ponderación tuvo que ser disminuido, ya que no representa in factor de incidencia.
- En los requisitos del cliente la mayor ponderación es el confort ya que es un punto clave para el proyecto.
- El punto de inyección es muy importante ya que este valor debe ser el más semejante con el calculado también se obtuvo una alta ponderación en la capacidad del equipo y el flujo del aire.

5.2.4. Mapa morfológico

En la Tabla 37 se toman dos opciones de aire acondicionado las cuales se tiene las fichas técnicas en el Anexo 7, para realizar el mapa morfológico se toma en cuenta el prestigio del fabricante, el punto de inyección, la capacidad del equipo, flujo de aire e instalación.

Tabla 37.

Mapa morfológico de la selección de aire acondicionado.

MAPA MORFOLÓGICO			Datos de Diseño
Fabricante y modelo	SONGZ (BBP-VI/F-DA)	SONGZ (SZC-VI-D)	-----
Temperatura de inyección	Disminuye hasta 35.6°F- 37.4°F	Disminuye hasta 46.4°F-48.2°F	55.5°F

CONTINÚA 

Capacidad del equipo (Standard)	136480 Btu/h	122859 Btu/h	88371.045 Btu/h
Flujo de aire	7200 m ³ /h	7200 m ³ /h	4225.58 m ³ /h
Instalación	Difícil	Medio	-----

5.2.5. Mapa de ponderación.

La Tabla 38 es semejante a la Tabla 37, con la diferencia que se realiza un análisis cuantitativo, el cual se tiene las características de las alternativas, con el fin de realizar una selección precisa, la valoración tiene una ponderación mínima de 0 y una máxima 10.

Tabla 38.

Mapa de ponderación para la selección de un aire acondicionado.

MAPA DE PONDERACIONES					
Modelo		SONGZ (BBP-VI/F-DA)		SONGZ (SZC-VI-D)	
Ponderación		Valoración	Calificación	Valoración	Calificación
Fabricante	0.2	4	0.8	4	0.8
Punto de inyección	0.3	4	1.2	7	2.1
Capacidad del equipo (Standard)	0.2	6	1.2	8	1.6
Flujo de aire	0.2	6	1.2	6	1.2
Instalación	0.1	2	0.2	5	0.5
Total			4.6		6.2

Las ponderaciones más altas son del aire acondicionado SONGZ (SZC-VI-D) el cual tuvo un total de 6.2, debido a sus características técnicas, los parámetros con mayor ponderación en este equipo son las de temperatura de inyección, capacidad del equipo y la facilidad de instalación, este último parámetro se enfocó en el peso y dimensiones del equipo estas

características se encuentran en Anexo 7, en la Figura 42 se puede observar el aire acondicionado seleccionado.



Figura 42. SONGZ (SZC-VI-D)

Fuente: (songz-international, 2017)

5.3. Distribución de los ductos de aire

En la distribución de los ductos de aire es necesario hacer varias simulaciones preliminares, para ver cómo sería el comportamiento adecuado en relación con el confort de los ocupantes, la distribución que se diseñó es idónea ya que se enfoca en la velocidad del aire, humedad y temperatura interna del autobús en especial las puertas de acceso de los usuarios, ya que en estas secciones es donde se podría perder aire refrigerado, también se enfoca en el habitáculo del conducto.

En la Tabla 37 se detalla que el flujo de aire tratado es de 4225.58 m³/h los cuales se reparten de manera uniforme por cuatro ductos principales A, B, C, D que conducen el aire desde los ventiladores de los evaporadores, hacia los ductos distribuidores de las canastillas secundarias (1-23) como se observa en la Figura 43. Existen 23 canastillas de impulsión, todas ellas de igual caudal.

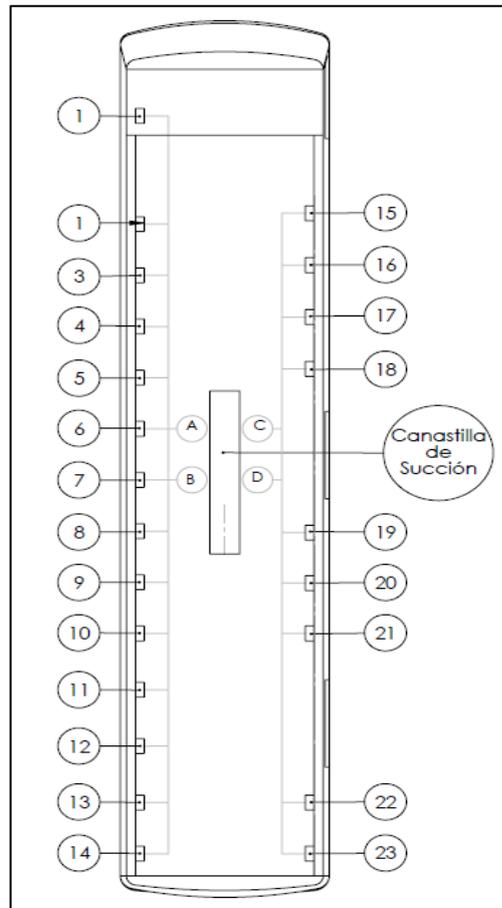


Figura 43. Distribución de ductos

La distribución de aire se realiza mediante la colocación de los ductos en la parte superior de la carrocería, precisamente en los costados superiores, los cuales son recubiertos con material aislante como es acrílico, con el fin de disminuir las ganancias de calor en los ductos de refrigeración, se evidencia en la Figura 44 que los ductos se encuentran en cada una de las parejas de asientos, la zona de discapacitados y área de trabajo del conductor.

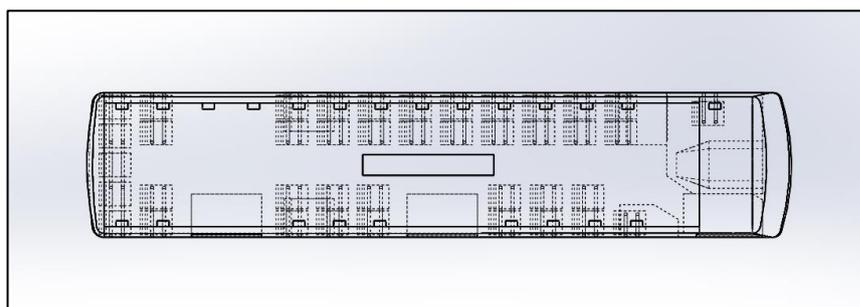


Figura 44. Vista superior del autobús.

En el caso de la entrada de aire se tiene que calcular la velocidad del aire con el flujo volumétrico y el área de los ingresos de aire acondicionado. El área total de ingreso de aire se calculó con la superficie de cada una de las 23 entradas, en la Figura 45 se observa las dimensiones de la entrada.

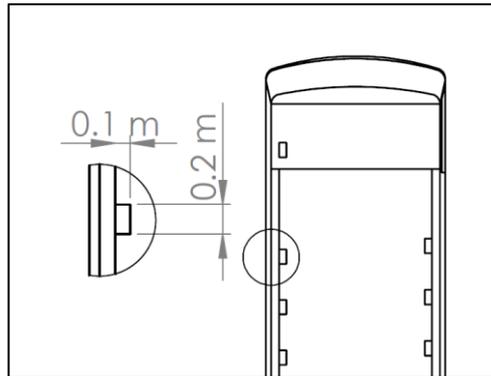


Figura 45. Vista en detalle de las dimensiones de la entrada.

$$At = 23 * 0,2 * 0,1 = 0.46 \text{ m}^2$$

Ya con el flujo volumétrico se obtiene la velocidad de:

$$\dot{V} = v * At \quad (15)$$

Ecuación 15. Flujo volumétrico en función de V y At.

Donde:

\dot{V} = Flujo volumétrico (m^3/s).

v = velocidad del aire

At = Área

$$\dot{V} = v * At$$

$$v = 4225.58 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} * \frac{1}{0,46\text{m}^2} = 2,55\text{m/s}$$

$$v = 2,55\text{m/s}$$

5.4. Diseño CAD del habitáculo del bus

En el modelado del habitáculo es necesario obtener medidas reales del interior del autobús las cuales se obtuvieron por medio de la empresa carrocera “SANTACRUZ” como se ve en el Anexo 5 y dando un sólido como se observa en la Figura 46.

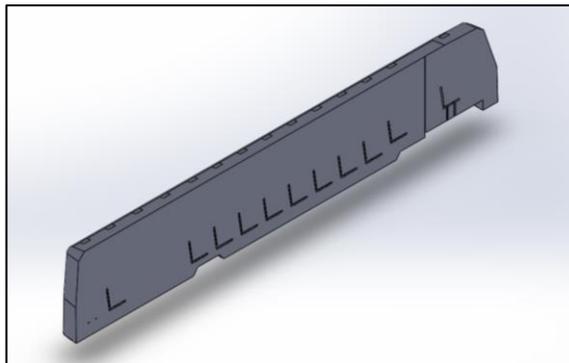


Figura 46. Corte del autobús

5.5. Análisis en CFD

La simulación en software CAE es un modelo que se asemeja en algunos aspectos de la realidad, este programa permite trabajar en condiciones semejantes a la realidad, pero con la posibilidad de controlar las condiciones de funcionamiento.

El objetivo de simular el proyecto es de observar y analizar el comportamiento dinámico y térmico dentro del autobús, el cual está diseñado con la distribución de los ductos de aire y todos los componentes interiores del autobús.

“La ecuación base que utiliza CFD (Computational Fluid Dynamics) para las simulaciones es Navier-Stokes que se basa en tres principios físicos los cuales son conservación de la masa, conservación de la cantidad de movimiento y conservación de la energía”. (ANSYS, 2010)

(ANSYS, 2010) Afirma que: “Las ecuaciones Navier-Stokes describen los movimientos de un fluido. La resolución analítica de estas ecuaciones no es posible ya que, en la resolución de problemas por métodos numéricos, este sistema puede constar de cientos a millones de ecuaciones simultáneas, el número de ecuaciones depende directamente de la cantidad de elementos discretizados del campo de flujo, salvo para casos muy concretos, por lo que normalmente se recurre a la aproximación numérica de la solución, que es lo que obtenemos con los programas de CFD.”

