

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

Cristian González Jurado  
Kevin Rodríguez Fuentes



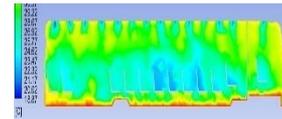
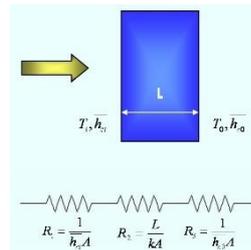
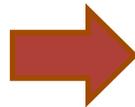
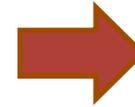
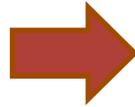
# CONTENIDO

- **Introducción y Justificación**
- Objetivos
- Fundamentos
- Mediciones
- Cálculos y Selección A/C
- Distribución de ductos y Simulaciones
- Conclusiones y Recomendaciones



# INTRODUCCIÓN

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.



# ***JUSTIFICACIÓN***

Las características ambientales como la velocidad del aire, 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 la unidad estará expuesta.



# CONTENIDO

- Introducción y Justificación
- **Objetivos**
- Fundamentos
- Mediciones
- Cálculos y Selección A/C
- Distribución de ductos y Simulaciones
- Conclusiones y Recomendaciones



# OBJETIVOS

## 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”.

## 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.

# OBJETIVOS

## Objetivos específicos

- 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.

# CONTENIDO

- Introducción y Justificación
- Objetivos
- **Fundamentos**
- Mediciones
- Cálculos y Selección A/C
- Distribución de ductos y Simulaciones
- Conclusiones y Recomendaciones



# 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.
- Velocidad del aire.



# Parámetros de tolerancia

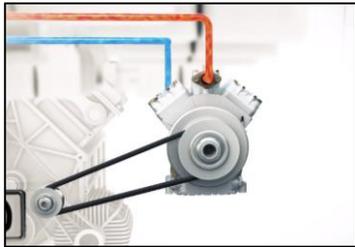
Parámetro	Intervalo
Temperatura de operación	22 a 27 °C (71,6 a 80,6 °F)
Velocidad media del aire interior	0,25 a 0,5 m/s
Humedad relativa	40 a 60 %



# 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”

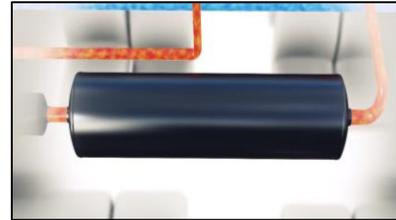
**Compresor**



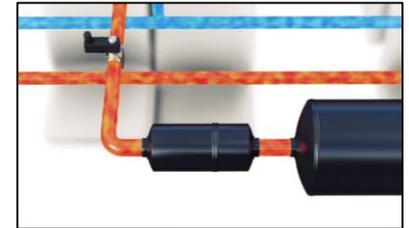
**Condensador**



**Colector de refrigerante**



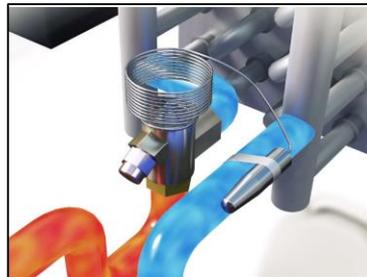
**Secador con filtro**



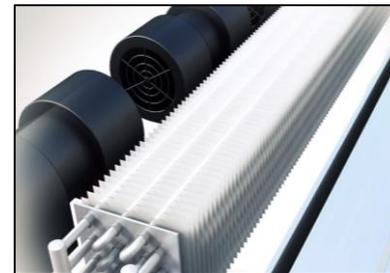
**. Válvula de solenoide**



**Válvula de expansión**



**Evaporador**



**Ventilador**



# CONTENIDO

- Introducción y Justificación
- Objetivos
- Fundamentos
- **Mediciones**
- Cálculos y Selección A/C
- Distribución de ductos y Simulaciones
- Conclusiones y Recomendaciones



# MEDICIONES

## 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.



# MEDICIONES

## Períodos

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

## Mediciones Térmicas



## Mediciones Higrométricas y de Temperatura



## Mediciones de velocidad del aire

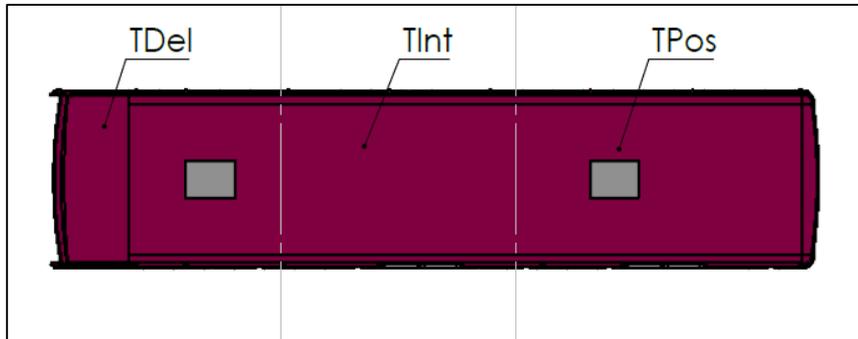


# Distribución

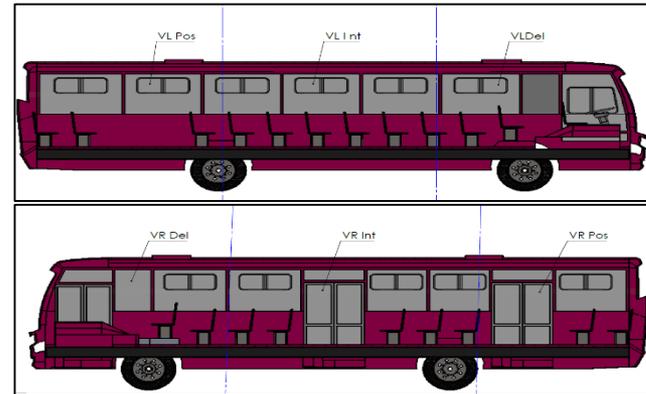
**Esquema de distribución de zonas de los asientos.**



