

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**



**MAESTRÍA EN MECÁNICA**  
**(COHORTE 2017)**

**TEMA:**

---

**“DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL AUTOBUS INTERPROVINCIAL  
MODELO IM9 SOBRE CHASIS MERCEDES BENZ 0500 RS 1836 DE  
MIRAL AUTOBUSES EN BASE A LA SEGURIDAD AL VUELCO”**

---

Trabajo de Titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención  
Diseño

**Autor:** Ing. Braulio Patricio Atacusí Hidalgo

**Tutor:** Ing. Cesar Hernán Arroba Arroba Mg.

**Ambato- Ecuador**

**2020**

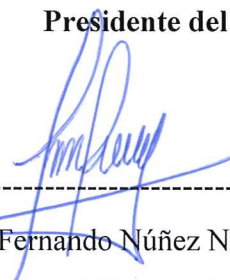
A la Unidad Académica De Titulación De La Facultad De Ingeniería Civil Y  
Mecánica

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ing. Wilson Santiago Medina Robalino Mg., e integrado por los señores: Ing. Diego Fernando Núñez Núñez, Mg., Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: **“DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL AUTOBUS INTERPROVINCIAL MODELO IM9 SOBRE CHASIS MERCEDES BENZ 0500 RS 1836 DE MIRAL AUTOBUSES EN BASE A LA SEGURIDAD AL VUELCO”**, elaborado y presentado por el señor Ing. Braulio Patricio Atacús Hidalgo, para optar por el Grado Académico de Magister en Mecánica Mención en Diseño; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Wilson Santiago Medina Robalino Mg.

**Presidente del Tribunal**



Ing. Diego Fernando Núñez Núñez, Mg.

Miembro del Tribunal



Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg.

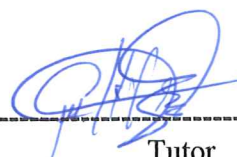
Miembro del Tribunal

## AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: **“DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL AUTOBUS INTERPROVINCIAL MODELO IM9 SOBRE CHASIS MERCEDES BENZ 0500 RS 1836 DE MIRAL AUTOBUSES EN BASE A LA SEGURIDAD AL VUELCO”**, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Braulio Patricio Atacusi Hidalgo, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Ing. César Hernán Arroba Arroba, Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



-----  
Maestrante  
Braulio Patricio Atacusi Hidalgo  
c.c. 1804478764  
**AUTOR**



-----  
Tutor  
César Hernán Arroba Arroba  
c.c. 1803011277  
**DIRECTOR**

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulización, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.



---

*Ing. Braulio Patricio Atacusi Hidalgo*  
c.c. 1804478764

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de investigación a Dios, mis padres, mis hermanos y mi esposa*

*A Dios, por darme la salud y vida y cuidarme a cada paso que doy.*

*A mi Madre, Elizabeth, quien me ha apoyado a lo largo de toda mi vida, tanto en el aspecto académico para lograr la excelencia, como en el día a día, enseñándome a ser una mejor persona, sembrando en mi la humildad, guiándome por el camino del bien y cumplir con todos mis sueños.*

*A mi padre, Cristóbal por siempre apoyarme, hermanas Verónica quien es mi modelo a seguir siempre adelante y Liliana quien me ha brindado su ayuda incondicional siempre que la he necesitado, a mi hermano Henry a quien deseo que alcance todas las metas propuestas, quienes siempre han estado para mí en cada etapa de mi vida.*

*A la persona más importante de mi vida, mi esposa Andrea por estar junto a mí siempre en las buenas y en las malas bríndame su apoyo, siendo ese rayo de luz, la alegría en mi vida, mi compañera de vida por y para siempre.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por el regalo de la vida, a mis Padres por su apoyo en momentos buenos y malos, a mis hermanos por el aliento en momentos difíciles y a mi esposa porque junto a ella he cumplido muchos sueños.*

*A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por haberme abierto sus puertas y brindarme la oportunidad de alcanzar un nivel académico superior. A los docentes de la Facultad por el conocimiento impartido y por las experiencias compartidas que han servido para enriquecer mi vida laboral.*

*Al Ingeniero César Arroba por los conocimientos transmitidos, además de brindarme la oportunidad de ingresar a mi primer trabajo.*

*Al Mg. José Miranda, Gerente General de Miral Autobuses por el apoyo incondicional y las facilidades brindadas en las instalaciones y el personal para el desarrollo de la presente investigación.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

A LA UNIDAD ACADÉMICA DE TITULACIÓN .....	II
AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XIII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVII
INTRODUCCION .....	XIX
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico .....	6
1.2.3. Prognosis .....	7
1.2.4. Formulación del problema .....	8
1.2.5. Preguntas directrices .....	8
1.2.6. Delimitación del problema.....	8
1.2.6.1. Delimitación de contenidos.....	8
1.2.6.2. Delimitación espacial .....	9
1.2.6.3. Delimitación temporal.....	9
1.3 Justificación.....	9
1.4 Objetivos .....	10
1.4.1 General .....	10
1.4.2 Específicos .....	10
<b>CAPÍTULO II</b> .....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 Antecedentes Investigativos.....	11
2.2 Fundamentación Teórica.....	14
2.2.1. Aceros Estructurales.....	14
2.2.2. Propiedades de los aceros estructurales .....	15
2.2.3. El método de elementos finitos (MEF O FEM).....	19
2.2.4. Análisis Explícito.....	32
2.2.5. Normas y reglamentos nacionales aplicados en el diseño y construcción de carrocerías de buses interprovinciales.....	37

2.3 Fundamentación Filosófica .....	45
2.4 Fundamentación legal .....	45
2.5 Categorías fundamentales .....	46
2.6 Hipótesis.....	47
2.7 Señalamiento de variables.....	47
2.7.1 Variable independiente.....	47
2.7.2 Variable dependiente.....	47
2.7.3 Término de relación .....	47
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>48</b>
3.1 Enfoque .....	48
3.2 Modalidad Básica de la investigación.....	48
3.2.1 De Campo.....	48
3.2.2 Documental .....	48
3.3 Niveles de investigación .....	49
3.3.1 Experimental .....	49
3.3.2 Prospectiva .....	49
3.3.3 Longitudinal .....	49
3.3.4 Analítico.....	50
3.3.3 Asociación de variables.....	50
3.4 Población y muestra .....	50
3.4.1 Población.....	50
3.4.2 Muestra.....	51
3.5 Operacionalización de variables .....	52
3.5.1 Variable Independiente .....	52
3.5.2 Variable Dependiente.....	52
3.6 Recolección de la información.....	53
3.7 Procesamiento y Análisis .....	53
3.7.1 Procesamiento de la información recolectada.....	53
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>55</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>
4.1. Análisis de Resultados .....	55
4.1.1 Proceso propuesto para el análisis de resultados.....	55
4.2 Recopilación de datos preliminares .....	56
4.2.1 Características del Chasis.....	57
4.2.2 Materiales utilizado en la superestructura.....	58



4.2.3 Dimensiones generales de la carrocería .....	60
4.2.4 Capacidad de carga del autobús .....	61
4.2.5 Determinación de la distribución de masas.....	62
4.2.6 Cálculo de la ubicación del centro de gravedad real del autobús .....	63
4.2.6.1 Posición longitudinal del centro de gravedad .....	64
4.2.6.2 Posición transversal del centro de gravedad .....	65
4.2.6.3 Altura del transversal del centro de gravedad .....	66
4.2.7. Distribución de masas en cada sección de la súper estructura del Autobús.....	69
4.2.8. Espacio de Supervivencia .....	74
4.3. Ensayos .....	76
4.3.1. Simulación del ensayo de vuelco de la sección de la estructura.....	76
4.3.2. Validación el comportamiento de la estructura del autobús mediante un ensayo físico de vuelco de la sección más crítica del autobús interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836. ....	92
4.4 Diseño del Experimento.....	97
4.5 Verificación de Hipótesis.....	103
<b>CAPÍTULO V</b> .....	110
<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	110
5.1 Conclusiones .....	110
5.2 Recomendaciones.....	111
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	113
<b>PROPUESTA</b> .....	113
6.1 Datos Informativos.....	113
6.2 Antecedentes de la propuesta .....	114
6.3 Justificación.....	114
6.4 Objetivos .....	115
6.4.1 General .....	115
6.4.2 Específicos .....	115
6.5 Análisis de factibilidad.....	116
6.6 Fundamentación .....	116
6.6.1 Modificación del espesor de los perfiles permisibles de la estructura.....	117
6.6.2 Análisis cuasiestático .....	120
6.6.2.1. Especificaciones de materiales utilizados. ....	121
6.6.2.2. Modelado geométrico.....	123
6.6.2.3. Cálculo de cargas de diseño según norma.....	125
6.6.2.4. Ubicación del centro de gravedad del autobús.....	126

6.6.2.6. Peso de la Carrocería (M) .....	126
6.6.2.7. Cargas vivas debido a pasajeros y equipaje (NTE INEN 1323 5.1.1.1)...	127
6.6.2.8. Cargas vivas por pasajeros (NTE INEN 1323 5.1.1.1) .....	127
6.6.2.9. Cargas vivas por equipaje (NTE INEN 1323 5.1.1.1) .....	128
6.6.2.10. Cargas de giro (G) (NTE INEN 1323 5.1.1.2).....	130
6.6.2.11. Carga de frenado (F) (NTE INEN 1323 5.1.1.3) .....	132
6.6.2.12. Carga de Aceleración (Ab) (NTE INEN 1323 5.1.1.4).....	134
6.6.2.12. Carga por resistencia al aire frontal (Raf) (NTE INEN 1323 5.1.1.5).....	135
6.6.2.13. Estados y combinación de cargas.....	137
6.6.2.14. Resultados. ....	138
6.6.2.15. Esfuerzos en la estructura.....	140
6.6.2.16. Prueba de carga sobre techo.....	143
6.6.2.17. Resumen de resultados y comparación con numerales de norma.....	145
6.6.3. Análisis del ensayo de vuelco .....	146
6.6.3.1. Distribución de masas en cada sección de la súper estructura del Autobús	146
6.6.3.1. Espacio de Supervivencia .....	149
6.6.3.3 Velocidad de impacto de la sección del a superestructura.....	150
6.7 Análisis de resultados.....	157
6.8 Determinación de la aplicación.....	158
6.9 Administración.....	158
6.10 Previsión de la evaluación.....	161
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	162
<b>ANEXOS</b> .....	165

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Materiales para ensayo de vuelco virtual .....	35
<b>Tabla 3.2.</b> Operacionalización de variables independiente .....	52
<b>Tabla 3.3.</b> Operacionalización de variable dependiente.....	52
<b>Tabla 4. 1</b> Especificaciones del chasis .....	57
<b>Tabla 4. 2</b> Listado de materiales metálicos para la construcción de la superestructura del autobús: .....	58
<b>Tabla 4. 3</b> Dimensiones generales de la carrocería .....	60
<b>Tabla 4.4</b> Medición de distribución de masas en Autobús.....	63
<b>Tabla 4.5</b> Obtención de la distribución de peso del Autobuses en posición de basculamiento.....	68
<b>Tabla 4.6</b> Distribución de peso del Autobuses por cada sección .....	74
<b>Tabla 4.7</b> Resultados de la proximidad de la estructura respecto a la zoma de supervivencia: .....	87
<b>Tabla 4.8</b> Variables para el diseño del experimento .....	100
<b>Tabla 4.9.</b> Combinaciones resultantes del diseño del experimento.....	100
<b>Tabla 4.10</b> Datos obtenidos de las combinaciones.....	101
<b>Tabla 4.11.</b> Muestras de Valores Distancia de Estructura al Espacio de Supervivencia (mm).....	103
<b>Tabla 4.12.</b> Muestras de peso de la sección más crítica de la estructura (kg).....	106
<b>Tabla 6.1.</b> Propiedades de los perfiles estructurales usados en la construcción de la carrocería de acuerdo a la norma ASTM A500. ....	121
<b>Tabla 6.2.</b> Propiedades de los perfiles estructurales usados en la construcción de la carrocería de acuerdo a la norma ASTM A36 .....	121
<b>Tabla 6.3.</b> Resumen de especificaciones y normas aplicables a materiales de forraje y acabados .....	122
<b>Tabla 6.4.</b> Descripción detallada de perfiles estructurales usados en la construcción de la estructura de la carrocería en validación. ....	123
<b>Tabla 6.5.</b> Dimensiones respecto al centro de gravedad .....	126
<b>Tabla 6.6.</b> Peso de la carrocería.....	126
<b>Tabla 6.7.</b> Especificación de cargas vivas por pasajeros.....	128
<b>Tabla 6.8.</b> Especificación de cargas vivas por equipaje.....	128
<b>Tabla 6.9.</b> Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera. ....	130
<b>Tabla 6.10.</b> Cálculo de cargas de frenado .....	132
<b>Tabla 6.11.</b> Cálculo de cargas de Aceleración .....	134
<b>Tabla 6.12.</b> Cálculo de cargas de resistencia al viento.....	136
<b>Tabla 6.13.</b> Estados de carga actuantes en condiciones críticas.....	138
<b>Tabla 6.14.</b> Combinaciones de carga aplicadas para análisis estructural.....	138
<b>Tabla 6.15.</b> Reporte de máximas deformaciones en el eje Y (Vertical).....	139
<b>Tabla 6.16.</b> Resumen de resultados de la validación del autobús aplicando RTE INEN 1323.....	145
<b>Tabla 6.17.</b> Distribución de peso del Autobuses por cada sección .....	148
<b>Tabla 6.18</b> Recursos Materiales .....	159

<b>Tabla 6.19</b> Recursos Humanos.....	159
<b>Tabla 6.20</b> Recursos Varios .....	160
<b>Tabla 6.21</b> Costo Total.....	160

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Fallecidos en accidentes de buses.....	1
<b>Figura 2.1</b> Gráfico esfuerzo – deformación .....	15
<b>Figura 2.2</b> Módulo de elasticidad de diferentes metales.....	18
<b>Figura 2.3</b> Elementos para elasticidad unidimensional.....	22
<b>Figura 2.4</b> Elementos para elasticidad bidimensional.....	22
<b>Figura 2.5</b> Elementos para elasticidad tridimensional .....	23
<b>Figura 2.6</b> Elemento axisimétrico .....	23
<b>Figura 2.7</b> Elemento viga.....	24
<b>Figura 2.8</b> Elementos placa.....	24
<b>Figura 2.9</b> Elemento cáscara .....	25
<b>Figura 2.10.</b> Condición de frontera .....	25
<b>Figura 2.11</b> Elementos tipo barra.....	26
<b>Figura 2.12.</b> Discretización por elementos finitos del dominio - en una malla compuesta por elementos cuadriláteros. ....	28
<b>Figura 2.13.</b> Discretización no aceptada del dominio $\Omega$ .....	29
<b>Figura 2.14</b> Configuración de los nodos en los elementos del dominio $\Omega$ . ....	29
<b>Figura 2.15</b> Cámara de alta velocidad Chronos .....	36
<b>Figura 2.16.</b> Especificación del contorno de la estructura deformada .....	41
<b>Figura 2.17</b> Especificación del espacio de supervivencia a), c) disposiciones laterales y b) disposición longitudinal.....	42
<b>Figura 2.18.</b> Especificación del ensayo de vuelco de un vehículo completo que muestra la trayectoria del centro de gravedad desde la posición inicial de equilibrio inestable.....	44
<b>Figura 2.19.</b> Categorías fundamentales.....	46
<b>Figura 4.1.</b> Diagrama de Flujo del Procesamiento y Análisis de la información. ....	56
<b>Figura 4.2</b> Autobús interprovincial Modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de MIRAL-Autobuses .....	57
<b>Figura 4.3</b> Estructura del Autobús para servicio Interprovincial Modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 Marca MIRAL-Autobuses.....	58
<b>Figura 4.4</b> Dimensiones del Autobús Modelo IM9 .....	61
<b>Figura 4.5</b> Distribución de asientos Modelo IM9 .....	61
<b>Figura 4.6</b> Medición de los pesos en cada neumático del autobús .....	62
<b>Figura 4.7</b> Posición longitudinal del centro de gravedad.....	64
<b>Figura 4.8</b> Posición transversal del centro de gravedad.....	65
<b>Figura 4.9</b> Altura del centro de gravedad.....	66
<b>Figura 4.10</b> a) y b) Pesaje de la reacción del peso en el eje posterior.....	67
<b>Figura. 4.11</b> Ubicación del centro de gravedad .....	69
<b>Figura 4.12</b> Distribución de secciones y pórticos de la superestructura del Autobús.....	69
<b>Figura 4.13</b> Valores de cargas y ubicación en la superestructura. ....	70
<b>Figura 4.14.</b> Cargas aplicadas en la viga equivalente. ....	70
<b>Figura 4.15.</b> Esquema de las cargas distribuidas sobre la viga.....	71
<b>Figura 4.16.</b> Esquema de carga triangular distribuida .....	72

<b>Figura 4.17.</b> Representación de cargas uniformemente distribuidas en la superestructura del bus.....	73
<b>Figura 4.18</b> Valor de cargas que debe soportar cada sección de la superestructura del autobús .....	73
<b>Figura 4.19.</b> Disposición Transversal del Área de Supervivencia .....	75
<b>Figura 4.20.</b> Disposición Longitudinal del Área de Supervivencia .....	75
<b>Figura 4.21.</b> Representación de la sección más crítica de la Superestructura.....	76
<b>Figura 4.22.</b> Centro de gravedad de la Superestructura .....	77
<b>Figura 4.23.</b> Centro de gravedad real y modelado de la Superestructura .....	77
<b>Figura 4.24.</b> Posición inicial antes del vuelco de la estructura en la plataforma de basculamiento.....	78
<b>Figura 4.25.</b> Posición inicial inestable del vehículo para el ensayo de vuelco .....	79
<b>Figura 4.26.</b> Radio de giro de la superestructura al momento del impacto contra la superficie del piso .....	80
<b>Figura 4.27.</b> Estructura del autobús. a) Antes del Vuelco, b) Durante el vuelco.....	82
<b>Figura 4.28.</b> Mallado de Estructura. a) Bus completo, b) Acercamiento mallado....	83
<b>Figura 4.29.</b> Aspect Ratio versus número de elementos de la estructura del bus .....	84
<b>Figura 4.30.</b> Designación de pórticos en la estructura .....	87
<b>Figura 4.31.</b> Geometría de la Sección más crítica de la Superestructura.....	88
<b>Figura 4.32.</b> Mallado de la Sección más crítica de la Superestructura .....	89
<b>Figura 4.33.</b> Aspect Ratio versus número de elementos de la sección más crítica de la superestructura .....	89
<b>Figura 4.34.</b> Desplazamiento del espacio de supervivencia de pasajeros respecto a la superestructura del autobús. Las curvas A y B representan puntos de la estructura en el lateral, que describen la trayectoria del punto más cercano de la zona de supervivencia respecto a la estructura con la curva C.....	92
<b>Figura 4.35.</b> Estructura de la sección más crítica y espacio de supervivencia puntos de medición.....	94
<b>Figura 4.35.</b> Gráfico de Distribución de T de Student variable Espacio de Estructura a zona de supervivencia .....	105
<b>Figura 4.37.</b> Gráfico de Distribución de T de Student variable peso de la sección más crítica de la estructura .....	108
<b>Figura 6.1.</b> Perfiles que pueden ser modificados en la estructura. a) Lateral derecho, b) Lateral izquierdo, c) Tejido de Piso, d) Anclajes .....	118
<b>Figura 6.2.</b> Perfiles a los cuales se modificó el espesor. a) Lateral derecho, b) Lateral izquierdo, c) Tejido de Piso, d) Anclajes .....	119
<b>Figura 6.3.</b> Modelo geométrico unifilar de la estructura de la carrocería analizada en el presente documento.....	124
<b>Figura 6.4.</b> Modelo geométrico de la estructura del Autobús, vista tridimensional	125
<b>Figura 6.5.</b> Ubicación real del centro de gravedad del bus. ....	126
<b>Figura 6.6.</b> Reacción resultante del peso propio de la carrocería .....	127
<b>Figura 6.7.</b> Capacidad de pasajeros homologado 44 más 1 conductor. ....	128
<b>Figura 6.8.</b> Carga Viva por pasajeros y equipaje. ....	129
<b>Figura 6.9.</b> Reacción resultante al aplicar las cargas vivas. ....	129

<b>Figura 6.10.</b> Representación del cálculo del ángulo del peralte de la calzada.....	131
<b>Figura 6.11.</b> Aplicación de cargas de giro en la estructura del autobús.....	131
<b>Figura 6.12.</b> Fuerza resultante de aplicar la carga de giro .....	132
<b>Figura 6.13.</b> Aplicación de carga de Frenado Brusco a la estructura del Autobús .	133
<b>Figura 6.14.</b> Reacción sobre los apoyos por aplicar la carga de Frenado Brusco...	133
<b>Figura 6.15.</b> Aplicación de carga de aceleración a la estructura del autobús. ....	134
<b>Figura 6.16.</b> Reacción sobre los apoyos por aplicar la carga de Aceleración Brusco	135
<b>Figura 6.17.</b> Aplicación de carga de Resistencia al Viento a la estructura del Autobús .....	136
<b>Figura 6.18.</b> Reacción sobre los apoyos por aplicar la carga de Resistencia al Viento .....	137
<b>Figura 6.19.</b> Punto de máxima deformación Estructura del frente – Guardachoque delantero.....	139
<b>Figura 6.20.</b> Estado de esfuerzos para la combinación de cargas 1. ....	140
<b>Figura 6.21.</b> Estado de esfuerzos para la combinación de cargas 2. ....	140
<b>Figura 6.22.</b> Estado de esfuerzos para la combinación de cargas 3. ....	141
<b>Figura 6.23.</b> Estado de esfuerzos para la combinación de cargas 4. ....	141
<b>Figura 6.24.</b> Estado de esfuerzos para la combinación de cargas 5. ....	142
<b>Figura 6.25.</b> Estado de esfuerzos para la combinación de cargas 6. ....	142
<b>Figura 6.26.</b> Deformación máxima por cargas sobre techo .....	143
<b>Figura 6.27.</b> a) Esfuerzos generados en el techo por la carga sobre techo, b) Factor de seguridad por carga de techo.....	144
<b>Figura 6.28.</b> Deformación obtenida de la aplicación de carga distribuida sobre el techo. ....	145
<b>Figura 6.29</b> Distribución de secciones y pórticos de la superestructura propuesta.	146
<b>Figura 6.30</b> Valores de cargas y ubicación en la superestructura propuesta.....	147
<b>Figura 6.31.</b> Representación de cargas uniformemente distribuidas en la superestructura del bus.....	147
<b>Figura 6.32</b> Valor de cargas que debe soportar cada sección de la superestructura del autobús .....	148
<b>Figura 6.33.</b> Disposición Transversal del Área de Supervivencia .....	149
<b>Figura 6.34.</b> Disposición Longitudinal del Área de Supervivencia .....	150
<b>Figura 6.35.</b> Posición inicial inestable del vehículo para el ensayo de vuelco .....	151
<b>Figura 6.36.</b> Radio de giro de la superestructura al momento del impacto contra la superficie del piso .....	152
<b>Figura 6.37.</b> Geometría de la Sección más crítica de la Superestructura propuesta a) Sección modificada según colores de espesores, b) Sección modificada con espacio de supervivencia y plataforma .....	153
<b>Figura 6.38.</b> Mallado de la Sección más crítica de la Superestructura .....	154
<b>Figura 6.39</b> Aspect Ratio versus número de elementos de la sección más crítica de la superestructura .....	154
<b>Figura 6.40.</b> Desplazamiento del espacio de supervivencia de pasajeros respecto a la superestructura del autobús. Las curvas A y B las cuales representan a los nodos del	

elemento que se encuentra en la trayectoria del espacio de supervivencia mientras que la curva C representa el desplazamiento del espacio de supervivencia. .... 157



## **RESUMEN EJECUTIVO**

En nuestro país se presentan algunos problemas en el sector carrocerero referente a la fabricación de buses entre los cuales se encuentran peso elevado y una baja resistencia al vuelco, lo que ha repercutido en altos índices de mortalidad en accidentes de tránsito. Tomando como referencia estudios previos, basándose en investigaciones llevadas a cabo a nivel mundial, normativa nacional e internacional vigente, se tomó como base la estructura actual del bus para servicio interprovincial modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de Miral Autobuses, mediante la teoría y el método de elementos finitos con el software de análisis Ansys, mismo que se validó mediante una prueba de vuelco física de la sección más crítica de la estructura de acuerdo a lo establecido en el Reglamento 66 de las Naciones Unidas, se modificó la estructura con el material que actualmente utiliza la empresa, identificándose segmentos sobredimensionados, al variar el espesor se redujo su peso y sin dejar de lado la resistencia al vuelco, alcanzando resultados confiables para asegurar la calidad y seguridad de los productos fabricados por Miral Autobuses.

Se determinó mediante un adecuado diseño, en puntos específicos de la estructura del autobús se puede lograr reducir peso teniendo siempre presente el aspecto más importante, la conservación de vidas, lo que se traduce en que la zona de supervivencia de pasajeros nunca es invadida durante un accidente de vuelco.

Después de haber realizado la investigación, se recomienda trabajar en materiales compuestos para los componentes de la carrocería, mismos que pueden bajar aún más el peso para ser mucho más competitivos frente a otras marcas que están ingresando al país y en un futuro posicionarse en mercados internacionales.

### **PALABRAS CLAVES:**

Estructura, Resistencia al Vuelco, Peso, Simulación, Prueba de Vuelco, Elementos Finitos.

## **ABSTRACT**

In our country, there are some problems in the coach sector related to the manufacture of buses, among which are high weight and low resistance to rollover, which has resulted in high mortality rates in traffic accidents. Taking as reference previous studies, based on research carried out worldwide, national and international regulations, the current structure of the bus for interprovincial service IM9 on Mercedes Benz O500 RS 1836 chassis of Miral Autobuses, was based on the theory and the finite element method with the analysis software Ansys, which was validated by a physical rollover test of the most critical section of the structure in accordance with the provisions of Regulation 66 of the United Nations, the structure was modified with the material that the company currently uses, identifying oversized segments, by varying the thickness, its weight was reduced without forgetting rollover resistance, reliable results were achieved to ensure the quality and safety of the products manufactured by Miral Autobuses.

It was determined by an adequate design, at specific points of the bus structure reducing its weight always keeping in mind the most important aspect, the conservation of lives, which translates into the fact that the passenger survival zone is never invaded during a rollover accident.

After having done the research, it is recommended to work on composite materials for the body components, which can reduce weight in order to be more competitive in comparison to other bus body builders that are selling its products in our country, in the future, we will sell our buses in international markets .

### **KEYWORDS:**

Structure, Rollover resistance, Weight, Simulation, Rollover Test, Finite Elements.

## INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación denominado “Diseño de la estructura del autobús interprovincial modelo im9 sobre chasis Mercedes Benz 0500 RS 1836 DE Miral Autobuses en base a la seguridad al vuelco” es de gran importancia para Miral Autobuses, empresa en donde se desarrolla la investigación, debido a que se pretende diseñar la Estructura de uno de los productos más representativos que fabrica actualmente para el transporte de pasajeros en la modalidad interprovincial, por otro lado el sector carroceros a nivel nacional también se verá beneficiado ya que aportará con información útil para nuevos desarrollos en cada una de las empresas fabricantes de carrocerías, logrando de tal manera buses con menos peso y buena resistencia al vuelco y poder expandir sus horizontes hacia mercados internacionales.

El motivo para llevar a cabo la investigación tiene que ver con problemas presentes en buses que actualmente se fabrican, dentro de los cuales se aprecia el peso excesivo y la baja resistencia al vuelco, por dichas razones se han generado múltiples inconvenientes con consecuencias de gran impacto tanto sobre propietarios de buses debido a mayores costos en mantenimiento ya sea por mayor consumo de combustible o menor duración de neumáticos, generando gastos operativos demasiado elevados. Por otro lado, según datos estadísticos existe un elevado número de accidentes de volcadura en las carreteras de nuestro país con un alto índice de muertes debido a que la estructura del autobús en muchos de los casos no fue capaz de soportar el impacto lateral.

Tomando en cuenta los aspectos anteriormente descritos, se ha tomado la estructura con la que actualmente Miral Autobuses fabrica sus productos para servicio interprovincial, mediante el método de elementos finitos y el software especializado para el análisis Ansys, se ha logrado determinar el comportamiento de la estructura ante un evento de volcadura, además se obtuvo información sobre su peso, tomando como base dicha información se logró identificar algunos componentes sobredimensionados para modificar su espesor y reducir su peso sin dejar de lado la resistencia al vuelco garantizando siempre la zona de supervivencia de pasajeros.

Para validar el análisis mediante elementos finitos se ha construido la sección más crítica de la estructura diseñada en escala 1:1 la cual se sometió a un ensayo de vuelco físico, siguiendo los parámetros establecidos en la reglamento 66 de las Naciones

Unidas y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INE 1323, con el fin de validar los resultados obtenidos de la simulación controlando cada uno de los factores que intervienen durante en ensayo aumentando de esta manera la fiabilidad de los resultados, brindando un diseño mejorado para resolver la problemática identificada.

Para el desarrollo de la presente investigación, el documento está conformado por 6 capítulos distribuidos de la siguiente manera:

En el Capítulo 1 se establece el tema de la investigación, se detalla el problema en el que se centra la investigación con los antecedentes de lo que sucede a nivel mundial, regional y nacional sobre la problemática, con la respectiva justificación se establecen los objetivos que conllevan a cumplir con la investigación.

En el Capítulo II se realiza el estudio del estado del arte con una revisión bibliográfica minuciosa de la teoría necesaria además de conceptos aplicables a la investigación lo cual delimita y traza el camino para el desarrollo satisfactorio del trabajo.

En el Capítulo III se describe cual es el enfoque de la investigación y se realiza la delimitación de las variables de pendiente e independiente las cuales son la base de la investigación planteada.

En el Capítulo IV se realiza el desarrollo de los parámetros de diseño de la Estructura del Autobús para pasará a la etapa de simulación con un software especializado y evaluar la resistencia de la Estructura al Vuelco, de lo cual se obtienen los resultados del análisis.

En el Capítulo V se describen las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación, que experiencias se aprendieron y que es lo que se recomienda realizar para la réplica de dicha investigación en otras empresas fabricantes de carrocerías del país.

En el Capítulo VI se describe la propuesta a la investigación con todos los cambios que se lograron realizar para alcanzar los objetivos planteados inicialmente lo cual servirá en gran medida al desarrollo y el crecimiento de los productos fabricados en la Empresa MIRAL Autobuses.

## CAPÍTULO 1

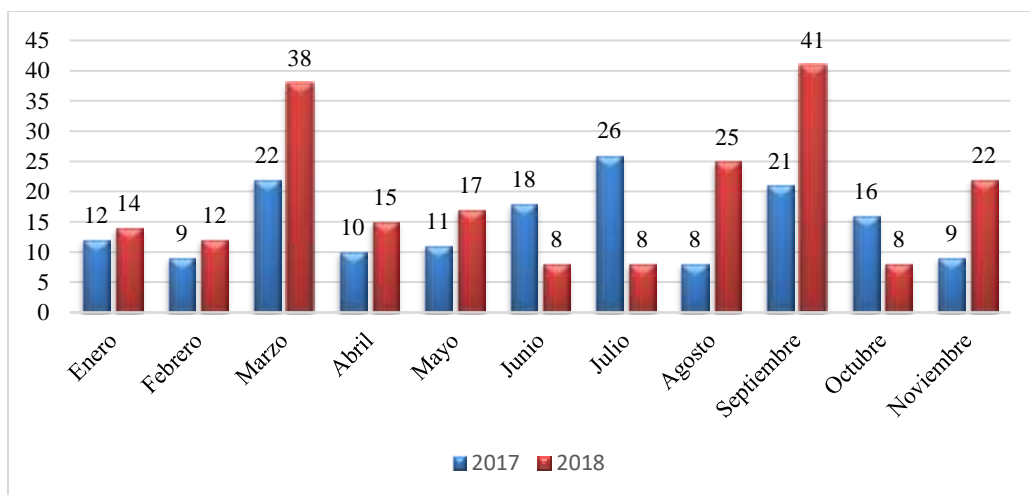
### 1.1 Tema

“DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL AUTOBUS INTERPROVINCIAL MODELO iM9 SOBRE CHASIS MERCEDES BENZ 0500 RS 1836 DE MIRAL AUTOBUSES EN BASE A LA SEGURIDAD AL VUELCO”

### 1.2 Planteamiento del problema

#### 1.2.1 Contextualización

Al ser el Autobús uno de los medios de transporte masivo más ocupado y el servicio interprovincial el que cuenta con altos índices de accidentes registrados las escenas de dolor en esas vías del país se han replicado a lo largo del 2018, cuando la cifra de fallecidos en buses subió un 20,93%, entre enero y noviembre pasado, debido a algunas circunstancias como largas distancias, relieve que recorren, fallas mecánicas, fallas humanas o fallas de construcción, se ve en la necesidad de garantizar que la estructura que conforma el Autobús sea totalmente resistente y garantice la supervivencia de los pasajeros. [1]



**Figura 1.1.** Fallecidos en accidentes de buses

Fuente: El Universo - ANT

Por otro lado, también se pretende garantizar que los siniestros no se produzcan debido a fallas de construcción tales como peso excesivo soportado por el chasis, con lo cual se supera el límite del Peso Bruto Vehicular Homologado del chasis en el que se coloque la carrocería, optimizar la estructura de la carrocería reduciendo costos de fabricación, con el uso adecuado de materiales, perfiles estructurales que componen la carrocería.

A nivel mundial los fabricantes de carrocerías tales como Irizar, Setra se han visto en la necesidad de acogerse a Normativa Internacional, quienes cumplen con el Reglamento 66 de las Naciones Unidas el mismo que es aplicable para vehículos Categoría M2 y M3 (NTE INEN 2656), dicho reglamento contempla los requisitos a cumplir para que la Estructura de la carrocería brinde seguridad al pasajero. En una gran cantidad de países a nivel mundial se realiza la prueba del volteo en forma física en la cual un bus totalmente terminado se coloca sobre una plataforma para realizar el Volteo, este ensayo brinda una idea clara de la resistencia de la estructura y si esta afecta o no la zona de supervivencia del bus.

En la región se tiene un gran desarrollo de la Industria Carrocera, así se tiene a Brasil que cuenta con una de las industrias más grandes del continente en fabricación de buses, los mismos que para acceder a diferentes mercados deben cumplir con la normativa propia de cada país donde pretenden vender el producto, por ejemplo Marcopolo que cuenta con la tecnología para realizar la Prueba de Volteo de manera física y tener una idea clara de la resistencia de la Estructura, reduciendo con esto la tasa de pérdidas humanas en accidentes de buses.

### **Escalofriantes estadísticas: Muertes por accidente de tránsito en el mundo**

Los accidentes de tránsito constituyen el lado oscuro e inevitable de la industria automotriz, la cual desde sus inicios no ha hecho más que innovar e inventar una serie de dispositivos de seguridad para volver los vehículos más seguros. Aun así, los niveles de accidentes no han logrado reducirse, y en los Estados Unidos al menos, existe uno cada 15 segundos. Mundialmente 1.2 millones de personas mueren anualmente en accidentes de tránsito. [2]

## **Las cifras de accidentes de tránsito crecen en Ecuador**

Ecuador no se caracteriza por sus buenas prácticas de conducción y mucho menos por bajas cifras de accidentes en las vías. Comúnmente se observan infracciones sin justificación como en cruces prohibidos, superar el límite de velocidad, invasión de carril, pugnas entre conductores de buses para acaparar mayor cantidad de pasajeros, además de otras malas prácticas al conducir. [2]

A nivel mundial este tipo de situaciones son muy frecuentes, especialmente en América latina, como resultado de estas malas prácticas se producen un sin número de accidentes y toda la subjetividad se hace objetivo, preciso e inclusive miedoso, cuando se analizan estadísticas de accidentes materiales y fatales en el país. [3]

Ecuador presenta altos y bajos en cuestiones de accidentes de tránsito con cada año. Si se recuerda tiempo atrás hasta 2010, muestra las peores cifras de los últimos tiempos, se registran 25 588 accidentes en todo el país, con un saldo de 20 031 heridos y 2 313 muertes, una de las peores tasas de mortalidad en accidentes de tránsito de la región, con 28 víctimas fatales por cada 1 000 habitantes. [3]

Tomando como referencia estas cifras, hace alrededor de cinco años, las cosas no han cambiado demasiado. En 2011, 2012 y 2013 las estadísticas muestran cifras muy parecidas, unos años con más fallecidos, otros con menos. Pero en los años posteriores, las cifras ascienden de manera descontrolada. El 2014 culminó con 38658 accidentes, mientras que el 2015 con 35701 siniestros y 1138 fallecidos.

Durante este año no se ha notado una mejora apreciable. Hasta julio del 2016, la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) muestra en sus estadísticas el valor de 1 136 muertos en accidentes de tránsito. Mensualmente durante este 2016 ha sobrepasado en accidentes fatales a las cifras del 2015 y no se observa una tendencia a la baja en dichas cifras. [3]

## **El índice de accidentes de tránsito es alarmante en Ecuador**

Se detalla en secuencia cronológica los accidentes registrados en 2018: 103 muertos durante el año 2018 por accidentes de magnitud.

Coop. Cañar, vía Biblián-Cañar el 31 de enero de 2018 se registran 6 fallecidos y 12 heridos.

Camión y tanquero de leche, vía Babahoyo-Jujan el 25 de febrero de 2018 se registran 11 fallecidos y 1 herido.

Dos buses interprovinciales, vía Jujan-Tres Postes el 17 de marzo de 2018 se registran 11 fallecidos y 54 heridos.

Bus interprovincial accidentado (volcamiento), vía Jipijapa-Cascol, 24 de marzo de 2018 se registran 12 fallecidos y 25 heridos.

Bus contratado por hinchas de club deportivo, vía Cuenca-Moyeturo el 12 de agosto de 2018 se registran 12 fallecidos y 30 heridos.

Bus internacional proveniente de Colombia, vía Pifo-Papayacta el 14 de agosto de 2018 se registran 12 fallecidos y 19 heridos.

Accidente de bus interprovincial, Coop. Viajeros, vía Cuenca-Loja el 1 de septiembre de 2018 se registran 11 fallecidos y 37 heridos.

Accidente de bus interprovincial, Coop. Turismo Oriental, vía Cuenca-Riobamba el 16 de septiembre de 2018 se registran 5 fallecidos y 27 heridos.

Volcamiento y caída a un abismo de 400mts, Coop. Nambija, vía Pindo-Balsas el 18 de septiembre de 2018 se registran 12 fallecidos y 27 heridos.

Según declaraciones de uno de los viajeros accidentados en el bus de la Coop. Nambija, el pasado 18 de septiembre, comentó que el conductor manejaba sobre el límite de velocidad permitido. “Trato de adelantar a un bus de otra operadora, perdió pista y cae hacia el abismo”. Ese fue su relato. Dicho accidente de tránsito dio como resultado 12 personas muertas y 27 heridos; por la cifra de involucrados se considera un accidente de consideración, según la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

### **Línea de tiempo de accidentes en días el mes de septiembre**

Entre bus de transporte público y camión plataforma 10 de septiembre, Guayaquil, avenida Narcisca de Jesús (autopista) se registra un muerto (acompañante de camión) y tres heridos.