5.6. Importación del archivo CAD al software CAE

Ya realizado el modelado CAD como se muestra en la Figura 47 se pasa a guardar como extensión parasolid (*.x_t), la calidad de este formato es aceptable y recomendable para la simulación CFD.

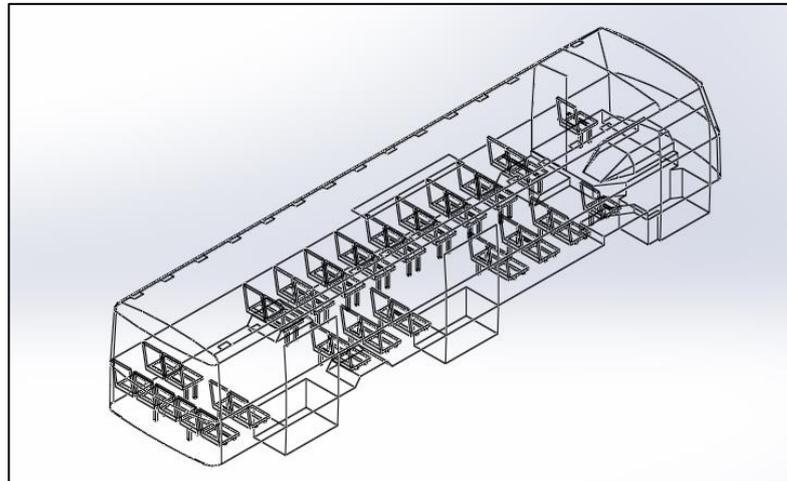


Figura 47. Modelado del habitáculo en CAD

Una vez guardado en formato parasolid, abrir con el programa de preparación CAE, el cual permite modificar en caso que haya algún problema con el elemento, los problemas más usuales son las interferencias y redondeos las cuales generan problemas en el mallado del sólido, como se observa en la Figura 48, no hay ninguna interferencia o problema para abrir en CAE.

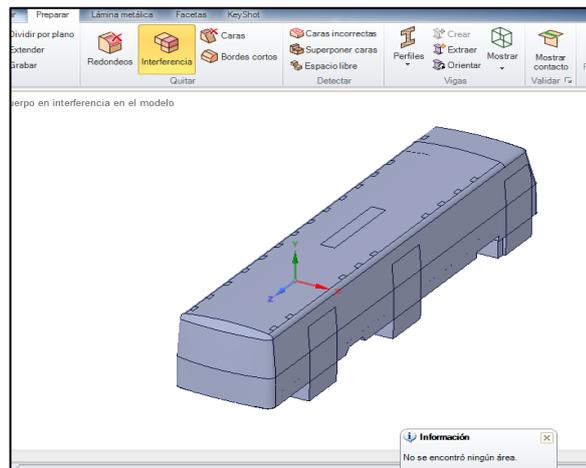


Figura 48. Verificación de interferencias.

Luego hacer click en la opción Starts, que se ubica en la pestaña “preparar” en la parte superior derecha tal como se muestra en la Figura 49, esta opción permite importar directamente la geometría del habitáculo del autobús a la plataforma del software CAE.



Figura 49. Barra de preparar.

5.6.1. Mallado del habitáculo del autobús

Ya con la geometría del sólido se continúa con el mallado del mismo, donde es necesario crear un Mesh el cual se encuentra en la parte izquierda de la ventana. Dar click sobre Mesh y arrastrar hasta la pantalla de trabajo tal como se muestra en la Figura 50.

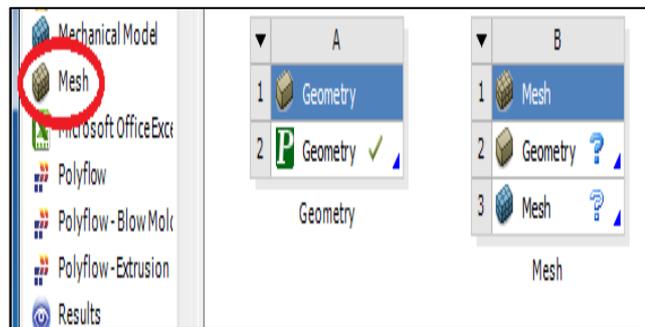


Figura 50. Crear un Mallado.

Luego se procede a vincular la geometría con el mallado: dar click sostenido sobre Geometry de la Tabla A y dirigirse a Geometry de la Tabla B soltando el click sobre la misma hasta que se observe una línea de vinculación tal como se muestra en la Figura 51.

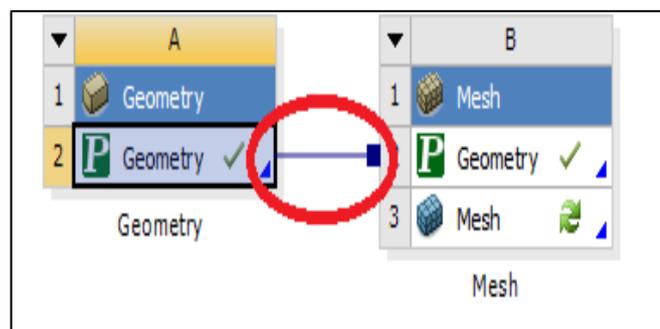


Figura 51. Vinculación de la geometría con el mallado.

Posteriormente dar doble click sobre Mesh, para lo cual el programa automáticamente reconocerá la geometría del sólido, mostrará una pantalla como se muestra en la Figura 52.

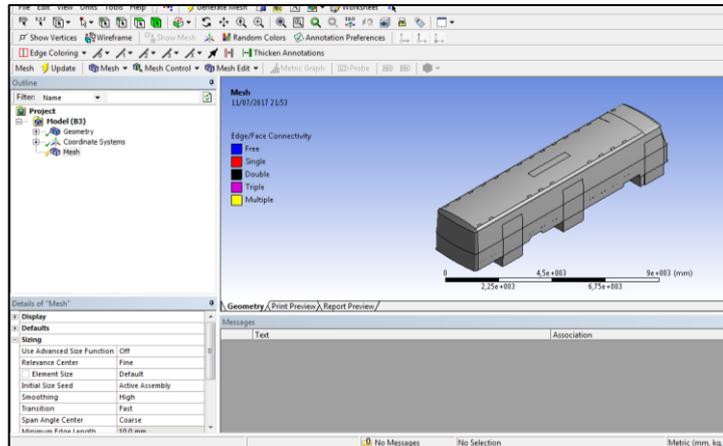


Figura 52. Programa de Meshing.

Para obtener un mallado de calidad, dar click sobre Mesh (Mesh), seleccionar Defaults (Predeterminado), cambiar la opción de Physics Preference (Preferencias físicas) en, también cambiar Relevance (Relevancia) a 100, esto permite hacer que la refinación del modelo sea mayor o menor, este valor varia de -100 a 100, luego se selecciona en Sizing (Tamaño), cambiar la opción de Relevance Center (Relevancia central), en Fine (Fina), la opción de relevancia permite controlar la finura de la malla para todo el modelo y así dar resultados más exactos, luego se configura la opción de Smoothing (suavizado) en High (alto) la cual permite mejorar la calidad del elemento haciéndolo uniforme, también se configura la opción Transition (transición) en slow (lento) esta opción mejora la transición de los elementos grandes y pequeños. Estas opciones se observan en la Figura 53.

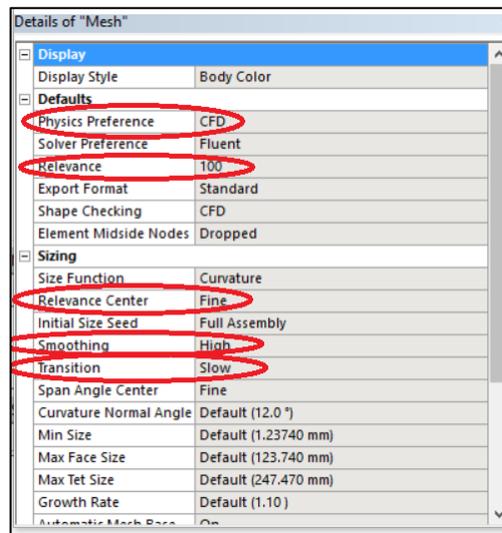


Figura 53. Detalles de la malla.

Para ingresar al programa CFD se debe determinar las diferentes secciones del habitáculo tales como: la salida del aire, las entradas del aire acondicionado, el techo, el vidrio, la carrocería, las puertas, el piso y el motor. Para esto se debe seleccionar la cara o caras que se van a determinar como secciones de análisis, ver en Figura 54, posteriormente dar click derecho sobre la cara o caras y seleccionar Create Named Selection (crear nueva sección), aparecerá una ventana (Figura 55) donde se permite dar un nombre a la sección, este procedimiento se debe repetir para cada elección que se genere.

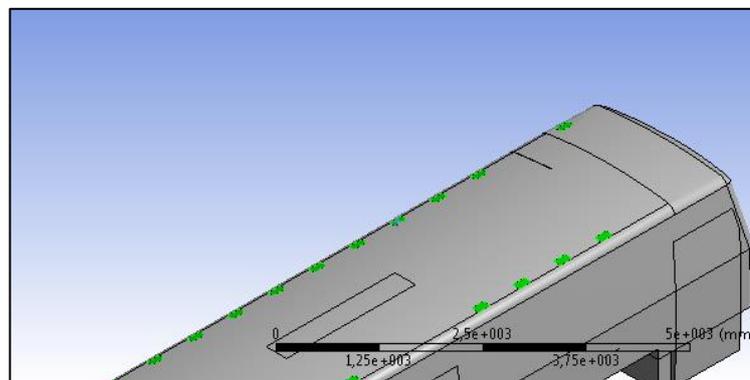


Figura 54. Selección de caras

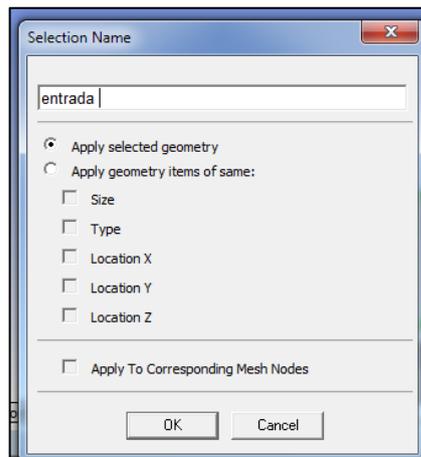


Figura 55. Cuadro de nombramiento de selecciones.