**Esquema de distribución de zonas del techo.**



**Esquema de distribución de zonas de los vidrios izquierdos y derechos.**



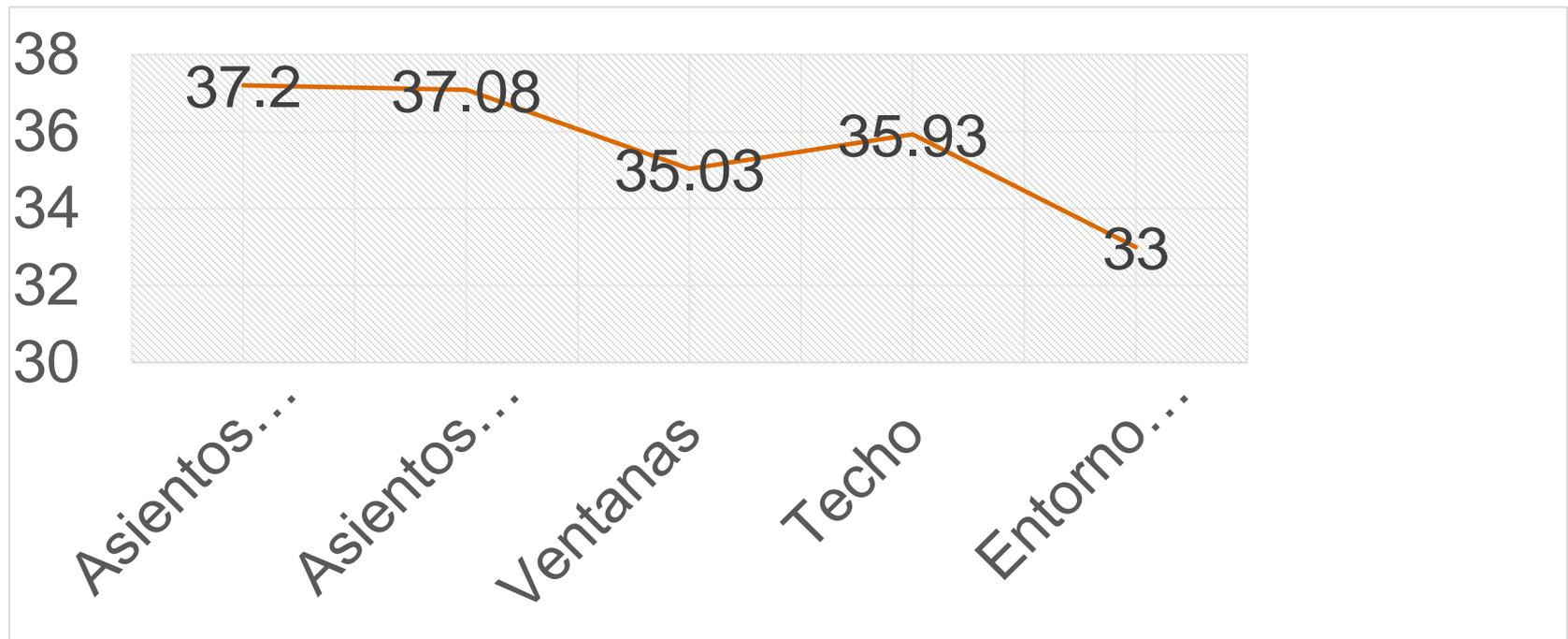
# Modelo de tablas de medición con la cámara térmica

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.				