Bus escolar choca contra otro vehículo, Guayaquil, calles Ayacucho y Tarqui.

13 de septiembre, bus de la cooperativa Azuay choca con camioneta.



Un bus queda suspendido en paso a desnivel, en la av. 10 de agosto, sector La Y, el Retiro de Machala se registran 3 heridos.

Sector de Colta-Columbé, Coop. Turismo Oriental 42, en ruta Cuenca-Quito el 16 de septiembre se registra 23 heridos y 5 muertos.

Volcamiento de bus de pasajeros, provincia de Chimborazo el 17 de septiembre.

Imprudencia del conductor, Accidente de bus, Guayaquil el 18 de septiembre se registra una mujer y su hija heridas.

Provincia El Oro, Balsas-Machala el 18 de septiembre se registran 14 muerto y 23 heridos.

De acuerdo con un informe generado por la ONU sobre seguridad vial a nivel mundial, cada 24 días se toman datos de accidentes de magnitud en Ecuador, como promedio. En Europa, un accidente que involucra 15 personas, entre fallecidas y heridas tiene una ocurrencia de 720 días. [4]

En 2018, José Alejandro Caraguay Viñamagua y Bryan Andrés Yanza Flores, mediante su tesis de grado concluyen a través de un análisis estadístico descriptivo, la posibilidad de determinar cuáles son los tipos de accidentes de tránsito que más se producen en autobuses de transportación interprovincial. La colisión frontal, con un 19%, seguido del vuelco sobre la calzada obtiene un 16% y en un tercer lugar se encuentra la salida de la vía y vuelco con el 12%, además existen otros tipos de accidentes que poseen menores porcentajes en comparación a los primeros. [5]

En el Ecuador se cuenta con centros especializados en el análisis de la estructura de carrocerías para diferentes servicios, pero esta prueba se limita a una simulación por medio de software que brinda una idea aproximada de lo que podría suceder durante una volcadura, al momento ningún fabricante de carrocerías cuenta con un laboratorio donde se pueda realizar la prueba de volteo de manera física, debido al alto costo de implementación, por otro lado la normativa vigente no exige que dicha prueba sea física, por lo que a nivel nacional existen 3 laboratorios acreditados por el SAE para la evaluación de la estructura del autobús según los requisitos de la norma RTE INEN 1323.[6]

Este trabajo de investigación pretende obtener información de la estructura diseñada al ser sometida a la prueba de volteo física, servirá de soporte para la prueba virtual realizada por los entes especializados, brindando valor agregado a la producción de Miral Autobuses, convirtiéndose en un ejemplo a seguir para que se realicen estudios sobre diseños de las estructuras de carrocerías a nivel nacional abriendo de esta manera las puertas a otros mercados al ser competitivos a nivel Internacional.

La finalidad de la presente investigación fue diseñar una estructura para el autobús interprovincial modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 con un menor peso que el actual ya que con un peso elevado no se aprovecha al 100% la potencia del motor del chasis, además de elevada resistencia al vuelco. En la actualidad por exigencia de normativa, para la fabricación de buses se establece que se realice el análisis mediante simulación de la estructura del autobús, lo que en muchos de los casos no representa lo que se ejecuta en la práctica debido a que se cambian algunos parámetros que idealmente se simulan, con la investigación se pretende encontrar una estructura que al ser sometida a una prueba física de vuelco, se obtenga los mismos parámetros que los simulados, dando con eso un mayor grado de confiabilidad en la fabricación de buses en el Ecuador.

### **1.2.2 Análisis crítico**

Actualmente, los fabricantes de buses de nuestro país se ven amenazados por los buses procedentes del exterior debido a los elevados costos de fabricación, excesivo peso de las unidades y la baja resistencia al vuelco durante un accidente de impacto lateral, estas limitaciones pueden ser superadas con correcto análisis de las estructuras que se fabrican en el país, mediante la optimización de geometrías, uso de materiales de calidad, garantizando la resistencia de la estructura del autobús.

En el país se cuenta con normativa para asegurar la resistencia de las estructuras de carrocerías, pero se limita a la simulación con software especializado, lo cual sería óptimo si se realizasen auditorías rigurosas por parte de entes de control ya que en muchos de los casos empresas fabricantes no cumplen al 100% con lo establecido en un Bus Prototipo, se cambian algunos parámetros con lo cual el producto fabricado no cumple con los estándares definidos en la Normativa vigente.

A más de ello, no se exige que se realicen pruebas de vuelco físicas por algunos motivos entre los cuales el económico, realizar pruebas físicas conlleva a una gran inversión e infraestructura para llevarlo a cabo, tampoco existen laboratorios designados o acreditados con la capacidad para realizar dichos ensayos físicos.

Resulta de gran importancia realizar esta investigación ya que no se puede jugar con la vida de seres humanos con prácticas que no aseguren la calidad del producto ofrecido, de tal forma no se podrá avanzar, abrirse nuevos mercados fuera de nuestras fronteras y darse a conocer a nivel mundial cumpliendo estándares internacionales y contar con reconocimiento de entidades a nivel mundial que avalen la producción nacional, por otro lado al fabricar productos competitivos con los extranjeros se abrirán múltiples fuentes de trabajo con mano de obra nacional impulsando la economía del país.

La investigación es pertinente al programa de la maestría ya que se enfoca en el Diseño y criterios para el desarrollo del producto, con el fin de abaratar costos mejorar el producto e impulsar el desarrollo de la industria.

### **1.2.3. Prognosis**

Al no contar con una estructura del autobús que esté diseñada para soportar una volcadura se podría ocasionar un sin número de accidentes, mutilaciones, pérdida de vidas en las carreteras de nuestro país, lo que conlleva a que el transportista busque otras opciones fuera de nuestras fronteras, en este caso elevando el costo de las unidades y por otro lado reduciendo las fuentes de trabajo para la mano de obra ecuatoriana.

Modificando la Estructura del Autobús Interprovincial Modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836, se podrá contar con una estructura de menor peso, la cual resista una volcadura sin invadir la zona de supervivencia de los pasajeros. Esto traerá muchos beneficios tanto para la empresa MIRAL Autobuses, ya que servirá para captar el mercado que por el momento adquiere buses fuera del país y por otro lado bajará costos de fabricación, de esta manera llamara la atención de propietarios de buses para adquirir sus unidades en el país.

Mediante el diseño adecuado de la Estructura del Autobús y su respectiva validación documentada con resultados favorables, se logrará crear confianza en el inversionista para que el dinero que actualmente está saliendo del país se quede en las industrias locales, desarrollando nueva tecnología e infraestructura para garantizar productos de calidad.

#### **1.2.4. Formulación del problema**

¿El diseño de la estructura del autobús interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 permitirá reducir su peso y mejorar su resistencia al ser sometido al vuelco?

#### **1.2.5. Preguntas directrices**

- ¿Cuáles son los criterios de diseño de la estructura del autobús interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 que permitan reducir su peso y garantizar la zona de supervivencia de pasajeros?
- ¿Cuál es el diseño de la estructura del autobús interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 que permitió reducir su peso y garantizar la zona de supervivencia de pasajeros?
- ¿Cuál fue el comportamiento de la estructura del autobús interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 en el ensayo de vuelco?

#### **1.2.6. Delimitación del problema**

##### **1.2.6.1. Delimitación de contenidos**

El presente trabajo de investigación se fundamentó en el campo de la Maestría en Diseño Mecánico en el área de Diseño de Estructuras con los módulos de Modelación de Sistemas Mecánicos, Diseño por Elementos Finitos, Diseño de Estructuras, Diseño de Experimentos los cuales brindaran el soporte para desarrollar de una manera adecuada la investigación.

### **1.2.6.2. Delimitación espacial**

El presente trabajo de investigación se lo desarrollará en la empresa MIRAL Autobuses ubicada en la ciudad de Ambato, aplicado a la estructura del autobús interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836.

### **1.2.6.3. Delimitación temporal**

El presente trabajo de investigación se desarrollará desde el mes de mayo de 2019.

## **1.3 Justificación**

El presente trabajo de investigación se centra en el análisis de la estructura del autobús para servicio interprovincial, que es de gran importancia debido a que se diseñó la estructura, logrando reducir el peso y modificar la resistencia al volteo, garantizando que la zona de supervivencia teórica nunca sea invadida por algún componente de la estructura durante un siniestro.

Se logró conocer la relación existente entre un diseño adecuado de la estructura del autobús y como incide en su peso ya que el objetivo es reducirlo para que buses de producción nacional sean competitivos con buses provenientes del exterior, lo que se verá reflejado directamente en costos de operación y mantenimiento para propietarios de buses. Por otro lado, modificar la resistencia de la estructura al Volteo evitando que la zona de supervivencia de pasajeros se vea afectada para reducir los índices de pérdidas mortales en accidentes en vías del país.

Mediante técnicas e instrumentos enlistados en la operacionalización de variables tales como un software Ansys, especializado para el análisis de la estructura, se logró determinar la variación de peso y evaluar su resistencia al vuelco, verificándose con una prueba física de la sección más crítica de la estructura según el Reglamento 66 de las Naciones Unidas. Este ensayo brindará información fiable con un nivel de la investigación experimental, aplicando metodología exploratoria y aplicarla en diseños similares, podría ser difundido para aplicar los principios en otras empresas fabricantes de carrocerías del país.

Miral Autobuses, carroceros nacionales, propietarios de buses y el usuario final se verán beneficiados con este trabajo de investigación ya que se pretende contar con buses mucho más seguros circulando en las carreteras del Ecuador, en caso de presentarse un accidente dicha estructura sea capaz de preservar las vidas de los ocupantes.

Mediante la reducción de peso se bajarán los costos de operación y mantenimiento ya que se tendrá un menor consumo de llantas y combustible obteniendo mayores ganancias.

Finalmente se pretende reducir costos de fabricación, lo que se verá reflejado en el costo de adquisición para quienes tengan la necesidad de renovar sus unidades.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

Diseñar la estructura del autobús interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 mediante la aplicación de métodos numéricos para reducir su peso y mejorar su resistencia a la prueba de vuelco de la sección más crítica del autobús.

### **1.4.2 Específicos**

- Definir el conjunto de criterios de diseño de la estructura del autobús Interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 para reducir su peso.
- Diseñar la estructura del autobús interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 modelando la prueba de volteo mediante el método de elementos finitos para garantizar la zona de supervivencia de pasajeros.
- Validar el comportamiento de la estructura del autobús mediante un ensayo físico de vuelco de la sección más crítica del autobús interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes Investigativos

En 2006, YU-LIN CHENG y Hong-Chi Nian - automotriz investigación y centro de pruebas, Taiwán realizó una investigación acerca de la “Optimización del diseño estructural de una sección del autobús usando el método de elementos finitos” en donde menciona que el centro de gravedad de los autobuses son generalmente más altos que el de otros vehículos, por lo que cuando ocurre un accidente de vuelco, la afectación a los pasajeros es grave, por tal motivo la rigidez de la estructura del autobús es el principal aspecto que hay que tener en cuenta.

Dicha investigación se centra en la optimización de la estructura incluyendo el espesor del arco y añadir algunos refuerzos mediante el uso del software LS-DYNA y HyperStudy.

Como resultado del análisis se concluye: Se presenta un procedimiento de diseño para la sección de la estructura del autobús. De los resultados de este estudio, se puede observar que la deformación de la sección del autobús puede reducirse el 50%, mientras que sólo el aumento de 2% de peso mediante el uso del método de análisis de optimización presentado en el documento muestra que el método es factible y eficaz. Cuando se trata de economizar el consumo de combustible y estabilidad de marcha, la reducción de peso de la estructura del bus se convierte cada vez más importante. Aplicando un método de análisis de optimización factible y eficiente será una herramienta poderosa para alcanzar la meta. [7]

En 2009, Tomas Wayhs Tech, Mercedes Benz de Brasil realizó un trabajo de investigación sobre la Optimización estructural de un autobús en condiciones de vuelco, en el cual se observa que las exigencias del mercado de movilización de pasajeros buscan siempre condiciones de funcionamiento más ligeras y económicas, sin dejar de lado la rigidez de la estructura del autobús al aplicarse condiciones de carga extremas. Por tal motivo, mediante el software de elementos finitos, se puede

establecer numerosas propuestas de optimización, además de establecer un procedimiento de desarrollo de proyectos para acortar el proceso y ayudar a la toma de importantes decisiones.

Como conclusiones de este trabajo de investigación, se estableció una metodología para alcanzar una buena correlación entre los resultados experimentales y numéricos. Además, con la propuesta del proyecto la estructura del bus cumple con los requisitos de resistencia mínima de la norma ECE R66. Mediante la evaluación de simuladores numéricos para la optimización metodológica, una gran herramienta para diseños de Autobús sometidos a condiciones de vuelco. [8]

En 2013, el Ing. Cesar Arroba, en la Universidad Técnica de Ambato, en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica realizó como tesis de maestría Estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante los programas Ansys Ls-Dyna y su incidencia en el espacio de supervivencia. Con lo cual concluyó que la superestructura del modelo Infiniti marca MIRAL realizada la simulación del ensayo de vuelco no cumple con lo dispuesto en el Reglamento N° 66 de las Naciones Unidas ya que la zona de supervivencia se ve invadida en 20,78mm, además recomienda realizar prototipos para efectuar la prueba del vuelco de manera física con el fin de comparar y validar resultados. [9]

En 2014, B. Gepner, C. Bojanowski, L. Kwasniewski, J. Wekezer investigaron acerca de la eficiencia de las Normas ECE R66 y FMVSS220 en la evaluación de la resistencia al impacto al vuelco de un autobús, en donde se identifican las diferencias al evaluar la resistencia del techo del autobús a las condiciones de vuelco, aplicando los criterios de las 2 normas, se obtiene diferentes resultados. Los dos métodos evalúan la resistencia al impacto del techo del autobús el mismo que soporta el 50% de la capacidad de carga del Autobús. [10]

En 2016, en la Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Mecánica, Andrea García Villegas realizó el análisis mediante simulación computacional del ensayo de vuelco de superestructuras para autobús, despoues de haber modelado la geometría, se aplicó las cargas de diseño para concluir que al aplicar diferentes métodos de análisis para el ensayo de vuelco, se obtiene valores de carga muy lejanos



por lo recomienda realizar el ensayo de vuelco físico con el fin de determinar la carga real con lo cual se validará la simulación efectuada. [11]

En 2017, Satrio Wicaksono, M. Rizka Faisal Rahman, Sandro y Mihradi Indra Nurhadi, en Indonesia se realizó el estudio del Análisis por elementos finitos de un autobús mediante la prueba de vuelco según la norma de la ONU ECE R66, en donde se realizó la simulación, mediante ordenador, del ensayo de vuelco de un autobús en vacío y completamente cargado, con estas dos condiciones se sometió al vuelco para observar que la estructura invade la zona de supervivencia de pasajeros, esta situación ocurre debido a que en dicho país no se cuenta con normativa o reglamentos relativos a la construcción de autobuses, aumentando el número de accidentes mortales se ha convertido en una preocupación importante.

Se logró determinar que las zonas más críticas de la superestructura son los travesaños superiores y la conexión entre el bastidor y el suelo por lo que una remodelación de la estructura del modelo analizado es de gran necesidad y avanzar hacia todos los modelos construidos en Indonesia. A partir de este estudio se pretende realizar el rediseño de las superestructuras del bus con el fin de cumplir con el criterio de seguridad aplicado el espacio de supervivencia de pasajeros durante un vuelco. [12]

En Marzo de 2018, Escuela Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingeniero Industriales, Francisco Murillo Martínez como proyecto de Fin de Carrera para la obtención del título de Ingeniero Industrial realizó el “Análisis mediante elementos finitos del comportamiento de perfiles combinados de Estructuras de Autobuses” de lo cual concluyó que el momento flector del análisis de un perfil combinado mediante soldadura de dos perfiles individuales es mayor que un perfil individual con espesor mayor, además absorbe mayor energía en la zona de los parantes del autobús, por lo que generar nuevas geometrías o modificarlas da mejores resultados, por lo que al ser sometido al vuelco no disminuye su resistencia, al contrario permite reducir pesos en la construcción de la carrocería y bajar el consumo de combustible. [13]

## **2.2 Fundamentación Teórica**

En el presente capítulo se presenta la información necesaria para dar a conocer los elementos que se van a analizar, entre ellas el Acero como materia prima, sus propiedades mecánicas para conocer el comportamiento del material en la geometría de la estructura del autobús.

Otra variable sobre la cual se realizó la investigación es la resistencia de la estructura al volteo para lo cual se brinda información de la normativa que se hace referencia, los parámetros y requisitos necesarios para llevar a cabo los ensayos.

### **2.2.1. Aceros Estructurales**

Existen gran variedad de formas para producir aceros estructurales entre las cuales se menciona en forma de lámina, placa, barras, tubería y perfiles estructurales. Mediante una designación con número la ASTM identifica a dichos aceros, misma que define las propiedades mínimas requeridas. [14]

El ASTM A36 es uno de los aceros más utilizados en aplicaciones estructurales, se trata de un acero al carbono utilizado para en la fabricación de diversos perfiles, placas y barras comercialmente disponibles. Otras aplicaciones de los aceros estructurales es la fabricación carrocerías de autobuses, tal es el ejemplo del acero ASTM A36 y A500 grado A y B con un límite de fluencia de 235 MPa y 320 MPa respectivamente. [15]

Aceros Microaleados o Aceros ALE (HSLA). Su endurecimiento se obtiene con la precipitación y el afinamiento del tamaño de los granos. Además, puede añadirse otros materiales como el titanio o cromo. Una de sus características es que presenta muy buenas propiedades de conformación en frío y resistencia a la fatiga y choques. Este tipo de acero es muy utilizado en piezas de estructura, como piezas de bastidor, piezas de refuerzo y elementos de suspensión. [16]

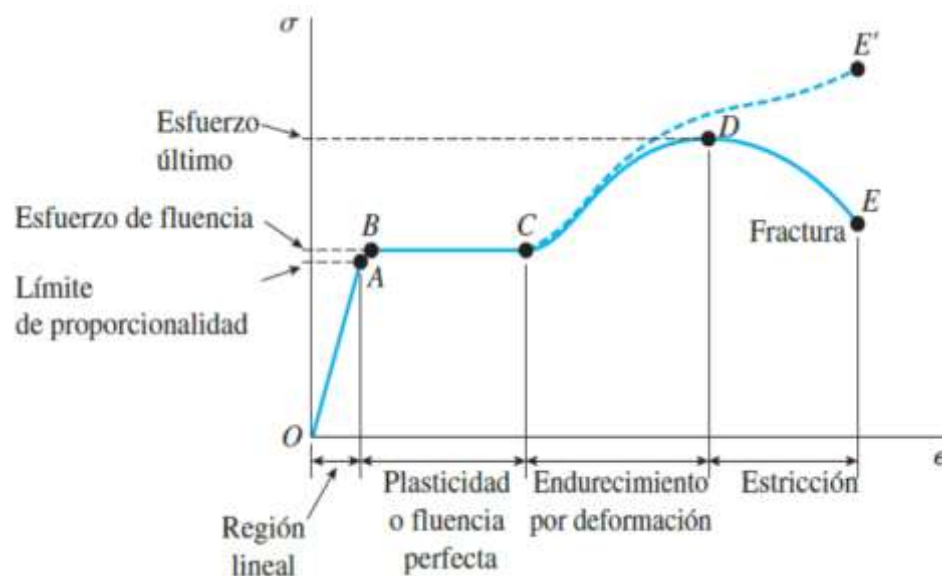
Aceros de Muy Alta Resistencia. La resistencia de este tipo de acero se logra gracias a la coexistencia de “fases blandas” y “fases duras” en la microestructura final.

Aceros de Ultra Alta Resistencia (UHSLA). Absorben una gran energía y tienen una alta capacidad para no deformarse. [16]

Actualmente, en Europa se esta utilizando tubería de acero inoxidable para la fabricación de carrocerías de buses, diversos proveedores presentes en la feria mundial del bus Bruselas 2019, dan a notar la gran cantidad de empresas que usan acero inoxidable para sus estructuras con varias ventajas entre las cuales se denota alta resistencia, reducción de peso y evitar la corrosión.

### 2.2.2. Propiedades de los aceros estructurales

Principalmente en base a la composición química de los aceros estructurales dependen sus propiedades mecánicas, así como también diferentes procesos de fabricación como el de laminado y el tratamiento térmico que se realicen. Mediante ensayos de laboratorio es posible determinar las propiedades mecánicas de los aceros, sin embargo, es de gran importancia considerar algunos factores que inciden a las propiedades tal es el caso de la rapidez de carga de la muestra, las condiciones y la forma y dimensiones de las mismas, el trabajo en frío, y la temperatura ambiente durante la realización del ensayo. [15]



**Figura 2.1** Gráfico esfuerzo – deformación

**Fuente:** (Hibbeler, 2011)

## **Deformación elástica y plástica**

Cuando se somete una pieza de metal a una fuerza de tracción en una sola dirección resulta la deformación de dicho metal. Cuando el metal recupera sus dimensiones iniciales cuando se elimina la fuerza aplicada, esto quiere decir que el metal ha sufrido una deformación elástica. La cantidad de deformación elástica que puede soportar un metal es pequeña pues durante la deformación elástica, los átomos del metal se desplazan de sus posiciones iniciales, pero no logran alcanzar nuevas posiciones. De este modo, cuando la fuerza sobre el metal deformado elásticamente se elimina, los átomos del metal vuelven a sus posiciones originales y el metal recupera la forma que tenía antes de aplicar la fuerza uniaxial inicial. Si el metal se deforma tanto que no puede recuperar completamente sus dimensiones originales, se considera que ha sufrido una deformación plástica. Durante la deformación plástica, los átomos del metal se desplazan de forma continua desde sus posiciones iniciales hasta otras distintas. En ingeniería una de las propiedades más útiles que tienen algunos metales de ser extensamente deformados sin que se fracturen. Por ejemplo, debido a la gran deformación plástica a que puede ser sometido el acero permite fabricar parachoques, capós y puertas de automóvil sin que llegue a fracturarse el metal. [17]

## **Límite De Fluencia**

Se entiende por límite de fluencia al esfuerzo partiendo del cual el material muestra un elevado crecimiento en sus deformaciones, sin existir elevaciones correspondientes en el esfuerzo. Dependiendo de la clase de acero que se analice se definirá el límite de fluencia. Existen aceros en los cuáles sólo se tiene un límite de fluencia, mientras que, en los aceros conformados en frío, no se cuenta con un límite de fluencia establecido, en este caso se fija donde la curva esfuerzo-deformación se modifica su pendiente en forma apreciable. [15]

## **Rigidez.**

Muy a menudo es importante y necesario determinar cuánto se deformará un componente bajo carga para garantizar que la deformación excesiva no inutilice el

componente. Esto puede ocurrir con esfuerzos por debajo de la resistencia a la cedencia del material, sobre todo en miembros con gran longitud, o en dispositivos que necesiten de alta precisión. La rigidez de un material es una función de su módulo de elasticidad, también conocido como módulo de Young. [14]

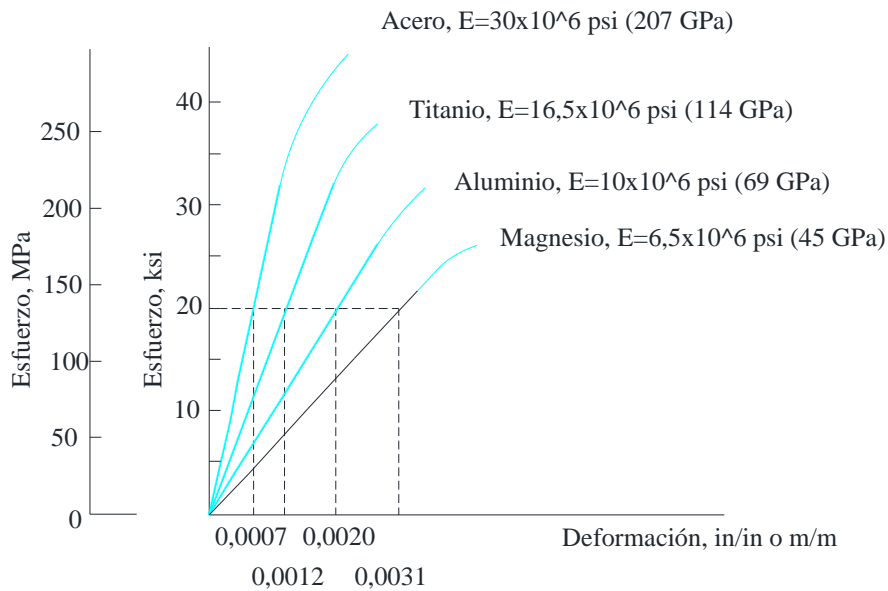
### **Módulo De Elasticidad**

El módulo de elasticidad, E, es una medida de la rigidez de un material que es determinada por la pendiente de la parte de línea recta de la curva esfuerzo - deformación. Es la relación del cambio del esfuerzo al cambio correspondiente de la deformación.

Esto puede formularse mediante la siguiente expresión: [14]

$$E = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformacion Unitaria}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{Ec. 1}$$

Por consiguiente, cuando un material presenta una pendiente más pronunciada en su curva de esfuerzo-deformación será más rígido y se deformará menos bajo la aplicación de carga que uno de pendiente menos pronunciada. La figura 2.2 muestra este concepto al identificar las partes de línea recta de las curvas de esfuerzo-deformación de acero, titanio, aluminio y magnesio. Es posible apreciar que, en el caso de dos partes idénticas, pero una hecha de acero y la otra de aluminio, la parte de aluminio se deformaría aproximadamente tres veces más cuando se sometiera a la misma carga. [14]



**Figura 2.2** Módulo de elasticidad de diferentes metales

**Fuente:** (Mott, 2009)

El diseño de elementos de carga muy comunes en máquinas y estructuras es tal que el esfuerzo queda por debajo del límite proporcional; es decir, en la parte de línea recta de la curva de esfuerzo-deformación. A continuación, se establecerá la ley de Hooke. Cuando el nivel de esfuerzo en un material bajo la aplicación de una carga está por debajo del límite proporcional y existe una relación de línea recta entre esfuerzo y deformación, se dice que se cumple la ley de Hooke. [14]

### **Resistencia Al Impacto**

La resistencia al impacto se mide al aplicar cargas rápidas y definir la capacidad que tiene un acero de absorber cierta cantidad de energía. La Tenacidad de un acero es la medida de confianza de la resistencia al impacto, la cual que es la característica del acero para soportar fuerzas que produzcan fractura. En función de la resistencia a la propagación variante de una fractura en presencia de una muesca un material tenaz es definido. [15]

### 2.2.3. El método de elementos finitos (MEF O FEM).

#### **Definición del método.**

El método de elementos finitos se define como un método de aproximación de problemas continuos, en dónde se considera:

- El componente se divide en un número finito de partes, “elementos”, cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros asociados a ciertos puntos característicos denominados “nodos”. Estos nodos son los puntos de unión que cada elemento comparte con sus adyacentes.
- Para la solución del sistema completo sigue las reglas de los problemas discretos. El sistema completo se compone del ensamblaje de los elementos.
- Las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas y se comportan como el valor de estas funciones en los nodos.
- El comportamiento de los nodos define el comportamiento del interior de cada elemento mediante las adecuadas funciones de interpolación o funciones de forma.

La discretización del modelo se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado. El conocimiento de lo que sucede en el interior de este modelo del cuerpo aproximado, se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado y finito de puntos. [18]

#### **Hipótesis De Discretización**

Cuando se habla de una estructura discreta, su deformación está definida por un número finito de parámetros (deformaciones y/o giros), que juntos dan lugar al vector de deformaciones  $\Delta$ , y la estructura tiene tantas formas de deformarse como términos tenga dicho vector. Por otro lado, un medio continuo tiene infinitas formas posibles de deformarse, sin ninguna relación unas de otras, ya que cada punto puede desplazarse manteniendo fijos cualquier número finito de los puntos restantes, por grande que este sea. Por lo tanto, la configuración deformada de la estructura no puede venir dada por un vector finito  $\Delta$  como el anterior, sino que es una función

vectorial  $u$ , que indica cuáles son las deformaciones de cualquier punto, y viene dado tiene tres componentes escalares: [19]

$$u = \begin{pmatrix} u(x, y, z) \\ v(x, y, z) \\ w(x, y, z) \end{pmatrix}$$

Donde:

$u, v, w$ : componentes escalares

$x, y, z$ : Deformaciones

La solución de la ecuación diferencial es esta función, misma que gobierna el problema, y si éste está bien planteado, cumplirá las condiciones de contorno impuestas, pero en principio no puede asegurarse que esta función  $u$  tenga una expresión analítica manejable, ni siquiera que pueda calcularse. Por lo tanto, la función  $u$  no podrá conocerse en general.[19]

Tomando en cuenta lo antes expuesto, para obtener la solución de este problema, el Método de Elementos Finitos recurre a la hipótesis de discretización, la cual establece lo siguiente:

- El elemento continuo se divide por medio de líneas o superficies imaginarias en una serie de regiones contiguas y disjuntas entre sí, con geometrías sencillas y estandarizadas, denominadas elementos finitos.
- La unión de los elementos finitos entre si con un número finito de puntos, se denomina nodos.
- Ahora las incógnitas básicas del problema son los desplazamientos de los nodos, y éstos determinan unívocamente la configuración deformada de la estructura. Sólo estos desplazamientos nodales se consideran independientes.
- El desplazamiento de un punto cualquiera, viene unívocamente determinado por los desplazamientos de los nudos del elemento al que pertenece el punto. Para ello se definen para cada elemento, unas funciones de interpolación que permiten calcular el valor de cualquier desplazamiento interior por interpolación de los desplazamientos nodales. Estas funciones de interpolación serán de tal naturaleza que se garantice la compatibilidad de deformaciones necesaria en los contornos de unión entre los elementos.



- Lo que define unívocamente el estado de deformaciones unitarias en el interior del elemento son las funciones de interpolación y los desplazamientos nodales. Éstas, mediante las ecuaciones constitutivas del material definen el estado de tensiones en el elemento y por supuesto en sus bordes.
- Para cada elemento, existe un sistema de fuerzas concentradas en los nudos, que equilibran a los esfuerzos existentes en el contorno del elemento, y a las fuerzas exteriores que sobre él actúan.

Los dos aspectos más importantes de esta hipótesis, sobre los que hay que hacer hincapié son:

- La función solución del problema  $u$  es aproximada de forma independiente en cada elemento. Para una estructura discretizada en varios elementos, pueden utilizarse funciones de interpolación distintas para cada uno de ellos, a juicio del analista, aunque deben cumplirse ciertas condiciones de compatibilidad en las fronteras entre cada uno de los elementos.
- Dentro de cada elemento la función solución es aproximada, apoyándose en un número finito (y pequeño) de parámetros, que son los valores de dicha función en los nodos que configuran el elemento y a veces sus derivadas.

Esta hipótesis de discretización viene a ser el pilar básico del Método de Elementos Finitos, por lo que se suele decir de éste, que es un método discretizante, de parámetros distribuidos. La aproximación aquí indicada se conoce como la formulación en desplazamiento.

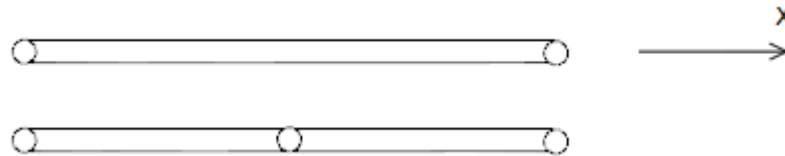
Claramente se han introducido algunas aproximaciones. En primer lugar, no es siempre se puede asegurar que las funciones de interpolación escogidas satisfarán al requerimiento de continuidad de desplazamientos entre elementos adyacentes, ya que puede infringir la condición de compatibilidad en las fronteras entre unos y otros. En segundo lugar, al concentrar las cargas equivalentes en los nudos, las condiciones de equilibrio se satisfacen solamente en ellos, pero no se cumplirán satisfactoriamente en las fronteras entre elementos.

El proceso de discretización descrito tiene una justificación intuitiva, pero lo que en realidad sucede es la minimización de la energía potencial total del sistema, para un

campo de deformaciones definido por el tipo de elementos utilizado en la discretización. [19]

Se representan a continuación algunos de los elementos más importantes.

- Elasticidad unidimensional



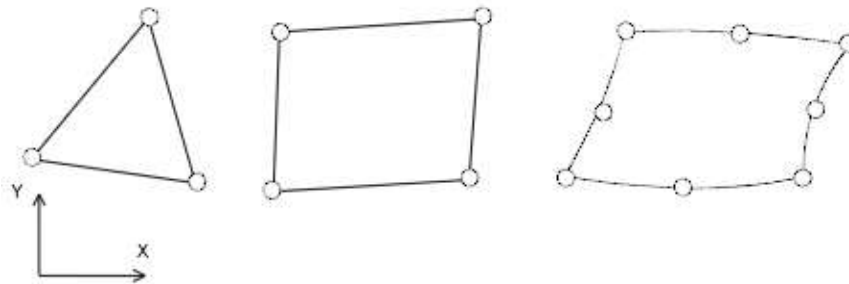
**Figura 2.3** Elementos para elasticidad unidimensional

**Fuente:** (Celigüeta 2008)

donde la

Para un caso unidimensional donde la única incógnita es el desplazamiento  $u$  en la dirección  $x$ .

- Elasticidad bidimensional

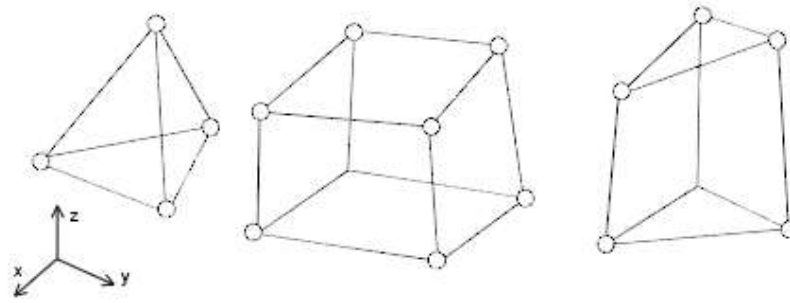


**Figura 2.4** Elementos para elasticidad bidimensional

**Fuente:** (Celigüeta 2008)

En este caso el medio continuo que se analiza es plano, y se considera situado en el plano  $XY$ . Se denomina  $t$  al espesor del dominio en su dirección transversal, el cual se considera despreciable frente a las dimensiones del dominio en el plano  $XY$ . [20]

- Elasticidad tridimensional

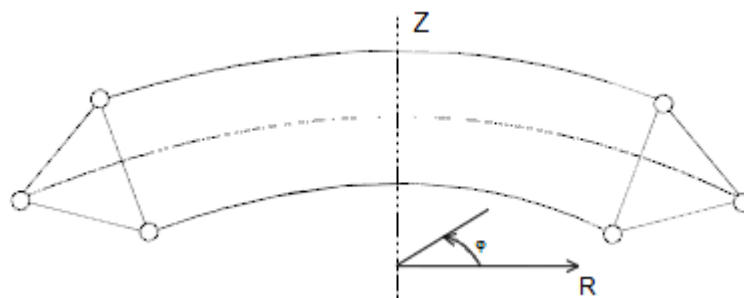


**Figura 2.5** Elementos para elasticidad tridimensional

**Fuente:** (Celigüeta 2008)

Los problemas de elasticidad en tres dimensiones son bastante frecuentes en la práctica ingenieril, y se presentan especialmente elementos que debido a su proceso de fabricación, o requerimientos de desempeño no pueden tener una dimensión mucho menor que las otras dos. Ocurre con piezas fundidas o forjadas (p.e. carcasas de maquinaria, bancadas de máquinas herramienta, soportes y aparatos de apoyo, etc.), con elementos estructurales en hormigón para apoyo y cimentación (apoyos de puentes, cimentaciones de máquinas, obras hidráulicas...), y en general en cualquier estructura en la que no pueda asumirse la hipótesis de que la tensión en la dirección del espesor sea nula. [20]

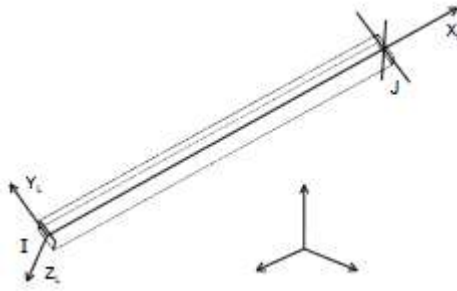
- Problemas axisimétricos



**Figura 2.6** Elemento axisimétrico

**Fuente:** (Celigüeta 2008)

- Vigas

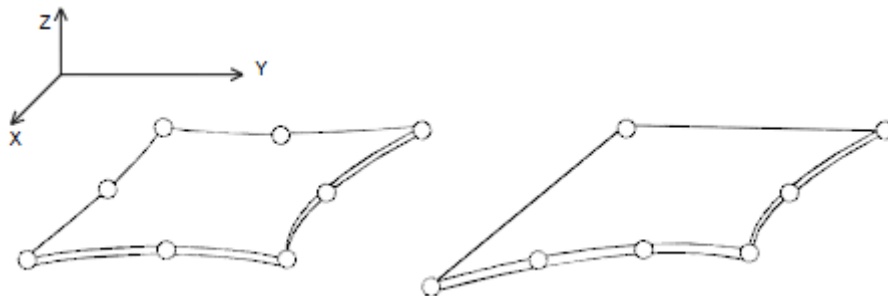


**Figura 2.7** Elemento viga

**Fuente:** (Celigüeta 2008)

La flexión de vigas puede estudiarse por el Método de los Elementos Finitos como un problema más de elasticidad. Para simplificar su estudio, no se consideran la deformación ni el esfuerzo axial, que se sabe están desacoplados de la flexión en el caso habitual de pequeñas deformaciones. [20]

- Flexión de placas planas

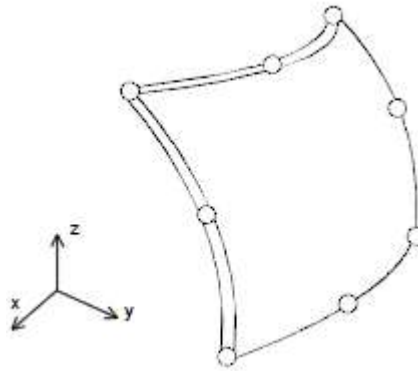


**Figura 2.8** Elementos placa

**Fuente:** (Celigüeta 2008)

Las placas son estructuras continuas, formadas por un dominio material plano, de espesor constante o variable  $h$  mucho menor que las dimensiones transversales del dominio, y sobre el que actúan unas cargas exteriores que pueden ser fuerzas perpendiculares al plano de la placa, o bien momentos contenidos en dicho plano. Estas cargas son absorbidas por el sólido por medio de un efecto de flexión y deformación transversal. En sentido estricto, no se consideran en la flexión de placas las fuerzas contenidas en el plano de la placa, las cuales harían trabajar al material en su plano, y por lo tanto su tratamiento corresponde a un problema de elasticidad en dos dimensiones. [20]

- Cáscaras curvas



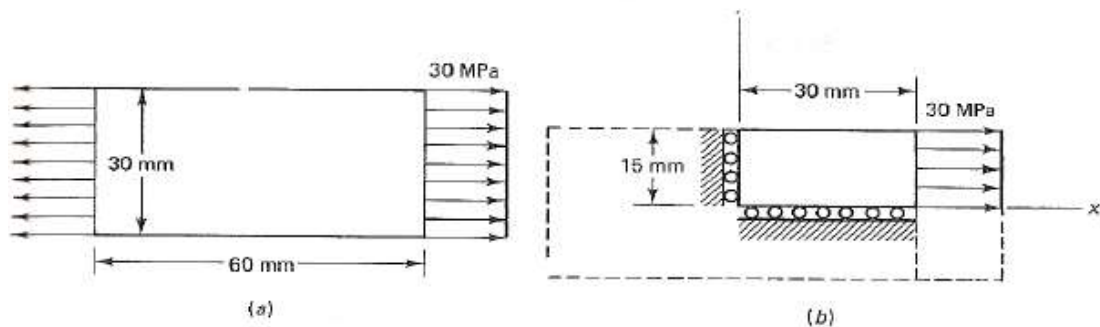
**Figura 2.9** Elemento cáscara

**Fuente:** (Celigüeta 2008)

### Modelación del problema y condiciones de frontera.

El método de elementos finito se usa para calcular desplazamientos y esfuerzos en una amplia variedad de problemas. Las dimensiones físicas, cargas y condiciones de frontera que no siempre están claramente definidas.