Una vez determinado todas las secciones se continúa con el mallado, dar click sobre Mesh y luego en la opción Update (actualizar) tal como se muestra en la Figura 56 y esperar hasta que termine de mallar.

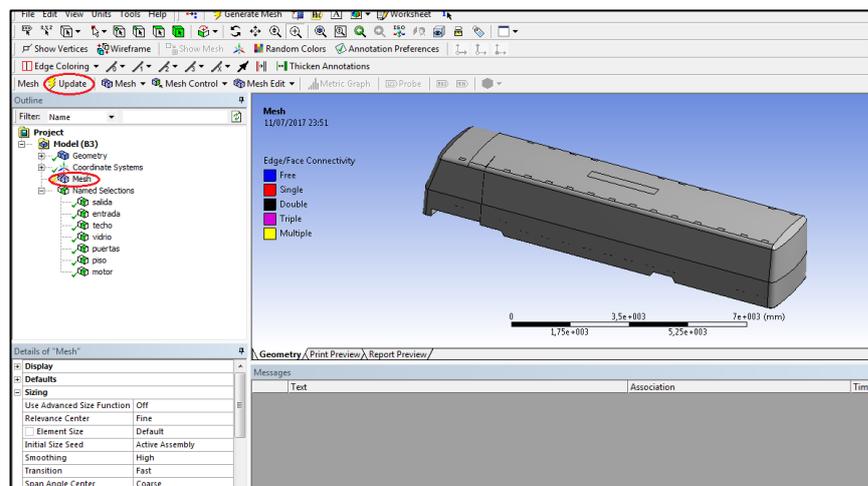


Figura 56. Mallado del sólido

Realizado el mallado se obtiene 191481 nodos y 1031201 elementos los cuales son aceptables, ya que al haber un número elevado de elementos la simulación tendrá un gran gasto computacional. El mallado y los datos obtenidos se observan en la Figura 57.

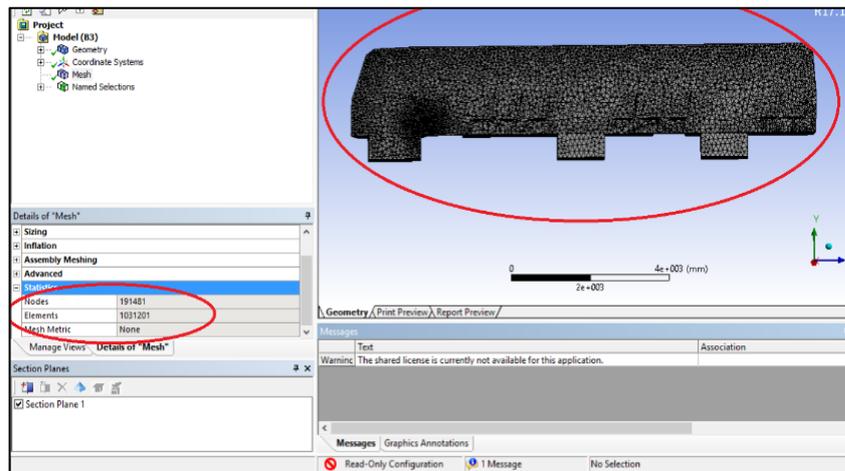


Figura 57. Corte del sólido y datos obtenido.

5.6.2. Introducción de datos de diseño

Con el mallado del sólido se procede al cálculo, para lo cual es necesario crear un Fluid Flow, el cual se encuentra en la barra izquierda de la ventana, click sobre Fluid Flow, y arrastrar hasta la pantalla de trabajo tal como se muestra en la Figura 58.

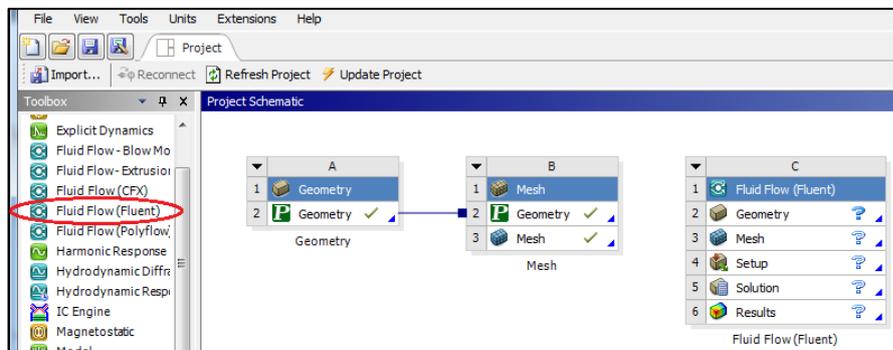


Figura 58. Crear un Fluid Flow.

Luego se vincula el mallado en CFD, al dar click sostenido sobre Mesh de la Tabla B y dirigir a Mesh de la Tabla C soltar el click sobre la misma y queda una línea de vinculación tal como se muestra en la Figura 59, luego actualizar los dos mallados (Mesh) dando click derecho sobre los dos en la opción Update (actualizar).

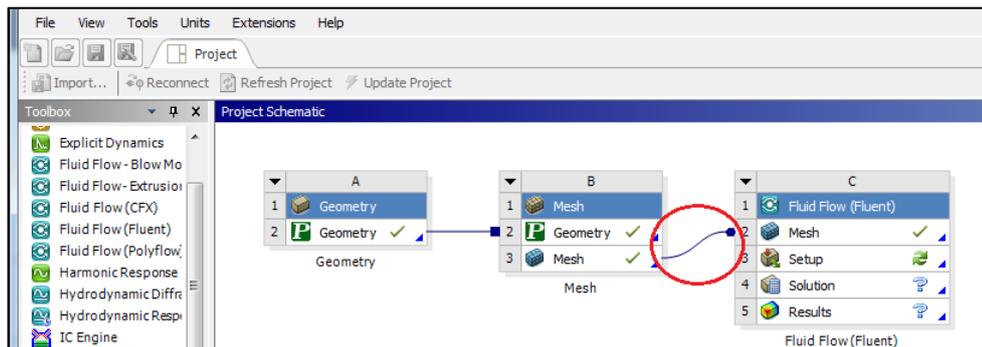


Figura 59. Vinculación de mallado para CFD.

Posteriormente dar doble click sobre setup (preparar), el programa automáticamente abrirá una ventana ver Figura 60, y dar click en OK.

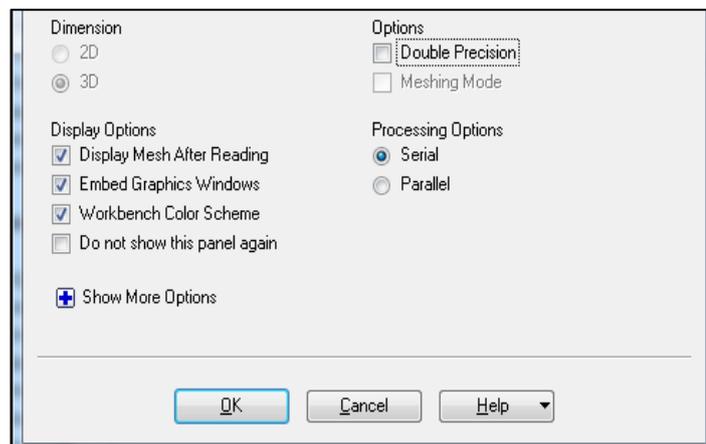


Figura 60. Ventana de setup.

General

Luego dar click en check (chequeo) esta opción permite analizar el mallado tal como se muestra la Figura 61.

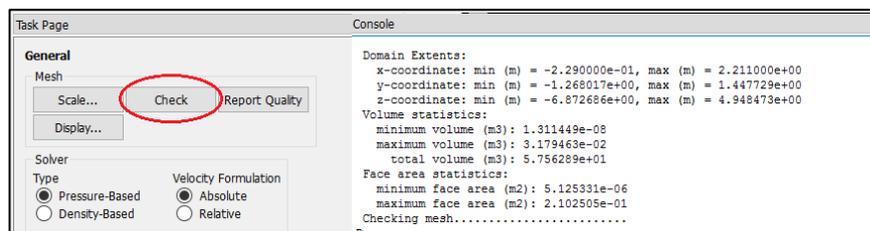


Figura 61. Chequeo del mallado.

Seleccionar la opción transiente (Transient) en el tiempo (Time) para poder posteriormente analizar los comportamientos en un tiempo determinado también se puede cambiar las unidades estas opciones se observan en la Figura 62.

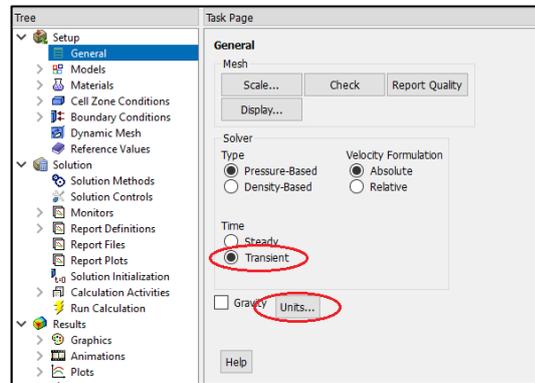


Figura 62. Generalidades.

Models (Modelos)

Luego activar en modelo la opción de Energy (Energía), la cual permitirá observar el comportamiento térmico del sólido tal como se muestra en la Figura 63.

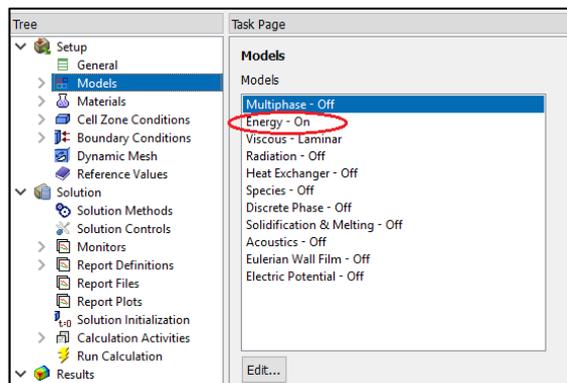


Figura 63. Activación de la opción energía.