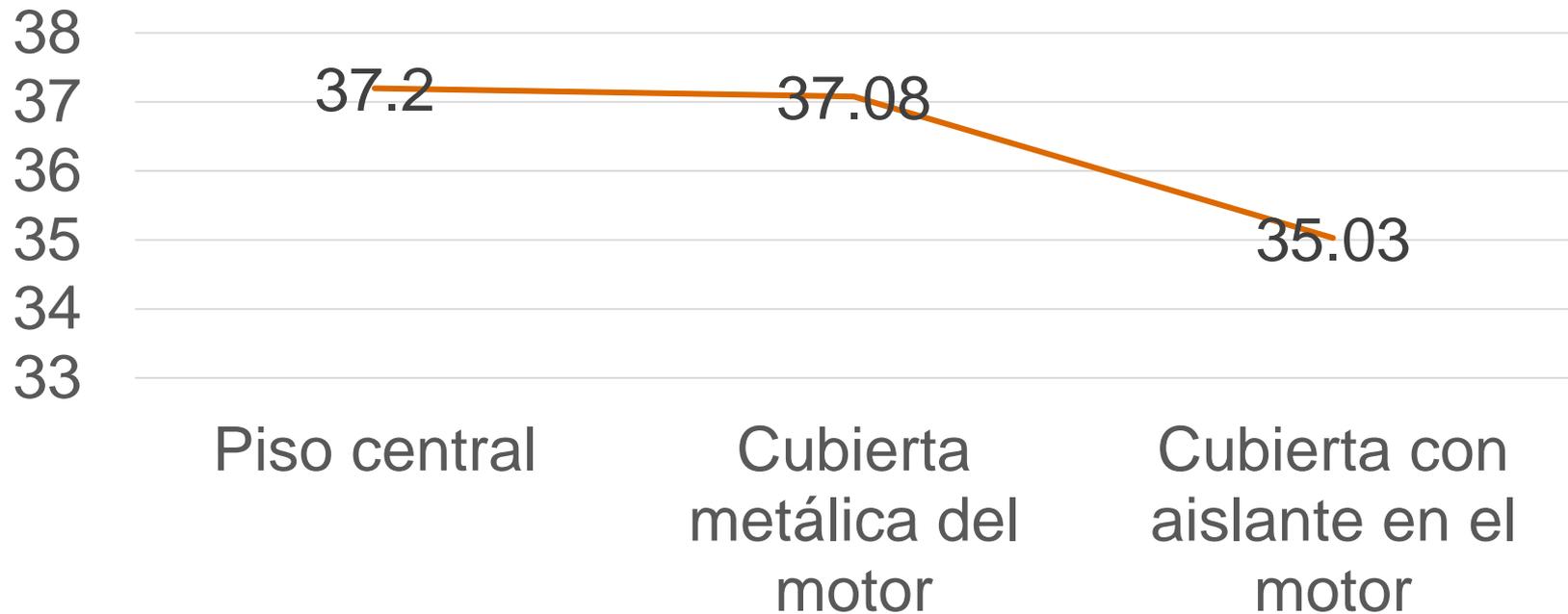
# Gráfica de temperaturas promedio de las zonas en el período 1.



# Temperaturas promedio de las zonas en el período 2.



# Temperaturas promedio de las zonas críticas



# *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

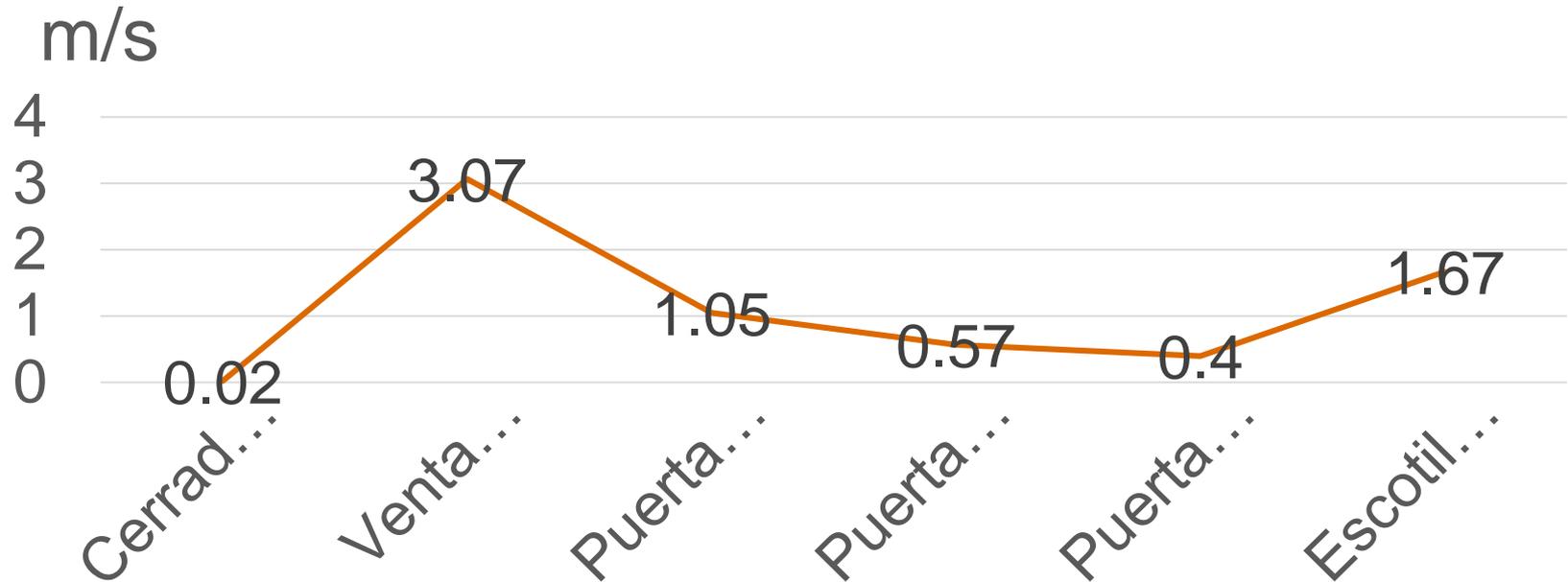


# *Medición de humedad en el período 2.*

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



# Gráfica de velocidad del viento



# CONTENIDO

- Introducción y Justificación
- Objetivos
- Fundamentos
- Mediciones
- **Cálculos y Selección A/C**
- Distribución de ductos y Simulaciones
- Conclusiones y Recomendaciones



# **MÉTODO DE CÁLCULO DE LA CARGA TERMICA**

- 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

# Condiciones geográficas y ambientales del lugar

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



# ***Condiciones de comodidad para el diseño de interiores***

<b>Condiciones</b>	<b>Valores</b>
<b>Temperatura bulbo seco</b>	74°F
<b>Humedad relativa</b>	55%