Un ejemplo es el problema ilustrado en la figura 10; por la simetría de la pieza puede simplificarse como se muestra en la figura 10 (b). Los puntos que están en el eje x, se mueven a lo largo de la dirección X y están restringidos en la dirección Y, y lo mismo ocurre con los puntos en el eje Y. Esto sugiere que la cuarta parte del área total, con las condiciones de carga y de frontera mostradas, es todo lo que se necesita para hallar las deformaciones y los esfuerzos. [21]



**Figura 2.10.** Condición de frontera

**Fuente:** (F. Díaz, 2018)

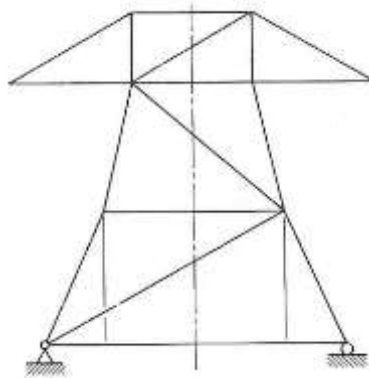
## **Tipos De Elementos.**

En los programas de aplicación del FEM, así como en los análisis de la vida real se debe optar por algún tipo de elemento, dependiendo de las condiciones de frontera, el tipo de fuerza aplicada y el elemento inicial a analizar. Por esto se describe a continuación los más comunes. [21]

### **Elementos tipo armazón o barra.**

Las barras son elementos de dos nodos que se pueden colocar indistintamente en cualquiera de los planos ya sea x, y o z. Transmiten únicamente fuerzas axiales y por lo general tiene tres grados de libertad de desplazamiento; por concepto no tiene grados de libertad para rotar. Las barras son utilizadas para diseñar estructuras como puentes, torres o edificios.

Los elementos tipo barra figura 1.7 se los puede emplear en análisis de tipo no lineal, elástico y de grandes desplazamientos de su geometría. El módulo de Young define el comportamiento elástico de tipo lineal.[21]



**Figura 2.11** Elementos tipo barra

**Fuente:** (F. Díaz, 2018)

Si es que se asigna un valor elevado de rigidez, este puede ser tomado en cuenta como otra condición de frontera:

- La dimensión de la longitud del elemento es (entre 8 a 10 veces) mayor que la dimensión de su ancho.
- Las uniones mediante las cuales está conectado no transmiten momentos.
- Las fuerzas externas son aplicadas únicamente a los nodos o articulaciones del elemento.

### **Elementos viga.**

Estos tipos de elementos viga, brindan resistencia a los dos casos, a las fuerzas como a los momentos; la variante entre las vigas y las barras es que las primeras soportan esfuerzos de torsión y flexión.

Son elementos en tres dimensiones con tres nodos, tienen como máximo seis grados de libertad donde se incluye traslación y rotación. [21]

Para aplicar correctamente un elemento viga se debe cumplir con lo siguiente:

- La dimensión de la longitud del elemento es mucho mayor que la longitud de su ancho.
- No cambia en sus secciones y en sus propiedades.
- Puede transferir momentos.
- Puede manejar cargas distribuidas en toda su longitud.

### **Elementos de membrana.**

Dichos elementos están formados por tres o cuatro nodos en tres dimensiones, se usan para crear objetos como redes o tejidos. Por concepto no tienen grados de libertad a la rotación, por otro lado, tiene un sin número de grados de traslación. Únicamente se admiten cargas en el mismo plano que la membrana, ya que únicamente se formula la rigidez del plano

Las membranas son utilizadas cuando el espesor del elemento es demasiado pequeño comparado con su longitud o su ancho.

### **Elemento de bloque o brick.**

Los elementos tipo bloque pueden tener entre 6 o 8 nodos, aunque existen bloques más reforzados con la posibilidad de colocar nodos intermedios. Por concepto no poseen grados de libertad para rotar, aunque sí tres en traslación.

Existen múltiples versiones de bloques con 4, 5, 6, 7 u 8 nodos con la finalidad de facilitar el estudio de esfuerzos y vibraciones. [21]

### Elemento tipo placa.

Dichos elementos se utilizan para dibujar componentes automotrices o contenedores con paredes delgadas. Son elementos de 3 o 4 nodos tridimensionales. Poseen infinitos grados de libertad.

Los elementos tipo placa pueden emplearse cuando:

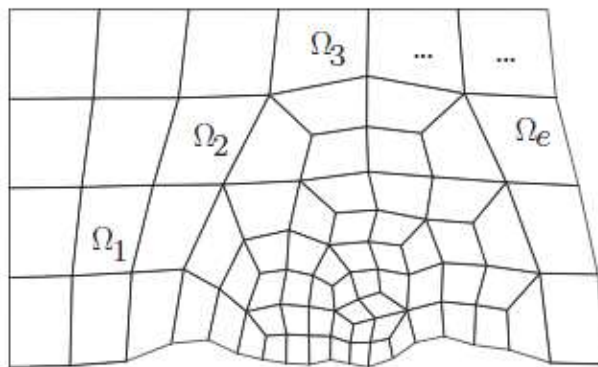
- Las dimensiones del ancho del elemento guardan una relación con el largo de aproximadamente 1/10.
- El desplazamiento es muy pequeño.
- El elemento siempre permanece plano.

### La Malla De Elementos Finitos

Se comienza subdividiendo el dominio  $\Omega$  en un número finito o establecido E de subconjuntos llamados subdominios  $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \dots, \Omega_E$ , denominados los elementos finitos. Estos elementos no se entrecruzan y cubren, por tanto, satisfacen:

$$\Omega_l \cap \Omega_j = \emptyset \text{ para } l \neq j, \cup_{e=1}^E \overline{\Omega_e} = \overline{\Omega}$$

Para no tener dificultades innecesarias, se asume que el dominio  $\Omega$  es poligonal si es un subconjunto de  $R^2$ . Es decir, la frontera  $\partial\Omega \subset R^2$  de  $\Omega$  se compone de segmento rectos. Bajo dichas condiciones, resulta muy fácil ver que el dominio entero se puede cubrir exactamente por elementos de múltiples caras, como muestra la Figura 12. [22]

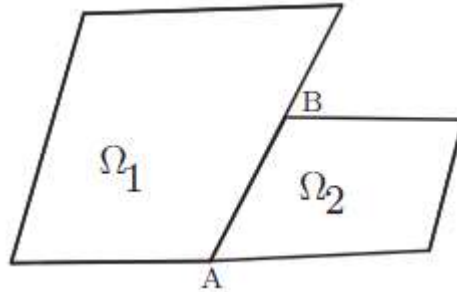


**Figura 2.12.** Discretización por elementos finitos del dominio - en una malla compuesta por elementos cuadriláteros.

**Fuente:** (G. Calderón, 2011)



También se agrega una condición adicional a la subdivisión de  $\Omega$ : todo lado de la frontera de un elemento en  $\mathbb{R}^2$  es o parte de la frontera  $\partial\Omega$ , o es un lado de otro elemento adyacente. Esta condición elimina dicha situación tal como la que se muestra en la Figura 2.13, en la cual la cara AB es un lado de  $\Omega_2$ , pero no de  $\Omega_1$ .



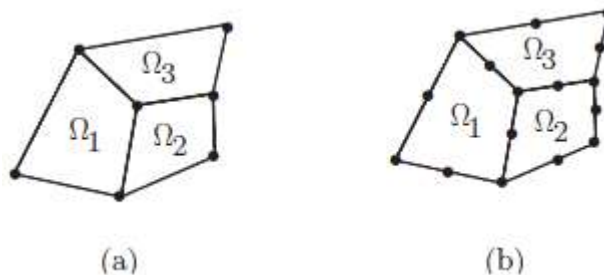
**Figura 2.13.** Discretización no aceptada del dominio  $\Omega$ .

**Fuente:** (G. Calderón, 2011)

### Puntos nodales

Se reconocen algunos puntos en el dominio subdividido denominados nodos o puntos nodales; dichos puntos desenvuelven un papel fundamental en el MEF, como se pondrá en evidencia cuando se vaya desarrollando el método. Los nodos son asignados, por lo menos, en los vértices de los elementos como se muestra en la Figura 2.14.a, pero para obtener una mejor aproximación, otros nodos pueden ser introducidos, como ejemplo, en los puntos medios de los lados de los elementos tal como se muestra en la Figura 2.14.b.

Sea cual fuere el caso, existe un total de  $m$  nodos, los cuales se numeran  $1; 2; \dots; m$  y tienen vectores de posición  $x_1; x_2; \dots; x_m$ . El conjunto de elementos y nodos que forman el dominio  $\Omega$  es denominado la malla de elementos finitos. [22]



**Figura 2.14** Configuración de los nodos en los elementos del dominio  $\Omega$ .

**Fuente:** (G. Calderón, 2011)

### **Mallado adaptativo.**

Disponer de un medio para evaluar el error que se comete en el cálculo es de gran importancia ya que radica en que permite el refinamiento de los mismos. El objetivo es lograr obtener resultados que no se acerquen a un error marcado.

Hay 3 formas de refinamiento de los problemas: [18]

- Método H: Consiste en bajar el error actuando directamente sobre las dimensiones del elemento y manteniendo constante la función de su geometría. Se nota dos inconvenientes, es el método más demoroso, si es que se observa desde el lado de la velocidad de convergencia; un punto desfavorable es que no es posible mantener el control sobre el mallado, pudiendo generarse mallas erróneas.
- Método P: Consiste en ir incrementando en forma inmutable el grado de los polinomios de interpolación (funciones de forma), conservando fijo la geometría de los elementos. Posee mayor velocidad de convergencia que el método H, la desventaja es que presenta el problema de que necesita acotar el mayor grado del polinomio. Se podría producir alteración de las soluciones cuando se tiene un grado de polinomio muy alto.
- Método HP: Se define como el uso en secuencia de las dos técnicas. Primero, se optimiza el mallado a la forma del elemento, posteriormente se modifica el grado del polinomio cuando se alcanza el error estimado.

En la resolución de los problemas de este proyecto de tesis no se ha empleado ninguna técnica de mallado adaptativo. La razón de no emplearlo ha sido condicionada por la no existencia en el programa de elementos finitos de elementos electromagnéticos que dispusieran de esta opción. La razón, como se verá en 6.4, son las discontinuidades que se producen en la interface entre materiales diferentes.

### **Pasos a seguir en el cálculo MEF. Funcionamiento de un programa de elementos finitos.**

Los programas para procesamiento por elementos finitos cuentan con tres módulos de trabajo:

- Pre-procesador: Donde se concibe la geometría del modelo para el cálculo, en él se realizan las operaciones como:
  - Dibujo del modelo, o importación si se ha generado a través de un sistema CAD que genere ficheros compatibles.
  - Se selecciona el tipo de elemento o elementos a ser utilizado. Partiendo del tipo de cálculos a realizar estos programas suelen disponer de varios tipos de elementos que son únicos para cada aplicación. Por ejemplo, suelen tener elementos que se utilizan para cálculos de tensiones planas, tensiones tridimensionales, electrostática, magnetostática, elementos de contacto, etc.
  - Selección de los materiales a utilizarse, que pueden obtenerse por librerías, o ser definidos por quien lo realice. Esto último es común cuando se emplean materiales de propiedades no lineales o materiales anisotrópicos.
  - Concesión de elemento y propiedades de materiales a los diferentes componentes del modelo.
  - Mallado de los componentes de todo el modelo.
  - Aplicar las cargas exteriores (puntuales, lineales o superficiales).
  - Aplicar las condiciones de frontera del modelo.
- Calculador: Es el componente del programa de análisis que realiza todo el cálculo del MEF y genera las soluciones requeridas por el usuario.

Los pasos que se establecen son los siguientes:

- Selección del tipo de cálculo a realizar, por ejemplo, si es un análisis transitorio, en régimen armónico, estático, etc.
- Configurar los parámetros para el cálculo. Selección de intervalos de tiempo, norma del error, número de iteraciones, etc.
- Para empezar el cálculo: el software inicia transfiriendo las cargas al modelo, genera las matrices de rigidez, realiza la triangulación de la matriz, resuelve el sistema de ecuaciones y genera la solución.
- Post-procesador: es la herramienta con la que se realiza la representación gráfica de los resultados, así como de otros resultados obtenidos indirectamente que se pueden obtener una vez que se ha desarrollado el análisis dando las soluciones del modelo.

#### **2.2.4. Análisis Explícito**

El cálculo explícito es un método numérico para la resolución de análisis de problemas de elementos finitos.

Se va a realizar una descripción las diferencias con respecto al método implícito y las características que caracterizan el uso como método de análisis de cada método.[23]

#### **Implícito**

Métodos implícitos no tiene una limitación inherente en el tamaño mínimo del incremento.

El tamaño mínimo de un incremento se determina generalmente a partir de consideraciones de precisión y de convergencia.

Simulaciones implícitas suelen tomar órdenes de magnitud menos que los incrementos de las simulaciones explícitas.

Sin embargo, ya que un conjunto global de ecuaciones debe ser resuelto en cada incremento, el costo por incremento de un método implícito es mucho mayor que la de un método explícito.

El enfoque implícito es útil en problemas en los que la dependencia de tiempo de la solución no es un factor importante [por ejemplo, estática, etc estructural]

Proceso de resolución de problemas no lineales en implícito. [23]

Cuando las deformaciones se hacen grandes en un análisis geoméricamente no lineal los elementos a menudo se vuelven tan severamente distorsionada que ya no proporcionan una buena discretización del problema. Cuando esto ocurre, es necesario mapear la solución sobre una nueva malla que esté mejor diseñada para continuar el análisis. El procedimiento es controlar la distorsión de la malla ejemplo -por ejemplo, mediante la observación de configuración deformada – y decidir cuando la malla tiene que ser mapeada. Cuando la distorsión de la malla es tan severa una nueva malla debe ser creada, la nueva malla se puede generar utilizando las opciones de generación de malla. La base de datos de salida es útil en este contexto, ya que la geometría actual del modelo se puede extraer de los datos en la base de datos de salida. Una vez que se define una nueva malla, el análisis se continúa comenzando un nuevo problema usando la solución de la vieja malla en el punto de mapeo como condiciones iniciales especificando el número de paso y número de

incrementos en el que la solución debe ser leída a partir del análisis anterior. Se interpola la solución de la malla antigua en la nueva malla para comenzar el nuevo problema. Esta técnica proporciona una considerable generalidad. Por ejemplo, la nueva malla puede ser más densa en las regiones de gradientes de alta exigencia y tienen menos elementos en las regiones que se mueven rígidamente, no hay ninguna restricción de que el número de elementos deba ser el mismo o que los tipos de elementos estén de acuerdo entre la antigua malla y la nueva malla. En un análisis práctico típico de un proceso de fabricación, el mapeado de solución de malla y la malla puede tener que hacer varias veces debido a los grandes cambios en la forma asociados con un proceso de este tipo. [23]

### **Explícito**

- Planteamiento explícito es de gran ayuda en la solución de problemas que dependen del tiempo de alta deformación como Choque, explosión, impacto, etc
- Resuelve estados de equilibrio dinámico.
- La inercia puede desempeñar un papel dominante en la solución.
- El no equilibrio de fuerzas se propaga en forma de ondas de tensión entre elementos vecinos.
- Depende únicamente de las frecuencias naturales más altas de la modelo.
- Independiente del tipo y la duración de la carga.
- Simulaciones toman generalmente en el orden de 10.000 a 1.000.000 de incrementos, pero el coste computacional por incremento es relativamente pequeño. El incremento de tiempo estable es normalmente bastante pequeño. [23]

La principal característica de dicho análisis es la no linealidad del mismo, debidas a:

- La geometría sufre grandes desplazamientos, experimentando importantes cambios en la geometría inicial.
- El material tiene un comportamiento elasto-plástico, donde la zona plástica es modelada mediante una ecuación no lineal.
- El contacto entre la chapa y las diferentes piezas como son la matriz, el prensa-chapa y el punzón, introducen una fuerte no-linealidad además de una disipación de energía debida al contacto con rozamiento. [24]

Los fenómenos que ocurren a muy alta velocidad, como por ejemplo los impactos o colisiones, o bien con grandes deformaciones permanentes (como pueden ser la estampación o el conformado), suponen un gran reto para los ingenieros que abordan su análisis. Este tipo de simulaciones precisan, ante todo, de un conocimiento profundo de los fenómenos físicos incluidos y de los modelos matemáticos utilizados: ecuaciones constitutivas, leyes de comportamiento de material, resolución de la propagación del efecto en el modelo, etc. [24]

Existen 2 formas de abordar este análisis, mediante el método explícito o el método implícito; son métodos numéricos para la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias tiempo-variable y ecuaciones diferenciales parciales.

El método explícito calcula el estado del sistema en un tiempo posterior del estado del sistema al instante actual, mientras que el método implícito lo encuentra resolviendo una ecuación implicando ambos estados del sistema, tanto el actual como el posterior. Matemáticamente, podemos verlo en las siguientes ecuaciones, donde la ecuación 2.2 se refiere al método explícito y la ecuación 2.3 al método implícito:

$$Y(t + \Delta t) = F(Y(t)) \quad \text{Ec. (2.2)}$$

$$G(Y(t), Y(t + \Delta t)) = 0 \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde:

$Y(t)$  es el estado actual

$Y(t + \Delta t)$  es el estado posterior

$\Delta t$  es un paso de tiempo muy pequeño.

Es evidente que el método implícito requiere un mayor gasto computacional, y puede ser mucho más difícil de aplicar. El método implícito es usado porque muchos problemas en la vida real son rígidos, para el cual el uso del método explícito requiere pequeños pasos de tiempos  $\Delta t$  para mantener limitado el error en el resultado. [24]

## Materiales utilizados para la simulación

**Tabla 2.1.** Materiales para ensayo de vuelco virtual

<b>Carné de identidad</b>	<b>Nombre</b>	<b>Propósito</b>
MAT_001	MAT_ELASTIC	Este es el Tipo de material 1. Este es un material elástico isotrópico y está disponible para elementos de viga, carcasa y sólidos en LS-DYNA. Una especialización de este material permite el modelado de fluidos. [25]
MAT_020	MAT_RIGID	Este es el material 20. Se considera que las partes hechas de este material pertenecen a un cuerpo rígido (para cada ID de parte). Además, el acoplamiento de un cuerpo rígido con MADYMO y CAL3D se puede definir a través de este material. Alternativamente, se puede unir una superficie VDA como superficie para modelar la geometría, por ejemplo, para el herramental en aplicaciones de conformado de metales. Además, las restricciones globales y locales en el centro de masas se pueden definir opcionalmente. Opcionalmente, se puede elegir una consideración local para la salida y los sensores de airbag definidos por el usuario. [25]
MAT_024	MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY	Este es el Tipo de material 24, que es un material elastoplástico con una tensión arbitraria en función de la curva de deformación y se puede definir una dependencia arbitraria de la tasa de deformación (ver Comentarios a continuación). Se puede definir una falla basada en una deformación plástica o un tamaño de paso de tiempo mínimo. Para otro modelo con un criterio de falla más

		<p>completo, vea MAT_MODIFIED_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY. Si considera conchas laminadas o sandwich con propiedades de material no uniformes (esto se define a través de la regla de integración especificada por el usuario), se recomienda el modelo, MAT_LAYERED_LINEAR_PLASTICITY. Si se utilizan elementos sólidos y si las deformaciones elásticas antes de ceder son finitas, el modelo, MAT_FINITE_ELASTIC_STRAIN_PLASTICITY, trata las deformaciones elásticas utilizando una formulación hiperelástica. [25]</p>
--	--	---

**Fuente:** Selector de material para LS-DYNA [25]

#### **Cámara de alta velocidad Chronos 1.4**

Chronos 1.4 es una cámara portátil de alta velocidad de 1,4 gigapíxeles por segundo. Completamente autónomo, puede llevar imágenes de alta velocidad a cualquier lugar. Graba videos de 1280x1024 a 1057 fps, y puede grabar hasta 38 500 fps con una resolución más baja. El video se guarda en formato comprimido H.264 o RAW sin comprimir en medios extraíbles. Puede disparar durante horas, ahorrando cientos de disparos en una sola tarjeta.



**Figura 2.15** Cámara de alta velocidad Chronos

**Fuente:** Kron Technologies Inc. [26]



- El sensor de imagen de 1.4Gpx / s, 1.3 megapíxeles captura 1280x1024 @ 1057fps, y hasta 38500fps a una resolución más baja. Disponible en color y monocromo. La opción monocroma tiene una resolución efectiva más alta y es dos veces más sensible que el color.
- Opciones de memoria de 8GB, 16GB y 32GB para tiempos de grabación de 4, 8 y 16 segundos respectivamente.
- La alta sensibilidad de ISO 320-5 120 (Color), 740-11 840 (Monocromo) permite disparar con iluminación moderada.

### **2.2.5. Normas y reglamentos nacionales aplicados en el diseño y construcción de carrocerías de buses interprovinciales**

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1668-1  
Esta norma establece los requisitos mínimos como dimensiones interiores, exteriores, aspectos de seguridad activa y pasiva del pasajero, inflamabilidad de materiales, que deben cumplir los vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial.  
Se aplica a los vehículos diseñados y equipados para el transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial de un solo piso, sean importados o ensamblados o fabricados en el país. [27]
- Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 043:2010  
En este reglamento se establece los requisitos mínimos para la seguridad activa y pasiva del pasajero en el tren motriz como en la carrocería garantizando la calidad del producto, que deben cumplir los buses interprovinciales, intraprovinciales, intrarregionales y turismo con el objetivo de proteger la vida y la seguridad de los pasajeros, dicho reglamento aplica a los buses que van a ingresar al parque automotor ecuatoriano, sean importados, ensamblados o fabricados en el país. [28]
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323:2009  
Esta norma establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades, en esta investigación se seguido las recomendaciones establecidas en el manual de carrozar del chasis

Mercedes Benz para la serie O500, los procedimientos de fabricación de Miral Autobuses en cada una de las secciones de trabajo.

Esta norma se aplica a todas las carrocerías de buses, sean importadas o de construcción nacional. (La definición de buses de acuerdo a la NTE INEN ISO 3833 vigente).

Esta norma incluye a las carrocerías que son parte de los chasis carrozados importados y carrocerías autoportantes. [29]

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656:2016

Esta norma establece la clasificación de los vehículos motorizados y no motorizados, identificados mediante características generales de diseño y uso.

Esta norma se aplica a todos los vehículos diseñados para circulación terrestre (vehículos motorizados y unidades de carga). Se incluye además maquinaria agrícola y para silvicultura, no incluye maquinaria industrial ni equipo caminero. [30]

### **Clasificación de Vehículos**

Según la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, en su anexo II: Definición de categorías y tipos de vehículos, y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656, las categorías de los vehículos se clasifican como se muestra a continuación:

- Categoría M: Vehículos de motor desde cuatro ruedas diseñados y fabricados para el movilizar pasajeros.
- Categoría M1: Vehículos con máximo ocho plazas (excluida la del conductor) diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros.
- Categoría M2: Vehículos con más de ocho plazas (excluida la del conductor) cuya masa máxima no supere los 5000 kilogramos, diseñados y fabricados para movilizar de pasajeros.

- Categoría M3: Vehículos que superen las ocho plazas (excluida la del conductor) cuya masa máxima supere los 5000 kilogramos, diseñados y fabricados para movilizar de pasajeros.

Respecto a las clases de vehículos mencionadas en la enmienda 02, la Directiva 2001/85/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, en su anexo I, para vehículos con una capacidad superior a 22 viajeros define las siguientes:

- Clase I: vehículos provistos de zonas para pasajeros de pie que permiten la circulación frecuente de los usuarios.
- Clase II: vehículos diseñados principalmente para el transporte de viajeros sentados y diseñados para permitir el transporte de pasajeros de pie, pero solamente en el corredor central o en una zona que no sobrepase el espacio previsto para dos asientos dobles.
- Clase III: vehículos previstos únicamente para movilizar pasajeros sentados.

En algunos casos un mismo vehículo puede pertenecer a más de una clase. En este caso puede homologarse para cada una de las clases a las cuales corresponde.

Para realizar la simulación, se selecciona un vehículo de la categoría M2, clase II, es decir, un autobús para el transporte de pasajeros cuya masa máxima no supera los 5000 kilogramos y que se ha diseñado principalmente al transporte de pasajeros sentados y diseñado para permitir el transporte de viajeros de pie solamente en el pasillo o en una zona que no sobrepase el espacio previsto para dos asientos dobles. [11]

### **Definiciones principales**

**Carga de aceleración brusca (Ab).** Se define como la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo.

**Carga de frenado (F).** Se define como la fuerza producida por el frenado del vehículo.

**Carga de giro (G).** Se define como la fuerza producida por el giro de un vehículo.

**Carga por Resistencia del Aire frontal (Raf).** Se define como la fuerza del aire que actúa sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal.

**Carga muerta (M).** Se define como el peso total de la carrocería en condiciones de funcionamiento, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales fijos; es decir, la carrocería en estado de terminado con todos sus accesorios.

**Carga viva (V).** Se define como la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos componentes estructurales de la carrocería.

**Carrocería.** Se refiere a la estructura, elementos de seguridad y confort que se agregan al chasis de forma permanente, para el transporte de pasajeros.

**Carrocería autoportante.** Aquella que en su diseño conforma el bastidor e incluye en su estructura los anclajes necesarios para el equipo mecánico y eléctrico.

**Bastidor o chasis.** Constituye el soporte de todos los órganos principales del vehículo (motor, transmisión, suspensión sobre la que se apoya, dirección, ruedas, frenos).

**Espacio de supervivencia.** Es el volumen que se obtiene en el compartimento de pasajeros, desplazando en línea recta el plano vertical y transversal, de tal manera que se pase el punto SR, desde el punto SR del último asiento exterior a través del punto SR de cada asiento exterior intermedio hasta el punto SR del primer asiento exterior del ocupante.

**Peso máximo admisible para el chasis.** Se define como la capacidad de carga. Es la carga útil máxima emitida para la cual fue diseñado el vehículo. Este valor es establecido por el fabricante del chasis. [29].

## **Ensayos**

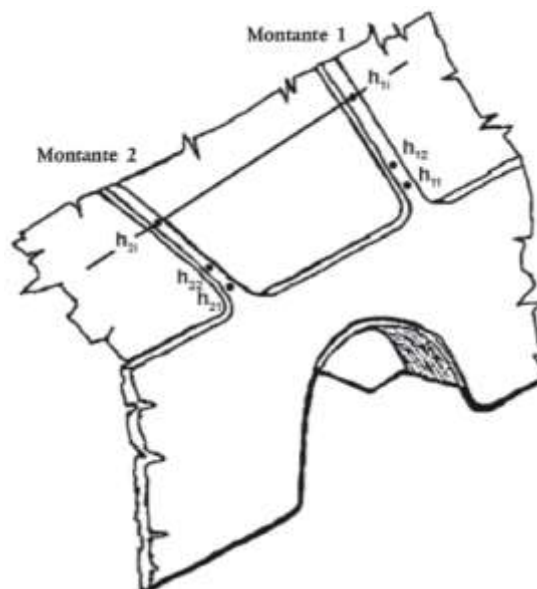
La estructura del bus se analizará por el método de ensayo contemplado en el numeral 6 del documento Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of

Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure, de las Naciones Unidas. [29]

### Requisitos

La superestructura del vehículo tendrá la resistencia suficiente como para garantizar, es decir que el espacio de supervivencia no resulte invadido durante el ensayo de vuelco del vehículo completo ni una vez completado este; es decir:

Ninguna parte del vehículo que se encuentre fuera del espacio de supervivencia cuando se inicie el ensayo (por ejemplo, pórticos, accesorios de seguridad o rejillas portaequipajes) invadirá el espacio de supervivencia durante el ensayo; a la hora de evaluar la invasión del espacio de supervivencia se ignorarán todas las partes estructurales que originalmente se encuentren en dicho espacio (por ejemplo, barras de sujeción verticales, tabiques, cocinas o aseos); por ninguna circunstancia alguna parte del espacio de supervivencia deberá sobresalir del contorno de la estructura deformada; el contorno de la estructura deformada se determinará secuencialmente, entre cada pórtico de ventana o puerta adyacente; el contorno entre dos pórticos deformados será una superficie teórica, determinada por líneas rectas, que conecte los puntos del contorno interior de los pórticos que se encontraban a la misma altura sobre el nivel del piso antes del ensayo de vuelco. [31]

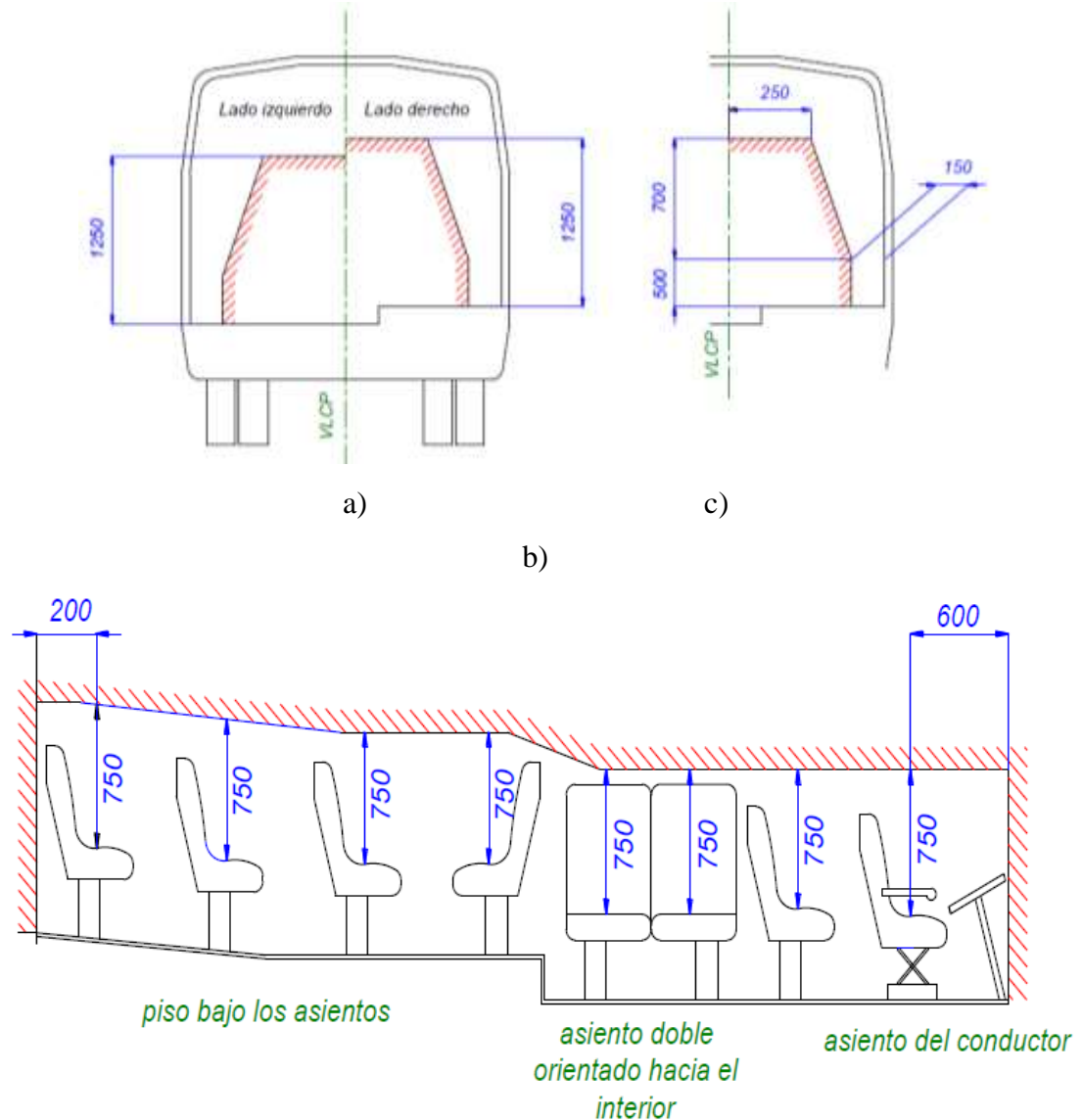


**Figura 2.16.** Especificación del contorno de la estructura deformada

**Fuente:** Reglamento N 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)

### Espacio de supervivencia

La delimitación del espacio de supervivencia del vehículo se determinará creando en el interior del vehículo un plano transversal vertical que tenga los márgenes descritos en las figuras 2.17 a) y c) y desplazándolo por la longitud del vehículo [véase la figura b)], como se describe a continuación:



**Figura 2.17** Especificación del espacio de supervivencia a), c) disposiciones laterales y b) disposición longitudinal

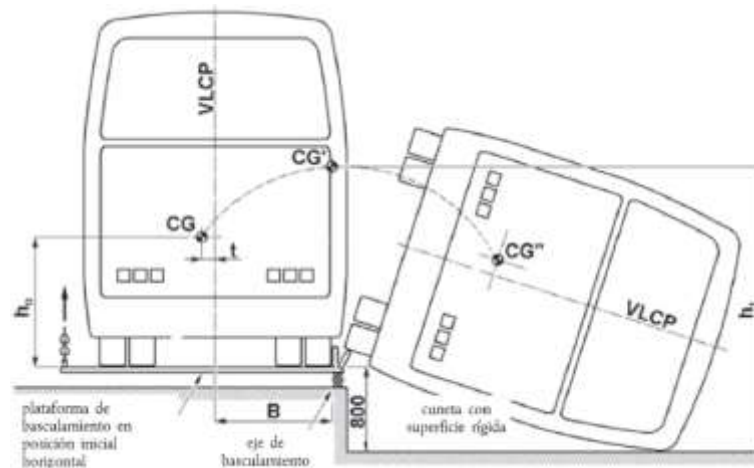
**Fuente:** Reglamento N 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)

El punto SR estará situado en el respaldo de cada asiento exterior orientado hacia adelante o hacia atrás (o en la posición supuesta del asiento), 500 mm por encima del piso situado debajo del asiento y a 150 mm de la superficie interior de la pared lateral; no se tendrán en cuenta los pasos de rueda ni demás variaciones de la altura del piso; estas dimensiones también se aplicarán a los asientos orientados hacia el interior, en sus planos centrales; cuando los dos lados del vehículo no sean simétricos con respecto a la disposición del piso y, por tanto, la altura de los puntos SR sea diferente, se tomará como plano central longitudinal vertical del vehículo el escalón situado entre las dos líneas del piso del espacio de supervivencia [véase la figura 2.16 c)]; la posición más atrasada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado 200 mm por detrás del punto SR del asiento exterior más atrasado o la cara interna de la pared trasera del vehículo cuando esté situada a menos de 200 mm por detrás del punto SR ; la posición más adelantada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado 600 mm por delante del punto SR del asiento más adelantado (ya sea de viajero, conductor o miembro del personal) del vehículo, colocado en su posición más adelantada; si el asiento más adelantado y el más atrasado en los dos lados del vehículo no se encuentran en los mismos planos transversales, la longitud del espacio de supervivencia en cada lado será diferente; el espacio de supervivencia entre el plano más atrasado y el más adelantado del compartimento o compartimentos de viajeros, del personal y del conductor es continuo y se determina desplazando, por toda la longitud del vehículo, a lo largo de líneas rectas y a través de los puntos SR situados a ambos lados del vehículo, el plano transversal vertical definido; detrás del punto SR del asiento más atrasado y delante del punto SR del asiento más adelantado las líneas rectas son horizontales; para simular el peor caso en un grupo de tipos de vehículo y permitir futuros avances de diseño, el fabricante podrá definir un espacio de supervivencia mayor de lo necesario para una disposición de asiento determinada. [31]

### **Especificación del ensayo de vuelco de un vehículo completo como método básico de homologación**

El ensayo de vuelco es un ensayo de basculamiento lateral (véase la figura 2,17) que se desarrolla como sigue:

El vehículo completo se coloca en la plataforma de basculamiento, con la suspensión bloqueada, y va inclinándose poco a poco hacia su posición de equilibrio inestable; cuando el tipo de vehículo no esté equipado con dispositivos de retención, se realizará el ensayo en condiciones de masa en orden de marcha; cuando el tipo de vehículo esté equipado con dispositivos de retención, se realizará el ensayo en condiciones de masa total efectiva del vehículo.



**Figura 2.18.** Especificación del ensayo de vuelco de un vehículo completo que muestra la trayectoria del centro de gravedad desde la posición inicial de equilibrio inestable.

**Fuente:** Reglamento N 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)

El ensayo de vuelco empieza en la posición inestable del vehículo, con velocidad angular cero y el eje de rotación pasando a través de los puntos de contacto de las ruedas con el suelo; en ese momento, el vehículo se caracteriza por la energía de referencia  $E_R$  (véanse figura 3); el vehículo cae de lado en una cuneta con superficie de cemento, horizontal, seca y lisa, cuya profundidad nominal es de 800 mm.

### Especificaciones de ensayos de homologación equivalentes

A iniciativa del fabricante, en lugar del ensayo de vuelco de un vehículo completo, puede optarse por uno de los métodos de ensayo de homologación equivalentes que figuran a continuación:

- Ensayo de vuelco de secciones de la carrocería representativas del vehículo completo, de conformidad con las especificaciones del anexo 6;



- Ensayos de carga cuasiestática de secciones de la carrocería, de conformidad con las especificaciones del anexo 7;
- Cálculos cuasiestáticos basados en los resultados de ensayos de componentes, de conformidad con las especificaciones del anexo 8;
- Simulación por ordenador (mediante cálculos dinámicos) del ensayo básico de vuelco de un vehículo completo, de conformidad con las especificaciones del anexo 9;
- El principio básico establece que el método de ensayo de homologación equivalente ha de llevarse a cabo de manera que represente el ensayo básico de vuelco especificado en el anexo 5; si el método de ensayo de homologación equivalente elegido por el fabricante no puede tener en cuenta algunas características especiales de diseño o fabricación del vehículo (por ejemplo, la instalación de aire acondicionado en el techo, la altura variable del travesaño inferior o la altura variable del techo), el servicio técnico podrá exigir que el vehículo completo se someta al ensayo de vuelco especificado en el anexo 5.