Boundary Conditions (Condiciones de frontera)

Esta opción permite ingresar las condiciones de frontera para las secciones que se determinaron anteriormente. Con los datos obtenidos de temperatura de las Figura 30 – 31 y el coeficiente de transferencia de calor de la Tabla 23 se realiza la Tabla 39.

Tabla 39.

Resumen de temperaturas y coeficientes de transferencia de calor.

Frontera	Temperatura °C	Coficiente de Transferencia de Calor
Asientos Laterales (Carrocería)	37,2	26.2
Piso	37,2	128
Techo	35,93	0.22
Vidrio (Ventanas y puertas)	35,03	0.59
Cubierta de Motor	37,08	0.08

Para ingresar los datos se debe dar click en todas las zonas e ingresar los datos tal como se muestra en la Figura 64.

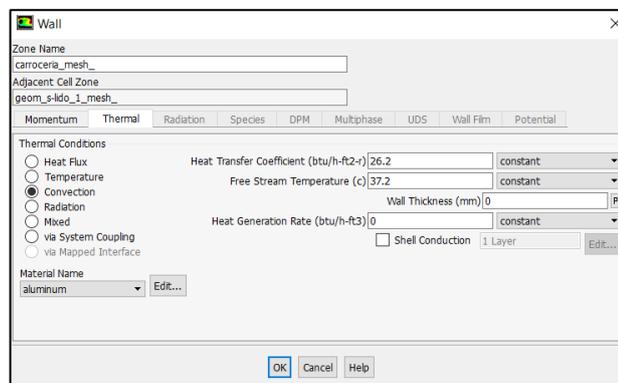


Figura 64. Cuadro de ingreso de datos.

El ingreso de la magnitud de velocidad se lo realiza con el valor calculado en el apartado 5.3, como se muestra en la Figura 65.

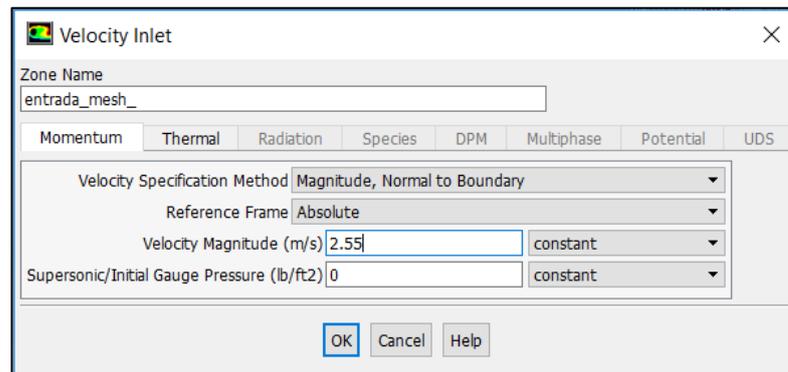


Figura 65. Ingreso de la velocidad de entrada.

Luego de ingresar todos los datos se procede a calcular con determinados tiempos de simulación, por ejemplo, un tiempo de 10 segundos, para lo cual se debe ingresar los siguientes datos como se muestra en la Figura 66.

Para obtener de 10 segundos de simulación se debe considerar el Time Step Size (Tamaño de pasos de tiempo), conjuntamente con el Number of time Steps (Número de pasos de tiempo).

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de simulación (s)} &= \text{Time step size (s)} * \text{Time steps} \\ 10 &= 0.01 * 1000 \end{aligned}$$

En el caso de que se muestre error por divergencia es recomendable disminuir el Time Step Size y aumentar el Number of Time Steps. Esto se debe a que; si el periodo de tiempo es muy grande, los resultados no encuentran coherencia el uno del otro, ya que puede existir un cambio brusco del comportamiento del fluido.

El ingreso de Max Iterations/Time Step, son el número de cálculos repetitivos que se realiza para cada step, es decir en cuanto mayor sea este valor, el resultado tiene alto nivel de confiabilidad. Reporting Interval, son los reportes que ofrece la consola, para cada intervalo. Profile Update Interval, son las actualizaciones para cada intervalo.

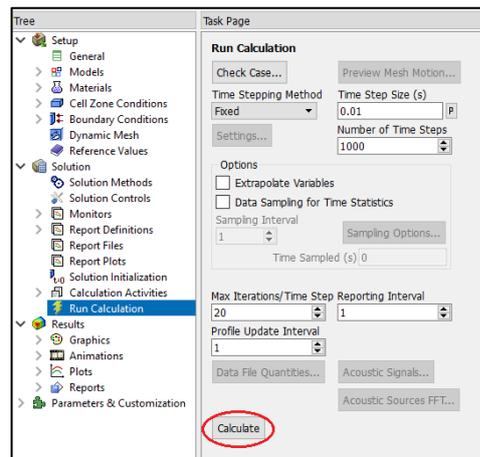


Figura 66. Ventana de ingreso de datos y ejecución del programa.

La Tabla 40 indica el número de intervalos de tiempo que se utilizó para el análisis del comportamiento del fluido de aire en el interior del autobús haciendo referencia Time Step Size (Tamaño de pasos de tiempo), el Number of time Steps (Número de pasos de tiempo), el tiempo de simulación y la sumatoria de los tiempos.

Tabla 40.

Intervalos de tiempo para el análisis.

Time Step Size (s)	Time steps	Tiempo de simulación (s)	Suma de tiempos (s)
0.01	1000	10	10
0.03	1000	30	40
0.03	1000	30	70
0.03	1000	30	100
0.03	1000	30	130

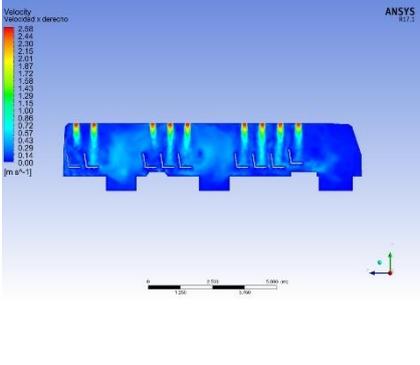
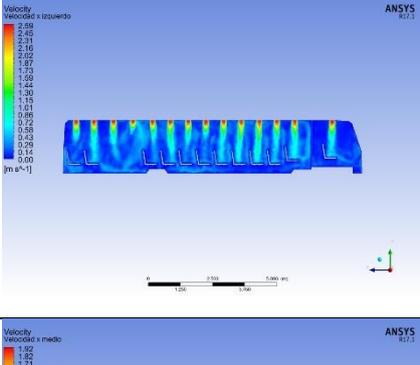
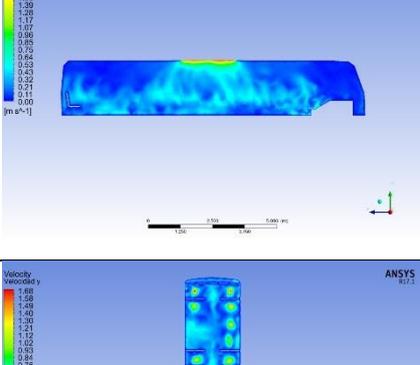
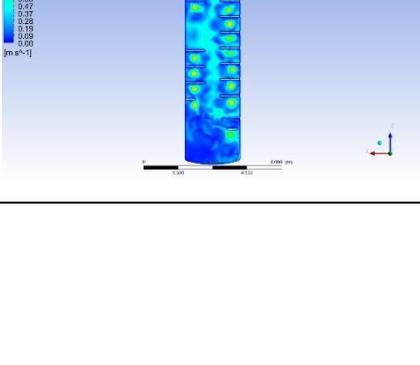
5.6.3. Análisis de las figuras de velocidad en los diferentes tiempos

Las siguientes tablas de velocidad se detalla 5 cortes los cuales facilitan la visualización del comportamiento del flujo de aire, en el plano YZ están hechos tres cortes los cuales son en el lado derecho, izquierdo y medio del

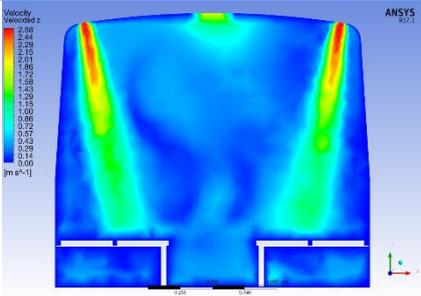
habitáculo del autobús urbano, en el plano XZ es el que se encuentra paralelo al piso y el plano XY es un corte en la mitad del autobús.

Tabla 41.

Velocidad del interior del bus a los 10 segundos.