# ***Calculo 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.



# ***Cargas térmicas***

<b>Cargas (Q)</b>	<b>BTU/h</b>
<b>Total, del habitáculo</b>	34427.1038
<b>Ocupantes</b>	13995
<b>Infiltración</b>	1269,82
<b>Total</b>	49691.924



## Calor latente por ocupantes.

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

## Factor de calor sensible

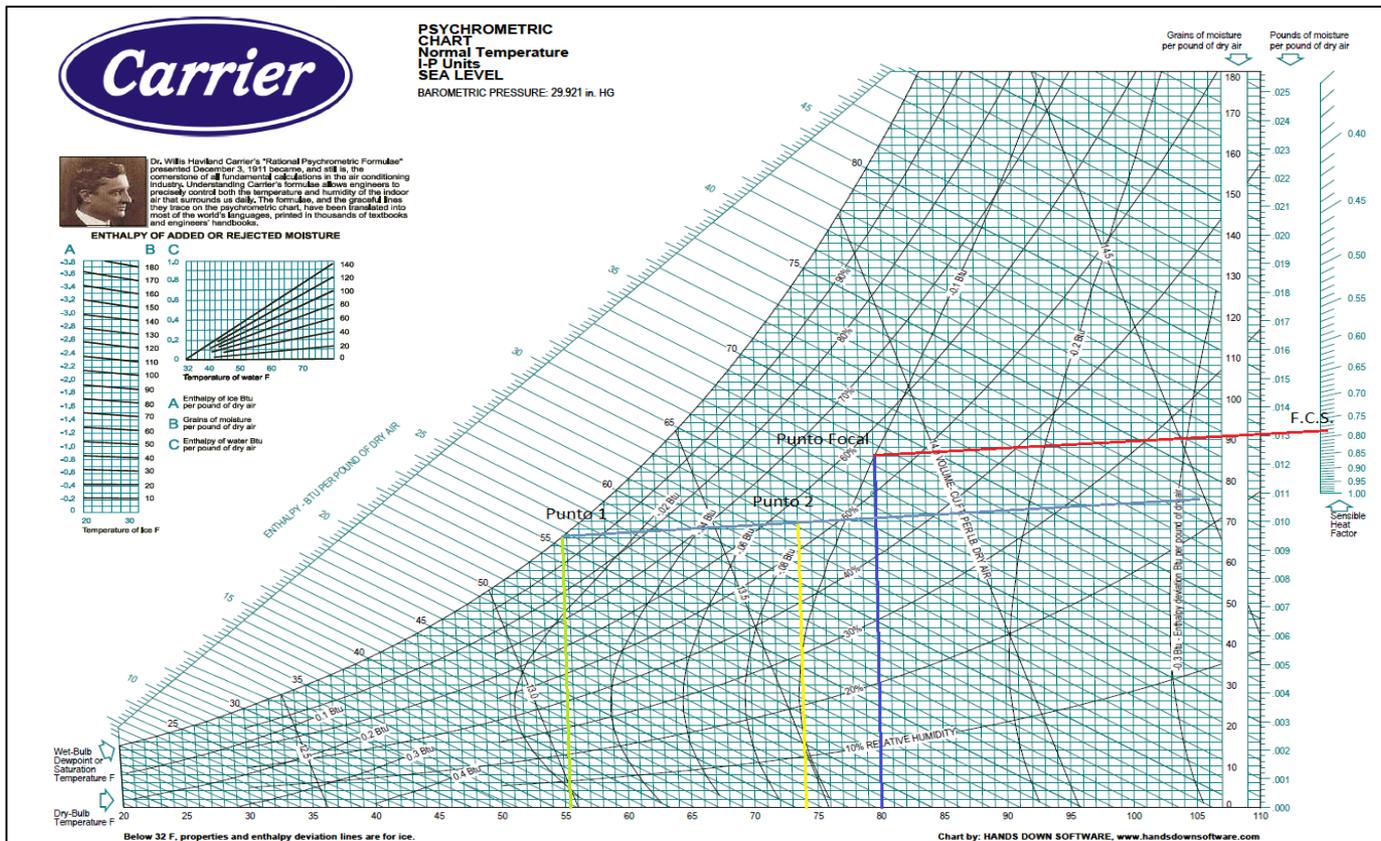
Este parámetro sirve para trazar la línea de acondicionamiento para el método gráfico y determinar el valor numérico de la temperatura de inyección.