[31]

### **2.3 Fundamentación Filosófica**

La presente investigación está ubicada dentro del paradigma Cualitativo -Cuantitativo debido a que se modificará las cualidades y características de los perfiles utilizados en la fabricación de la Estructura del bus, con el propósito de reducir valores cuantitativos de pesos y aumentar la resistencia de dicha estructura al ser sometida a una volcadura, además de obtener mediciones de deformación de la sección sobre cajuelas para ser validadas con los valores contenidos del análisis por elementos finitos de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento N°66.

### **2.4 Fundamentación legal**

El presente trabajo de investigación es pertinente con lo establecido en el Reglamento de Postgrado de la Universidad Técnica de Ambato y cumple con las líneas de investigación, está sustentado según la RESOLUCION: 2123-CU-P-2015 El Honorable Consejo Universitario de la Universidad Técnica de Ambato en sesión extraordinaria efectuada el martes 27 de octubre de 2015, en consideración a las Resoluciones: 2470-GU-P-2013. del 23 de diciembre de 2013, mediante la cual se aprueba en primera el REGLAMENTO DE LA DIRECCIÓN DE POSGRADO, y la

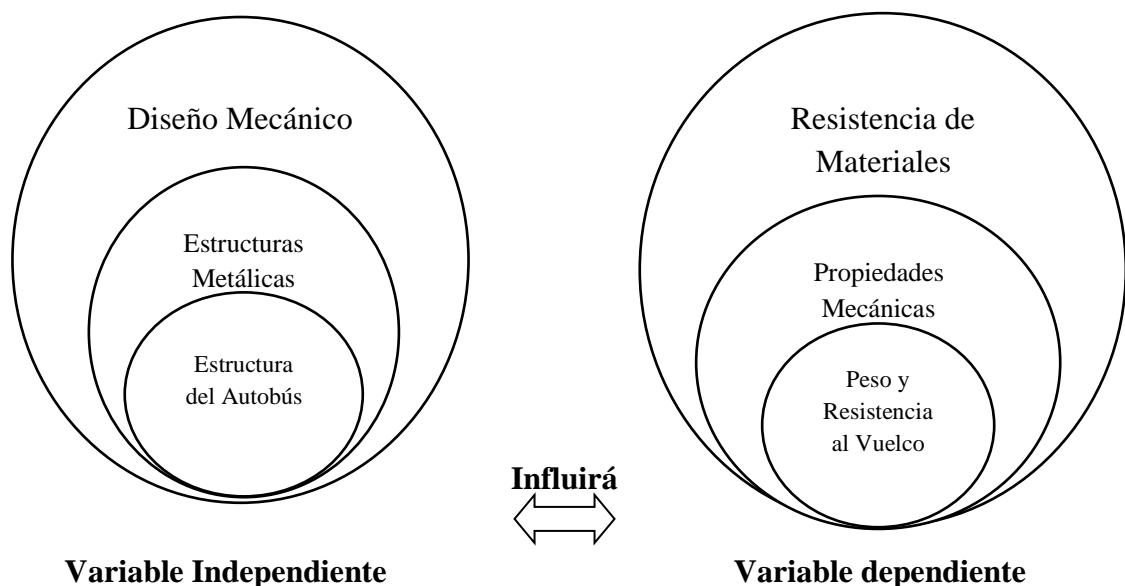
Resolución 1950-CU-P-2015. del 06 de octubre de 2015, mediante la cual se remite a la Dirección de Posgrado y a la Procuraduría, el REGLAMENTO DE LA DIRECCIÓN DE POSGRADO, y, el REGLAMENTO DE TITULACIÓN PARA OBTENER LOS TÍTULOS DE CUARTO NIVEL DE LA UTA, para que analicen, sintetizen e informen acerca de las propuestas de los referidos reglamentos; en uso de sus atribuciones contempladas en el Artículo 21 del Estatuto Universitario y demás normativa legal aplicable para el efecto. [32]

La presente investigación se basa en lo estipulado en el Reglamento N° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) — Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respecta a la resistencia de su superestructura.

Además, a nivel nacional se cuenta con una Norma Emitida por El Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323:2009, VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS. Primera Edición.

## 2.5 Categorías fundamentales

Para el presente trabajo de investigación se ha identificado las siguientes categorías fundamentales de las variables en estudio.



**Figura 2.19.** Categorías fundamentales  
**Fuente:** Autor

## **2.6 Hipótesis**

### **Hipótesis Alternativa Ha:**

Diseño de la Estructura del Autobús Interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de MIRAL AUTOBUSES influirá el peso y su Resistencia al ser sometida a la Prueba de Volteo.

### **Hipótesis Nula H0:**

Diseño de la Estructura del Autobús Interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de MIRAL AUTOBUSES no influirá peso y reducirá su Resistencia al ser sometida a la Prueba de Volteo.

## **2.7 Señalamiento de variables**

### **2.7.1 Variable independiente**

Diseño de la Estructura del Autobús Interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de MIRAL AUTOBUSES.

### **2.7.2 Variable dependiente**

Peso y Resistencia al ser sometida a la Prueba de Volteo.

### **2.7.3 Término de relación**

Influencia

## **CAPÍTULO III**

### **3.1 Enfoque**

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que se obtendrán valores para las variables en estudio, de un primer análisis del estado actual de la Estructura del Autobús con valores numéricos de Peso, Deformación y Resistencia al Vuelco respecto a la Zona de supervivencia de pasajeros, posteriormente se obtendrán diferentes propuestas de variantes en la geometría de segmentos de la estructura, previo un análisis de resultados se definirá la propuesta que brinde menor peso y mayor resistencia.

Finalmente se compararán los valores iniciales y los propuestos con el fin de demostrar la hipótesis antes descrita, mediante tablas y gráficas para plasmar los valores obtenidos del análisis de pesos, deformaciones, esfuerzos de la estructura de la sección más crítica del Autobús.

### **3.2 Modalidad Básica de la investigación**

#### **3.2.1 De Campo**

La presente investigación presenta la modalidad de campo, se realizará cambios en las variables de estudio, donde modificando la variable independiente y ver cuál es su efecto sobre la variable dependiente, para esto se tomará como base la estructura del Autobús actual, se realizará un análisis de su peso, deformación y resistencia al vuelco, después se variarán espesores en componentes de la Estructura del Autobús para modificar su peso, deformación y resistencia al Vuelco.

#### **3.2.2 Documental**

Para el desarrollo de la investigación se realizará la recolección de la información para las variables de estudio mediante documentos escritos tales como tesis de maestría, tesis de doctorado, artículos científicos, revistas reportajes, normas aplicables para los

ensayos a realizarse en la investigación, bibliotecas virtuales de renombre con las que cuenta la Universidad Técnica de Ambato tales como Scopus, Science Direct

### **3.3 Niveles de investigación**

#### **3.3.1 Experimental**

Según la intervención del investigador el presente documento tiene un nivel experimental en donde se manipularán las variables en estudio y se verificará la incidencia de la variable independiente sobre la dependiente, también se controlarán las variables contaminantes las mismas que de una forma u otra intervienen en las variables pero no son caso de estudio tales como calidad de mallado para el análisis por elementos finitos, aplicación cargas descritas en el Reglamento 66 de las Naciones Unidas, calidad de soldadura para la fabricación de la sección crítica escala 1:1 para el ensayo de vuelco físico. se realizarán pre experimentos con el fin de definir el procedimiento adecuado para llevar a cabo la prueba de vuelco física real y obtener los resultados deseados.

Se tomará una muestra del universo de estudio el cual son todos los modelos de Carrocería y chasis fabricados y homologados por MIRAL Autobuses en la cual se realizará el estudio, se realizarán grupos de comparación y se formulara una respuesta a la hipótesis planteada.

#### **3.3.2 Prospectiva**

Según la planificación de la toma de datos será prospectiva debido a que se planifica como va a realizarse la investigación con todas sus fases para poder alcanzar los resultados esperados.

#### **3.3.3 Longitudinal**

De acuerdo al número de ocasiones en que se mide las variables de estudio será longitudinal se tomaran datos de varios análisis variando la estructura del autobús y se tomaran datos de peso, desplazamiento y resistencia al vuelco, una vez que se cuente

con una estructura adecuada se comparará respecto a la estructura inicial para verificar la variación de peso, deformación y resistencia al vuelco.

### **3.3.4 Analítico**

Según el número de variables de estudio la investigación será de tipo analítica ya que se tiene 2 viables de interés y se verificara la incidencia de una variable en la otra.

### **3.3.3 Asociación de variables**

Durante la investigación se tendrá una modalidad de asociación de variables ya que al modificar y proponer una estructura del Autobús diferente a la actual se verá reflejado en el paso y la resistencia al vuelco de la súper estructura.

## **3.4 Población y muestra**

### **3.4.1 Población**

La Población se la ha determinado de los productos que fabrica MIRAL AUTOBUSES como son sus Modelos de Autobús Homologados, Tipo de Servicio, Marca de Chasis Homologado en el cual se coloca la carrocería de la siguiente manera:

- **Modelos de Autobús:**

- iM9

- Quantum

- Evony

- Feline Plus

- **Tipo de servicio**

- Interprovincial

- Intraprovincial

- Intraregional

- Turismo

- Escolar

- Urbano

- Especial

- **Marca de Chasis Homologado**

Hino

Mercedes Benz

Scania

Chevrolet

Volkswagen

International

Agrale

Fardier

### **3.4.2 Muestra**

La muestra de la investigación se ha definido realizarla mediante muestreo no probabilístico por cuotas debido a que se va a subdividir en estratos la población, estructuras homologadas que Miral Autobuses fabrica, reduciendo el modelo de carrocería, tipo de servicio y el chasis en el cual se fabrica la carrocería, es decir, en la estructura del modelo iM9 para servicio interprovincial sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 debido a la lata taza de accidentes que se han registrado en buses de esta modalidad de servicio, además la normativa actual, estatutos de compañías y cooperativas de transportes de pasajeros direcciona a los propietarios de autobuses a adquirir unidades con chasis con motor posterior debido a las diferentes ventajas y prestaciones que brinda dichos chasis, por otro lado Mercedes Benz es la marca con mayores ventas actualmente.

La muestra se la evaluará en base a lo establecido en el Reglamento 66 de las Naciones Unidas para con el fin de lograr obtener una estructura de bajo peso que presente una buena resistencia al ensayo de volteo, garantizando que la zona de supervivencia de pasajeros no sea invadida.

### 3.5 Operacionalización de variables

#### 3.5.1 Variable Independiente

Diseño de la estructura del autobús interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de Miral Autobuses.

**Tabla 3.2.** Operacionalización de variables independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Diseño estructural es una metodología de investigación acerca de la estabilidad, la resistencia y la rigidez de las estructuras. El objetivo del diseño y análisis estructural es producir una estructura capaz de resistir todas las cargas aplicadas sobre sí sin fallas durante su vida de uso	-Análisis Estructural  Producir una estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cargas aplicadas</li> <li>Esfuerzos generados</li> <li>Deformaciones</li> <li>Perfiles comerciales</li> <li>Perfiles especiales</li> </ul>	<p>Garantizar la zona de supervivencia</p> <p>Dimensiones estándar</p> <p>Dimensiones especiales</p>	<p>Según Reglamento 66 Naciones Unidas</p> <p>Según formulas aplicadas</p> <p>Simulación de estructura</p> <p>Simulación de estructura</p> <p>Catalogo Proveedores</p> <p>Simulación de estructura</p>

#### 3.5.2 Variable Dependiente

Peso y Resistencia al ser sometida a la Prueba de Volteo.

**Tabla 3.3.** Operacionalización de variable dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Peso es la fuerza con la que el cuerpo parece querer ir hacia abajo	Peso de la Estructura	Reducción del peso	Entre 12 y 14.5 Ton	Báscula Software especializado para el análisis Tablas comparativas
Resistencia es un término general que se refiere a la capacidad de una estructura para resistir cargas.	Capacidad de estructura para resistir cargas	Delimitación de Zona de supervivencia	Mantenerse dimensiones de zona de supervivencia	Software especializado para el análisis Cámara de alta Velocidad Calibrador (Comparar dimensiones del plano) Flexómetro digital (Comparar dimensiones del plano)



### **3.6 Recolección de la información**

Con el fin de realizar el análisis de la estructura del Bus Interprovincial que actualmente se fabrica en Miral Autobuses se realizará la geometría total del bus lo que conlleva a modelar en 3D los laterales, piso, anclajes, techo, estructura de la x, zona sobre cajuelas, se exportará el conjunto armado a un programa especializado de análisis, en el cual se configurará adecuadamente el espacio de trabajo, como definir materiales, propiedades de los elementos, secciones de los perfiles utilizados, mallado, espacio de supervivencia, se agregará cargas de diseño y condiciones de frontera, se definirá el tiempo de análisis, se realizará el análisis correspondiente y finalmente el análisis del peso y la resistencia de la estructura al ser sometida al vuelco, es decir que la zona de supervivencia no sea afectada durante el ensayo.

Posteriormente se analizará en donde se puede modificar la estructura con el fin de cambiar perfiles, bajar espesores donde sea posible, de lo cual se realizará una propuesta la misma que será sometida al mismo procedimiento antes descrito con el fin de obtener datos de pesos y resistencia la volteo, es decir la deformación de la estructura con respecto a la zona de supervivencia.

Los datos obtenidos se los colocará en un formato donde contendrá información de la estructura obtenida y los resultados del análisis.

### **3.7 Procesamiento y Análisis**

#### **3.7.1 Procesamiento de la información recolectada**

- Partiendo del pesaje de un bus terminado en condiciones de operación se obtendrá datos de pesos total, peso eje delantero, peso eje posterior, lateral izquierdo y derecho y pesos sobre las 4 ruedas. Estos datos servirán para el calculo del centro de gravedad real del bus, reacciones sobre los ejes con el fin de determinar la sección mas critica de la estructura del bus.
- En base a los planos con los que cuenta el departamento de diseño de Miral Autobuses, se realizará la geometría para su respectivo análisis en el software Ansys, como resultado del análisis se obtendrán los datos de peso, desplazamiento

y resistencia al Vuelco para ser colocados en un formato definido para facilitar su interpretación.

- Se analiza del peso y de la deformación producida en la superestructura con respecto al espacio de supervivencia de acuerdo a los requisitos del Reglamento Número 66 de la Comunidad Europea. Pudiendo identificar los segmentos que se encienden sobredimensionados.
- Se realizarán variantes de espesores para los segmentos establecidos en la estructura del bus, de esta manera se realizará el diseño del experimento para conocer las combinaciones necesarias y llevar a cabo el experimento.
- Con los resultados obtenidos de peso y resistencia al vuelco de la estructura respecto al espacio de supervivencia, mediante comparación se determinará cual es la combinación que ofrece menor peso y buena resistencia al vuelco, mediante lo cual se comprobaría la hipótesis planteada.

## **CAPÍTULO IV**

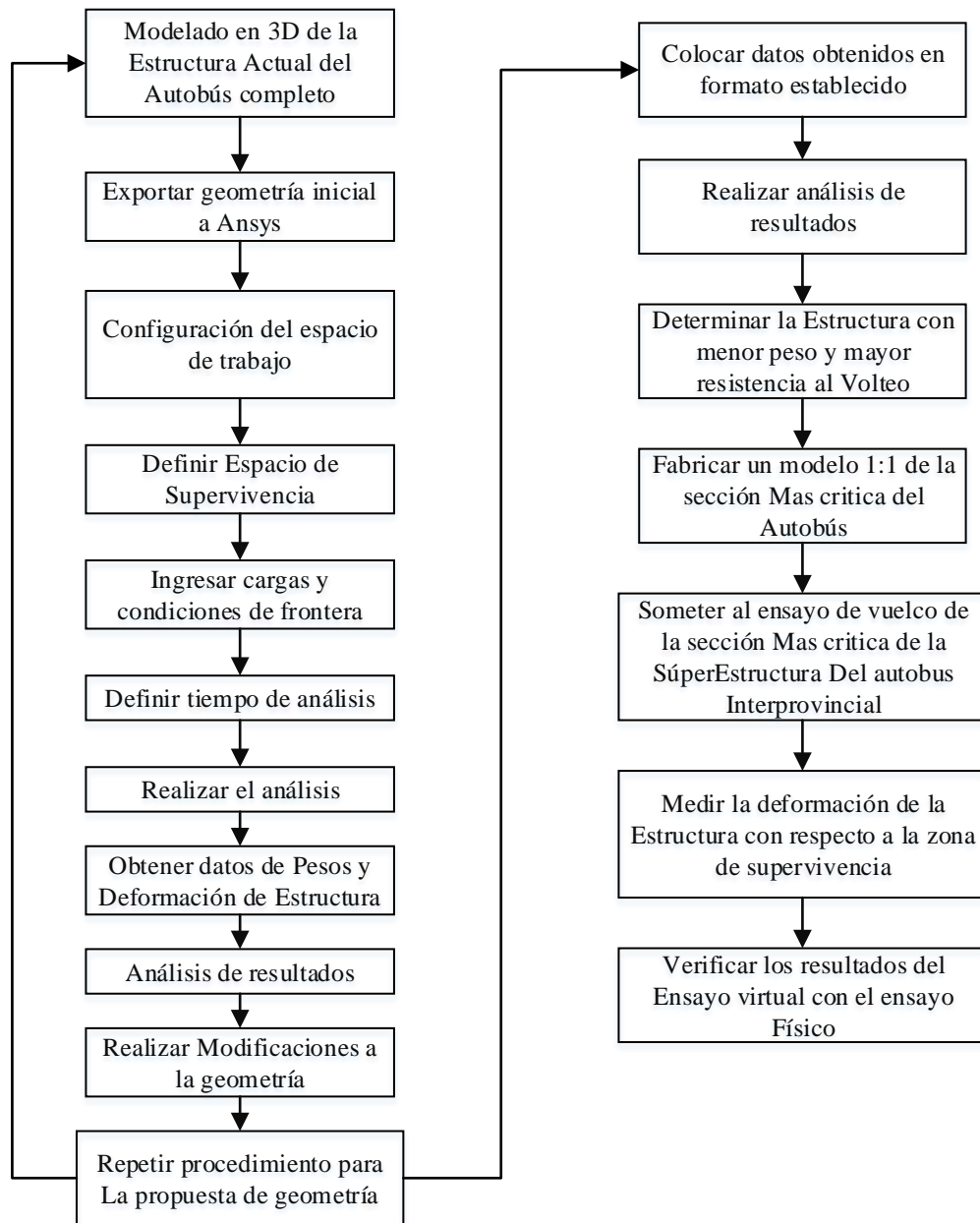
### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. Análisis de Resultados**

##### **4.1.1 Proceso propuesto para el análisis de resultados**

Mediante un análisis comparativo de los resultados obtenidos se logrará identificar cuál es la propuesta que cumple satisfactoriamente con la reducción del peso de la estructura y tenga una elevada resistencia al ser sometida al volteo, en otras palabras, la estructura que menor deformación haya presentado en relación a la zona de supervivencia en base a lo estipulado en el reglamento N° 66 de las Naciones Unidas.

Mediante el siguiente diagrama de flujo, se representa el proceso para obtener los resultados del comportamiento mecánico en la sección más crítica de la superestructura del autobús interprovincial de Miral Autobuses, sometida a la prueba de vuelco mediante software de análisis por elementos finitos en relación a la zona de supervivencia de pasajeros.



**Figura 4.1.** Diagrama de Flujo del Procesamiento y Análisis de la información.

**Fuente:** Autor

## 4.2 Recopilación de datos preliminares

El presente estudio se lo ha realizado en la Súper Estructura del Autobús para servicio Interprovincial Modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500RS 1836 tal como se muestra en la Figura 4. 1.



**Figura 4.2** Autobús interprovincial Modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de MIRAL-Autobuses

**Fuente:** Autor

#### 4.2.1 Características del Chasis

La base de estudio se centra en el Autobús para servicio Interprovincial constituido de dos partes indispensables el chasis Marca Mercedes Modelo O500 RS 1836 y la Carrocería Modelo IM9 de MIRAL AUTOBUSES, de lo cual las características del chasis en mención se enlistan a continuación en la Tabla 4.1

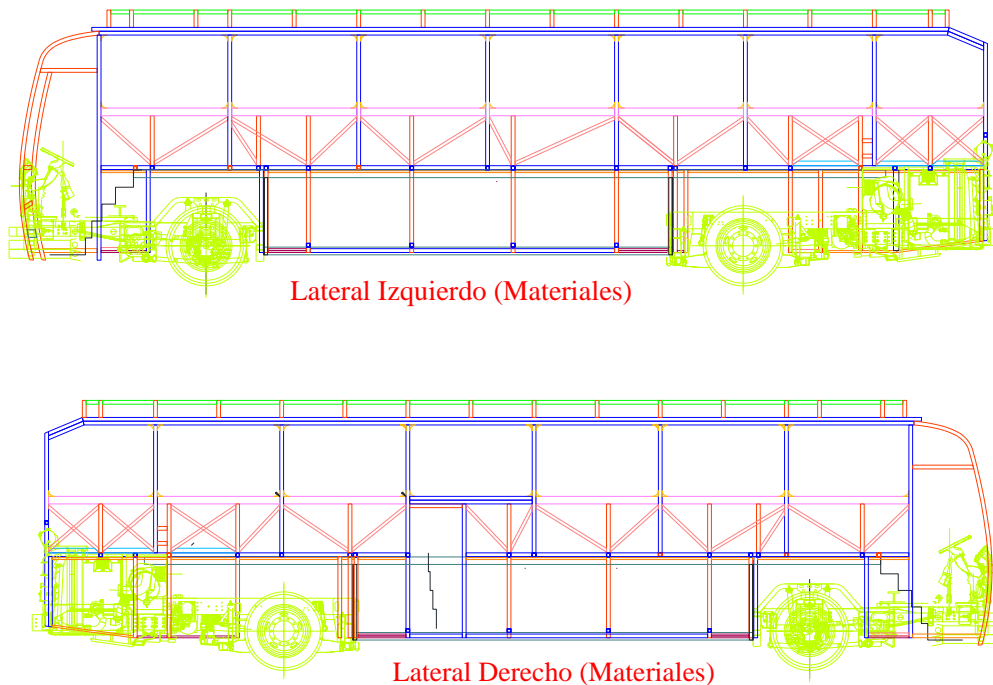
**Tabla 4. 1** Especificaciones del chasis

Ítem	Valor	Unidad
Distancia entre ejes	3006	mm
Distancian entre centro de las ruedas delanteras (T1)	2036	mm
Distancian entre centro de las ruedas posteriores (T2)	1824	mm
Capacidad de carga eje delantero	7000	kg
Capacidad de carga eje posterior	11500	kg
Capacidad de carga llantas delanteras	7000	kg
Capacidad de carga llantas posteriores	11500	kg
Reacción del peso en el eje delantero	5320	kg
Reacción del peso en eje posterior	9700	kg
Peso total del chasis incluye agua, combustible y aceite	5990	kg
Altura del centro de gravedad desde el suelo	797	mm
Modelo de llanta	295/80 R 22,5 16PR	
Potencia del motor	265 (360)	kW (HP)
Peso bruto vehicular	18500	kg

**Fuente:** Ficha Técnica Chasis Mercedes Benz O500 RS 1836

#### 4.2.2 Materiales utilizado en la superestructura

La superestructura del autobús está constituida por diversos elementos, con diferente geometría y sección de acuerdo a lo establecido en el Manual de Carrozar del chasis en mención con el objetivo de soportar las diferentes cargas de diseño que actúan sobre el autobús en ruta o ponerlo a prueba en caso de un siniestro.



**Figura 4.3** Estructura del Autobús para servicio Interprovincial Modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 Marca MIRAL-Autobuses.

**Fuente:** MIRAL-Autobuses

En la Tabla 4.2 se muestra el listado de materiales metálicos, tuberías, perfiles, planchas para construir la estructura del autobús.

**Tabla 4. 2** Listado de materiales metálicos para la construcción de la superestructura del autobús:

PARTE	DESCRIPCIÓN	TIPO DE ACERO	APLICACIÓN
Anclaje	Plancha doblada en 8 mm	ASTM A36	Unión de carrocería - chasis
	Perfil U 270x50x6 mm	ASTM A36	Unión carrocería - chasis
	Tubo 100x50x3 mm	ASTM A36	Tubo principal longitudinal de anclaje

	Tubo 50x50x3	ASTM A500	Tubo refuerzos internos
	Tubo de 40x40x2 mm	ASTM A500	Tubo de unión Piso-Chasis
	Tubo 60x40x3	ASTM A500	Estabilizadores
<b>Estructura del Piso</b>	Tubo de 50x50x3 mm	ASTM A500	Tubos durmientes transversales principales Durmientes entre pórticos
	Tubo de 50x50x2 mm	ASTM A500	Durmientes entre pórticos
	U 50x25x2 mm	ASTM A36	Tejido longitudinal del piso
<b>Laterales</b>	Tubo de 50x50x3 mm	ASTM A500	Pórticos principales de la estructura Marco de puerta
	Tubo 50x50x2.5 mm	ASTM A500	Curva principal para el Frente
	Tubo de 50x50x2 mm	ASTM A500	Marco de puerta Refuerzos intermedios
	Tubo de 40x40x2 mm	ASTM A500	Armado de la estructura rígida
	U 50x25x2 mm	ASTM A36	Refuerzos y base de pegado
	Perfil especial en C	ASTM A36	Zócalo
<b>Estructura del Techo</b>	Tubo de 50x50x2 mm	ASTM A500	Tubo principal del pórtico Intermedios entre pórticos Bordes de claraboya
	Perfil especial Z de 45x50x35x2 mm	ASTM A36	Largueros de techo
	U 50x25x2 mm	ASTM A36	Refuerzos longitudinales de techo
<b>Frente</b>	Tubo 50x50x2 mm	ASTM A500	Pórtico Principal para frente
	Tubo 50x25x2 mm	ASTM A500	Parante principal - división de parabrisas
	Tubo de 25x25x 2 mm	ASTM A500	Tejido frontal de acuerdo a la fibra de frente
	Tubo de 20x20x 2 mm	ASTM A500	Tejido frontal de acuerdo a la fibra de frente
	Tubo 100x50x3 mm	ASTM A500	Parantes principales de Estructura de la X
	Tubo de 60x40x3 mm	ASTM A36	Estabilizadores de estructura X
	Tubo de 50x50x3 mm	ASTM A500	Travesaño superior de X
	Tubo de 50x50x2 mm	ASTM A500	Travesaño de X
<b>Respaldo</b>	Tubo 50x50x2 mm	ASTM A500	Pórtico principal para respaldo

	Tubo de 40x40x2 mm	ASTM A500	Estructura principal
	Tubo de 40x20x2 mm	ASTM A500	Tejido respaldo
	Tubo de 25x25x 2 mm	ASTM A500	Tejido respaldo

Fuente: Autor

### 4.2.3 Dimensiones generales de la carrocería

Las dimensiones de la carrocería para servicio Interprovincial Modelo IM9 montada sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 se establecen a continuación. Estas dimensiones se tomaron del autobús Terminado en plenas condiciones de operación y se muestran en la Figura 4. 3

**Tabla 4. 3** Dimensiones generales de la carrocería

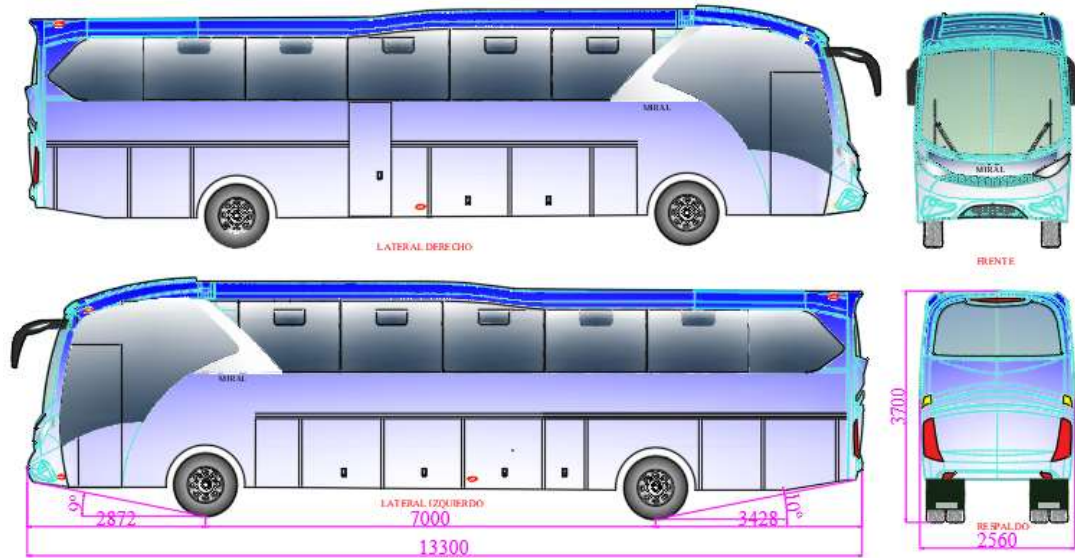
Ítem	Valor	Unidad
Distancia entre ejes	7000	mm
Voladizo delantero	2872	mm
Voladizo posterior	3428	mm
Ancho total	2560	mm
Altura total	3700	mm
Altura interior en el pasillo	1950	mm
Peso de carrocería	8980	kg
Peso de chasis	5990	kg

Fuente: MIRAL Autobuses

El conjunto de dimensiones mostradas en la Tabla 4.2 ron el resultado de aplicar los requisitos mínimos establecido en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1668 y el reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 043 en donde constan dimensiones exteriores como largo total máximo, ancho total máximo, altura total máxima, voladizo delantero y posterior, distancia entre ejes establecida por el carrocerero siguiendo las recomendaciones del manual de carrocerero, así como también dimensiones interiores como altura pasillo techo, distancia entre asientos entro otras.

En el caso de no cumplir con dichos requisitos, no se puede seguir el proceso de homologación con el ente de control la Agencia Nacional de Tránsito, como consecuencia no se podría realizar replicas, mucho menos poderlas comercializar dentro del territorio nacional.





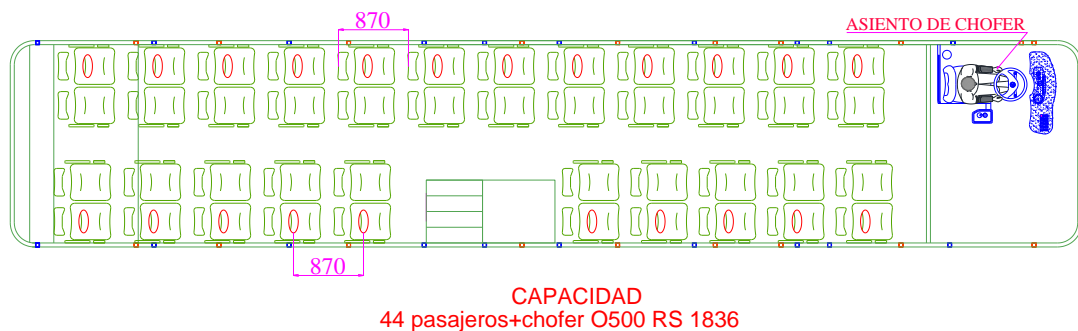
**Figura 4.4** Dimensiones del Autobús Modelo IM9

**Fuente:** MIRAL Autobuses

#### 4.2.4 Capacidad de carga del autobús

El autobús en estudio está diseñado para transportar una capacidad de 45 ocupantes (44 pasajeros + 1 conductor). Según Normativa Ecuatoriana, NTE INEN 1668 y RTE INEN 043, para el transporte de pasajeros en el Servicio Interprovincial solo se pueden transportar pasajeros sentados más no pasajeros de pie.

Según la Tabla 1. Del Anexo 3, Cargas Vivas de diseño del RTE INEN 1323:2009, la masa promedio de un ocupante es 70 Kg, además se considera 5 Kg como masa mínima de equipaje de mano por pasajero.



**Figura 4.5** Distribución de asientos Modelo IM9

**Fuente:** MIRAL Autobuses

Adicionalmente según el Anexo 3, numeral 5.6.11 portaequipajes del RTE INEN 1668, El volumen mínimo de los portaequipajes será el que resulte de considerar un coeficiente de ocupación promedio igual a una décima de metro cúbico (0,1 m<sup>3</sup>) por pasajero sentado. [27] El equipaje estará ubicado en la parte central inferior del Autobús.

#### **4.2.5 Determinación de la distribución de masas en los puntos de apoyo en el Autobús Carrocería Modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de MIRAL Autobuses.**

Para determinar la distribución de pesos en vacío del Autobús para servicio Interprovincial Carrocería Modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de MIRAL Autobuses para la Cooperativa de Transportes Trasandina de la ciudad de Ambato, se acudió a las instalaciones de Planhofa, una empresa transformadora de productos hortofrutícolas en donde cuentan con una Báscula calibrada marca Soc. Coop. BILANCAI – Campogalliano – Modena- Italy, mediante la cual se obtuvo los datos de pesos soportados en cada uno de los neumáticos que son considerados los puntos de poyo del Autobús.



**Figura 4.6** Medición de los pesos en cada neumático del autobús

**Fuente:** El Autor

Después de haber realizado la medición de pesos se obtuvo los datos enlistados en la Tabla 4.4 en donde se puede apreciar los valores de pesos resultantes en el neumático delantero derecho, neumático delantero izquierdo, neumáticos posteriores derechos, eje delantero, eje posterior, neumáticos del lado derecho del Autobús, Neumáticos del lado izquierdo del Autobús.

**Tabla 4.4** Medición de distribución de masas en Autobús.

<b>Descripción</b>	<b>Masa (Kg)</b>
Neumático delantero izquierdo (P1)	2530
Neumático delantero derecho (P2)	3010
Neumáticos posteriores izquierdo(P3)	4970
Neumáticos posteriores derecho(P4)	4820
Eje delantero del Autobús	6020
Eje posterior del Autobús	9000
Lado derecho del Autobús	7550
Lado izquierdo del Autobús	7210
Total	15020

Con los datos obtenidos Calculamos el peso total del bus

$$P_{total} = P1 + P2 + P3 + P4 \quad (4. 1)$$

Donde:

P1 = reacción de la carga bajo la rueda izquierda del primer eje.

P2 = reacción de la carga bajo la rueda derecha del primer eje.

P3 = reacción de la carga bajo las ruedas izquierdas del segundo eje.

P4 = reacción de la carga bajo las ruedas derechas del segundo eje.

$P_{total}$  = Peso total del autobús.

Remplazando valores se obtiene:

$$P_{total} = (2530 + 3010 + 4970 + 4820)Kg$$

$$P_{total} = 15020 Kg$$

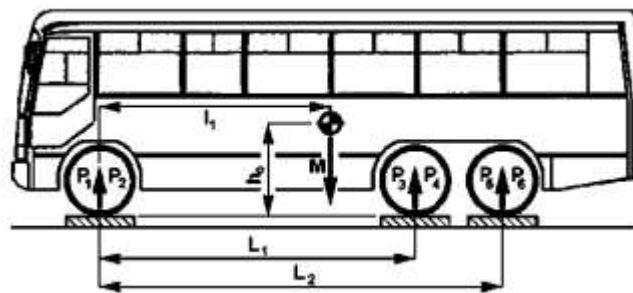
#### **4.2.6 Cálculo de la ubicación del centro de gravedad real del autobús**

La ubicación del centro de gravedad del autobús se obtendrá en condición de masa en orden de marcha (Reglamento\_N°\_66 (CEPE/ONU), 2007). Se considerará por masa en

orden de marcha la masa del vehículo, sin pasajeros ni carga en equipaje, con la masa del combustible a un nivel del 90% de su capacidad (500 litros), la masa del líquido refrigerante del radiador, el aceite lubricante, las herramientas adicionales y la rueda de emergencia.

#### 4.2.6.1 Posición longitudinal del centro de gravedad

La posición longitudinal del centro de gravedad se determinará en relación con el centro del punto de contacto de las ruedas posteriores véase la Figura 4.6.



**Figura 4.7** Posición longitudinal del centro de gravedad

**Fuente:** Reglamento\_n°\_66\_(CEPE/ONU) (2007)

La posición longitudinal ( $l_1$ ) del centro de gravedad se determina mediante la siguiente ecuación:

$$l_1 = \frac{(P_3 + P_4) * L_1}{P_{total}}$$

Donde:

$l_1$  = Posición longitudinal del centro de gravedad ver Figura 4.6.

$L_1$  = distancia entre ejes del autobús.

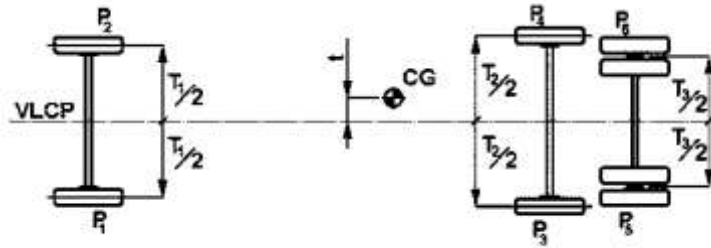
Reemplazando valores se obtiene:

$$l_1 = \frac{(9700)kg * 7000mm}{15020kg}$$

$$l_1 = 4520.64 \text{ mm}$$

#### 4.2.6.2 Posición transversal del centro de gravedad

Para determinar la posición transversal (t) del centro de gravedad del vehículo en relación con su plano central longitudinal vertical se seguirá lo especificado en la Figura 4. 7



**Figura 4.8** Posición transversal del centro de gravedad

**Fuente:** Reglamento N° 66 (CEPE/ONU) (2007)

Se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$t = \left( (P1 - P2) * \frac{T1}{2} + (P3 - P4) * \frac{T2}{2} \right) * \frac{1}{Ptotal}$$

Donde:

t = Posición Transversal del Centro de Gravedad según Figura 4. 7.

T1 = la distancia entre los centros de la rueda a cada extremo del primer eje.

T2 = la distancia entre los centros de la rueda a cada extremo del segundo eje.

Remplazando los valores se obtiene.

$$t = \left( (2530 - 3010) * \frac{2020}{2} + (4970 - 4820) * \frac{1820}{2} \right) * \frac{1}{15020}$$

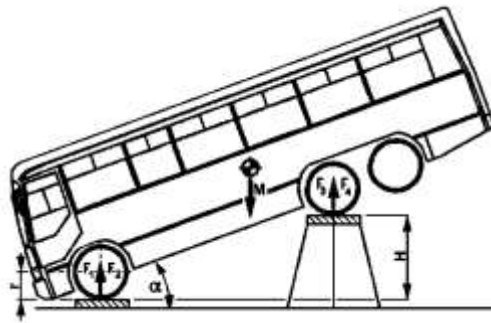
$$t = -23.19 \text{ mm}$$

Con el resultado obtenido se denota que la ubicación del centro de gravedad en posición transversal se encuentra hacia el lado derecho ubicado a 23.19 mm respecto a la línea media del Autobús según la Figura 4.7, por el contrario, si el valor (t) resultara positivo el

centro de gravedad en posición transversal se ubicada del lado izquierdo respecto a la línea media del Autobús. (Reglamento\_n°\_66\_(CEPE/ONU))

#### 4.2.6.3 Altura del transversal del centro de gravedad

La altura del centro de gravedad ( $h_0$ ) se determinará elevando el vehículo en sentido longitudinal y midiendo la reacción en los dos ejes como se muestra en la Figura 4. 8, con la diferencia que en esta ocasión se basculara el eje delantero ya que es el Autobús se fabricó sobre un chasis con motor posterior con lo que el mayor porcentaje de peso de la unidad se encuentra en el eje delantero.