Corte	Imagen	Velocidad	
Derecho en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	2.58
		Velocidad min	0.00
Izquierdo en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	2.59
		Velocidad min	0.00
Medio en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	1.92
		Velocidad min	0.00
Plano XZ			m/s
		Velocidad max	1.68
		Velocidad min	0.00

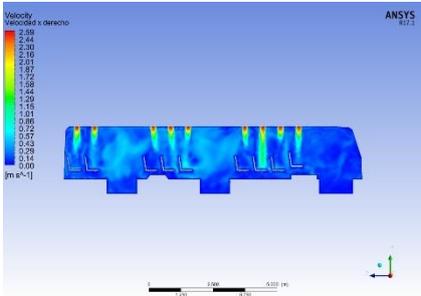
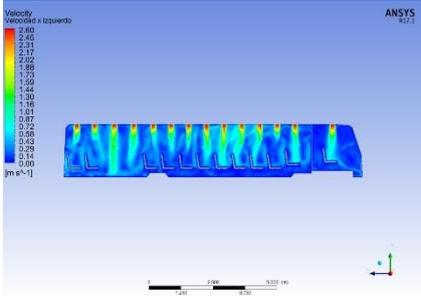
CONTINÚA 

Plano XY			m/s
		Velocidad max	2.58
		Velocidad min	0.00

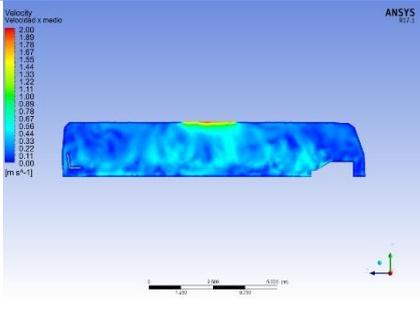
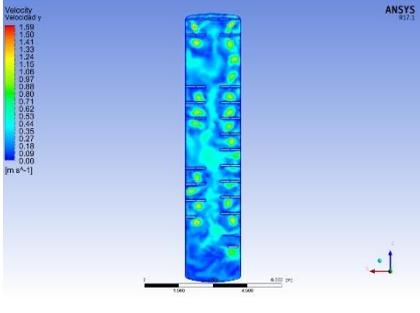
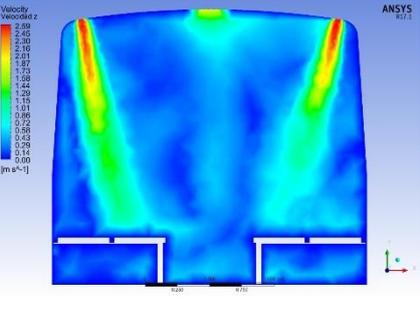
En la Tabla 41 del corte medio en el plano YZ se obtiene la velocidad máxima de 1.92 m/s en el extractor de aire, en la mayoría de imágenes las velocidades tienen el mismo valor de la entrada de fluido, el corte del plano XZ que se encuentra paralelo al piso tiene una velocidad máxima de 1.68 m/s.

Tabla 42.

Velocidad del interior del bus a los 40 segundos.

Corte	Imagen	Velocidad	
			m/s
Derecho en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	2.59
		Velocidad min	0.00
Izquierdo en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	2.60
		Velocidad min	0.00

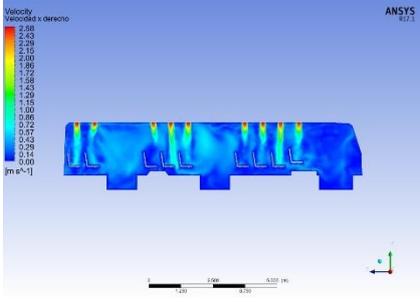
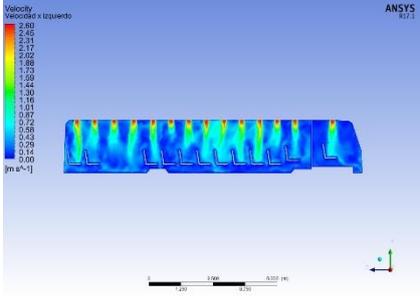
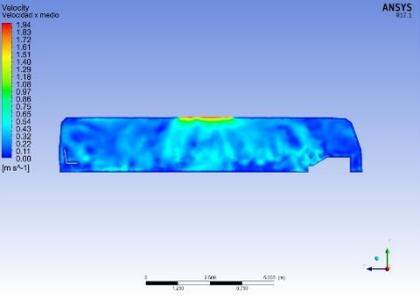
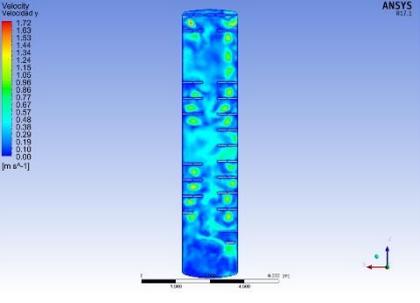
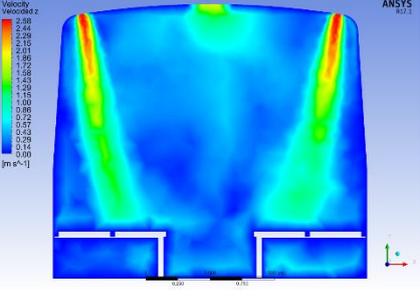
CONTINÚA 

Medio en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	2.00
		Velocidad min	0.00
Plano XZ			m/s
		Velocidad max	1.59
		Velocidad min	0.00
Plano XY			m/s
		Velocidad max	2.59
		Velocidad min	0.00

En la Tabla 42 se observa que el flujo de aire es turbulento con una velocidad máxima de 2.00 m/s en el corte medio en el plano YZ, en el corte derecho del plano YZ se observa que el flujo de aire en las entradas de fluido está de un tono azulado, esto quiere decir, que la velocidad se acerca a la mínima, en el corte del Plano XZ se obtiene una velocidad máxima de 1.59 m/s.

Tabla 43.

Velocidad del interior del bus a los 70 segundos.

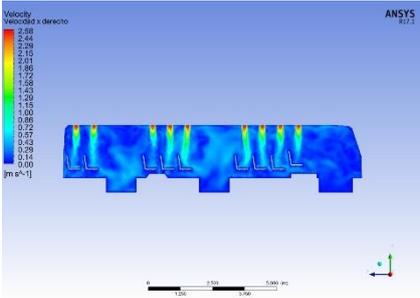
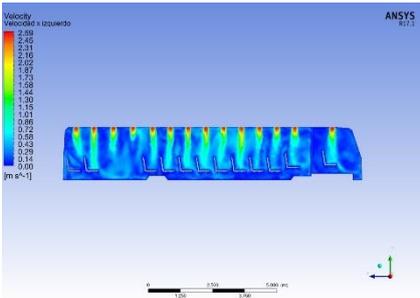
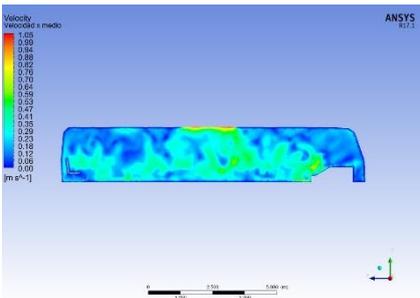
Corte	Imagen	Velocidad	
Derecho en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	2.58
		Velocidad min	0.00
Izquierdo en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	2.60
		Velocidad min	0.00
Medio en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	1.94
		Velocidad min	0.00
Plano XZ			m/s
		Velocidad max	1.72
		Velocidad min	0.00
Plano XY			m/s
		Velocidad max	2.58
		Velocidad min	0.00

CONTINÚA 

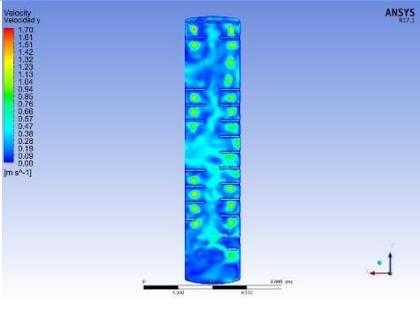
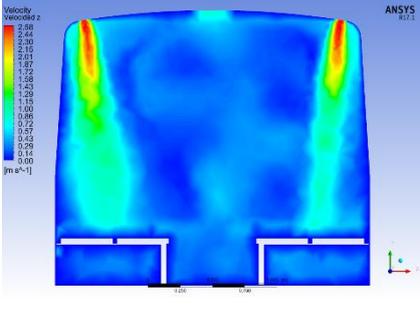
El comportamiento del flujo en la Tabla 43 es muy semejante al de la Tabla 42 ya que los parámetros de funcionamiento permanecen constantes, en el corte medio del Plano YZ, da una velocidad máxima de 1.94 m/s, en el corte de la izquierda en el plano YZ se encuentra la zona de trabajo del conductor con una velocidad máxima de 2.60 m/s, en el corte del Plano XZ tiene una velocidad máxima de 1.72 m/s.

Tabla 44.

Velocidad del interior a los 100 segundos con las puertas abiertas.

Corte	Imagen	Velocidad	
Derecho en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	2.58
		Velocidad min	0.00
Izquierdo en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	2.59
		Velocidad min	0.00
Medio en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	1.05
		Velocidad min	0.00

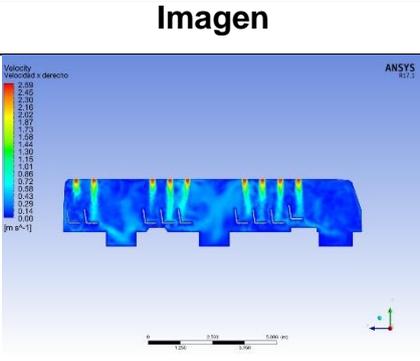
CONTINÚA 

Plano XZ			m/s
		Velocidad max	1.70
		Velocidad min	0.00
Plano XY			m/s
		Velocidad max	2.58
		Velocidad min	0.00

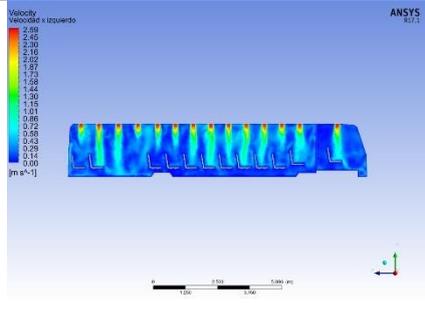
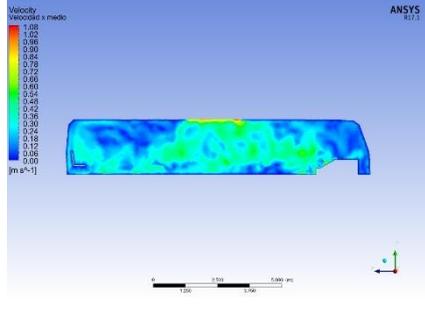
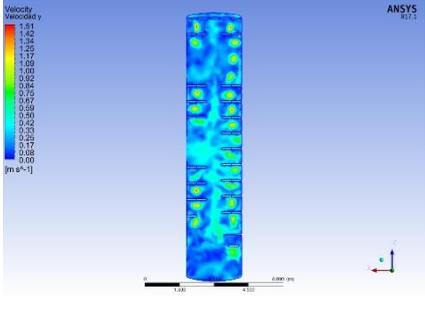
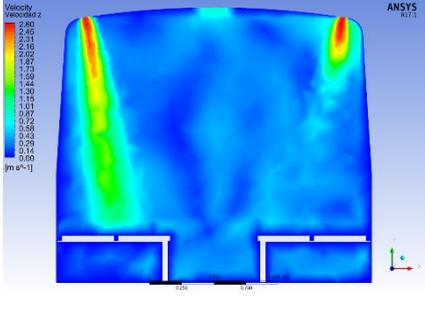
En la Tabla 44 se observó que las puertas se encuentran abiertas, las cuales hacen que haya un flujo de aire. En el corte del Plano XZ observamos que hay un incremento de velocidad en las entradas; esto significa que hay un flujo de aire hacia el exterior del autobús con una velocidad máxima en el Plano XZ de 1.70 m/s, además se observa que el flujo de aire en la puerta delantera es menor que las otras dos puertas, en el corte del Plano YZ tiene una velocidad máxima de 1.05 m/s, este valor disminuyó en comparación del tiempo anterior.