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

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

$$F.C.S = 0.782$$

# Determinación del punto de inyección en la carta psicrométrica



# Valores de las propiedades psicrométricas del punto de inyección.

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



- **Flujo volumétrico**

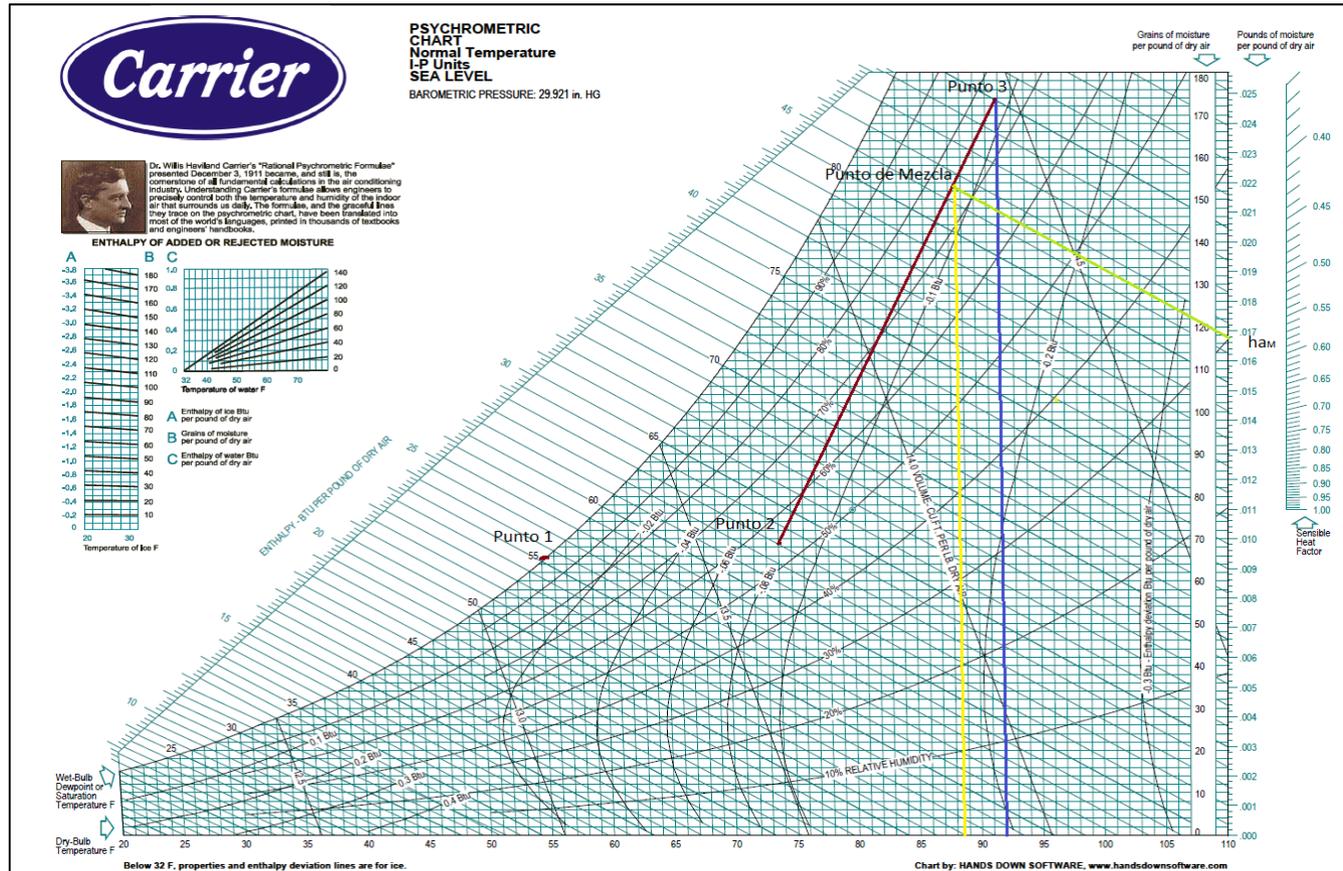
- $\dot{V} = 4225.58 \text{ m}^3 / \text{h}$

- **Cálculo del flujo másico**

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



# Determinación del punto de mezcla en la carta psicrométrica.



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



- **Capacidad del serpentín de enfriamiento**

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

- **Capacidad de los deshumificadores**

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





En el estudio de la casa de la calidad, se brinda las características o requisitos técnicos más relevantes como se observa en la Figura 41, los cuales son:

- El fabricante tubo 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.
- 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

# Mapa morfológico

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



# 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
			n	n	n
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
<b>Total</b>			4.6		<b>6.2</b>



# ***SONGZ (SZC-VI-D)***



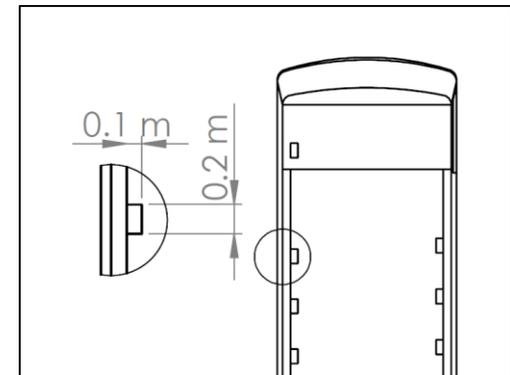
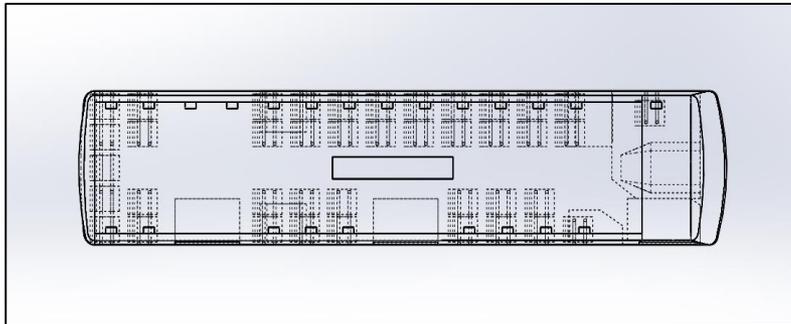
# CONTENIDO

- Introducción y Justificación
- Objetivos
- Fundamentos
- Mediciones
- Cálculos y Selección A/C
- **Distribución de ductos y Simulaciones**
- Conclusiones y Recomendaciones



# ***DISTRIBUCIÓN DE LOS DUCTOS DE AIRE***

- 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 que los ductos se encuentran en cada una de las parejas de asientos, la zona de discapacitados y área de trabajo del conductor.