**Figura 4.9** Altura del centro de gravedad

**Fuente:** Reglamento\_n°\_66 (CEPE/ONU) (2007)

Se determinará la reacción en el eje posterior del autobús para lo cual se levanta el eje delantero hasta una altura de 800 mm, se pesó en la báscula el peso soportado en los neumáticos posteriores tal como se muestra en la Figura 4.9. (Reglamento N N° 66 (CEPE/ONU), 2007)



a)



b)

**Figura 4.10** a) y b) Pesaje de la reacción del peso en el eje posterior

**Fuente:** El Autor

Una vez obtenido el peso del eje posterior, el ángulo de inclinación del ensayo de inclinación del Autobús se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{H}{L1}\right)$$

Donde:

H = la diferencia de altura entre la posición original de las ruedas posteriores y la posición final después de levantar el bus.

$\alpha$  = Angulo formado entre el plano horizontal y la línea horizontal que se forma entre el eje delantero y posterior.

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{800}{7000}\right)$$

$$\alpha = 20.051^\circ$$

Verificando la masa del vehículo según la siguiente expresión

$$F_{total} = F1 + F2 + F3 + F4$$

Donde:

F1 = reacción de la carga bajo la rueda izquierda del primer eje.

F2 = reacción de la carga bajo la rueda derecha del primer eje.

F3 = reacción de la carga bajo las ruedas izquierdas del segundo eje.

F4 = reacción de la carga bajo las ruedas derechas del segundo eje.

Por lo que:

$$F_{total} = \text{Peso total del autobús} = P_{total}.$$

Los datos obtenidos del pesaje se muestran en la Tabla 4.5

**Tabla 4.5** Obtención de la distribución de peso del Autobuses en posición de basculamiento

Descripción	Reacción (kg)
Rueda delantera izquierda más rueda delantera derecha (F1+F2)	6020
Rueda posterior izquierda más rueda posterior derecha (F3+F4)	9000

$$F_{total} = 5320 \text{ kg} + 9700 \text{ kg}$$

$$F_{total} = 15020 \text{ kg}$$

La altura del centro de gravedad del vehículo viene dada por:

$$h_0 = r + \left( \frac{1}{\text{tg}(\alpha)} \right) \left( l_1 - L_1 * \frac{F_3 + F_4}{F_{total}} \right)$$

Donde:

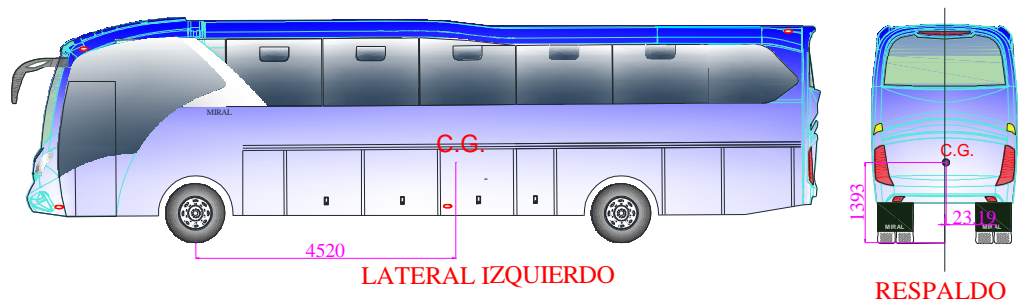
r = la altura del centro de la rueda en el eje delantero por encima de la superficie de la balanza.

$$h_0 = 500 \text{ mm} + \left( \frac{1}{\text{tg}(20.051^\circ)} \right) \left( 4520.64 \text{ mm} - 7000 \text{ mm} * \frac{9000 \text{ kg}}{15020 \text{ kg}} \right)$$

$$h_0 = 1393 \text{ mm}$$

En la Figura 4. 10 se muestra la posición real del centro de gravedad total del autobús



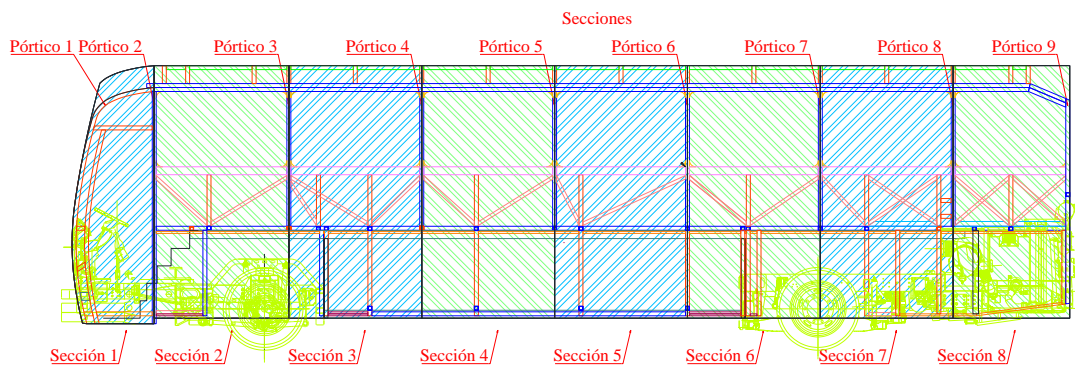


**Figura. 4.11** Ubicación del centro de gravedad

**Fuente:** Autor

#### 4.2.7. Distribución de masas en cada sección de la súper estructura del Autobús

A continuación, se muestra la configuración que compone la superestructura, tal como se puede observar la misma consta de 9 pórticos, mismos que aportan a la resistencia de la estructura al igual que a la capacidad de absorción de energía durante un ensayo de vuelco de la superestructura garantizando que no se invada el espacio de supervivencia de pasajeros.



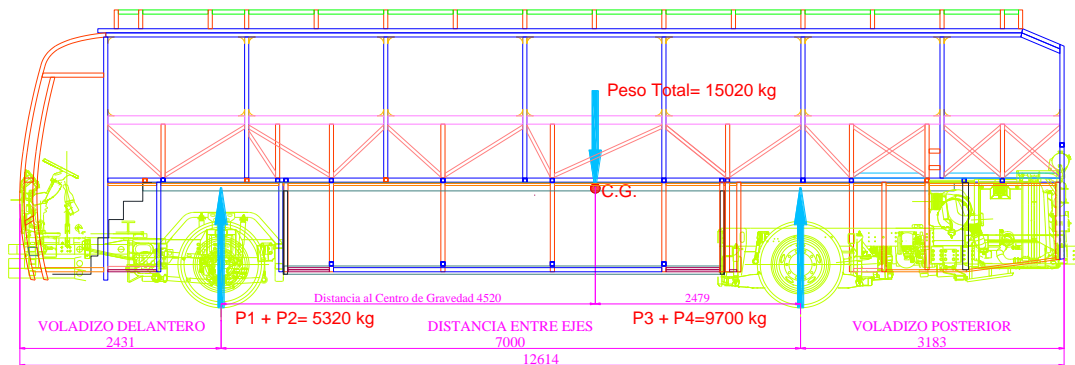
**Figura 4.12** Distribución de secciones y pórticos de la superestructura del Autobús

**Fuente:** Autor

Una vez que se ha determinado cada una de las secciones que conforman la superestructura del autobús se procede a obtener la distribución de masas para lo cual se supone que la estructura conforma una viga con dos apoyos (eje delantero y eje posterior del autobús), la longitud de la viga resulta de las dimensiones del voladizo delantero, distancia entre ejes y voladizo posterior, por propósitos de simulación de ensayo de vuelco no se ha tomado en cuenta la estructura del frente ni respaldo ya que

no son componentes que reciban el impacto inicialmente como si lo son el techo y laterales de la estructura.

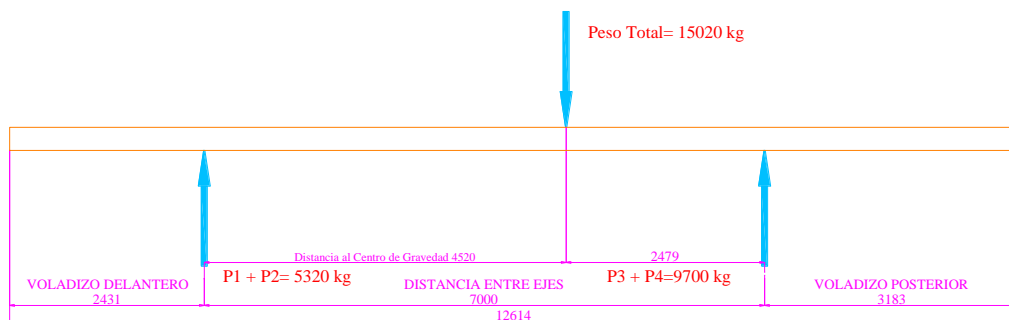
A continuación, se muestran las dimensiones para realizar el cálculo.



**Figura 4.13** Valores de cargas y ubicación en la superestructura.

**Fuente:** Autor

Como se puede observar se tiene las cargas puntuales, mismas que son resultado del pesaje del Autobús en estado de terminado, es necesario transformar las cargas puntuales a cargas distribuidas lo que permitirá calcular cual es la masa en cada una de las secciones de la superestructura del Autobús anteriormente establecidas, tal como se muestra en la Figura 4.14.



**Figura 4.14.** Cargas aplicadas en la viga equivalente.

**Fuente:** Autor

La sumatoria de momentos en el punto 0 que se indica en la Figura 4.14 muestra cual es la ubicación de las cargas actuantes en el autobús en forma distribuida.

$$\Sigma MO = 0$$

$$(P1 + P2) * Vd + (P3 + P4) * (Vd + De) - Pud * \frac{(Vd + De + Vp)}{2} - Pid * \frac{2 * (Vd + De + Vp)}{3} = 0$$

Donde

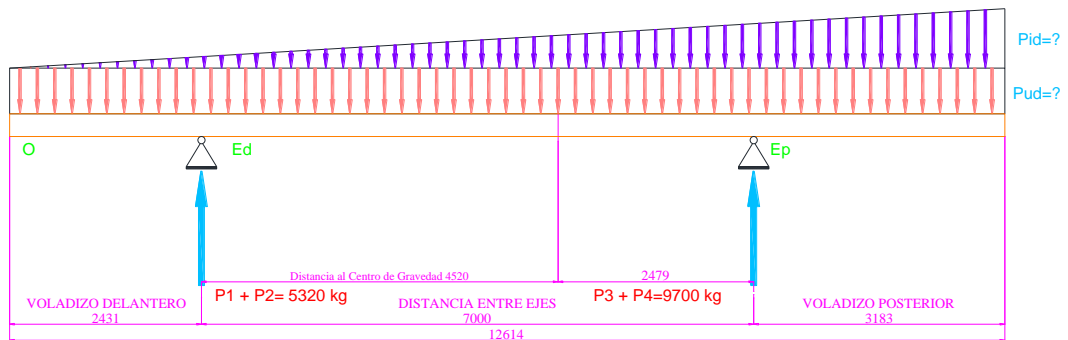
Vd = Distancia del voladizo delantero.

De = Distancia entre ejes.

Vp = Distancia del voladizo tomado desde el posterior desde el eje posterior.

Pud = Carga uniformemente distribuida en toda la longitud del autobús.

Pid = Carga distribuida triangular en toda la longitud del autobús.



**Figura 4.15.** Esquema de las cargas distribuidas sobre la viga

Fuente: Autor

Desarrollo de la sumatoria de momentos sobre la viga:

$$(5320) * (2431) + (9700) * (2431 + 7000) - Pud * \frac{(2431+7000+3183)}{2} - Pid * \frac{2*(2431+7000+3183)}{3} = 0$$

$$6307 Pud + 8409,3 Pid = 12932920 + 91480700$$

$$6307 Pud + 8409,3 Pid = 104413620 \text{ kg.mm} \quad \text{Ecuación a}$$

Sumatoria de Fuerzas en el eje Y:

$$\Sigma FY = 0$$

$$(Pid + Pud) = (P1 + P2) + (P3 + P4)$$

$$(P_{id} + P_{ud}) = (5320 + 9700)kg$$

$$P_{id} = 15020 kg - P_{ud} \quad \text{Ecuación } b$$

Reemplazando la *ecuación b* en *a* se obtiene:

$$6307 P_{ud} + (8409,3)(15020 kg - P_{ud}) = 104413620 kg \cdot mm$$

$$6307 P_{ud} + 126307686 - 8409,3 P_{ud} = 104413620 kg \cdot mm$$

$$2102,3 P_{ud} = 21894066 kg$$

$$P_{ud} = 10414.34 kg$$

Se obtiene como carga puntual, ahora transformando a carga rectangular uniformemente distribuida:

$$P_{ud} = \frac{10414.34 kg}{12614 mm}$$

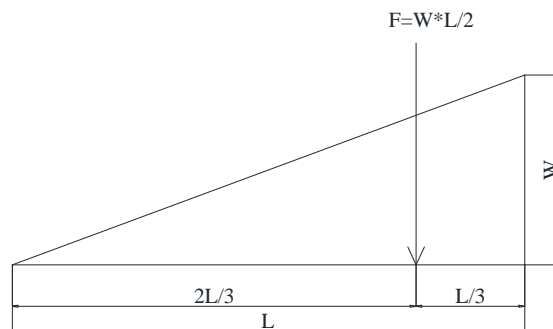
$$P_{ud} = 0.8256 kg/mm$$

Reemplazando el valor de  $P_{ud}$  en la *ecuación a* se tiene:

$$P_{ud} = 15020 kg - 10414.34 kg$$

$$P_{ud} = 4605.66 kg$$

Se obtiene como carga puntual, ahora transformando a carga triangular uniformemente distribuida:



**Figura 4.16.** Esquema de carga triangular distribuida

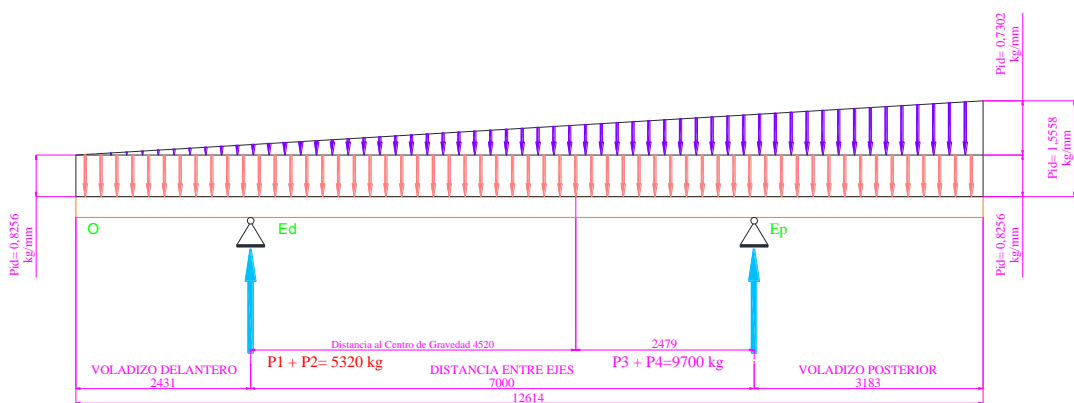
**Fuente:** Autor

$$P_{id} = \frac{(4605.66 \text{ kg})(2)}{12614 \text{ mm}} \text{ para una distancia } L = 0 \text{ mm}$$

$$P_{id} = 0.7302 \frac{\text{kg}}{\text{mm}} \text{ para una distancia } L = 0 \text{ mm}$$

$$P_{id} = 0 \frac{\text{kg}}{\text{mm}} \text{ para una distancia } L = 12614 \text{ mm}$$

A continuación, en la figura 4.75 se representa la distribución de cargas en el autobús, al ser un chasis con motor y caja de cambios en la parte posterior la concentración de cargas se encuentra ubicada en la parte posterior del autobús:

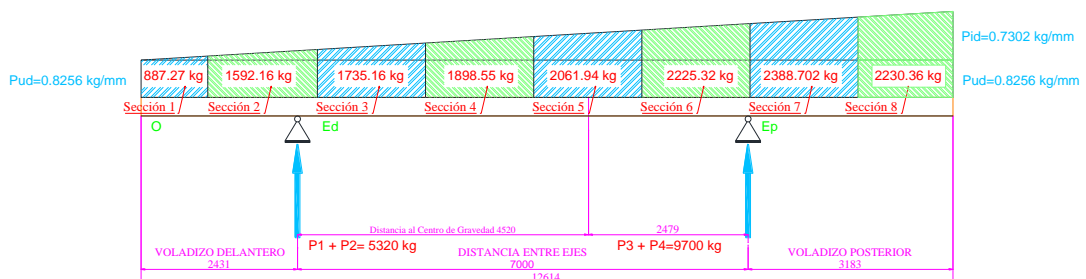


**Figura 4.17.** Representación de cargas uniformemente distribuidas en la superestructura del bus

**Fuente:** Autor

La distribución de masa sobre el autobús se lo realiza en base a las secciones establecidas anteriormente en la figura 4.11., de dicha distribución se obtiene cual es la sección crítica la cual absorbería una mayor cantidad de energía durante el vuelco.

Para obtener la carga que debe soportar cada sección se calcula el área de la carga distribuida como se muestra en la Figura 4. 18



**Figura 4.18** Valor de cargas que debe soportar cada sección de la superestructura del autobús

**Fuente:** El Autor

Después del análisis se pudo determinar que la sección número SIETE con una carga de 2388.702 Kg es la tendría una mayor solicitud de resistencia al sufrir una volcadura. A partir de este resultado dicha con dicha sección se realizará el ensayo de vuelco tanto virtual como físico.

**Tabla 4.6** Distribución de peso del Autobuses por cada sección

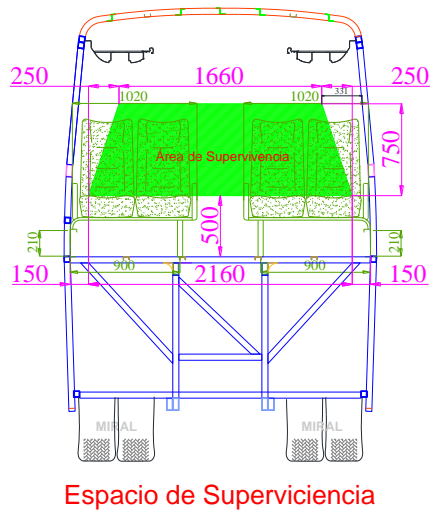
<b>Descripción</b>	<b>Carga a soportar (Kg)</b>
Sección 8	2230.36
<b>Sección 7</b>	<b>2388.702</b>
Sección 6	2225.32
Sección 5	2061.94
Sección 4	1898.55
Sección 3	1735.16
Sección 2	1592.16
Sección 1	887.27
<b>TOTAL</b>	<b>15019.462</b>

**Fuente:** Autor

#### **4.2.8. Espacio de Supervivencia**

El espacio de Supervivencia según lo estipulado en el Reglamento N° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) se define como “el espacio que ha de quedar en el compartimento o compartimentos del conductor, de viajeros y del personal para que el conductor, los viajeros y el personal tengan más posibilidades de sobrevivir en caso de vuelco.” [10]

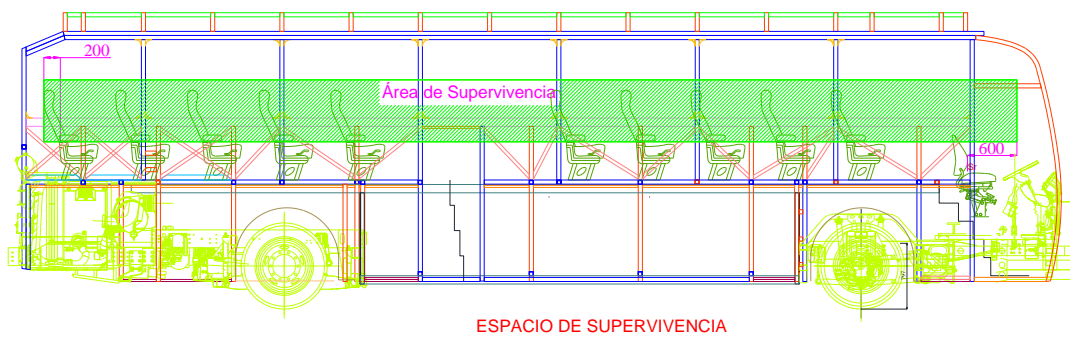
A continuación, se muestran una representación del espacio de supervivencia en disposición transversal con dimensiones respecto al piso de pasajeros, con una altura del 1250 mm, separado 150 mm respecto a las paredes laterales de la estructura del autobús tal como se muestra a continuación:



**Figura 4.19.** Disposición Transversal del Área de Supervivencia

**Fuente:** Autor

Por otro lado, la disposición longitudinal del espacio de supervivencia el cual se extiende desde la parte posterior tomando en cuenta el punto SR del asiento de la última fila 200 mm hacia afuera, con una sección constante pasando por todo lo largo del autobús, sea cual sea la disposición de los asientos intermedios, hasta unos 600 mm después del punto SR del asiento de conductor tal como se muestra a continuación:



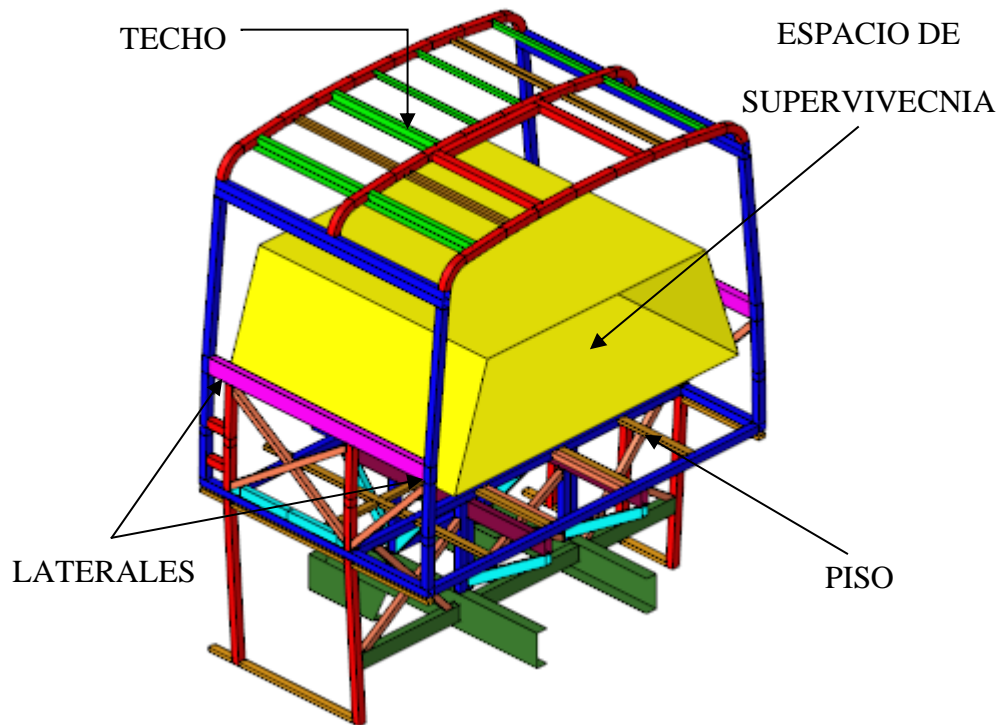
**Figura 4.20.** Disposición Longitudinal del Área de Supervivencia

**Fuente:** Autor

### 4.3. Ensayos

#### 4.3.1. Simulación del ensayo de vuelco de la sección de la estructura

Como se determinó anteriormente la sección más crítica de la superestructura es la sección numero 7 la cual soporta la mayor concentración de carga. Para realizar el análisis el primer paso es dibujar la geometría de la superestructura del Autobús considerando todos y cada uno de los elementos estructurales que intervendrán para el análisis de la resistencia tal como se muestra en la Figura 4.21.

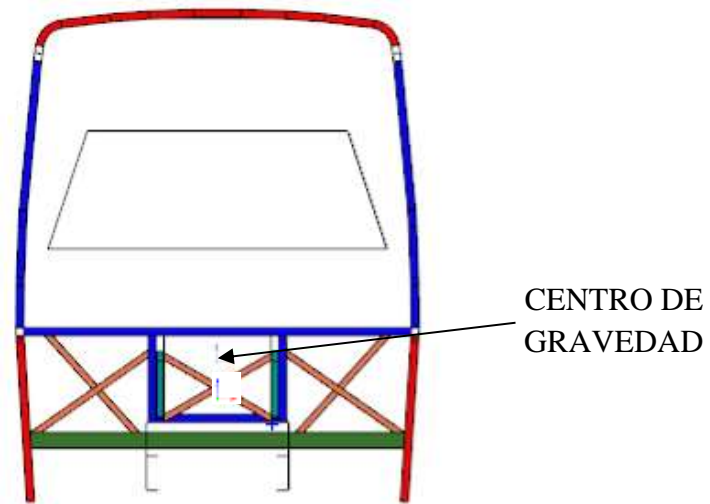


**Figura 4.21.** Representación de la sección más crítica de la Superestructura

**Fuente:** El Autor

Ahora es necesario determinar el centro de gravedad de la sección analizada, misma que debe ser similar al centro de gravedad del Autobús completo, esto se facilita mediante el uso de un software CAD, en donde se dibuja la sección por completo con cada uno de los miembros estructurales que la conforman con su geometría respectiva, espesores y material tubería A500, como resultado se obtiene la masa de la sección y es posible ubicar el centro de gravedad como se muestra en la figura 4.22:

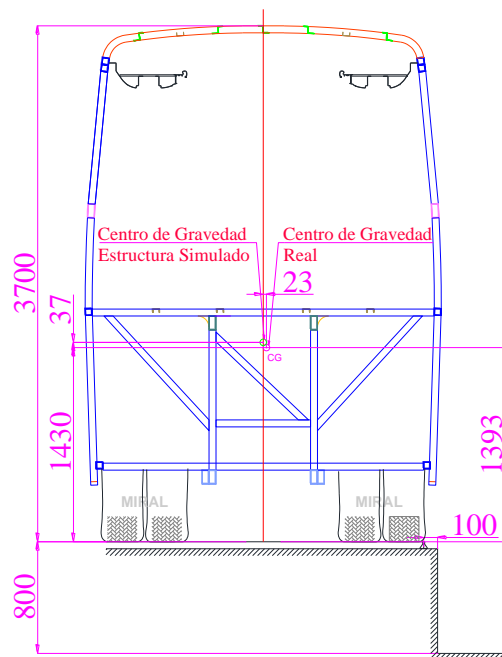




**Figura 4.22.** Centro de gravedad de la Superestructura

**Fuente:** El Autor

Se presenta la ubicación del centro de gravedad tanto de la superestructura y de la sección más crítica analizada real, ubicando su posición respecto al plano XY de la sección. Tomando en cuenta la plataforma y dimensiones según el reglamento R66 de las Naciones Unidas.



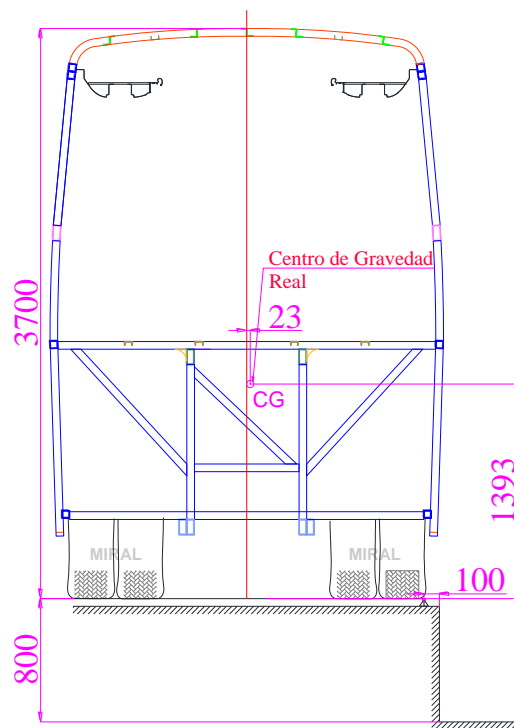
**Figura 4.23.** Centro de gravedad real y modelado de la Superestructura

**Fuente:** El Autor

Como se puede observar en la figura anterior la ubicación del centro de gravedad modelado respecto al centro de gravedad de la sección más crítica real difieren en 23 mm hacia la derecha del eje central de la estructura del bus y 37 mm hacia arriba de la ubicación real de la estructura del Autobús.

Además, se realiza una comparación entre los resultados de masa de la sección modelada con un valor de 494,298 kg y la sección real del Autobús obtenida del pesaje con un valor de 2388.702 kg. Ahora para no alterar el centro de gravedad en la sección se debe colocar masas en una proporción de 4,83 a la sección crítica modelada.

Las masas equivalentes serán colocadas en el área del piso de pasajeros con el fin de evitar adicionar resistencia a la super estructura y obtener resultados erróneos, las masas equivalentes colocadas llegan a un valor de 1894,404 kg de materia de concreto.



**Figura 4.24.** Posición inicial antes del vuelco de la estructura en la plataforma de basculamiento

**Fuente:** El Autor

Para dar inicio a la prueba de vuelco física, se coloca la estructura sobre la plataforma de vasculamiento tal como se mostro en la Figura 4.23, ahora cuando se realiza la simulacion, por efectos de gasto computacional se la reliza cuando la superestructura

del Autobus empieza a impactar la superficie del piso, para esto se necesita determinar la velocidad con la que impacta contra el piso.

Para el cálculo de la energía previa de impacto de la superestructura contra la superficie del piso se utiliza la siguiente expresión [31]:

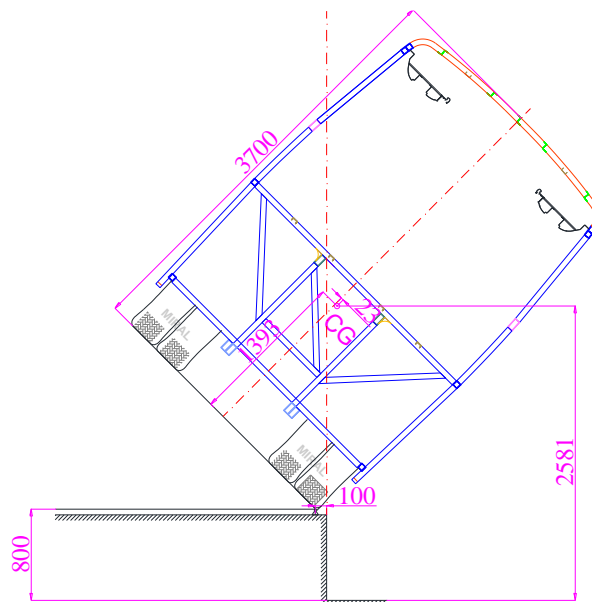
$$E_R = M * g * h_1$$

Donde:

M = Masa del vehículo en marcha (kg)

g = Constante de atracción gravitacional (m/s<sup>2</sup>)

h<sub>1</sub> = Altura del centro de gravedad del vehículo en la posición inicial inestable con respecto a la superficie de impacto del piso.



**Figura 4.25.** Posición inicial inestable del vehículo para el ensayo de vuelco

**Fuente:** El Autor

De lo cual se obtiene lo siguiente:

$$E_R = M * g * h_1$$

$$E_R = 2388,702 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2,581 \text{ m}$$

$$E_R = 2388,702 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2,581 \text{ m}$$

$$E_R = 60481 \text{ J}$$

Por otro lado, el cálculo de la velocidad con la cual la superestructura va a impactar contra la superficie del piso se determina de la siguiente manera:

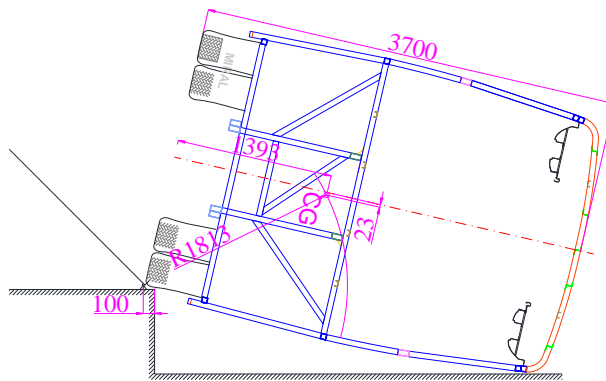
$$V_{im} = \sqrt{\frac{2 * E_R}{M}}$$

Donde:

$V_{im}$  = Velocidad de impacto de la superestructura contra la superficie del suelo respecto al centro de gravedad

$$V_{im} = \sqrt{\frac{2 * 60481 \text{ J}}{2388,702 \text{ kg}}}$$

$$V_{im} = 7,12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



**Figura 4.26.** Radio de giro de la superestructura al momento del impacto contra la superficie del piso

**Fuente:** El Autor

Ahora la velocidad angular de impacto de la superestructura contra la superficie del piso viene dada por la siguiente expresión:

$$W_{im} = \frac{V_{im}}{r}$$

Donde:

$r$  = Radio de giro de la superestructura respecto al centro de gravedad.

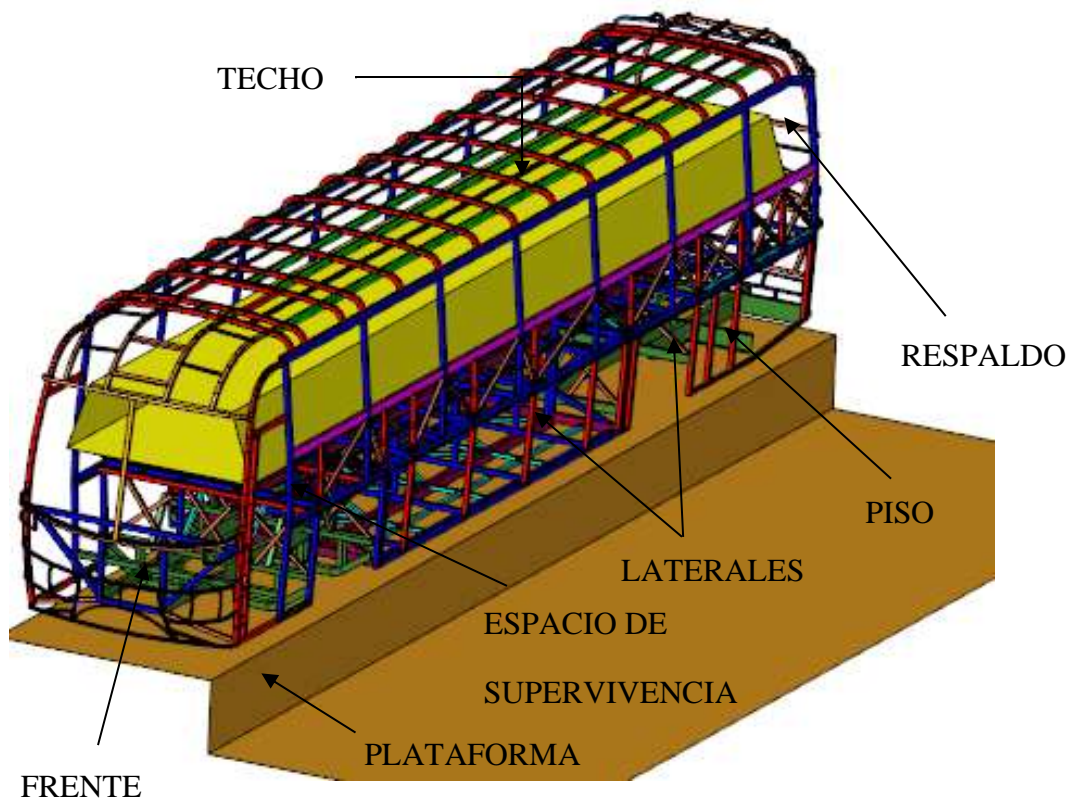
$$W_{im} = \frac{7,12 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,813 \text{ m}}$$

$$W_{im} = 3,93 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

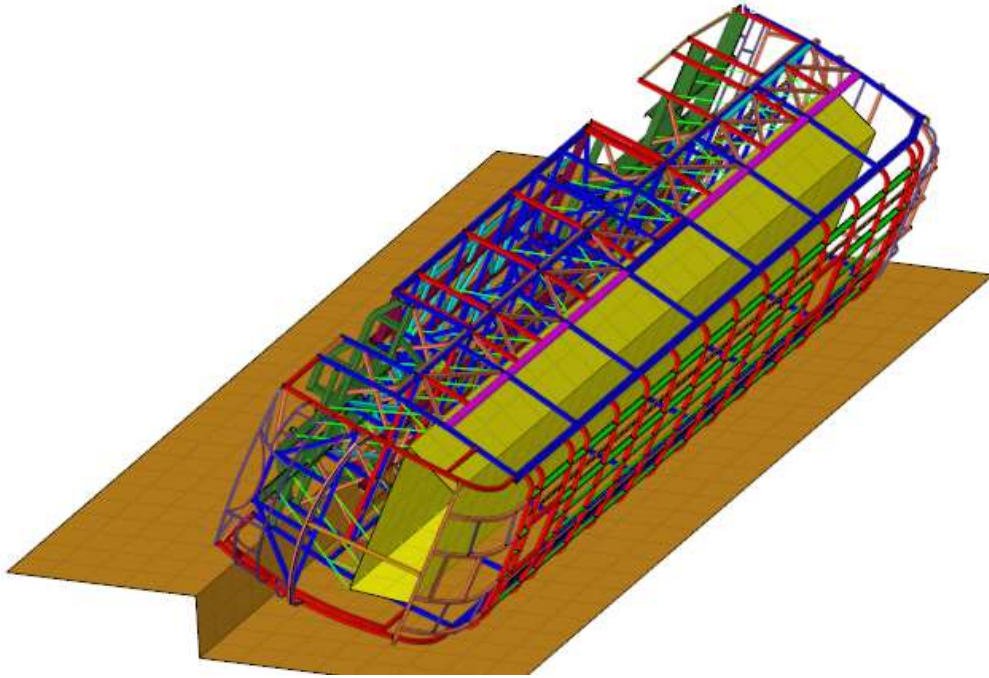
### Simulación de la estructura del bus

Para la simulación de la estructura del bus se modeló la estructura completa del bus, es decir, anclajes, lateral derecho, lateral izquierdo, piso, techo, unión chasis carrocería, tejido de bodegas con sus respectivos materiales y dimensiones, de acuerdo a los planos de construcción según lo estipulado en el reglamento 66 de las Naciones Unidas como muestra en la Figura 4.27 a en su posición inicial antes del ensayo de vuelco, b) durante el ensayo de vuelco.

a)



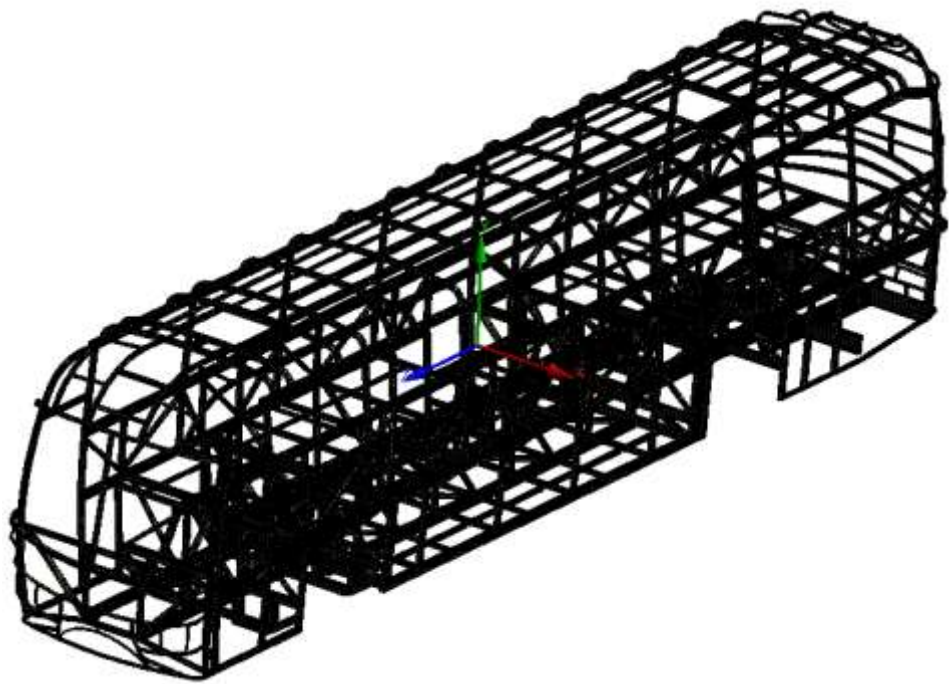
b)



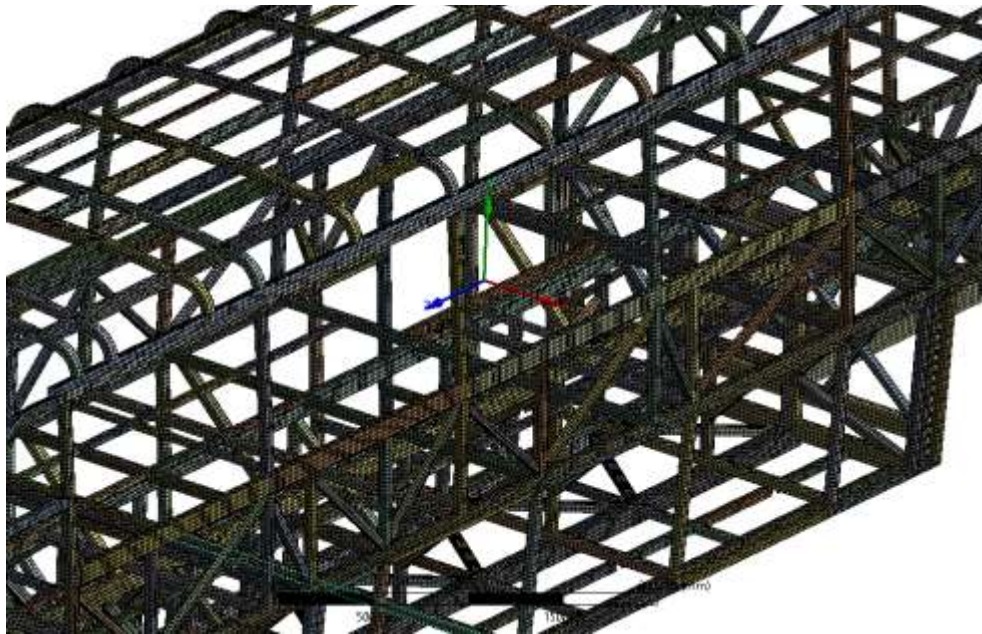
**Figura 4.27.** Estructura del autobús. a) Antes del Vuelco, b) Durante el vuelco

**Fuente:** Autor

En la Figura 4.28 a) y b) se presenta el mallado y la calidad de malla, los elementos tipo rectangulares son uniformes, la dimensión de longitud máxima de la cara de los elementos es de 25 mm, un valor de Jacobiano maximo de 1,0729 y un minimo de 1. El valor maximo de Aspect Ratio es de 1,2253 y un valor mínimo de 1, mismos que estan dentro del índice de caracterización de la variable Aspect Ratio.



a)

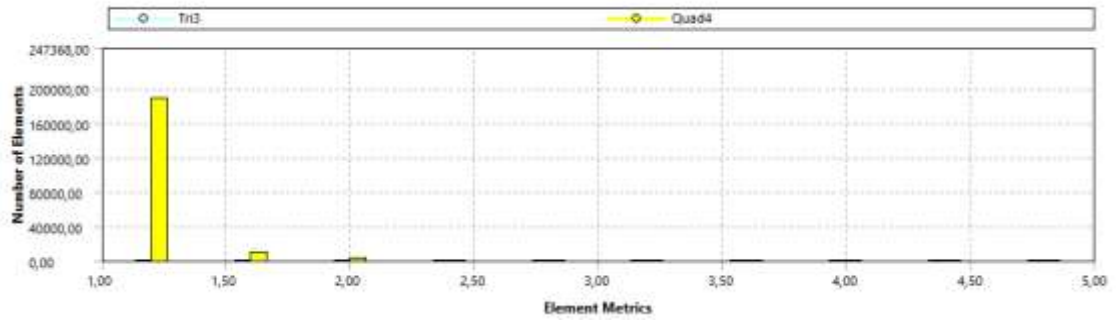


b)

**Figura 4.28.** Mallado de Estructura. a) Bus completo, b) Acercamiento mallado

**Fuente:** Autor

En la Figura 4.29 mediante un gráfico de barras se muestra la cantidad de elementos que se encuentran en el eje Y mientras que en el eje X se indica el valor del Aspect Ratio. Obteniendo 247368 elementos un Aspect Ratio de 1 y 5 elementos con Aspect Ratio de 1,2258, los demás elementos se encuentran dentro de este rango.