Tabla 45.

Velocidad del interior a los 130 segundos con las puertas abiertas.

Corte	Imagen	Velocidad	
Derecho en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	2.59
		Velocidad min	0.00

CONTINÚA 

Izquierdo en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	2.59
		Velocidad min	0.00
Medio en el plano YZ			m/s
		Velocidad max	1.08
		Velocidad min	0.00
Plano XZ			m/s
		Velocidad max	1.51
		Velocidad min	0.00
Plano XY			m/s
		Velocidad max	2.60
		Velocidad min	0.00

La Tabla 45, con respecto al comportamiento del flujo, es semejante a la Tabla 44, en el corte del Plano XZ observamos que hay una velocidad semejante en las entradas esto significa que hay un flujo de aire hacia el exterior de autobús con una velocidad máxima del plano de 1.51 m/s, esto significa que entre mayor tiempo este abierta la puerta habrá un mayor intercambio de aire, también se observa que el flujo de aire en la puerta delantera sigue menor que el de las otras dos puertas. En el corte medio del Plano YZ se observa una velocidad máxima de 1.08m/s.

Análisis de los cortes en cada plano, con respecto a la velocidad y el tiempo

Los cortes con mayor relevancia en los comentarios anteriores fueron el corte medio del Plano YZ y el corte del Plano XZ, por lo cual se realizará un análisis con las velocidades máximas de los mismos.

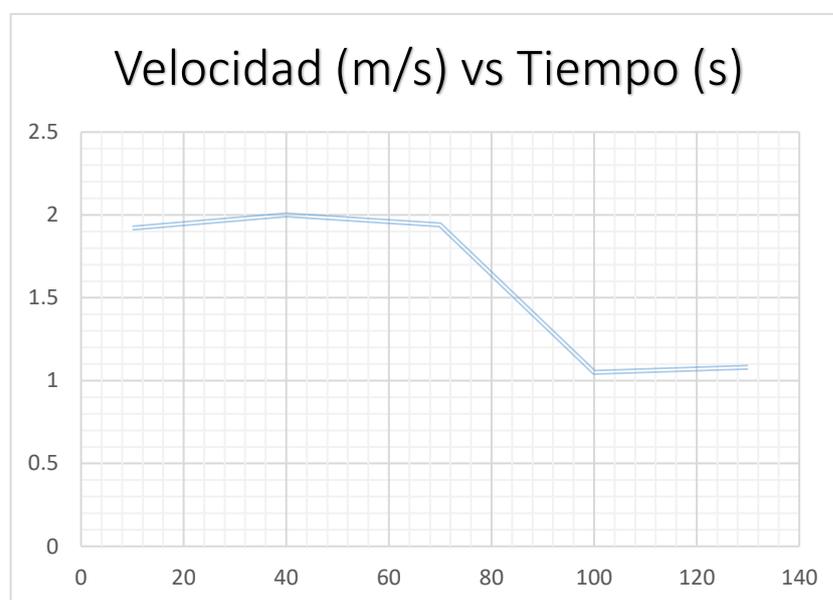


Figura 67. Velocidades en el corte medio del Plano YZ.

La Figura 67 muestra que en el corte del Plano YZ se observa que la velocidad máxima en el transcurso de 10s a 70s, no existe variación considerable, este valor fluctúa de 1.8 a 2.0 m/s. Al abrir las puertas se evidencia que la velocidad desciende a 1.1 m/s, debido a que se transforma de ser un sistema cerrado a abierto.

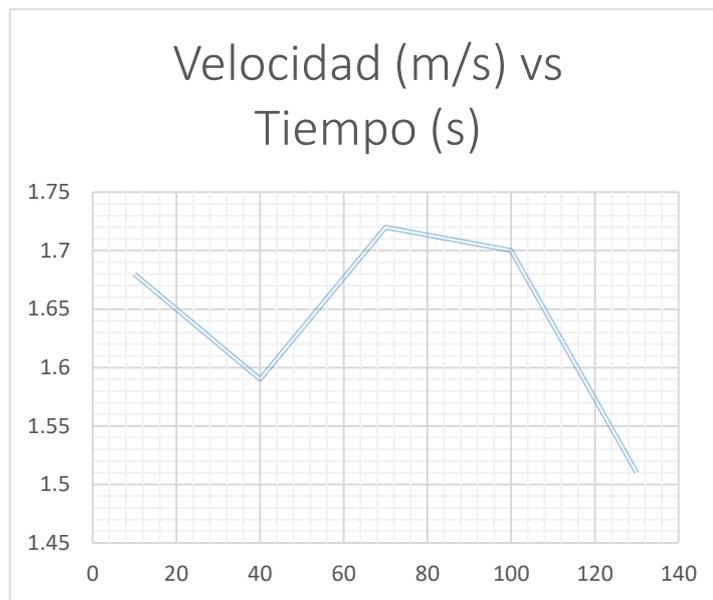


Figura 68. Velocidades en el corte del Plano XZ.

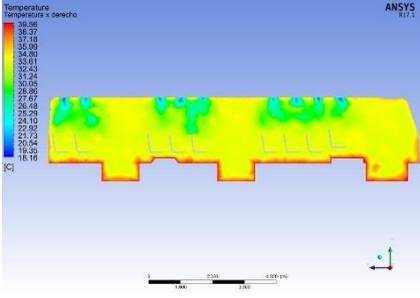
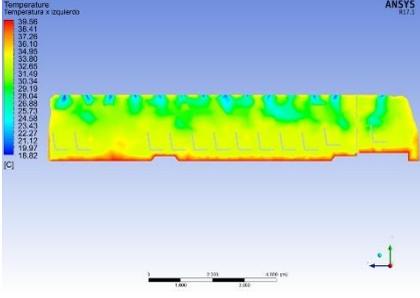
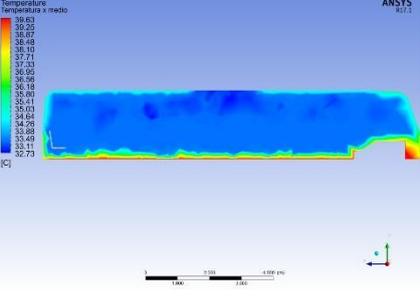
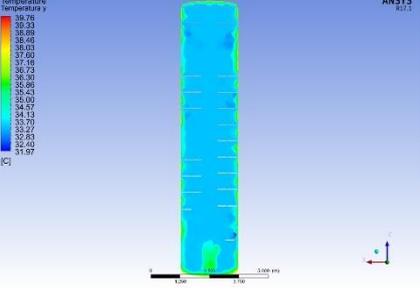
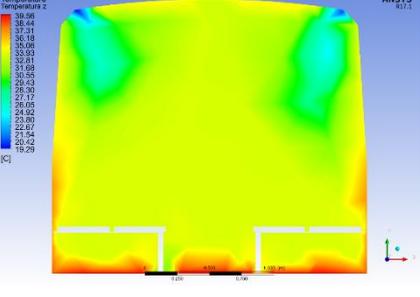
En la Figura 68 se toma en cuenta los valores máximos de temperatura en el corte del plano XZ, debido a que está paralelo al piso, con una equidistancia de 70 cm, lo cual nos permite apreciar cada una de las zonas de los usuarios, tales como el pasillo, los asientos y cabina de conducción. Pudiendo observar que la variación de velocidad de flujo de aire máximo varía de 1.72 m/s a 1.51 m/s.

5.6.4. Análisis de las figuras de temperatura en los diferentes tiempos

Las siguientes tablas de temperatura describen cinco cortes los cuales facilitan la visualización del comportamiento térmico, en el plano YZ están hechos tres cortes los cuales son en el lado derecho, izquierdo y medio del habitáculo del autobús urbano, el plano XZ es el que se encuentra paralelo al piso y el plano XY es un corte en la mitad del autobús. La temperatura interna del autobús es de 92°F o 33.33°C esta temperatura se tomó como inicio de la refrigeración del autobús y poder observar los cambios de temperatura.

Tabla 46.

Temperatura del interior del bus a los 10 segundos.

Corte	Imagen	Temperatura	
			°C
Derecho en el plano YZ		Temperatura max	39.56
		Temperatura min	18.16
Izquierdo en el plano YZ		Temperatura max	39.56
		Temperatura min	18.82
Medio en el plano YZ		Temperatura max	39.63
		Temperatura min	32.73
Plano XZ		Temperatura max	39.78
		Temperatura min	31.97
Plano XY		Temperatura max	39.56
		Temperatura min	19.29

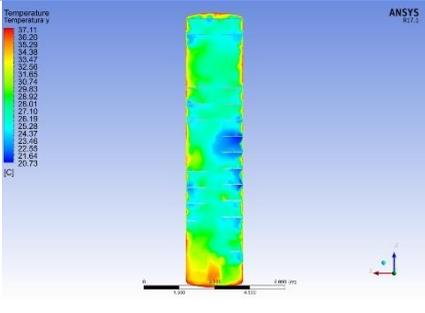
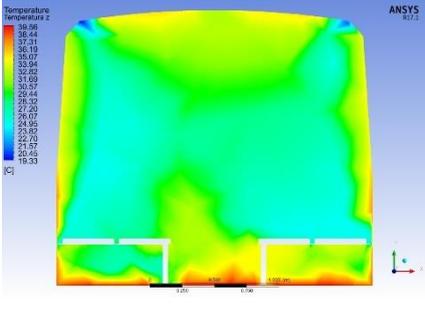
En la Tabla 46, se puede observar que las temperaturas son muy altas sobre todo en la imagen del Plano XZ, esta imagen muestra un corte paralelo al piso del autobús su temperatura mínima es de 31.97, también se observa que en el plano XY las entradas de aire hacen ingresar uniformemente el aire acondicionado al interior del autobús.