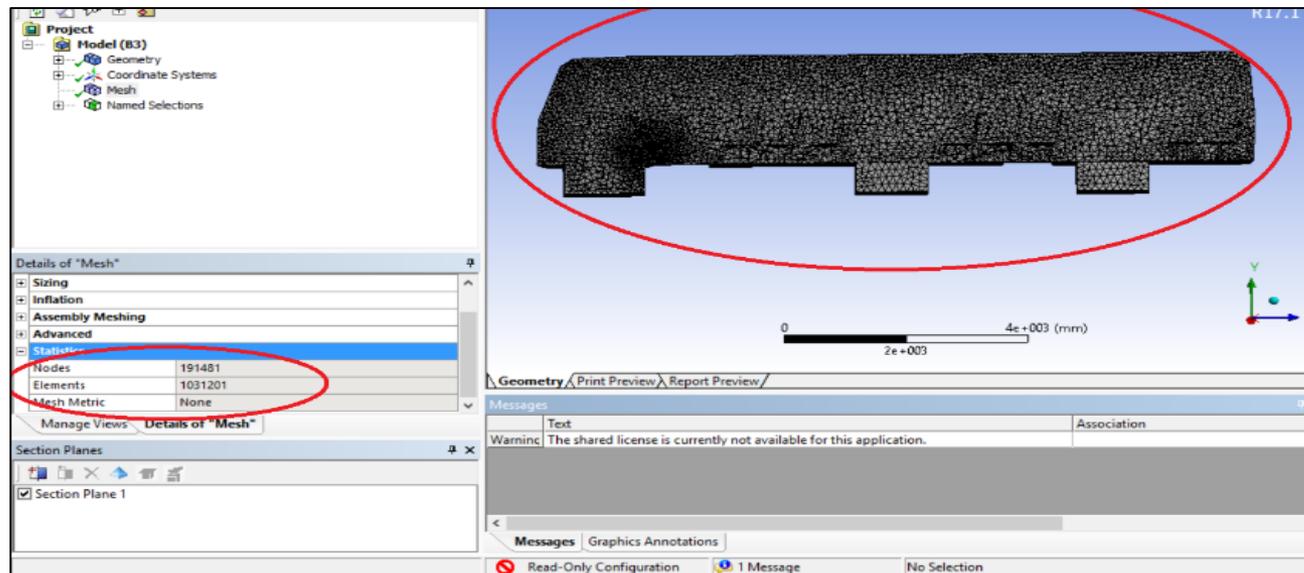


# ANÁLISIS EN CFD

- 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 los ductos de aire y todos los componentes interiores del autobús.

# MALLADO DEL HABITÁCULO DEL AUTOBÚS

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.



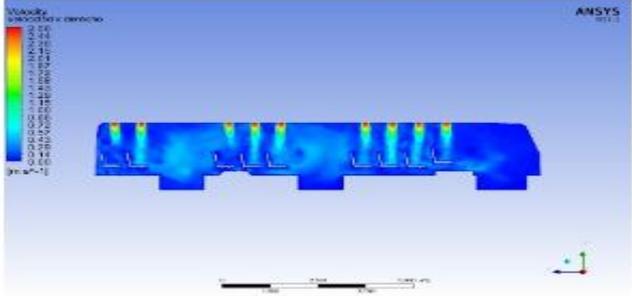
# *Intervalos de tiempo para el análisis.*