**Figura 4.29.** Aspect Ratio versus número de elementos de la estructura del bus

**Fuente:** El Autor





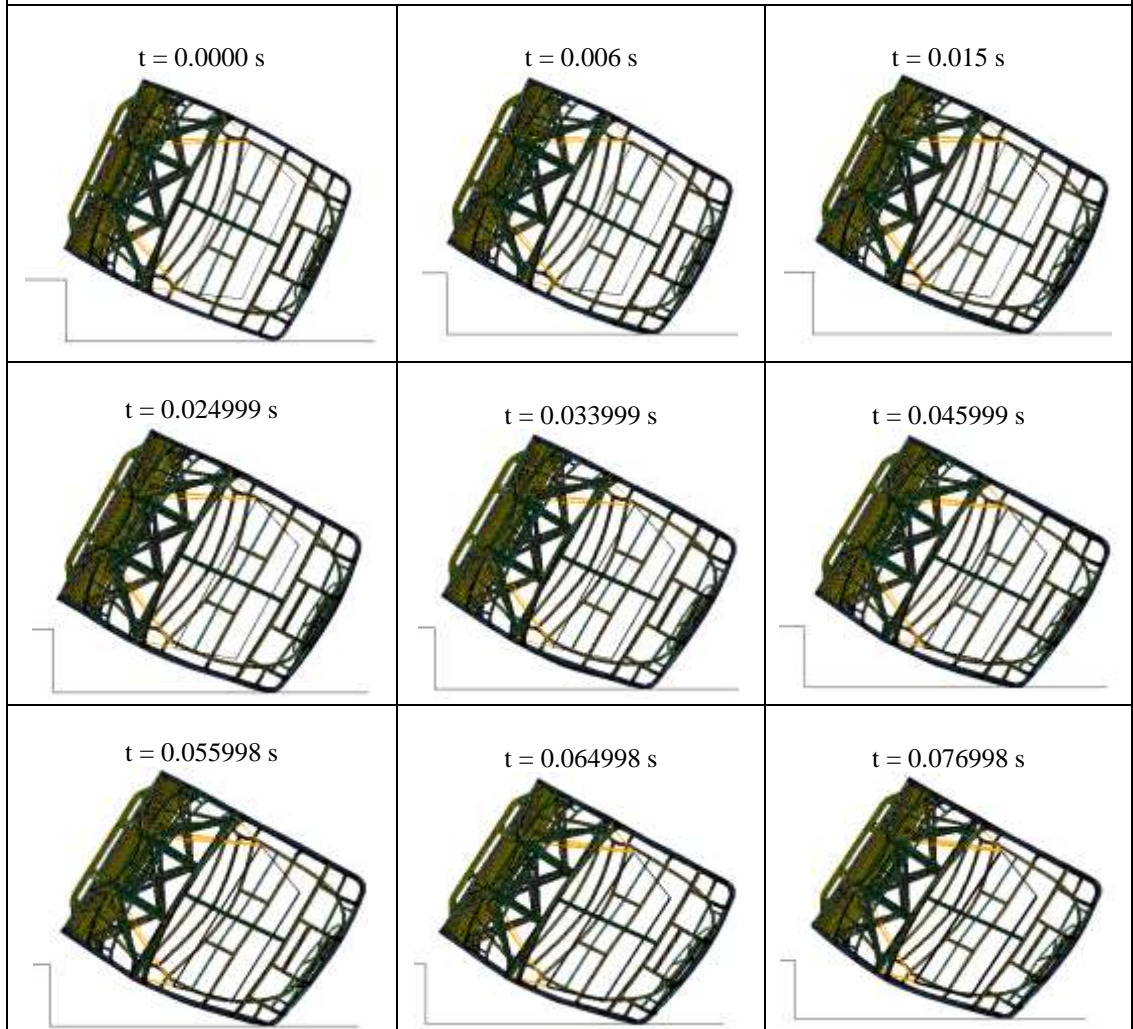
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

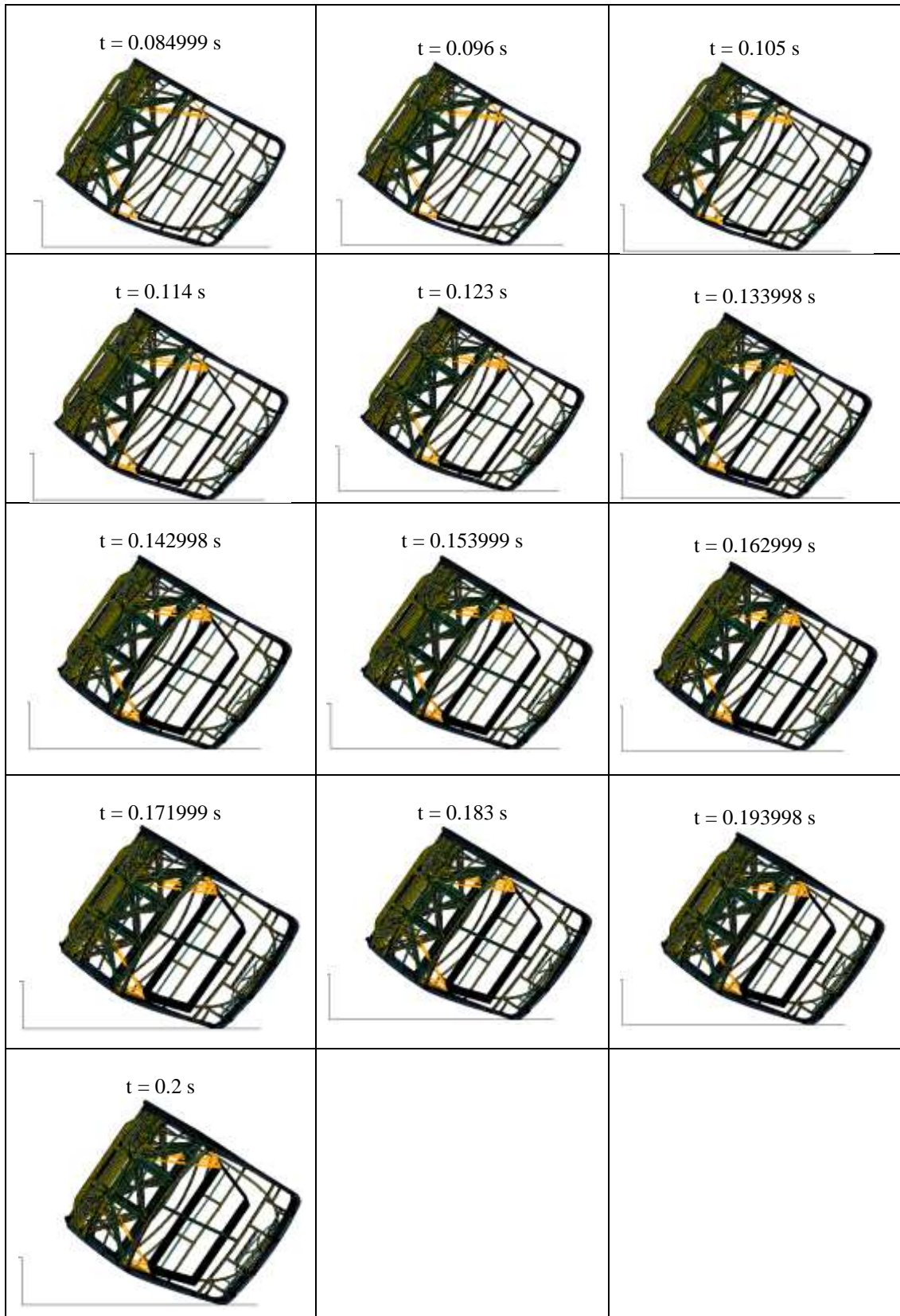


**SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE VUELCO**

Probeta N°	1	Muestra de:	Superestructura del Autobús IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836
Normas Aplicables	Reglamento CEPE/ONU66		
Fecha de ejecución	10/07/2019	Realizado por	Ing. Braulio Atacusí
		Revisado por	Ing. César Arroba
Aspect Ratio Max:	5	Aspect Ratio Min:	1
Cantidad de nodos	251331	Cantidad de elementos	247368
Tiempo de procesamiento	168 horas	Número de procesadores	1 de 3.2 GHz
Velocidad al momento de impacto	3.93 rad/seg	Masa de la sección	15019.462 kg

**RESULTADOS DEL ENSAYO**



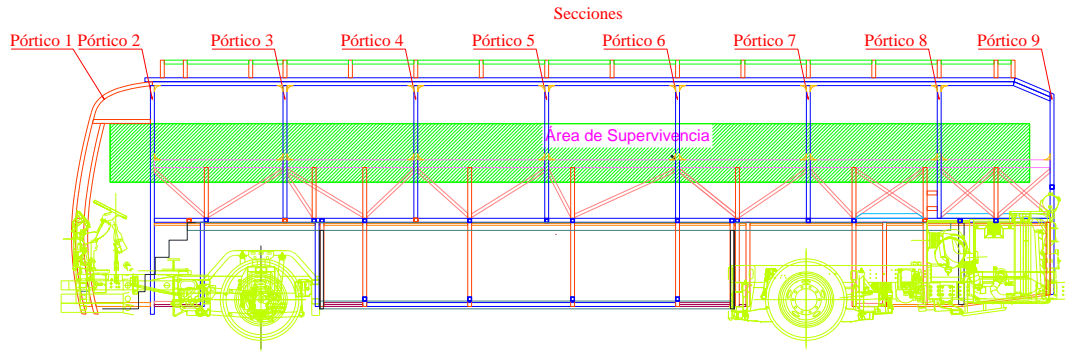


**RESULTADOS REGISTRADOS**

Invade la Superestructura del autobús el espacio de supervivencia

**NO**

## Resultados de la simulación de vuelco de la estructura del autobús



**Figura 4.30.** Designación de pórticos en la estructura

**Fuente:** Autor

Después de haber realizado la simulación de la estructura del autobús en el software de análisis se obtuvieron los siguientes resultados de acuerdo a la distribución de pórticos de la figura 4.30 de la siguiente manera:

**Tabla 4.7** Resultados de la proximidad de la estructura respecto a la zona de supervivencia:

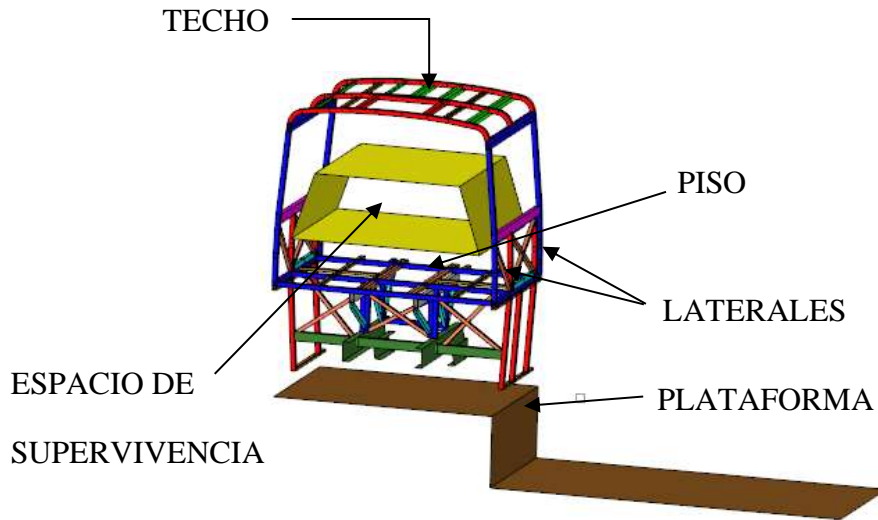
Número de Parante	Proximidad de la estructura al espacio de supervivencia
Pórtico 1	N/A
Pórtico 2	109 mm
Pórtico 3	94 mm
Pórtico 4	83 mm
Pórtico 5	65 mm
Pórtico 6	52 mm
Pórtico 7	48 mm
Pórtico 8	54 mm
Pórtico 9	N/A

**Fuente:** Autor

Después del análisis, se obtuvo además información de esfuerzo máximo efectivo con un valor máximo de 677,23 MPa y una deformación plástica efectiva de 0,18325 mm.

### Simulación de la sección más crítica de la estructura

Para facilitar la simulación de la estructura debido al gasto computacional, el reglamento 66 de las Naciones Unidas contempla que se puede realizar el análisis de la estructura de la sección más crítica, mediante la geometría de tipo superficie tal como se observa a continuación:



**Figura 4.31.** Geometría de la Sección más crítica de la Superestructura

**Fuente:** El Autor

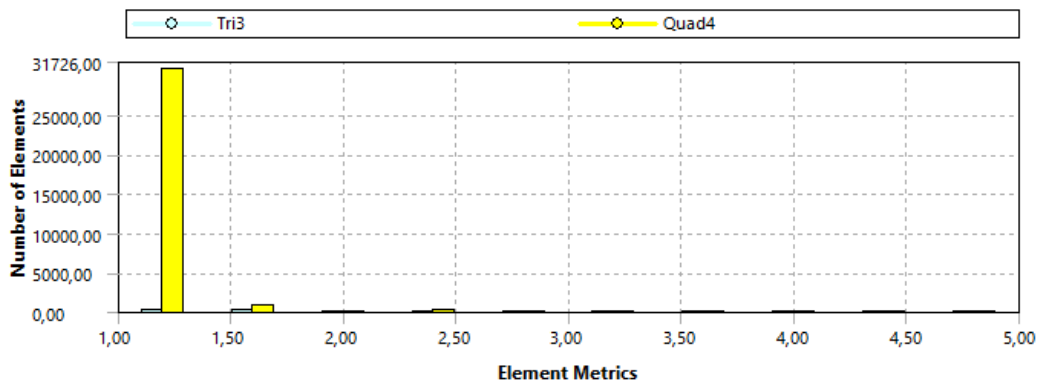
En la Figura 4.32 se presenta el mallado y la calidad de malla, los elementos tipo rectangulares son uniformes, la dimensión de longitud máxima de la cara de los elementos es de 25 mm, un valor de Jacobiano máximo de 1,0721 y un mínimo de 1. El valor máximo de Aspect Ratio es de 1,2258 y un valor mínimo de 1, mismos que están dentro del índice de caracterización de la variable Aspect Ratio.



**Figura 4.32.** Mallado de la Sección más crítica de la Superestructura

**Fuente:** El Autor

En la Figura 4.33 mediante un gráfico de barras se muestra la cantidad de elementos que se encuentran en el eje Y mientras que en el eje X se indica el valor del Aspect Ratio. Obteniendo 31726 elementos un Aspect Ratio de 1 y 5 elementos con Aspect Ratio de 1,2258, los demás elementos se encuentran dentro de este rango.



**Figura 4.33.** Aspect Ratio versus número de elementos de la sección más crítica de la superestructura

**Fuente:** El Autor



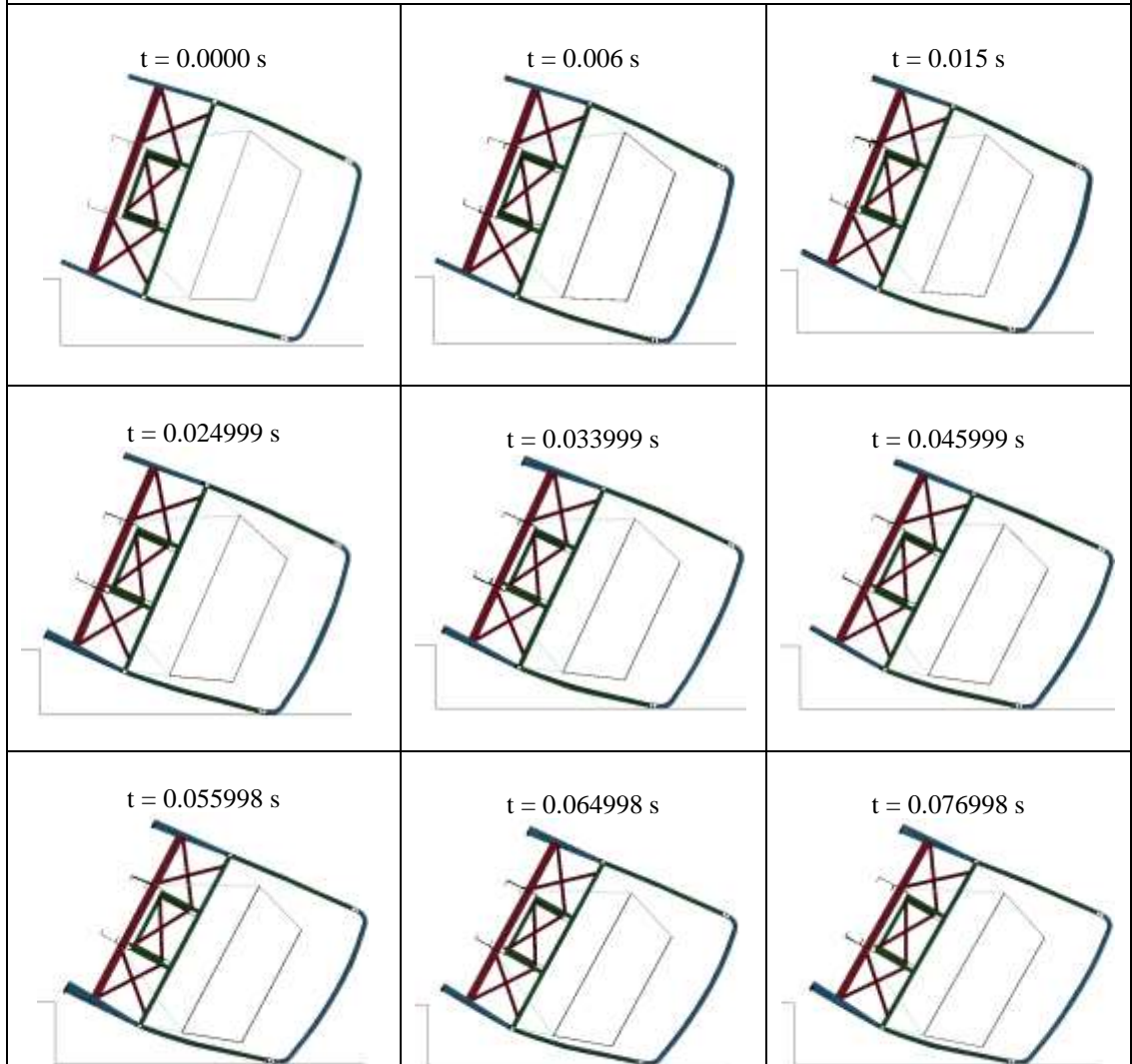
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**


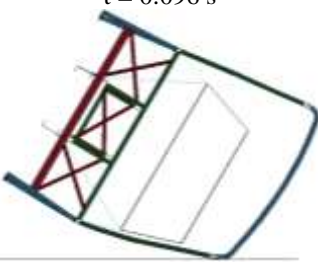
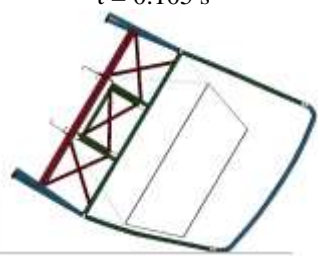
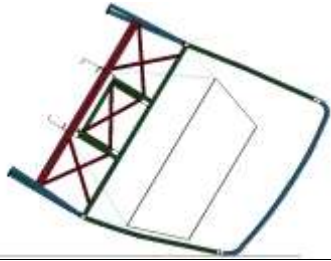
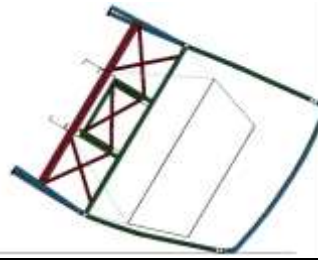
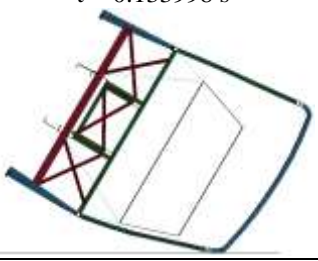

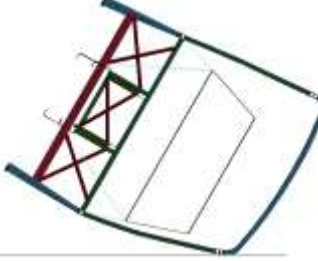
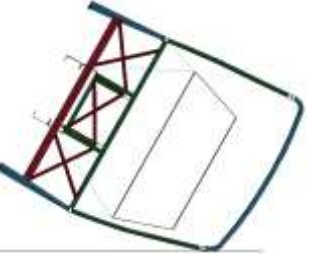
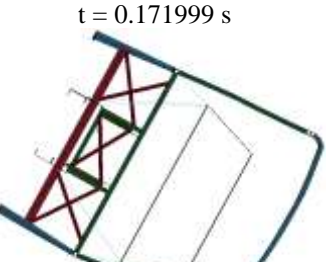
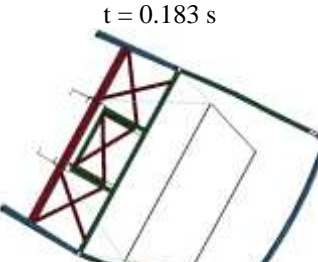
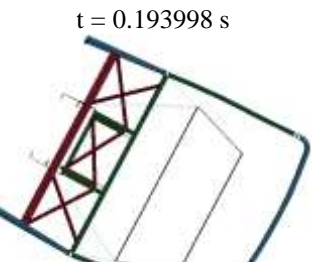
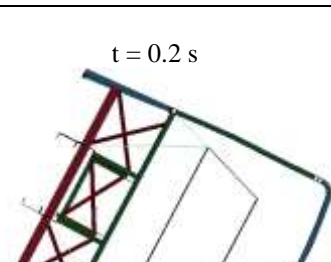


**SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE VUELCO**

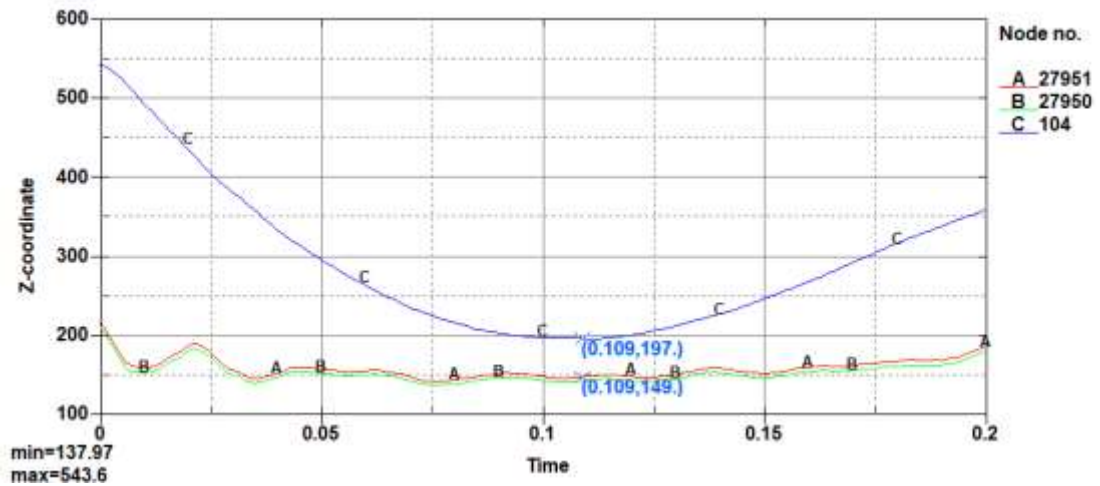
Probeta N°	2	Muestra de:	Superestructura del Autobús IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836
Normas Aplicables	Reglamento CEPE/ONU66		
Fecha de ejecución	10/07/2019	Realizado por	Ing. Braulio Atacusí
		Revisado por	Ing. César Arroba
Aspect Ratio Max:	5	Aspect Ratio Min:	1
Cantidad de nodos	32356	Cantidad de elementos	32527
Tiempo de procesamiento	37 horas	Número de procesadores	1 de 3.2 GHz
Velocidad al momento de impacto	3.93 rad/seg	Masa de la sección	2388.702 kg

**RESULTADOS DEL ENSAYO**



$t = 0.084999 \text{ s}$ 	$t = 0.096 \text{ s}$ 	$t = 0.105 \text{ s}$ 
$t = 0.114 \text{ s}$ 	$t = 0.123 \text{ s}$ 	$t = 0.133998 \text{ s}$ 
$t = 0.142998 \text{ s}$ 	$t = 0.153999 \text{ s}$ 	$t = 0.162999 \text{ s}$ 
$t = 0.171999 \text{ s}$ 	$t = 0.183 \text{ s}$ 	$t = 0.193998 \text{ s}$ 
$t = 0.2 \text{ s}$ 		
<b>RESULTADOS REGISTRADOS</b>		
Invade la Superestructura del autobús el espacio de supervivencia		<b>NO</b>

Se anexa la codificación de la simulación del ensayo de vuelco de la sección más crítica de la superestructura del autobús para el solver de Ls-Dyna.



**Figura 4.34.** Desplazamiento del espacio de supervivencia de pasajeros respecto a la superestructura del autobús. Las curvas A y B representan puntos de la estructura en el lateral, que describen la trayectoria del punto más cercano de la zona de supervivencia respecto a la estructura con la curva C.

**Fuente:** El Autor

En la figura 4.34 la curva C representa el desplazamiento del espacio de supervivencia de pasajeros con relación a las curvas A y B, mismas que representan a los nodos del elemento que se encuentra en la trayectoria del espacio de supervivencia durante el ensayo de vuelco, con una distancia inicial máxima de 331 mm al inicio del ensayo y una distancia de 48 mm después del ensayo por lo que el Espacio de Supervivencia NO es invadido por la Superestructura del Autobús durante el impacto.

Este resultado evidencia el cumplimiento de la norma técnica NTE INEN 1323 en la cual se especifica que la estructura de la carrocería debe resistir para que el espacio de supervivencia no resulte invadido según el alcance del documento reglamento 66 de las Naciones Unidas.

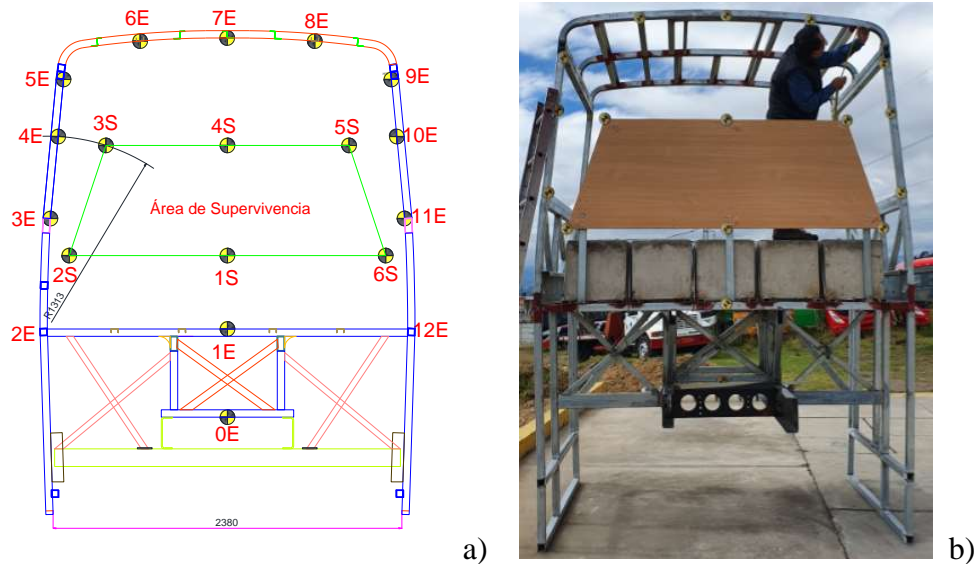
#### **4.3.2. Validación el comportamiento de la estructura del autobús mediante un ensayo físico de vuelco de la sección más crítica del autobús interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836.**

Para realizar la validación del comportamiento de la simulación de la sección más crítica de la estructura del autobús interprovincial se construyó un modelo a escala



1:1 de dicha sección, contando con todos los materiales y geometría establecida de acuerdo a los planos de fabricación siguen el siguiente procedimiento:

- Elaboración de planos de la sección más crítica de la estructura del autobús interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836.
- Entregar planos revisados y aprobados al área de construcción de estructuras de MIRAL Autobuses para empezar con su construcción.
- Supervisar la construcción según planos de laterales, techo, anclajes piso de pasajeros, espacio de supervivencia según norma Reglamento 66 de las Nacionales Unidas.
- Construir plataforma de vuelco según planos para realizar el ensayo de vuelco físico de la sección más crítica.
- Transportar la sección más crítica a la zona destinada para realizar el ensayo de vuelco.
- Construir las masas equivalentes que en conjunto con la estructura de la sección más crítica darán un peso de 2388.702 Kg, según lo calculado anteriormente, dichos masas serán ubicadas en la estructura de tal manera que se iguale la posición del centro de gravedad en sentido vertical al del bus completo.
- Realizar pruebas de calibración para determinar el radio de caída de la sección para ubicar en la posición correcta la plataforma de vuelco.
- Colocar puntos de referencia en la estructura y en la zona de supervivencia con el fin de obtener medidas de dichos puntos después del ensayo tal como se observa en la figura 4.30 a y b.



**Figura 4.35.** Estructura de la sección más crítica y espacio de supervivencia puntos de medición

**Fuente:** El Autor

- Con el fin de documentar todas las etapas del ensayo de vuelco se debe colocar cámaras en las diferentes vistas, frontal, lateral, posterior e inferior, contando con la principal cámara de Alta Velocidad marca Chronos 1.4 con sus accesorios (Especificaciones de calibración en Anexo 11), con el fin de captar a detalle a décimas de segundo todo el evento de vuelco tal como se mostrará posteriormente.
- Una vez posicionada la plataforma, se procede a realizar pruebas de calibración con todas las cámaras colocadas alrededor.
- Después se coloca la estructura de la sección crítica del autobús sobre la plataforma con la ayuda de una grúa con brazo telescópico con la capacidad para elevar dicho peso sin ningún peligro, con elementos de sujeción como cadenas y fajas de seguridad se asegura la estructura en puntos estratégicos para elevarla sin correr el riesgo de deformar la estructura, caso contrario se pueden obtener resultados no deseados.
- Asegurar la base de la plataforma con el fin de evitar que se mueva mientras se desarrolla en ensayo de vuelco.
- Para empezar con el ensayo del vuelco es necesario ubicar la grúa a un costado de la plataforma para sujetarla del sitio correspondiente, con la velocidad de 7,12 m/s, controlada según lo calculado se empieza a levantar la base móvil de la plataforma, a velocidad constante la estructura empieza a girar sobre el eje de apoyo hasta que por gravedad colisiona contra el suelo.