Tabla 47.

Temperatura del interior del bus a los 40 segundos.

Corte	Imagen	Temperatura	
			°C
Derecho en el plano YZ		Temperatura max	39.56
		Temperatura min	18.39
Izquierdo en el plano YZ		Temperatura max	39.56
		Temperatura min	18.87
Medio en el plano YZ		Temperatura max	39.60
		Temperatura min	25.22

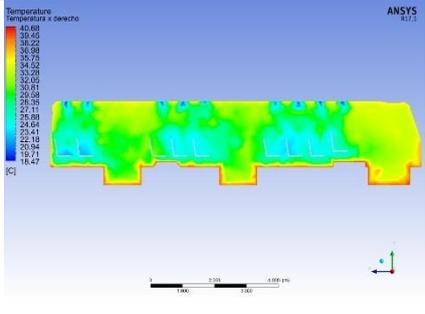
CONTINUÁ

Plano XZ			°C
		Temperatura max	37.11
		Temperatura min	20,73
Plano XY			°C
		Temperatura max	39.56
		Temperatura min	19.33

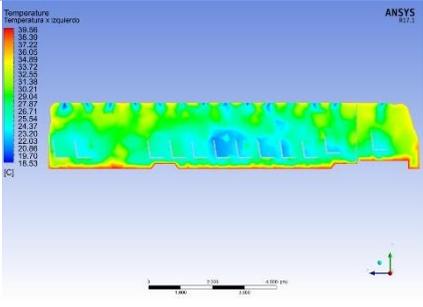
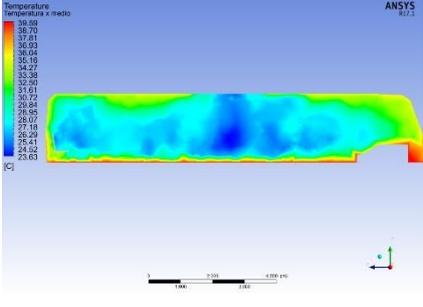
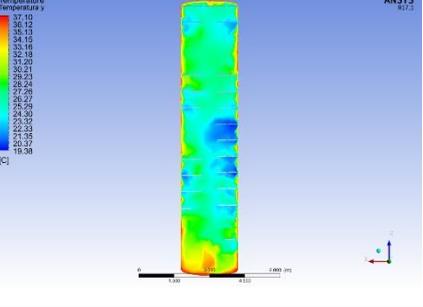
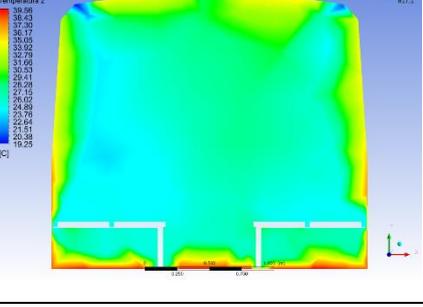
La Tabla 47, es una recopilación de datos del software después de 40 s, del comportamiento térmico del autobús. En el corte medio del Plano YZ se tiene una temperatura mínima de 25.22 °C, que es confortable con el usuario, ya que la temperatura interna descendió considerablemente, también se observa que en la entrada y salidas de los pasajeros la temperatura es superior a las otras zonas con un color amarillento, esto indica que el intercambio de calor es mínimo por lo cual al abrir las puertas no habrá una excesiva pérdida de energía.

Tabla 48.

Temperatura del interior del bus a los 70 segundos.

Corte	Imagen	Temperatura	
Derecho en el plano YZ			°C
		Temperatura max	40.68
		Temperatura min	18.47

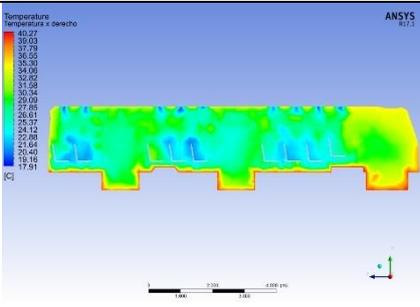
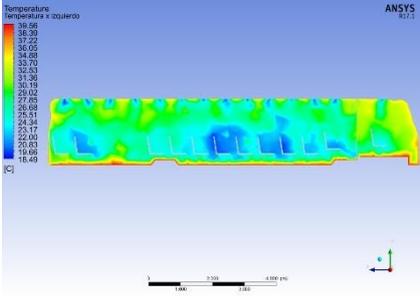
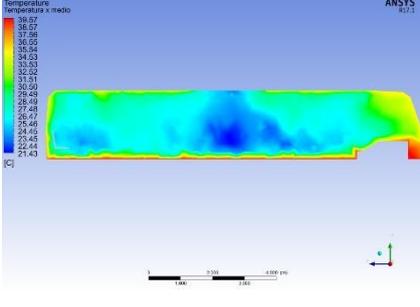
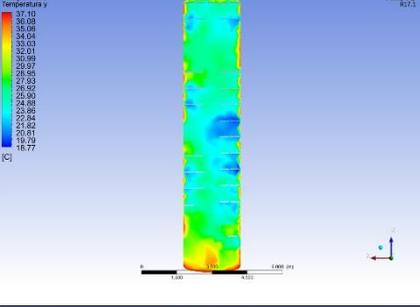
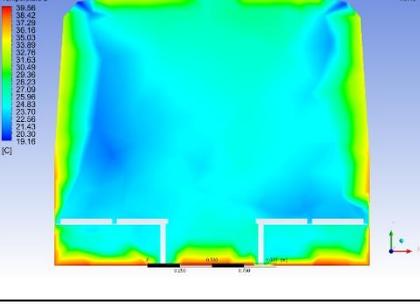
CONTINÚA 

Izquierdo en el plano YZ			°C
		Temperatura max	39.56
		Temperatura min	18.53
Medio en el plano YZ			°C
		Temperatura max	39.59
		Temperatura min	23.63
Plano XZ			°C
		Temperatura max	37.10
		Temperatura min	19.38
Plano XY			°C
		Temperatura max	39.56
		Temperatura min	19.25

En la Tabla 48 se observa que la temperatura es constante en el interior del autobús, esta temperatura es ideal para el confort de los usuarios, en el plano XZ se ve que la temperatura mínima es de 19.38 °C y en la zona de las puertas del autobús la temperatura es alta, en el plano YZ en el corte derecho se observa con mayor claridad la temperatura de las puertas con un color verde y amarillo.

Tabla 49.

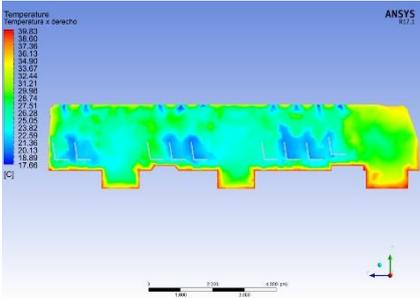
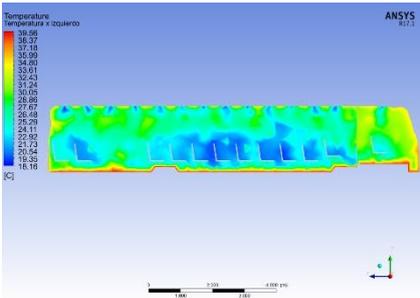
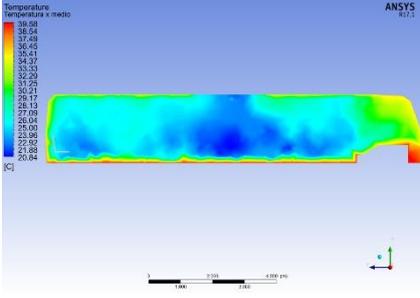
Temperatura del interior a los 100 segundos con las puertas abiertas.

Corte	Imagen	Temperatura	
			°C
Derecho en el plano YZ		Temperatura max	40.27
		Temperatura min	17.91
Izquierdo en el plano YZ		Temperatura max	39.56
		Temperatura min	18.49
Medio en el plano YZ		Temperatura max	39.57
		Temperatura min	21.43
Plano XZ		Temperatura max	37.10
		Temperatura min	18.77
Plano XY		Temperatura max	39.56
		Temperatura min	19.16

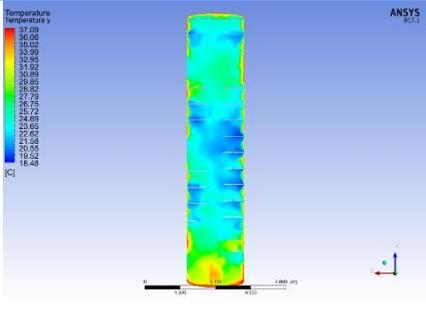
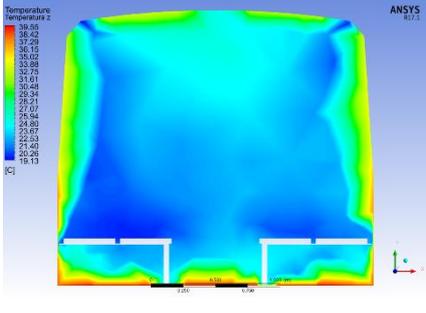
En la Tabla 49, en el plano XZ se observa que al abrir las puertas la disminución de temperatura es mínima ya que los conductos de aire no se encuentran en dichos accesos con una temperatura mínima de 18.77 °C en el plano.

Tabla 50.

Temperatura del interior a los 130 segundos con las puertas abiertas.