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



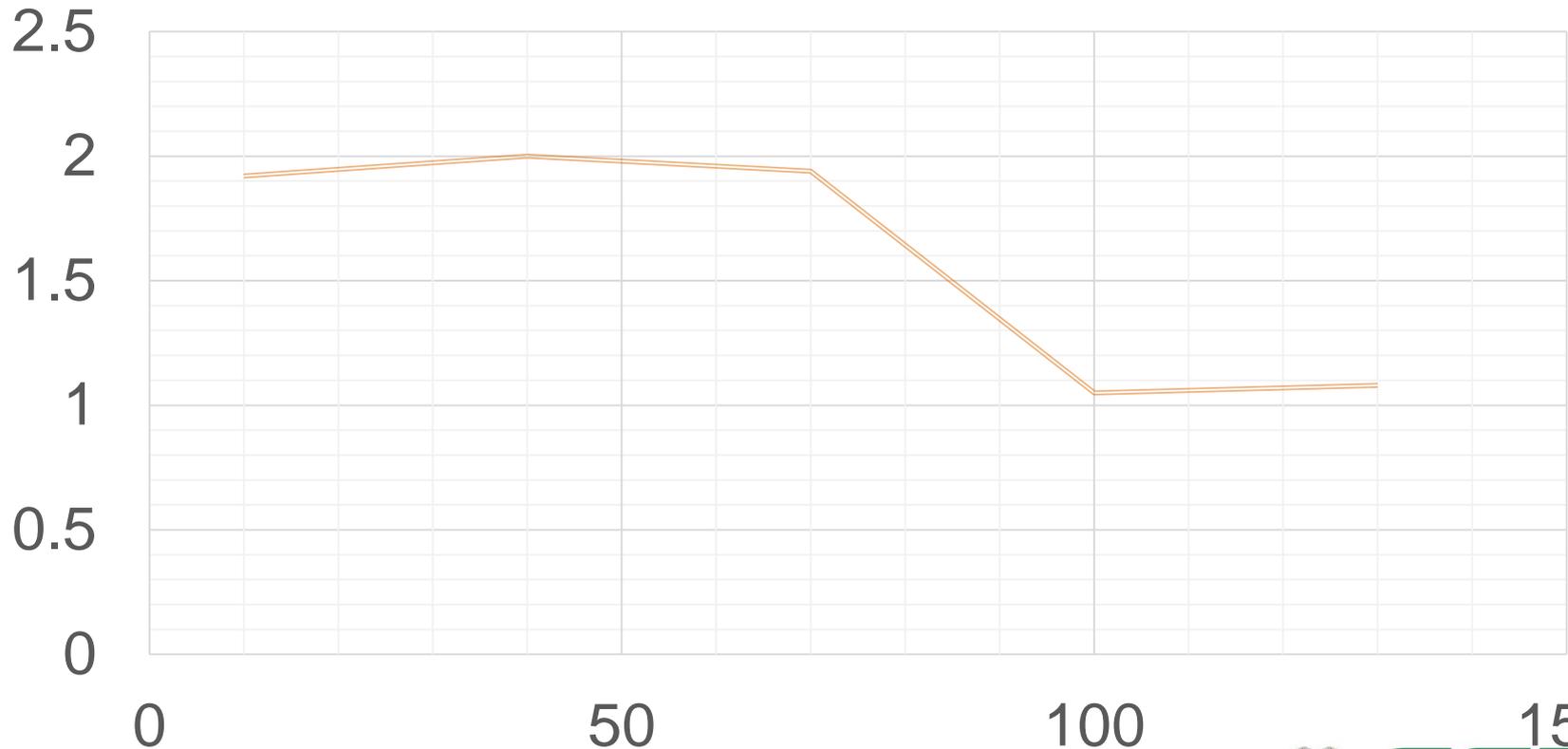
# ANÁLISIS DE LAS FIGURAS DE VELOCIDAD EN LOS DIFERENTES TIEMPOS

Para el análisis del flujo de aire se detallo 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.

Corte	Imagen	Velocidad	
Derecho en el plano YZ			m/s
		Velocidad <u>max</u>	2.58
		Velocidad min	0.00

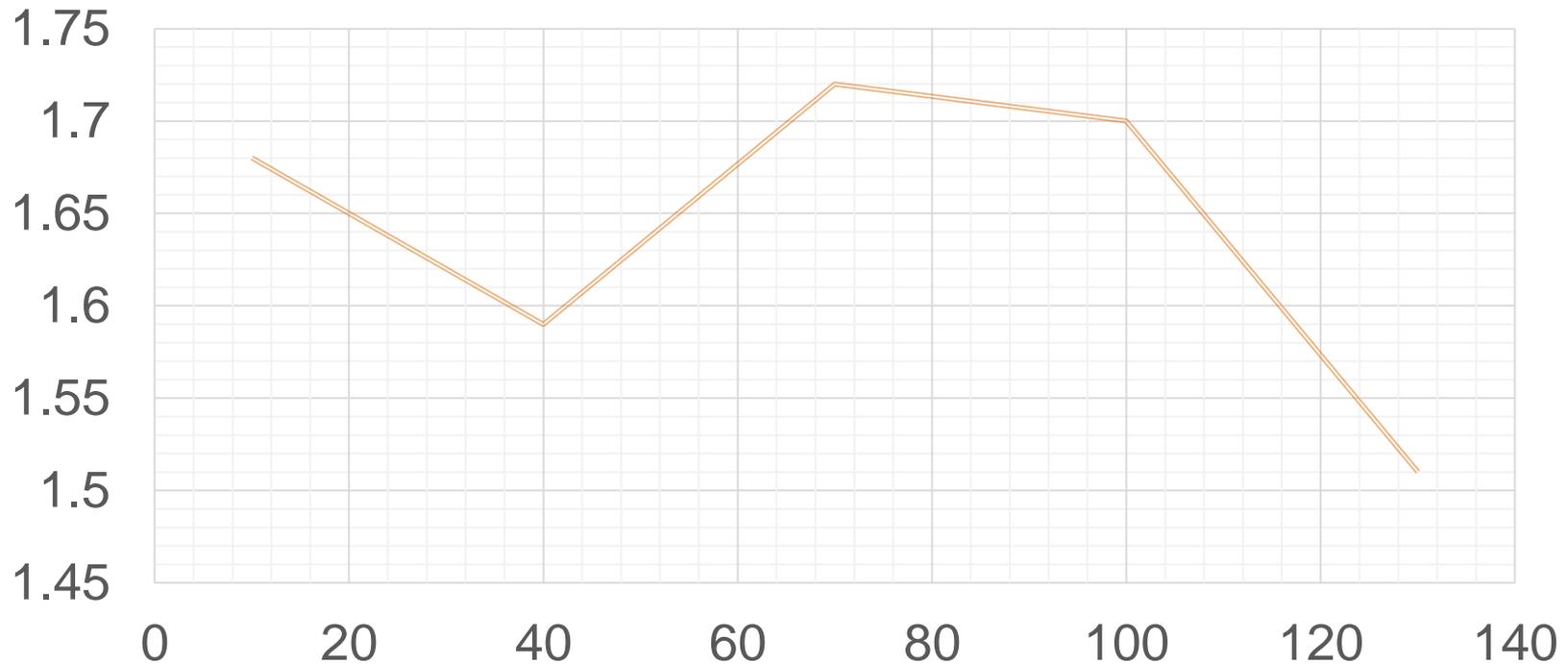
# Velocidades en el corte medio del Plano YZ.