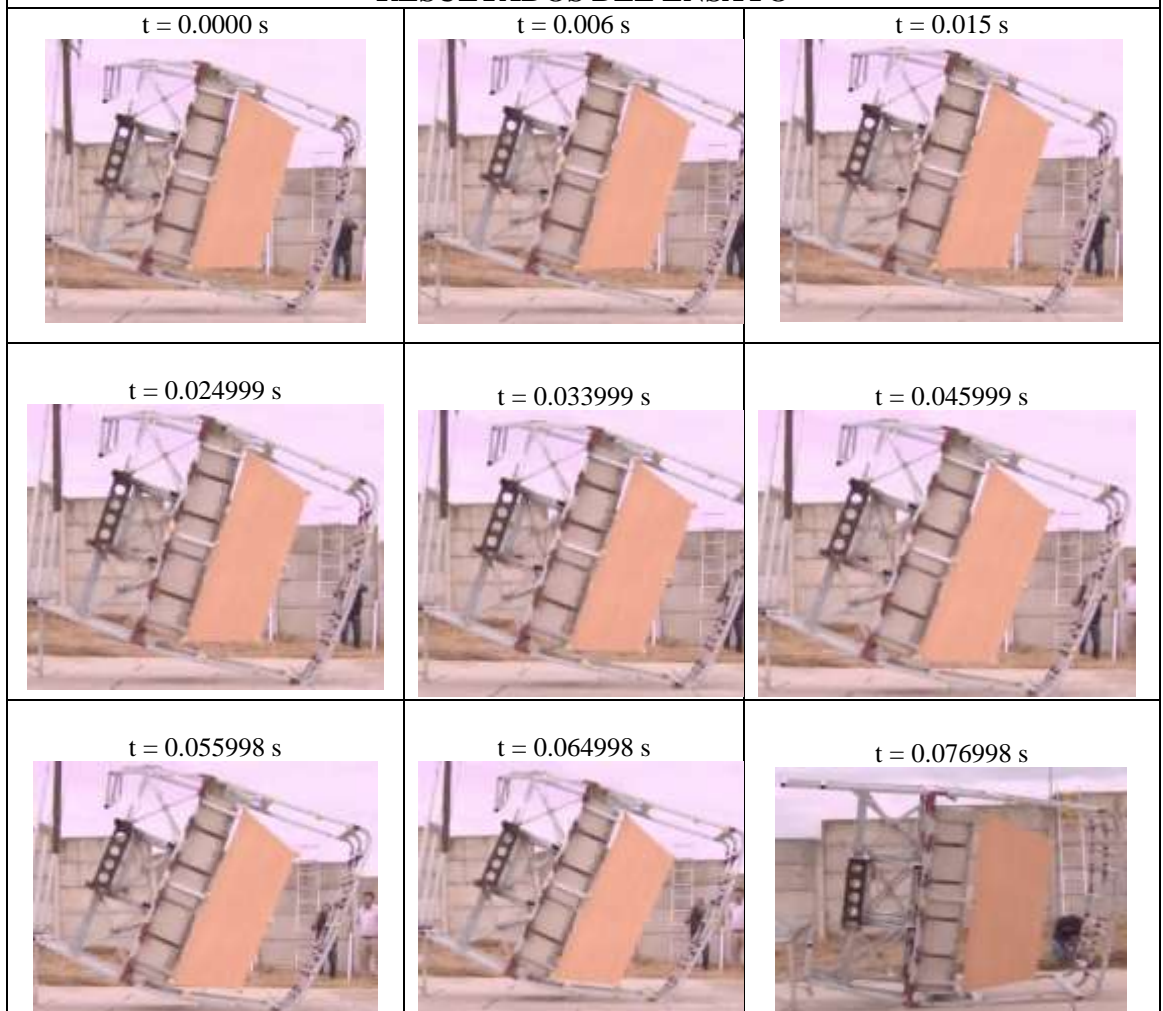
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

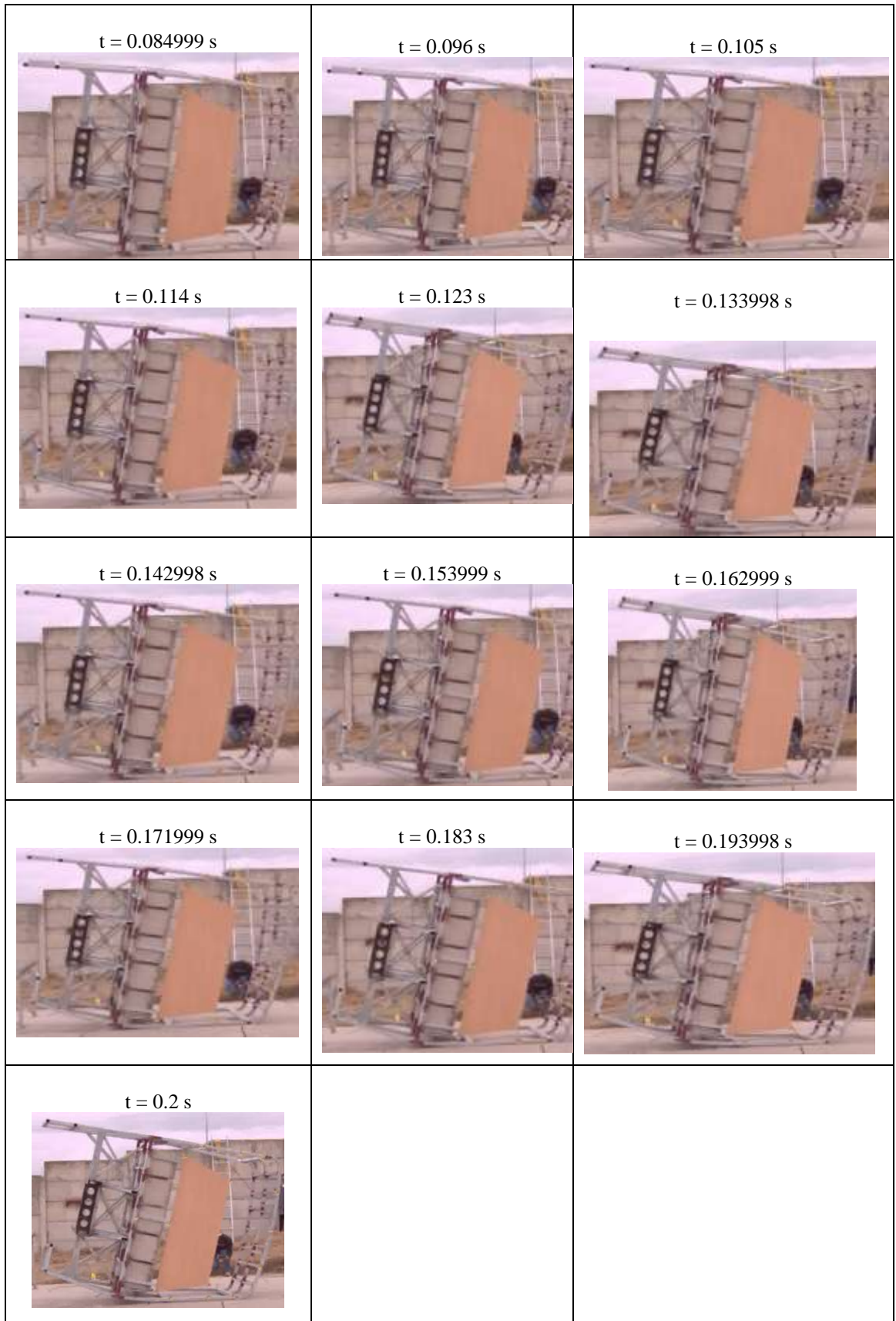


**ENSAYO DE VUELCO FÍSICO**

Probeta N°	1	Muestra de:	Superestructura del Autobús IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836
Normas Aplicables	Reglamento CEPE/ONU66		
Fecha de ejecución	21/08/2019	Realizado por	Ing. Braulio Atacusí
		Revisado por	Ing. César Arroba
Aspect Ratio Max:	-	Aspect Ratio Min:	-
Cantidad de nodos	-	Cantidad de elementos	-
Tiempo de procesamiento	15 segundos	Número de procesadores	-
Velocidad al momento de impacto	3.93 rad/seg	Masa de la sección	2388.702 kg

**RESULTADOS DEL ENSAYO**





**RESULTADOS REGISTRADOS**

Invade la Superestructura del autobús el espacio de supervivencia

**NO**

A continuación, se presenta las tablas comparativas de las dimensiones de los puntos de referencia en estructura simulada antes y después del impacto tanto para el ensayo simulado como para el ensayo físico.

**Tabla 4.8.** Dimensiones de los puntos de referencia del espacio de supervivencia y la estructura antes del ensayo simulado.

De centro del piso de estructura a espacio de supervivencia		De espacio de supervivencia a estructura			
1E – 1S	500 mm	2S - 2E	522 mm	5S – 8E	748 mm
1E – 2S	1190 mm	2S – 3E	283 mm	5S – 9E	534 mm
1E – 3S	1500 mm	3S – 3E	625 mm	5S – 10E	331 mm
1E – 4S	1250 mm	3S – 4E	331 mm	5S – 11E	625 mm
1E – 5S	1500 mm	3S – 5E	534 mm	6S – 11E	232 mm
1E – 6S	1190 mm	3S – 6E	748 mm	6S – 12E	522 mm
		4S – 4E	1158 mm		
		4S – 5E	1205 mm		
		4S – 6E	927 mm		
		4S – 7E	731 mm		
		4S – 8E	927 mm		
		4S – 9E	1205 mm		
		4S – 10E	1158 mm		

**Fuente:** Autor

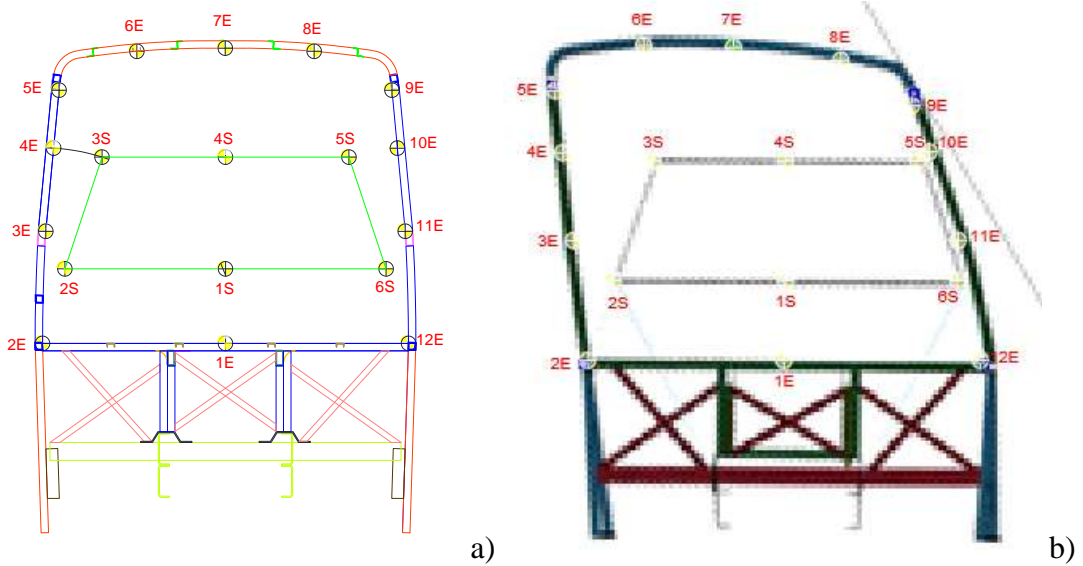
La distancia del punto más extremo del espacio de supervivencia a la estructura es de 331 mm antes de realizarse el ensayo simulado del vuelco, garantizando la zona de supervivencia de pasajeros.

12 **Tabla 4.9.** Dimensiones de los puntos de referencia del espacio de supervivencia y la estructura después del ensayo simulado.

De centro del piso de estructura a espacio de supervivencia		De espacio de supervivencia a estructura			
1E – 1S	505 mm	2S - 2E	526 mm	5S – 8E	796 mm
1E – 2S	1183 mm	2S – 3E	352 mm	5S – 9E	348 mm
1E – 3S	1496 mm	3S – 3E	704 mm	5S – 10E	48 mm
1E – 4S	1251 mm	3S – 4E	568 mm	5S – 11E	559 mm
1E – 5S	1506 mm	3S – 5E	757 mm	6S – 11E	251 mm
1E – 6S	1199 mm	3S – 6E	726 mm	6S – 12E	520 mm
		4S – 4E	1394 mm		
		4S – 5E	1511 mm		
		4S – 6E	1146 mm		
		4S – 7E	783 mm		
		4S – 8E	722 mm		
		4S – 9E	864 mm		
		4S – 10E	903 mm		

**Fuente:** Autor

La distancia del punto más extremo del espacio de supervivencia a la estructura es de 48 mm en el punto más crítico del ensayo simulado del vuelco, garantizando la zona de supervivencia de pasajeros.



**Figura 4.36** Estructura física a) antes ensayo, b) después de ensayo de vuelco

**Fuente:** Autor

**Tabla 4.10.** Dimensiones de los puntos de referencia del espacio de supervivencia y la estructura antes del ensayo físico.

De centro del piso de estructura a espacio de supervivencia		De espacio de supervivencia a estructura			
1E – 1S	510 mm	2S – 2E	554 mm	5S – 8E	763 mm
1E – 2S	1186 mm	2S – 3E	282 mm	5S – 9E	514 mm
1E – 3S	1502 mm	3S – 3E	628 mm	5S – 10E	328 mm
1E – 4S	1263 mm	3S – 4E	322 mm	5S – 11E	622 mm
1E – 5S	1511 mm	3S – 5E	513 mm	6S – 11E	286 mm
1E – 6S	1190 mm	3S – 6E	755 mm	6S – 12E	562 mm
		4S – 4E	1150 mm		
		4S – 5E	1195 mm		
		4S – 6E	932 mm		
		4S – 7E	747 mm		
		4S – 8E	935 mm		
		4S – 9E	1202 mm		
		4S – 10E	1157 mm		

**Fuente:** Autor

**Tabla 4.11.** Dimensiones de los puntos de referencia del espacio de supervivencia y la estructura después del ensayo físico.

De centro del piso de estructura a espacio de supervivencia		De espacio de supervivencia a estructura			
1E – 1S	512 mm	2S - 2E	579 mm	5S – 8E	774 mm
1E – 2S	1263 mm	2S – 3E	327 mm	5S – 9E	507 mm
1E – 3S	1573 mm	3S – 3E	667 mm	5S – 10E	51 mm
1E – 4S	1306 mm	3S – 4E	483 mm	5S – 11E	608 mm
1E – 5S	1516 mm	3S – 5E	645 mm	6S – 11E	274 mm
1E – 6S	1165 mm	3S – 6E	737 mm	6S – 12E	560 mm
		4S – 4E	1196 mm		
		4S – 5E	1205 mm		
		4S – 6E	942 mm		
		4S – 7E	762 mm		
		4S – 8E	928 mm		
		4S – 9E	1180 mm		
		4S – 10E	1118 mm		

**Fuente:** Autor



**Figura 4.37** Estructura física a) antes ensayo, b) después de ensayo d vuelco

**Fuente:** Autor

La distancia del punto más extremo del espacio de supervivencia a la estructura es de 52 mm en el punto más crítico del ensayo de vuelco físico, garantizando la zona de supervivencia de pasajeros.

#### 4.4 Diseño del Experimento

Para demostrar la hipótesis planteada se realizará 26 combinaciones variando espesores de materiales en tres segmentos importantes de la estructura del Autobús dichos segmentos son: Parantes, tejido de Piso y Anclajes según se detalla a continuación:

**Tabla 4.8** Variables para el diseño del experimento

	<b>Variante 1 (Inicial)</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>
<b>Parantes (P)</b>	3 mm	2.3 mm	2 mm
<b>Tejido de Piso (T)</b>	3 mm	2.3 mm	2 mm
<b>Anclajes (A)</b>	3 mm	2.3 mm	2 mm

Como resultado de combinar los factores de la tabla anterior se obtienen las siguientes variantes:

**Tabla 4.9.** Combinaciones resultantes del diseño del experimento

<b>Individuales (6)</b>	<b>Dobles (12)</b>	<b>Triples (8)</b>
2P-T-A	2P-2T-A	2P-2T-2A
2.3P-T-A	2P-2.3T-A	2P-2T-2.3A
P-2T-A	2.3P-2T-A	2P-2.3T-2A
P-2.3T-A	2.3P-2.3T-A	2P-2.3T-2.3A
P-T-2A	2P-T-2A	2.3P-2T-2A
P-T-2.3A	2P-T-2.3A	2.3P-2T-2.3A
	2.3P-T-2A	2.3P-2.3T-2A
	2.3P-T-2.3A	2.3P-2.3T-2.3A
	P-2T-2A	
	P-2T-2.3A	
	P-2.3T-2A	
	P-2.3T-2.3A	

En base a la tabla anterior se realizarán las simulaciones correspondientes a las 26 combinaciones de las cuales se obtendrá la combinación adecuada que permita reducir el peso de la estructura garantizando el espacio de supervivencia de pasajeros.



**Tabla 4.10** Datos obtenidos de las combinaciones

<b>COMBINACIONES</b>	<b>ESFUERZO MÁXIMO EFECTIVO</b>	<b>PROXIMIDAD DE LA ESTRUCTURA AL ESPACIO DE SUPERVIVENCIA</b>	<b>DEFORMACIÓN PLÁSTICA EFECTIVA</b>	<b>MASA ESTRUCTURA</b>
<b>INDIVIDUALES</b>				
2P-T-A	706,16 MPa	65 mm	0,28264 mm	446,164 Kg
2.3P-T-A	704,42 MPa	56 mm	0,14198 mm	467,572 Kg
P-2T-A	696,11 MPa	48 mm	0,24907 mm	439,485 Kg
P-2.3T-A	777,14 MPa	80 mm	0,15572 mm	474,253 Kg
P-T-2A	732,9 MPa	70 mm	0,191077 mm	451,653 Kg
P-T-2.3A	689,48 MPa	66 mm	0,18956 mm	462,084 Kg
<b>DOBLES</b>				
<b>2P-2T-A</b>	<b>707,96 MPa</b>	<b>45 mm</b>	<b>0,35100 mm</b>	<b>428,78 Kg</b>
2P-2.3T-A	716,93 MPa	79 mm	0,21342 mm	463,549 Kg
2.3P-2T-A	690,17 MPa	39 mm	0,16191 mm	450,189 Kg
2.3P-2.3T-A	669,39 MPa	72 mm	0,13166 mm	484,957 Kg
2P-T-2A	705,73 MPa	68 mm	0,28256 mm	440,948 Kg
2P-T-2.3A	704,82 MPa	63 mm	0,28041 mm	451,379 Kg
2.3P-T-2A	723,41 MPa	61 mm	0,21614 mm	462,357 Kg

2.3P-T-2.3A	670,36 MPa	56 mm	0,14185 mm	472,787 Kg
P-2T-2A	697,01 MPa	49 mm	0,25484 mm	434,27 Kg
P-2T-2.3A	695,83 MPa	47 mm	0,2483 mm	444,7 Kg
P-2.3T-2A	695,6 MPa	84 mm	0,15936 mm	469,038 Kg
P-2.3T-2.3A	675,57 MPa	77 mm	0,15551 mm	479,469 Kg
TRIPLES				
2P-2T-2A	707,56 MPa	57 mm	0,34624 mm	423,565 Kg
2P-2T-2.3A	707,67 MPa	47 mm	0,34941 mm	433,996 Kg
2P-2.3T-2A	741,41 MPa	82 mm	0,21517 mm	458,333 Kg
2P-2.3T-2.3A	676,06 MPa	77 mm	0,21097 mm	468,764 Kg
2.3P-2T-2A	697,92 MP	41 mm	0,22862 mm	444,973 Kg
2.3P-2T-2.3A	704,62 MPa	36 mm	0,16166 mm	455,404 Kg
2.3P-2.3T-2A	736,45 MPa	77 mm	0,16177 mm	479,742 Kg
2.3P-2.3T-2.3A	670,75 MPa	70 mm	0,13094 mm	490,172 kg

#### 4.5 Verificación de Hipótesis

Para demostrar la hipótesis de utilizará el método del T Student con el fin de aceptar o rechazar la hipótesis nula planteada para la variable dependiente compuesta por dos variables a las cuales se las analizará por separado.

#### Variable Distancia de la estructura al espacio de supervivencia

Datos:

**Tabla 4.11.** Muestras de Valores Distancia de Estructura al Espacio de Supervivencia (mm)

	Muestras						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Valores</b>	65	56	48	80	70	66	45
<b>Distancia de</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>Estructura al</b>	79	39	72	68	63	61	56
<b>Espacio de</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>
<b>Supervivencia</b>	49	47	84	77	57	47	82
<b>(mm)</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>		
	77	41	36	77	70		

Fuente: Autor

**Hipótesis Nula H0:**  $u \geq 48$  mm

**Hipótesis Alternativa H1:**  $u < 48$  mm

Tomando en cuenta que la variable X (media) es normal y no se conoce el desvío estándar poblacional, entonces se lo estima usando el desvío estándar muestral S. Y el estadístico que resulta de sustituir  $\sigma$  por S tiene distribución t de Student con n-1 grados de libertad:

$$t_{n-1} = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

$t_{n-1}$  : t de Student calculado

$\bar{X}$  : Media muestral

$\mu$  : Valor a analizar

S: Desviación estándar muestral

n : Tamaño de la muestra

Además, el nivel de significación escogido es del 95%

Entonces se obtiene el valor de t de las tablas de T de Student:

$$t_{(25,0,95)} = 1,7081$$

Se considera:

Se acepta  $H_0$  si el estadístico de prueba es mayor o igual a 1,7081

Se rechaza  $H_0$  si el estadístico de prueba es menor a 1,7081

Se toma en cuenta la siguiente consideración: Prueba a una cola izquierda

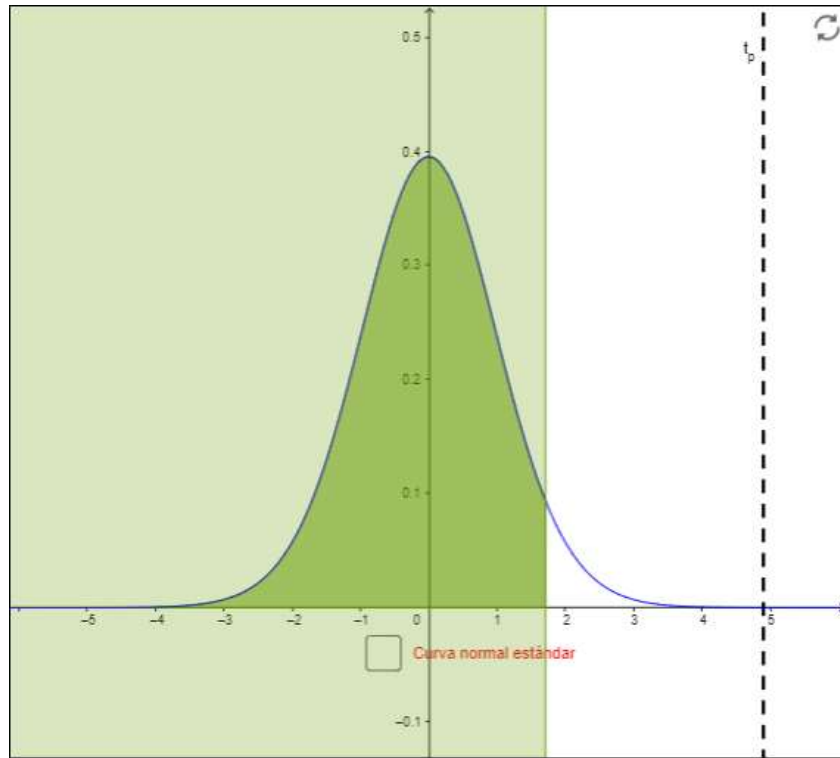
A continuación, se calcula el valor observado del estadístico de prueba t. Con los 26 datos se puede calcular la media muestral y la desviación estándar muestral:

$$\bar{X} = 62$$

$$S = 14,57$$

$$t_{25} = \frac{62 - 48}{\frac{14,57}{\sqrt{26}}}$$

$$t_{25} = 4,89$$



**Figura 4.36.** Gráfico de Distribución de T de Student variable Espacio de Estructura a zona de supervivencia

**Fuente:** Autor

En consecuencia, el valor observado 4,89 pertenece a la zona de aceptación ( $1,7081; \infty$ )

Conclusión:

Con un nivel de significación del 95% se puede afirmar que hay evidencia suficiente para aceptar la hipótesis nula que afirma que el valor de la distancia de la estructura al espacio de supervivencia es mayor o igual a 48 mm, por lo cual se garantiza la zona de supervivencia de pasajeros.

**Variable Peso de la estructura (Sección más crítica)**

**Datos:**

**Tabla 4.12.** Muestras de peso de la sección más crítica de la estructura (kg)

	<b>Muestras</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>Valores de peso de la sección más crítica de la estructura (kg)</b>	446,164	467,572	439,485	474,253	451,653	462,084	428,78
	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
	463,549	450,189	484,957	440,948	451,379	462,357	472,78
	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>
	434,27	444,7	469,038	479,469	423,565	433,996	458,33
	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>		
	468,764	444,973	455,404	479,742	490,172		

**Fuente:** Autor

**Hipótesis Nula H0:**  $u \leq 494,298$  kg

**Hipótesis Alternativa H1:**  $u > 494,298$  kg

Tomando en cuenta que la variable X (media) es normal y no se conoce el desvío estándar poblacional, entonces se lo estima usando el desvío estándar muestral S. Y el estadístico que resulta de sustituir  $\sigma$  por S tiene distribución t de Student con n-1 grados de libertad:

$$t_{n-1} = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

$t_{n-1}$  : t de Student calculado

$\bar{X}$  : Media muestral

$\mu$  : Valor a analizar

S: Desviación estándar muestral

$n$  : Tamaño de la muestra

Además, el nivel de significación escogido es del 95%

Entonces se obtiene el valor de  $t$  de las tablas de T de Student:

$$t_{(25,0,95)} = 1,7081$$

Se considera:

Se acepta  $H_0$  si el estadístico de prueba es menor o igual a 1,7081

Se rechaza  $H_0$  si el estadístico de prueba es mayor a 1,7081

Se toma en cuenta la siguiente consideración: Prueba a una cola derecha

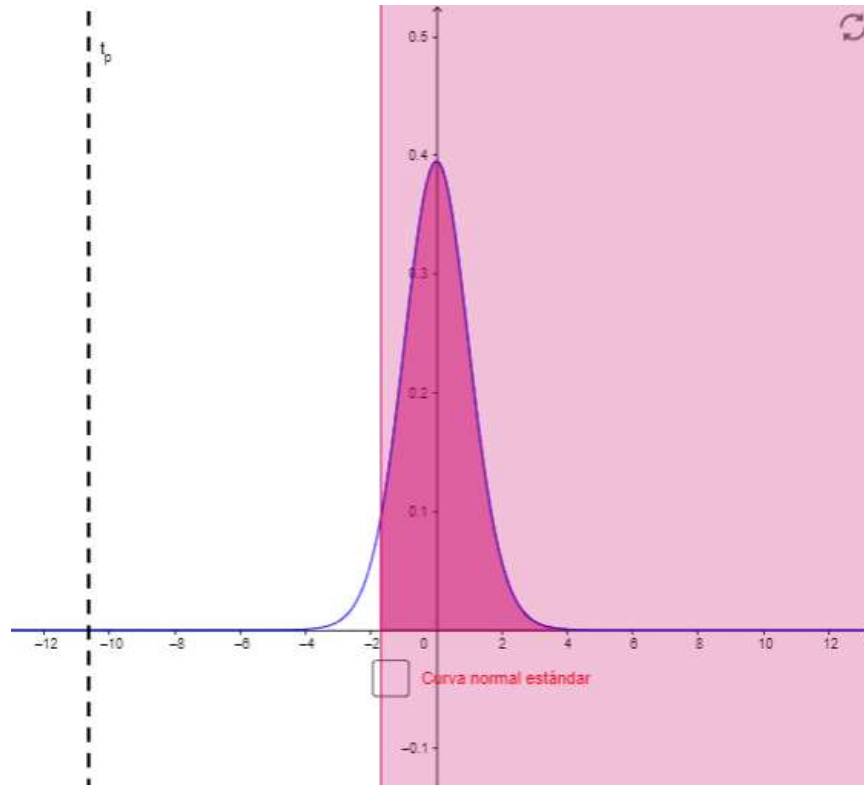
A continuación, se calcula el valor observado del estadístico de prueba  $t$ . Con los 26 datos se puede calcular la media muestral y la desviación estándar muestral:

$$\bar{X} = 456,86$$

$$S = 17,88$$

$$t_{25} = \frac{456,86 - 494,298}{\frac{17,88}{\sqrt{26}}}$$

$$t_{25} = -10,67$$



**Figura 4.37.** Gráfico de Distribución de T de Student variable peso de la sección más crítica de la estructura

**Fuente:** Autor

En consecuencia, el valor observado -10,67 pertenece a la zona de aceptación  $(1, 7081; \infty)$

Conclusión:

Con un nivel de significación del 95% se puede afirmar que hay evidencia suficiente para aceptar la hipótesis nula que afirma que el valor del peso final después de variar los espesores de las zonas detectadas como sobredimensionadas, es menor que el peso inicial de 494,298 kg.

Para finalizar el desarrollo del trabajo de investigación se determina que la hipótesis planteada anteriormente se acepta debido a que con la combinación triple 2P-2T-2A, es decir modificando los espesores de los materiales utilizados en parantes, tejido de piso y anclajes a un espesor de 2 mm, se obtiene una sección del autobús con una masa de 423,565 Kg que en relación al peso de la sección original de 494,298 Kg, lo que se ve traducido a una reducción de peso del 14,3%.



Por otro lado, con dicha combinación y variación de espesores de logró obtener un esfuerzo máximo efectivo de 707,56 MPa y una deformación plástica efectiva de 0,34624, en relación al esfuerzo máximo efectivo de 817,18 MPa y la deformación plástica efectiva de 0,36593 mm de la sección original.

Mediante la variación del espesor de los componentes de la superestructura antes descritos de logró obtener una distancia del espacio de supervivencia a la superestructura de 57 mm con respecto a los 48 mm en la sección original de la superestructura, dando como resultado que la zona de supervivencia no es invadida según lo establecido en el reglamento CEPE / ONU 66 garantizando la seguridad de los pasajeros.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Considerando los requisitos de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1668. Bus Interprovincial, en base a los procedimientos de fabricación establecidos por Miral Autobuses y mediante los parámetros enlistados en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1323 se ha establecido la configuración de la estructura acorde con las exigencias técnicas y operativas contando con un producto de calidad.
- Uno de los aspectos importantes en la simulación del ensayo de vuelco mediante el método de elementos finitos depende de la similitud que existe entre la geometría que represente a la superestructura del autobús con la configuración real, realizada durante la fabricación de la superestructura mediante esto obtener resultados confiables lo más aproximados a la realidad.
- Utilizando un proceso de mallado, combinado entre elementos triangulares y rectangulares de 25 mm de lado y aplicando controles de calidad de malla al tamaño de elemento y al ángulo que se forma entre los lados de los elementos triangulares, para que sea mayor a  $30^\circ$ , se obtuvo el 99% de elementos con una relación de aspecto entre 1 a 1.23, se obtienen resultados confiables que servirán de base a futuros trabajos de investigación a realizarse alrededor de esta temática.
- Al variar el espesor de los segmentos de la superestructura identificados como sobredimensionados, se logró obtener una distancia entre el espacio de supervivencia la superestructura de 47 mm con respecto a los 48 mm en la sección original de la superestructura, de tal forma que la zona de supervivencia no es invadida según lo establecido en el reglamento CEPE / ONU 66 garantizando la seguridad de los pasajeros.
- La superestructura del autobús para servicio interprovincial sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 correspondiente al modelo de autobús de mayor capacidad fabricado por Miral Autobuses, cumple satisfactoriamente los requerimientos del reglamento ECE R66 y INEN 1323 en lo referente a la resistencia de la

superestructura. A demás se redujo la masa en la sección más solicitada en 14.3% sin disminuir la zona de supervivencia de los pasajeros.

- Con el fin de dar valor agregado al trabajo de investigación frente a estudios similares, en los cuales se limita a la simulación de la superestructura del autobús con un software de análisis, ahora adicionalmente se realizó la validación de los resultados simulados frente a una prueba de vuelco física, acorde a los establecidos en el reglamento CEPE / ONU 66 de la sección más crítica de la superestructura, controlando todos los parámetros para la realización del ensayo, se logró obtener resultados muy parecidos a los simulados, brindando de esta manera mayor confiabilidad a la simulación realizada en el software Ansys.
- Al realizar la comparación de los resultados obtenidos de la simulación del ensayo de vuelco frente a una prueba de vuelco física de la sección más crítica de la estructura se evidencia que los resultados con muy semejantes brindando mayor confiabilidad al momento de realizar una simulación, por otro lado, se abre la puerta para migrar hacia una prueba de vuelco real ayudando de esta manera al desarrollo de la industria nacional.
- Al realizar el ensayo de vuelco físico, contar con materiales que cumplan los más altos estándares de calidad, personal técnico calificado para el proceso de soldadura y cumplir con lo establecido en manuales de montaje de carrocerías, es de vital importancia para conseguir un producto final, estructura del autobús, que cumpla con los requisitos de la normativa y resistan satisfactoriamente los estados de carga a los cuales va a estar expuesto durante un siniestro, el objetivo es preservar la vida de pasajeros, garantizar su supervivencia durante un siniestro.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se debe tener mucha precaución al momento de realizar la geometría de la superestructura ya que en muchos de los casos es necesarios volver a redibujar algunos puntos críticos en donde no se tiene continuidad del mallado y no hay una transferencia de esfuerzos uniformes, por otro lado, en ciertas ocasiones es necesario dar un tratamiento adicional al mallado de elementos para obtener mejores resultados.

- Para realizar el ensayo físico de la sección más crítica, es de vital importancia construir la sección de la superestructura utilizando los mismos parámetros que en el proceso de fabricación de autobuses, ya que de eso dependerá obtener resultados que se asemejen a la realidad de lo que ocurriría en un Autobús durante un accidente de vuelco.
- Durante el ensayo de vuelco físico, se debe reforzar la sección sobre la cual se asentará la estructura, es decir, la zona libre después del arrastre sin agregar rigidez a la estructura en análisis, debido a que en el punto más crítico durante la rotación todo el peso de la estructura estará concentrado sobre dicha zona, por lo que podría fallar el material y producirse un ensayo sin resultados válidos.
- En el ensayo físico tomar todas las normas de seguridad tales como: asegurar la base de la plataforma al suelo ya que podría moverse bruscamente, para posicionar la sección de la estructura del autobús sujetarla de los componentes con mayor rigidez con el fin de evitar deformar la estructura antes de realizar el ensayo.
- Para reducir el gasto computacional durante la simulación de la superestructura es necesario ubicar la geometría en la posición antes del impacto contra la superficie del suelo, a partir de ahí se obtienen resultados de esfuerzos, deformaciones y distancia de la zona de supervivencia respecto a la superestructura del autobús.
- Se recomienda que en base a este trabajo de investigación se proponga modificar la normativa nacional vigente ya que por ahora solo se limita a la realización de la prueba de vuelco en forma física por un laboratorio acreditado por el Servicio Ecuatoriano de Acreditación (SAE), como se pudo observar con la realización de una prueba de vuelco física se da mayor realce y confiabilidad de los productos fabricados, debido a que se verifica a su vez materiales y condiciones de fabricación las cuales son declaradas para procesos de Homologación y posicionar a las empresas nacionales a niveles de competitividad de marcas con incidencia a nivel mundial.
- Se recomienda realizar nuevas variantes a la geometría planteada en el presente trabajo de investigación, incluyendo nuevos materiales que empiezan a aparecer en el mercado nacional o dependiendo de las posibilidades económicas poder importar material con mejores propiedades mecánicas, de esta manera poder abrirse espacio en mercados internacionales.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL AUTOBUS INTERPROVINCIAL MODELO iM9 SOBRE CHASIS MERCEDES BENZ 0500 RS 1836 DE MIRAL AUTOBUSES**

##### **6.1 Datos Informativos**

Después de haber analizado el comportamiento mecánico de la Estructura del Bus Modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 que actualmente fabrica la empresa Miral Autobuses con el software especializado en análisis por elemento finitos Ansys Ls Dyna, se ha logrado determinar que posee una excelente resistencia al Vuelco evaluada mediante el reglamento 66 de las Naciones Unidas y la norma técnica ecuatoriana RTE INE 043 vigentes, mediante lo cual se garantiza la zona de supervivencia de pasajeros, es decir, dicha zona no es invadida en ningún momento durante un accidente de vuelco.

Por tal motivo, se ha prestado atención a otro aspecto importante que juega un papel fundamental dentro del diseño de carrocerías, el peso de la estructura, el mismo que como se puede determinar, puede disminuir sin dejar de lado la resistencia de la estructura, al tener una estructura lo suficientemente robusta no se está aprovechando al máximo la capacidad de carga y la potencia del chasis sobre el cual se fabrica la carrocería, reflejándose en costos operativos elevados para propietarios de buses.

Una vez que se ha logrado determinar cuál sería la configuración ideal de la super estructura de aprovechará la presencia en el mercado de diferentes proveedores de tubería, materia prima para la fabricación de carrocerías, los mismos que ofrecen una tubería con las mismas propiedades a las del material que actualmente se utiliza en Miral Autobuses, logrando con esto reducir el peso de la carrocería.

## **6.2 Antecedentes de la propuesta**

A nivel nacional se han realizado investigaciones sobre el análisis de la resistencia mecánica de estructura de autobuses mismas que se limitan a la simulación de la estructura, Miral Autobuses es una empresa que destina una gran cantidad de recursos para la investigación, tal es el caso que el Ing. Jorge Cepeda realizó su trabajo de investigación sobre “Análisis del comportamiento mecánico del sistema estructural del autobús Feline para la empresa carrocería Miral Autobuses”, en donde determinó las zonas con mayor concentración de esfuerzos en la estructura del modelo fabricado, proponiendo modificaciones en dichas zonas críticas para lograr una distribución uniforme de esfuerzos en la estructura [33].

Posteriormente, el Ing. César Arroba realizó una investigación sobre el “Estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante los programas Ansys Ls-Dyna y su incidencia en el espacio de supervivencia”, donde determinó que la configuración de la estructura del autobús no resistía un impacto lateral de volcadura, es decir la zona de supervivencia de pasajeros no se garantizaba, como resultado propuso un cambio en la geometría de la estructura para la fabricación de carrocerías, además recomendó se realicen prototipos para la realización de pruebas físicas para efecto de comprobación y validación de resultados obtenidos de la simulación [9].

Ahora tomando como base investigaciones previas y acogiendo los resultados obtenidos para mejorar día con día los productos elaborados por Miral Autobuses, se ha investigado acerca de cómo reducir pesos de la estructura sin dejar de lado la resistencia de la estructura a un accidente de vuelco.

## **6.3 Justificación**

Con el desarrollo acelerado del sector carrocería a nivel nacional y debido a la presencia a gran escala de buses importados, evidenciándose en los listados de la Agencia Nacional de Tránsito, es de vital importancia ofrecer al mercado un producto que sea competitivo y cumpla con los más altos estándares de calidad exigidos por normativa nacional e internacional enfocándose en la seguridad activa y pasiva del pasajero, se

ha logrado llevar a cabo el presente trabajo de investigación trabajando en conjunto con la empresa Miral Autobuses para realizar el análisis del comportamiento mecánico de la estructura del autobús, obteniéndose excelentes resultados en su resistencia al vuelco, notando que cuenta con una estructura lo suficientemente robusta a la cual se deben realizar algunas modificaciones en los espesores de los perfiles utilizados en los diferentes segmentos de uno de los modelos de bus con mayor exigencia ya sea por el tipo de servicio y el recorrido de dichas unidades.

A través del rediseño de la estructura del autobús se logrará reducir su peso, lo cual se verá reflejado en el aprovechamiento de la capacidad de carga y la potencia del chasis, ahorrando el consumo de combustible y reduciendo el consumo de neumáticos, transmitiéndose la mejora al propietario quien bajará sus costos operativos y percibirá mayor rentabilidad de su autobús, sin dejar de lado la seguridad del pasajero ya que se transportará en una autobús que garantiza su supervivencia en algún accidente de vuelco.

Miral Autobuses ofrecerá un producto que competirá a nivel nacional e internacional con la posibilidad de exportar sus productos a diferentes países de la región, posicionándose como líder del mercado nacional al competir con marcas reconocidas a nivel mundial.

## **6.4 Objetivos**

### **6.4.1 General**

Rediseñar la estructura del autobús interprovincial modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz 0500 RS 1836 de Miral Autobuses.

### **6.4.2 Específicos**

- Modificar el espesor de los perfiles permisibles de la estructura del autobús interprovincial modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz 0500 RS 1836 de Miral Autobuses.

- Realizar mediante simulación el análisis cuasiestático de la estructura del bus interprovincial según los requisitos establecidos en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1323.
- Determinar la sección más crítica de la estructura y evaluar su comportamiento respecto al espacio de supervivencia en base a lo establecido en el Reglamento 66 Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.

### **6.5 Análisis de factibilidad**

La realización de la propuesta del presente trabajo de investigación es factible debido a que se cuenta principalmente con el apoyo de Miral Autobuses, una empresa que destina gran cantidad de recursos para investigación y capacitación del personal, viéndose reflejado en los productos que fabrica y ofrece a sus clientes. Se cuenta con el talento humano tanto en el área de diseño e ingeniería con conocimientos adquiridos dentro como fuera del país, información actualizada como manuales de carrozar y técnicos expertos por parte de la marca representante del chasis, personal calificado en cada una de las secciones para la fabricación del bus calificado por entes reconocidos por entes de control como la Agencia Nacional de Transito (ANT) y el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE).

Máquinas y equipos para mejorar procesos de fabricación en serie de autobuses, software CAD y CAE para el diseño y simulación de la estructura del autobús facilitado por Miral Autobuses y la Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil Mecánica.