Corte	Imagen	Temperatura	
			°C
Derecho en el plano YZ		Temperatura max	39.83
		Temperatura min	17.66
Izquierdo en el plano YZ		Temperatura max	39.56
		Temperatura min	18.16
Medio en el plano YZ		Temperatura max	39.58
		Temperatura min	20.84

CONTINÚA 

Plano XZ			°C
		Temperatura max	37.09
		Temperatura min	18.48
Plano XY			°C
		Temperatura max	39.55
		Temperatura min	19.13

En la Tabla 50 se tabula los datos de un minuto, abierto la puerta, las variaciones son mínimas en el corte del plano XZ con una temperatura mínima de 18.48 °C ya que los conductos de aire se encuentran en una distribución óptima para que haya la menor pérdida de energía.

Análisis de los cortes con respecto a la Temperatura y el Tiempo

El corte con mayor relevancia en los comentarios anteriores fueron el corte del Plano XZ, por lo cual se realiza un análisis con las temperaturas mínimas de los mismos.

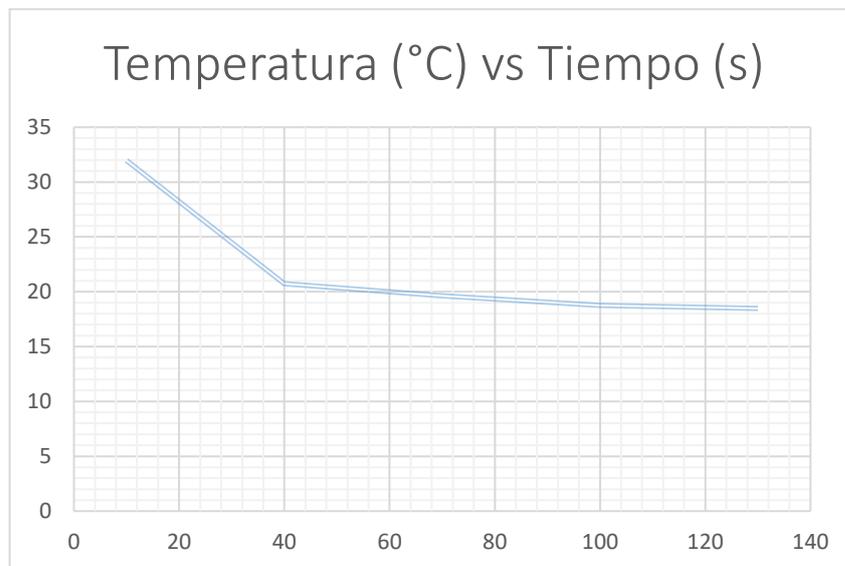


Figura 69. Temperaturas en el corte medio del Plano YZ.

La Figura 69 toma en cuenta el valor mínimo de temperatura en el corte del plano XZ, debido a que está paralelo al piso, con una equidistancia de 70 cm, lo cual permite apreciar cada una de las zonas de los usuarios, tales como el pasillo, los asientos y cabina de conducción, Pudiendo observar que la variación de temperatura es pequeña, después de los 40 s con una variación de 20.73 °C a 18.48°C.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se cumplieron con los análisis dinámicos y del comportamiento térmico del habitáculo de la carrocería de la empresa “Santacruz” bajo los preceptos y estándares de calidad como lo determina las normativas para la selección e implementación del equipo de aire acondicionado.
- Se estableció que en la industria carrocera del país no se utiliza las normas para el confort térmico de los usuarios de buses de transporte urbano.
- Se determinó que para construir una carrocería con optimización en el comportamiento térmico del habitáculo es necesario utilizar las normas ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).
- El análisis del habitáculo de acuerdo a las mediciones realizadas determina que se encuentra en un ambiente no confortable, debido a que se presenta una temperatura máxima de 34,2 °C, Humedad Relativa máxima de 87% y Velocidad mínima del aire de 0 m/s.
- A través del modelado CAD, se determinó el modelo de la carrocería del autobús, en donde, el porcentaje de área de cada material de construcción, con respecto al área total es: láminas de acero 37.21%, vidrio 27.97%, aluminio 16.72%, acrílico 17.01% y alfombra 1.09%.
- Los cálculos establecieron la capacidad de refrigeración de 88371.04 BTU/h la cual permitió seleccionar el equipo de aire acondicionado

SONGZ (SCZ-VI-D) cuya capacidad estándar es de 122859.00 BTU/h, satisfaciendo el valor requerido.

- El diseño expuesto proporciona acondicionamiento de aire óptimo y efectivo, debido a la apropiada distribución de las 23 salidas de flujo refrigerante, las cuales 20 fueron colocadas con una distancia de 49 cm de separación en la parte superior de cada una de las parejas de asientos, para la zona de discapacitados con separación de 56 cm y una sobre el área del conductor.
- En el estudio detallado de los tiempos de simulación en CFD, se estableció que a los 130 segundos el habitáculo se encuentra dentro de los parámetros de confort, ya que se puede observar que en el corte del Plano XZ se presentan colores azulados y verdosos que indican un rango de temperatura de 22 a 26 °C.
- El estudio en CFD es válido ya que de acuerdo a los factores de confort térmico que se define en la norma ASHRAE, la temperatura es de 74 °F (23.33 °C), lo que se pudo obtener a los 130 segundos de simulación con un rango de temperatura en el habitáculo de 22 °C a 26°C.

RECOMENDACIONES

- El tiempo de apertura de las puertas del bus se debe realizar únicamente cuando el vehículo esté detenido debido a que puede existir pérdida de aire refrigerado, constituyendo así un problema para el funcionamiento eficaz del sistema de aire acondicionado.
- Se debería minimizar el uso de pintura negra en las superficies de determinados componentes del habitáculo de esta manera disminuirá

el aporte de calor, debido a que los cuerpos negros absorben toda la luz y energía radiante que incide sobre ellos.

- Diseñar y construir las carrocerías de buses urbanos, ubicando el motor en la parte posterior, según lo establecido en la norma NTE INEN 2205:2010, lo cual permite disminuir la carga térmica en la zona de trabajo del conductor.
- Implementar un sistema de cortinas de aire en las puertas de acceso, con el fin de evitar que exista pérdida de aire tratado desde el habitáculo del autobús.
- Las distancias entre cada entrada de aire deben ser respetadas, en cuanto se refiere a este modelo de carrocería, ya que puede existir saturación o deficiencia de aire tratado en determinadas zonas del habitáculo.
- La canastilla extractora de aire del habitáculo, debe estar localizada simétricamente en el centro del techo, para que se puede extraer la mayor cantidad de aire del interior del bus.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 2205, N. I. (2010). *Vehículos automotores. Bus urbano. Requisitos*. Quito: First Edition.
- ABC. (2012) *Definición abc*. Recuperado el 20 de Junio de 2017. Obtenido de Definición ABC: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/aire-acondicionado.php>.
- ANSYS. (2010). En *Introduction to ANSYS FLUENT*.
- ASHRAE. (1972). *ASHRAE HANDBOOK OF FUNDAMENTALS*. Wisconsin: Printed and Bound by George Banta Co. Inc .
- ASHRAE. (2007). *Handbook HVAC Application*.
- astromia.com*. (2011). Recuperado el 24 de Mayo de 2017. Obtenido de *astromia.com*: <http://www.astromia.com/glosario/higrometro.htm>.
- Ayala, C., & Montenegro, E. (2010). *Diseño del sistema de aire acondicionado para un bus tipo turismo*. Quito: EPN.
- B.V.Karlekar, & R.M.Desmond. (1995). *Transferencia de calor*. Mexico: McGRAW-HILL.
- Boyce, D. (2000). *Calefacción y Aire Acondicionado para Turismo* . España: Paraninfo.
- CARRIER. (2012). *Manual de Aire Acondicionado*. Barcelona: Marcombo SA.
- OMEGA. (2008). Recuperado el 24 de Mayo de 2017. Obtenido de *omega*: <http://es.omega.com/prodinfo/camaratermografica.html>.
- OMEGA. (2008). Recuperado el 24 de Mayo de 2017. Obtenido de *es.omega.com*: <http://es.omega.com/prodinfo/anemometros.html>.
- Fanger, P. O. (1982). *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. R.E. Krieger Publishing Company.
- GEA. (2010). *gea*. Recuperado el 24 de Julio de 2017. Obtenido de *gea*: <http://www.gea.com/en/index.html>.
- Guasch, J. (2007). Confort Térmico. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, 99.

- Holman, J. P. (1998). *Transferencia de Calor*. España: Mc Graw Hill.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Mexico: Pearson Edicacion.
- MIJAHILI, C. D. (2016). *Cálculo de la Capacidad de los Equipos Acondicionadores de Aire para un Autobús de Pasajeros de uso Turístico*. AZCAPOTZALCO: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.
- Politécnica, S. (2011). *Manual de Supervivencia Politécnica*. Recuperado el 28 de junio de 2017. Obtenido de <http://supervivenciapolitecnica.blogspot.com/p/como-llegar.html>.
- Soler&Palau Ventilation Group. (2015). *Hojas técnicas*. México.
- songz-international*. (2012). Recuperado el 18 de Julio de 2017. Obtenido de www.songz-international.com: http://www.songz-international.com/pro_show.aspx?PID=5&T=1.
- wikipedia.org*. (2002). Recuperado el 20 de Junio de 2017. Obtenido de [wikipedia](https://es.wikipedia.org/wiki/Deshumidificador): <https://es.wikipedia.org/wiki/Deshumidificador>.
- wikispaces*. (2009). Recuperado el 20 de Junio de 2017. Obtenido de [procesosbio.wikispaces](http://procesosbio.wikispaces.com): <http://procesosbio.wikispaces.com/Carta+Psicrom%C3%A9trica>.

ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

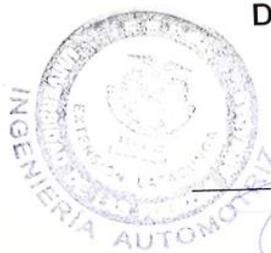
Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores:
**CRISTIAN LEANDRO GONZÁLEZ JURADO y KEVIN PATRICIO
RODRÍGUEZ FUENTES.**

En la ciudad de Latacunga, a los **3 días del mes de agosto de 2017.**



Ing. Guido Torres

DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Freddy Jaramillo

SECRETARIO ACADÉMICO

Aprobado por