Velocidad (m/s) vs Tiempo (s)



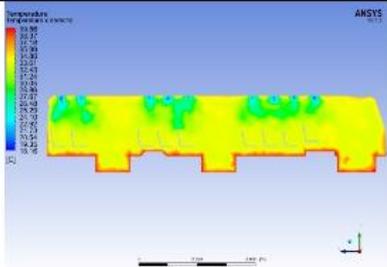
# Velocidades en el corte del Plano XZ

Velocidad (m/s) vs Tiempo (s)



# ANÁLISIS DE LAS FIGURAS DE TEMPERATURA EN LOS DIFERENTES TIEMPOS

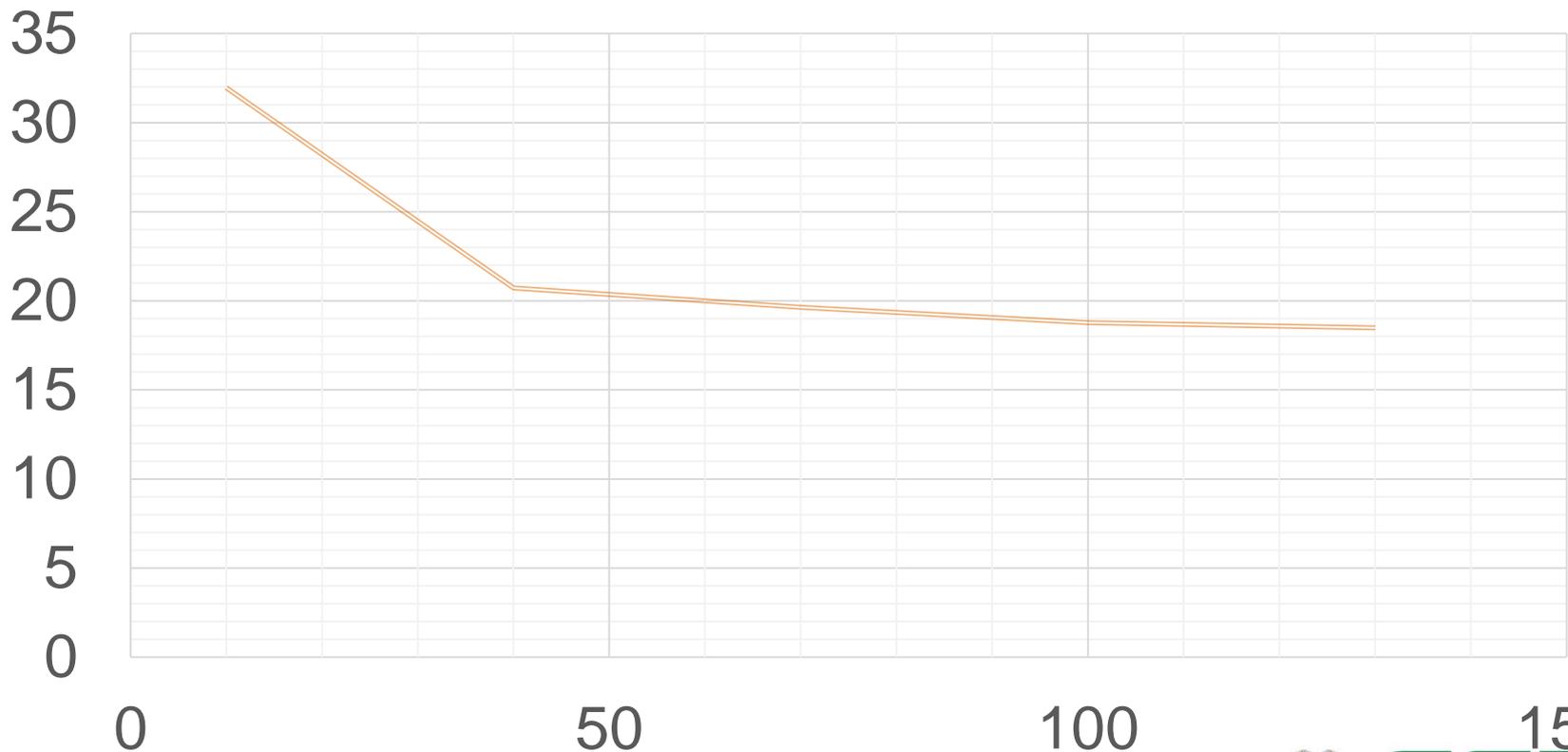
- Para el análisis térmico se describen cinco cortes los cuales facilitan la visualización del comportamiento térmico, en el plano YZ están hechos tres cortes los cuales son en el lado derecho, izquierdo y medio del habitáculo del autobús urbano, el plano XZ es el que se encuentra paralelo al piso y el plano XY es un corte en la mitad del autobús.

Corte	Imagen	Temperatura	
Derecho en el plano YZ			°C
		Temperatura max	39.56
		Temperatura min	18.16



# Temperaturas en el corte medio del Plano YZ.

Temperatura (°C) vs Tiempo (s)



# CONTENIDO

- Introducción y Justificación
- Objetivos
- Fundamentos
- Mediciones
- Cálculos y Selección A/C
- Distribución de ductos y Simulaciones
- **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.