Los costos para realizar el trabajo de investigación fueron asumidos por la empresa Miral Autobuses, el conocimiento para el desarrollo fue adquirido durante la colegiatura del programa de maestría en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

### **6.6 Fundamentación**

Para el presente trabajo de investigación se realizó una extensa búsqueda de información actualizada en donde se cuentan con el sustento teórico y la base científica para llevar a cabo cada una de las etapas de la investigación, lo cual se evidencia en el



Capítulo II, donde también se evidencia parámetros y lineamientos para el proceso de fabricación de buses establecidos por el representante de marca del chasis.

También se ha tomado como referencia la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1313. Vehículos automotores. Carrocerías de buses y lo referente al reglamento 66 Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.

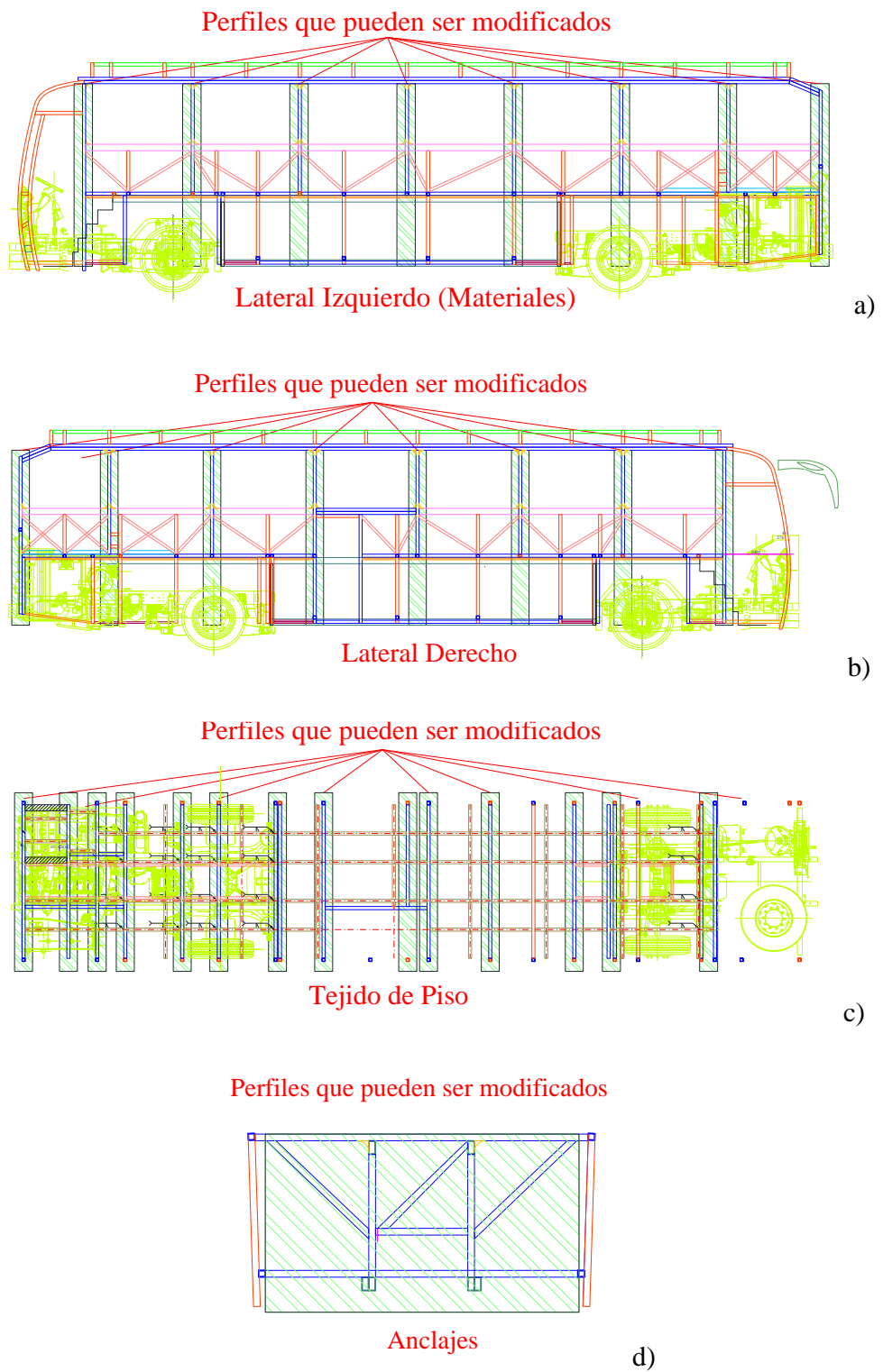
### **6.6.1 Modificación del espesor de los perfiles permisibles de la estructura**

Tomando en cuenta lo establecido en el manual de carrozar de la Marca Mercedes Benz para su chasis O500 RS 1836, los procesos de fabricación, moldes y piezas estandarizadas de la línea de producción de Miral Autobuses para lo cual se cuenta con matrices en fibra de vidrio de varios componentes interiores como exteriores, la normativa aplicable NTE INEN 1668, Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial, se ha logrado determinar que los perfiles a los cuales es posible modificar su espesor son los localizados en parantes, tejido de piso y anclajes.

Del análisis realizado se ha dispuesto que no es posible realizar modificaciones de espesores o geometría en los siguientes segmentos de la estructura del autobús:

- Geometrías especiales para fabricación del techo y sus componentes o modificación de espesores de perfiles.
- Geometrías especiales para fabricación del frente y respaldo debido a que se cuenta con matrices y proveedores tiene deficiencia al atender dicho requerimiento.
- Geometrías especiales para fabricación de laterales debido a que proveedores tiene deficiencia al atender dicho requerimiento.
- Geometrías especiales para fabricación de unión casi carrocería debido a que proveedores tiene deficiencia al atender dicho requerimiento.
- Dimensiones de ventanas por el cumplimiento de Norma Técnica Ecuatoriana 1668 vigente.
- Dimensiones de puertas y compuertas por el cumplimiento de Norma Técnica Ecuatoriana 1668 vigente.

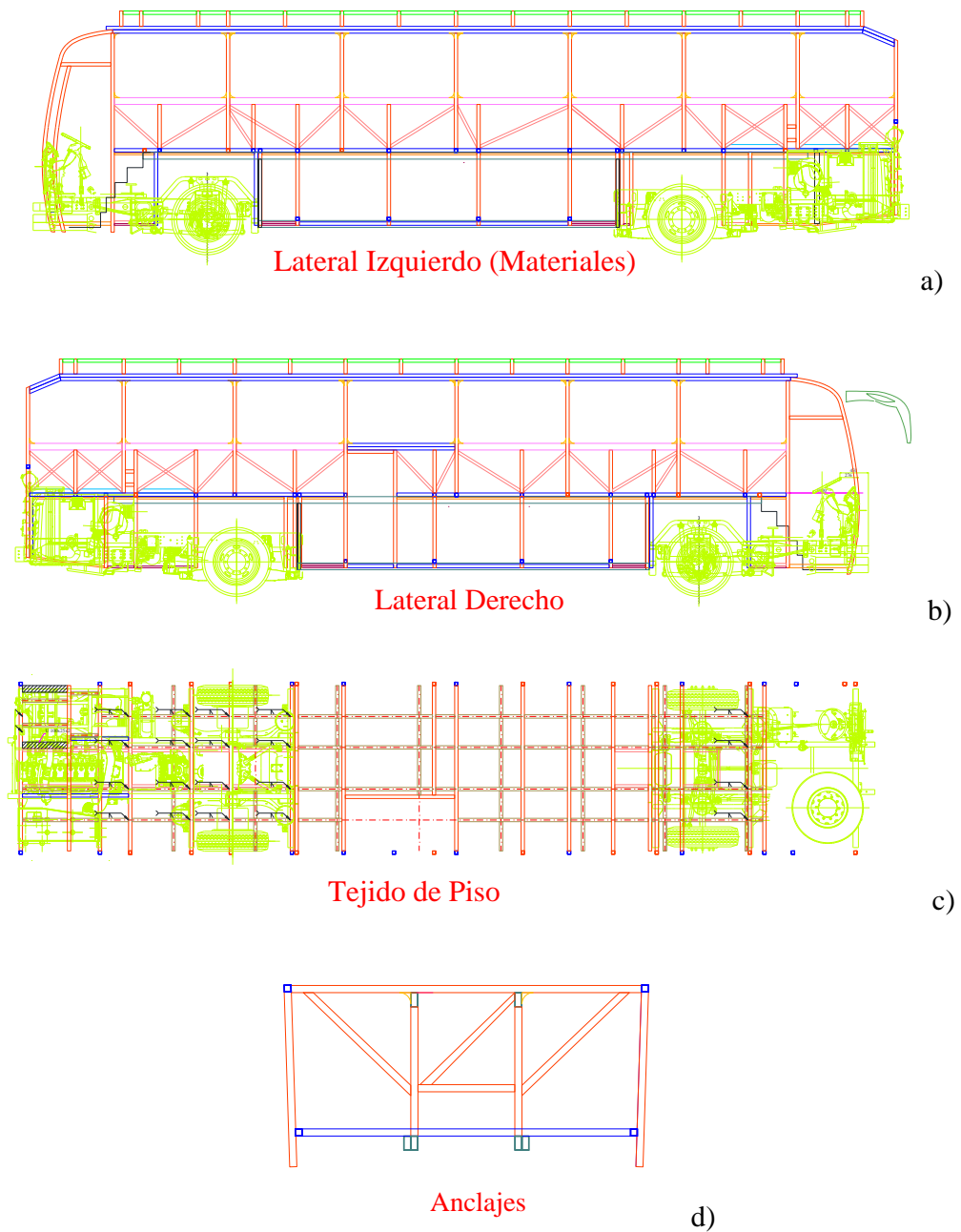
A continuación, se muestran los segmentos susceptibles para modificación de espesores luego del análisis correspondiente:



**Figura 6.1.** Perfiles que pueden ser modificados en la estructura. a) Lateral derecho, b) Lateral izquierdo, c) Tejido de Piso, d) Anclajes

**Fuente:** Autor

Mediante el diseño de experimento se determinó las posibles variaciones de espesores en los perfiles permitidos, resultado de lo cual se establece el cambio a 2 mm en los segmentos de parantes, tejido de piso y anclajes tal como se muestra a continuación.



**Figura 6.2.** Perfiles a los cuales se modificó el espesor. a) Lateral derecho, b) Lateral izquierdo, c) Tejido de Piso, d) Anclajes

**Fuente:** Autor

## **6.6.2 Análisis cuasiestático**

### **Generalidades**

El modelo de carrocería analizado en el presente trabajo de investigación es el IM9 montada sobre chasis Mercedes Benz O 500 RS 1836 de Miral Autobuses, diseñado para transporte interprovincial por las rutas nacionales e internacionales, con las consideraciones de diseño y fabricación necesarias para su correcto funcionamiento.

La simulación y comprobación de la resistencia estructural de dicha carrocería se realizó con la ayuda del programa de análisis por elementos finitos ANSYS, aplicando cargas establecida en la normativa nacional producidas durante el pleno funcionamiento del autobús, como resultado de lo cual puede repercutir en daños a gran escala de darse el caso que la estructura no cumpliera con dichos requerimientos.

En la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1323 vigente (Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos) se describen las cargas y los cálculos a ser realizados para la simulación. El proceso de análisis da inicio con la obtención del modelo en tres dimensiones de la estructura, realizados exactamente a los planos suministrados por el área de diseño de Miral Autobuses, para lo cual se aplican técnicas avanzadas de dibujo y modelación trabajando los segmentos como superficies, después asignar a cada uno de los elementos de la estructura su respectivo perfil, material y se asignan como vigas (elementos BEAM). Una consideración muy importante es definir a las uniones soldadas de la estructura como uniones perfectas. Ahora se aplica el método de análisis en donde se generan matrices de posición y carga, partiendo de las coordenadas de cada uno de los elementos finitos generados con el mallado, serán resueltas internamente por el programa especializado mediante la resolución de ecuaciones diferenciales de la teoría de elementos finitos, dando como resultado los desplazamientos, esfuerzos generados en la estructura cuando actúan cada una de las cargas y las combinación de cargas aplicadas a la estructura del autobús.

Para el análisis estático se consideran los 6 grados de libertad de la estructura como restringidos, adicionalmente la interfaz chasis-carrocería se considera ideal.

### 6.6.2.1. Especificaciones de materiales utilizados.

#### Perfiles estructurales.

Las propiedades los perfiles usados en la construcción de la estructura de la carrocería, de acuerdo a las normas observadas por los fabricantes y proveedores locales, se listan en la tabla a continuación:

**Tabla 6.1.** Propiedades de los perfiles estructurales usados en la construcción de la carrocería de acuerdo a la norma ASTM A500.

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Acero ASTM A500	Módulo de elasticidad $E = 200$ (GPa)
	Módulo de elasticidad por cortante $G = 80$ (GPa)
	Resistencia a la fluencia $F_y = 270$ (MPa)
	Resistencia última $F_u = 310$ (MPa)
	Porcentaje de elongación mínimo: 25%
Doblamiento: Radio mínimo de curvatura = $4 \phi$ del tubo	

**Fuente:** Autor

**Tabla 6.2.** Propiedades de los perfiles estructurales usados en la construcción de la carrocería de acuerdo a la norma ASTM A36

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Acero ASTM A36	Módulo de elasticidad $E = 200$ (GPa)
	Módulo de elasticidad por cortante $G = 79.3$ (GPa)
	Resistencia a la fluencia $F_y = 250$ (MPa)
	Resistencia última $F_u = 400$ (MPa)
	Porcentaje de elongación mínimo: 20%
Doblamiento: Radio mínimo de curvatura = $4 \phi$ del tubo	

**Fuente:** Autor

#### Material Chasis

Material de chasis MERCEDES BENZ O 500 1836, resistencia a la fluencia  $F_y=295$  (MPa) y resistencia ultima a la tensión  $F_u=440$  (MPa), Tomado manual de montaje de carrocería.

### **Materiales de forraje y acabados.**

El resumen de las especificaciones y normas aplicables respecto de los materiales utilizados en la construcción de la carrocería a validar a través del presente documento se muestra en la tabla a continuación:

**Tabla 6.3.** Resumen de especificaciones y normas aplicables a materiales de forraje y acabados

<b>DESCRIPCION</b>	<b>NORMA</b>
Plancha 2 mm	ASTM A36
Plancha 3 mm	ASTM A36
Plancha 1/16" (1,4 mm)	ASTM A36
Plancha 1/20" (1,2 mm)	ASTM A 653 CS
Plancha 1/25 (0,9 mm)	ASTM A 653 CS
Bobina Aluzinc 1/20 "	ASTM –A792
Plancha de aluminio liso 2 mm	Norma calidad ASTM B-221
Plancha de aluminio liso 1,5 mm	Norma calidad ASTM B-221
Poliuretano 252 salchicha	ASTM C920
Poliuretano 552 salchicha	ASTM C920
Lastomer 710 salchicha	ASTM C920
Poliuretano 221 Salchicha	ASTM C920, TT-S-00230C
Poliuretano 227 Salchicha	ASTM C920
Primer 210	ISO 9001 / 14001
Primer 215	ISO 9001 / 14001
Activador	ISO 9001 / 14001
Plancha tol 2mm	ASTM A36
Pintura azul bus tipo glasurit	BASF S. A.
Piso impacto	-

**Fuente:** Autor

### **Descripción de perfiles utilizados en partes estructurales**

La tabla a continuación muestra la descripción completa de los perfiles utilizados, la norma empleada y su aplicación en la estructura de la carrocería.

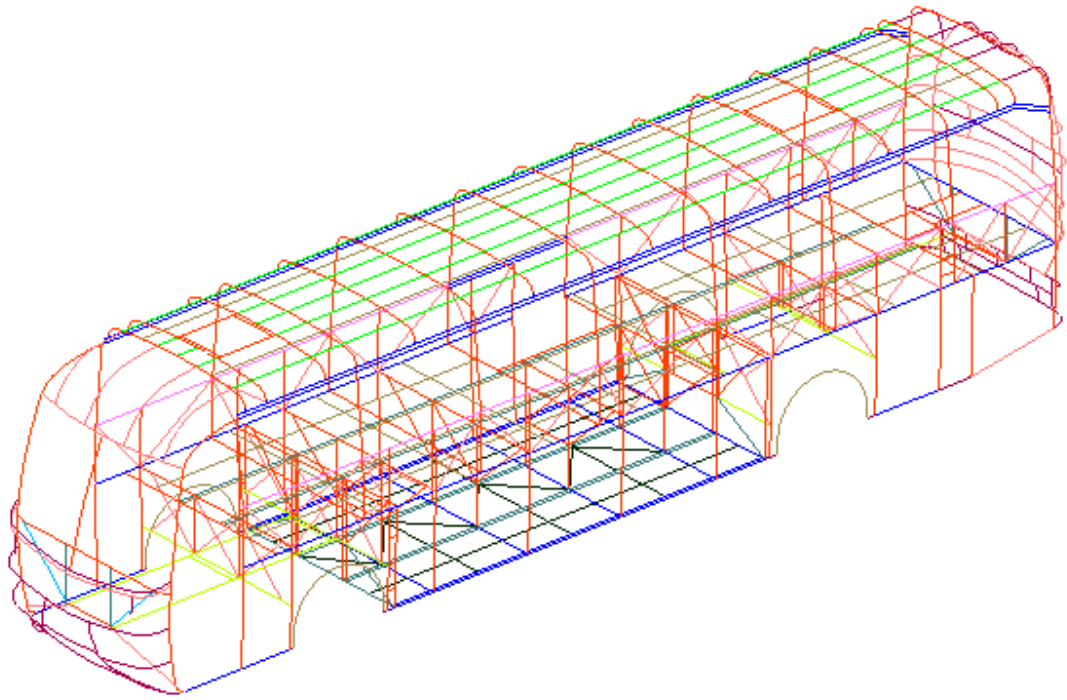
**Tabla 6.4.** Descripción detallada de perfiles estructurales usados en la construcción de la estructura de la carrocería en validación.

<b>PARTE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIPO DE ACERO</b>
<b>Anclaje</b>	Doble L de 70x60x5 mm	<i>ASTM A36</i>
	Tubo de 40x40x2 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 50x50x3 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 70x50x2 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 60x40x3 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 80x40x3 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo 100x50x3 mm	<i>ASTM A500</i>
<b>Piso</b>	Tubo de 40x40x2 mm	<i>ASTM A500</i>
	U 50x25x2 mm	<i>ASTM A36</i>
	Tubo de 50x50x3 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 80x40x3 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo 100x50x3 mm	<i>ASTM A500</i>
<b>Laterales</b>	Tubo de 50x50x3 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 25x25x 2 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 50x50x2 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 40x40x2 mm	<i>ASTM A500</i>
	Perfil tipo U	<i>ASTM A36</i>
<b>Techo</b>	Z de 35x50x45x1.5 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 50x50x2 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 50x25x2 mm	<i>ASTM A500</i>
<b>Frontal</b>	Tubo de 25x25x 2 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 40x40x2 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 50x50x2 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 50x25x2 mm	<i>ASTM A500</i>
<b>Respaldo</b>	Tubo de 25x25x 2 mm	<i>ASTM A500</i>
	Tubo de 40x40x2 mm	<i>ASTM A500</i>

**Fuente:** Autor

#### 6.6.2.2. Modelado geométrico.

Es el primer paso en el análisis cuasi-estático de la estructura, y es una de las partes más importantes del proceso, por contener la información real de la estructura, tanto desde el punto de vista geométrico como espacial. Se ejecutó en software especializado en modelado unifilar de estructuras.



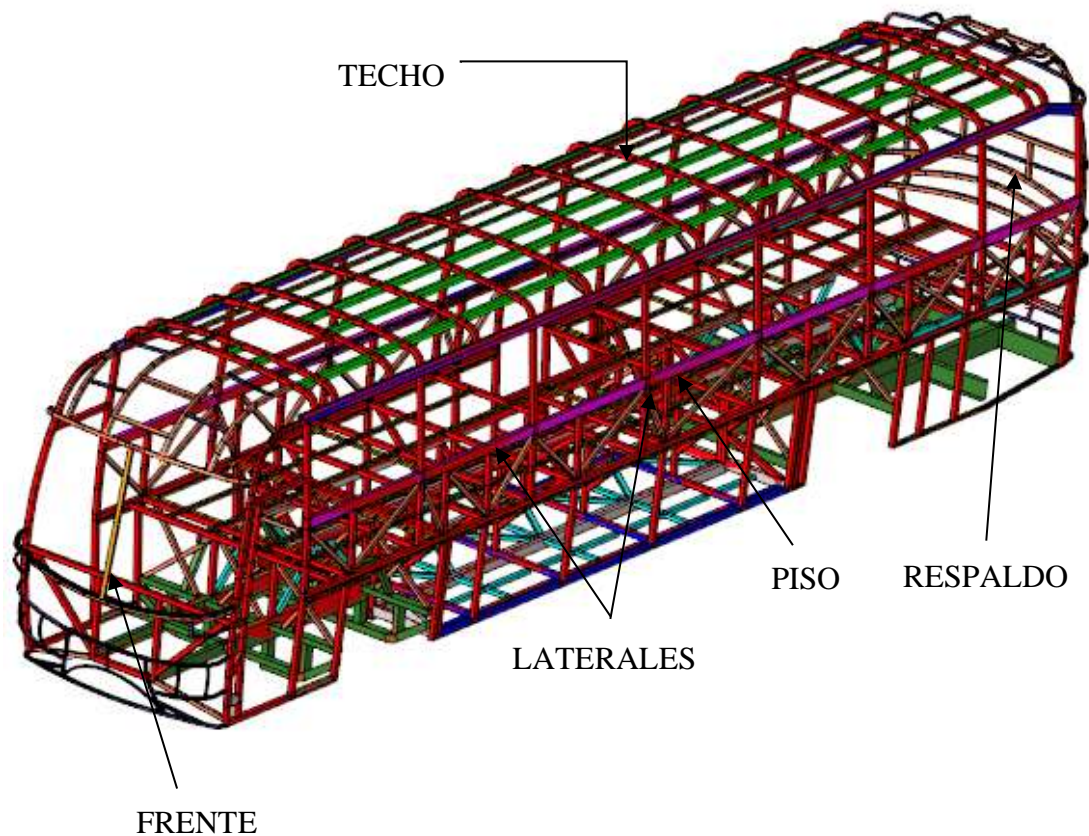
**Figura 6.3.** Modelo geométrico unifilar de la estructura de la carrocería analizada en el presente documento.

**Fuente:** Autor

### **Modelado matemático**

Es el paso siguiente al modelado geométrico, y es responsable de la exactitud de los resultados, y requiere de la aplicación de toda la experiencia del ingeniero responsable para no incurrir en errores de modelado. De igual manera se empleó un software especializado en mallado unidimensional de la estructura en tres dimensiones.





**Figura 6.4.** Modelo geométrico de la estructura del Autobús, vista tridimensional

**Fuente:** Autor

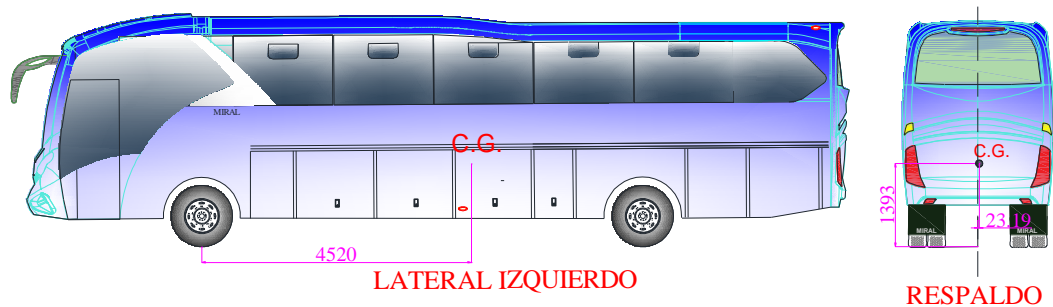
### 6.6.2.3. Cálculo de cargas de diseño según norma.

A continuación, es necesario determinar las cargas actuantes en el autobús en funcionamiento, las cuales están normalizadas, por lo cual se detalla en los siguientes párrafos los métodos de cálculo, ecuaciones utilizadas y valores obtenidos, además de puntos de aplicación en la estructura en estudio.

La aplicación de las cargas se la realiza al modelo tridimensional propuesto, es decir modificando a 2mm de espesor en los componentes de parantes, tejido de piso y anclajes utilizando tubería estructural antes descrita para sus distintos componentes las mismas que están soportadas por el chasis Mercedes Benz O500 RS 1836.

#### 6.6.2.4. Ubicación del centro de gravedad del autobús.

En el Capítulo IV se determinó la ubicación real del centro de gravedad del autobús por lo que se asume dichos valores tal como se muestra a continuación:



**Figura 6.5.** Ubicación real del centro de gravedad del bus.

**Fuente:** Autor

**Tabla 6.5.** Dimensiones respecto al centro de gravedad

Altura del bastidor al centro de gravedad de la carrocería	437 mm
Altura del suelo al nivel sup. del bastidor en el eje delantero	821 mm
Altura del suelo a nivel sup. del bastidor en el eje posterior	959 mm
Altura del suelo al centro de gravedad de la carrocería	1393 mm

**Fuente:** Autor

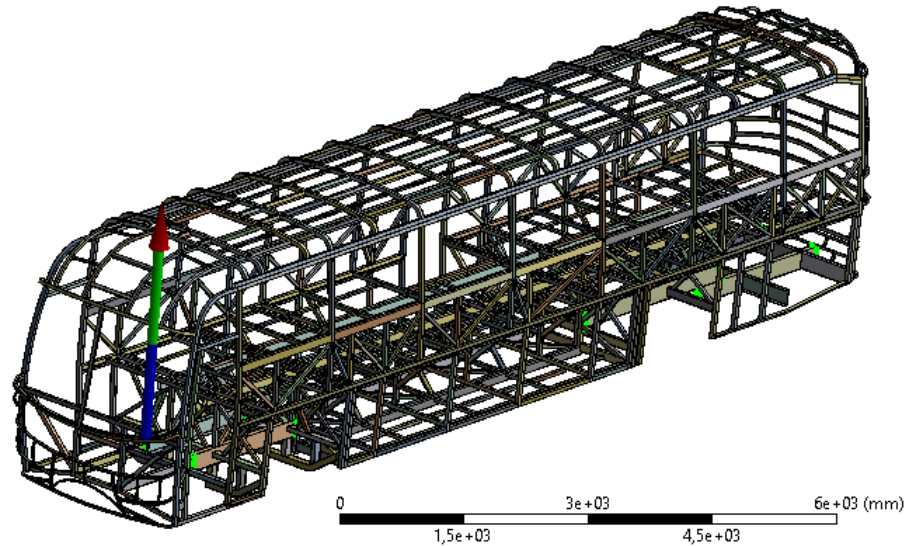
#### 6.6.2.6. Peso de la Carrocería (M)

En base a los pesos del bus, se realiza el cálculo del factor de mayoración, el mismo que es el factor por el cual se multiplicará la carga muerta (M) del bus para aplicarlo a la estructura.

**Tabla 6.6.** Peso de la carrocería

Descripción	Valor	Unidad
Peso del chasis (Pch)	5990	Kg
Peso de la estructura de la carrocería (Pes)	3136,73	Kg
Peso de la carrocería sin estructura (Pac)	5230	Kg
Peso de carga en cajuelas (Pcq)	768	Kg
Factor de mayoración aplicable al peso de la estructura	2,67	
Peso total de la carrocería sin chasis (Pca) + Pvi	12509,73	Kg
Peso total del bus con carga	18499,73	Kg
Capacidad del chasis	18500	Kg

B: M PESO PROPIO  
Force Reaction  
29/9/2019 12:47



Tabular Data				
Time [s]	Force Reaction (X) [N]	Force Reaction (Y) [N]	Force Reaction (Z) [N]	Force Reaction (Total) [N]
1 1,	2,4358e-007	30740	-3,3677e-008	30740

**Figura 6.6.** Reacción resultante del peso propio de la carrocería

**Fuente:** Autor

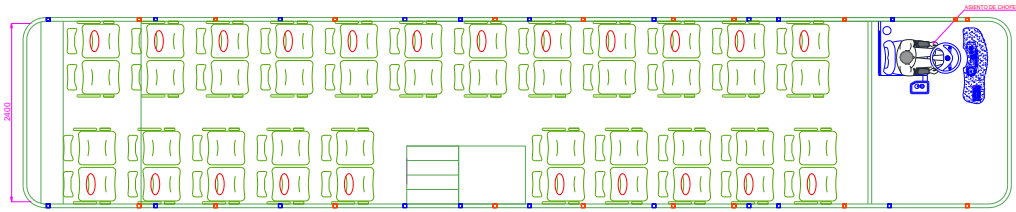
Se analizan los valores de la tabla 6,6 al ser comparados con la reacción obtenida por el software sobre los puntos de apoyo mostrados en la Figura 6,7 se nota que no hay diferencia por lo que se asume que el resultado del peso propio de la estructura del autobús en la simulación esta validado.

#### **6.6.2.7. Cargas vivas debido a pasajeros y equipaje (NTE INEN 1323 5.1.1.1)**

Para el cálculo de las cargas vivas se considera el peso de los pasajeros para el cual está diseñada la estructura del autobús sumado con el peso del equipaje en cajuelas.

#### **6.6.2.8. Cargas vivas por pasajeros (NTE INEN 1323 5.1.1.1)**

Para el valor de la carga de pasajeros se asignan 70 kg por ocupante y 5 kg de peso por equipaje de mano, la capacidad del bus analizado es de 44 pasajeros más 1 conductor como se muestra a continuación:



**Figura 6.7.** Capacidad de pasajeros homologado 44 más 1 conductor.

**Fuente:** Autor

**Tabla 6.7.** Especificación de cargas vivas por pasajeros

<b>CARGAS VIVAS (PASAJEROS) (V)</b>					
<b>Personas</b>	<b>Cant. Sentadas</b>	<b>Cant. Paradas</b>	<b>Peso Unit.</b>	<b>Peso Total</b>	<b>Unid.</b>
Pesos pasajeros	44	0	75	3300	Kg
Peso tripulante (controlador)	0	0	75	0	Kg
Peso chofer	1	0	75	75	Kg
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>	<b>0</b>	<b>3375</b>	<b>3375</b>	<b>Kg</b>

**Fuente:** Autor

#### 6.6.2.9. Cargas vivas por equipaje (NTE INEN 1323 5.1.1.1)

De igual manera se detallan las cargas presentes en los compartimientos de carga de la unidad.

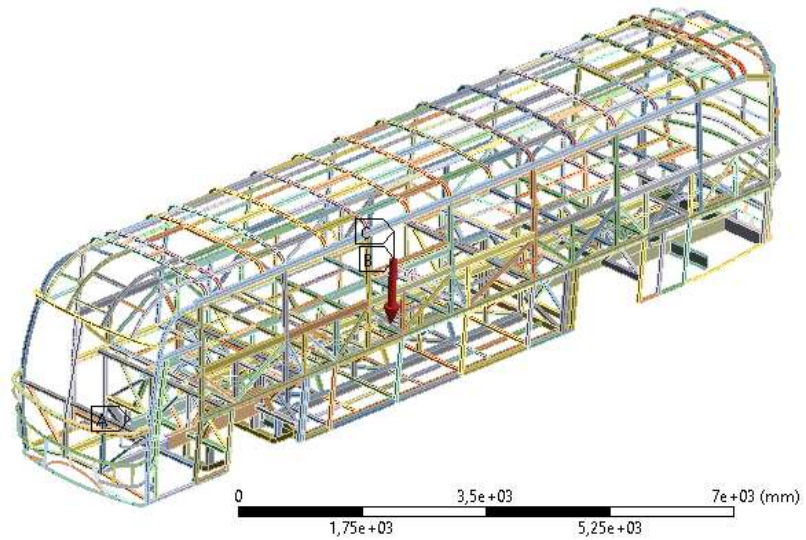
**Tabla 6.8.** Especificación de cargas vivas por equipaje

<b>CARGAS VIVAS (EQUIPAJE) (V)</b>	
<b>Dimensiones</b>	<b>Cajuela 1</b>
Largo (m)	3,2
Altura (m)	1
Área (m <sup>2</sup> )	3,2
Profundidad (m)	2,4
Factor de utilización	1
Volumen (m <sup>3</sup> )	7,68
Peso (kg)	7,68
<b>PESO TOTAL EN CAJUELA (Kg)</b>	<b>768</b>

**Fuente:** Autor

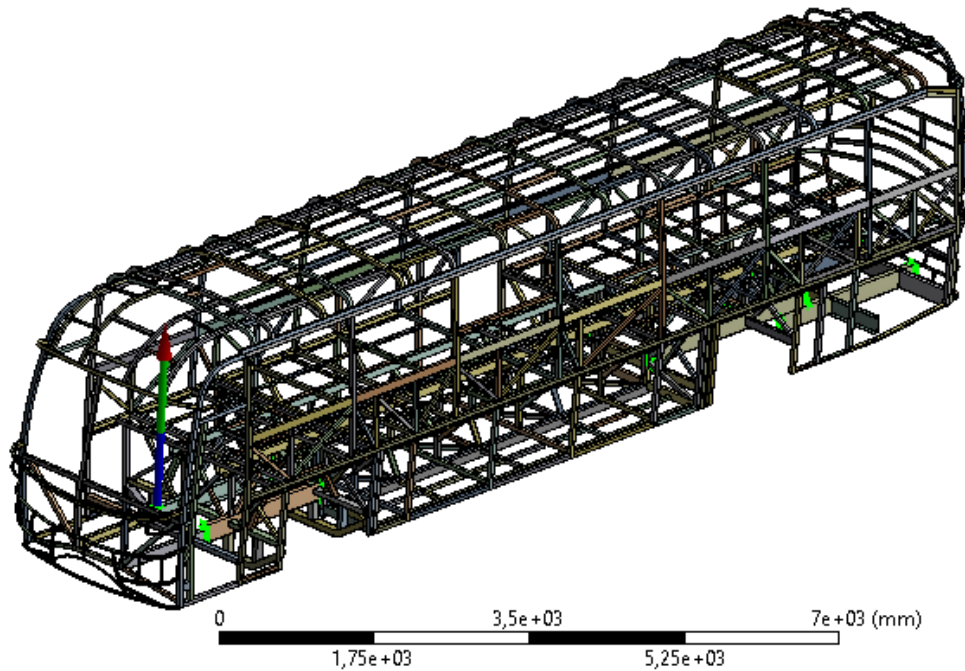
F: V VIVA  
 V VIVA  
 Time: 1, s  
 29/9/2019 13:44

- A Fixed Support
- B Pasajeros: 33075 N
- C Equipaje: 7526,4 N



**Figura 6.8.** Carga Viva por pasajeros y equipaje. **Fuente:** Autor

Como se observó anteriormente se muestra la aplicación de 33075 N como carga de pasajeros aplicado en la estructura del piso, además de la aplicación de la carga en cajuelas de 7526,4 N en la bodega central del bus.



Tabular Data				
Time [s]	<input checked="" type="checkbox"/> Force Reaction (X) [N]	<input checked="" type="checkbox"/> Force Reaction (Y) [N]	<input checked="" type="checkbox"/> Force Reaction (Z) [N]	<input checked="" type="checkbox"/> Force Reaction (Total) [N]
1 1,	-0,87526	40601	0,89772	40601

**Figura 6.9.** Reacción resultante al aplicar las cargas vivas.

**Fuente:** El Autor

Como resultado de aplicar las cargas vivas por pasajeros y equipaje se obtiene una reacción resultante del software sobre los puntos de apoyo de 4142,95 Kg (40601 N), por lo que se compara con los valores enlistados de las tablas 6,7 y 6,8 se tiene una diferencia de 0,05 Kg es decir un error del 0,001%, se concluye que el resultado de la simulación por la carga vida de pasajeros y equipaje esta validado.

#### 6.6.2.10. Cargas de giro (G) (NTE INEN 1323 5.1.1.2)

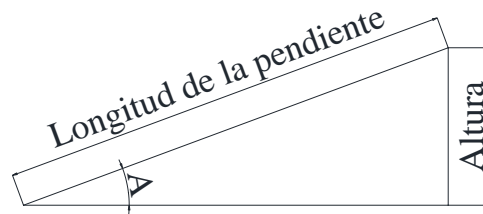
Para el cálculo de la carga de giro se lo realiza en función de la fuerza centrífuga que se genera al ingresar el vehículo en una curva de determinado radio de giro y a una cierta velocidad. Esta fuerza centrífuga deberá está por debajo de la fuerza de vuelco, calculada sobre la base del peso total del bus a plena carga y su centro de gravedad. La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 km/h (25 m/s) y el radio de giro se establece en función de la Tabla 6.9. [29]

Las cargas de giro se calculan y aplican según se muestra a continuación.

**Tabla 6.9.** Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera.

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	8
90	350	8
95	400	8
100	450	8
105	500	8
110	550	8
115	600	8
120	700	8
125	800	7,51
130	900	6,97
135	1050	6,25
140	1250	5,49
145	1475	4,84
150	1725	4,29

**Fuente:** Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 1323



**Figura 6.10.** Representación del cálculo del ángulo del peralte de la calzada.

**Fuente:** El Autor

El radio de curvatura es de 350 m con un peralte de la calzada del 8% (28mm) equivalente a  $A = 4,57^\circ$ .

$$G = (M + V) * \frac{v^2}{r} + (M + V) * \text{sen}(\text{Peralte})$$

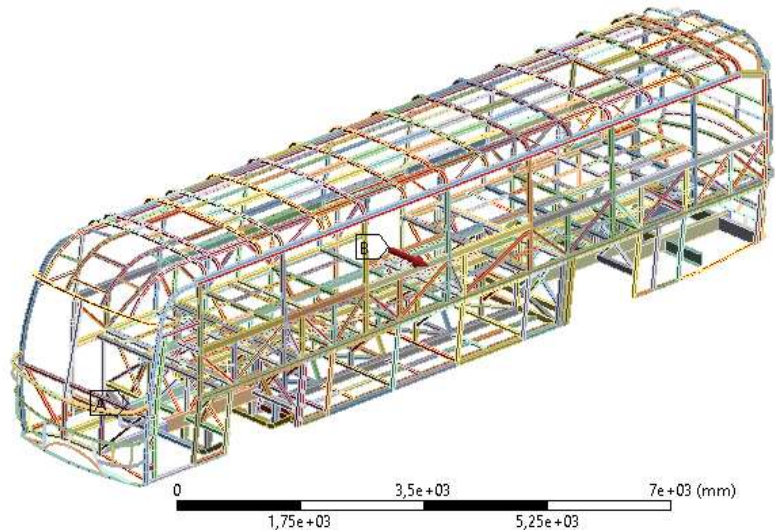
$$G = (12509,73 \text{ kg}) * \frac{\left(\frac{25 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2}{350 \text{ m}} + (12509,73 \text{ kg}) * \text{sen}(4,57^\circ)$$

$$G = (12509,73 \text{ kg}) * \frac{\left(\frac{25 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2}{\frac{350 \text{ m}}{9,8 \text{ m/s}}} + (12509,73 \text{ kg}) * \text{sen}(4,57^\circ)$$

$$G = 3277,06 \text{ Kg}$$

C: G GIRO  
G GIRO  
Time: 1, s  
29/9/2019 17:23

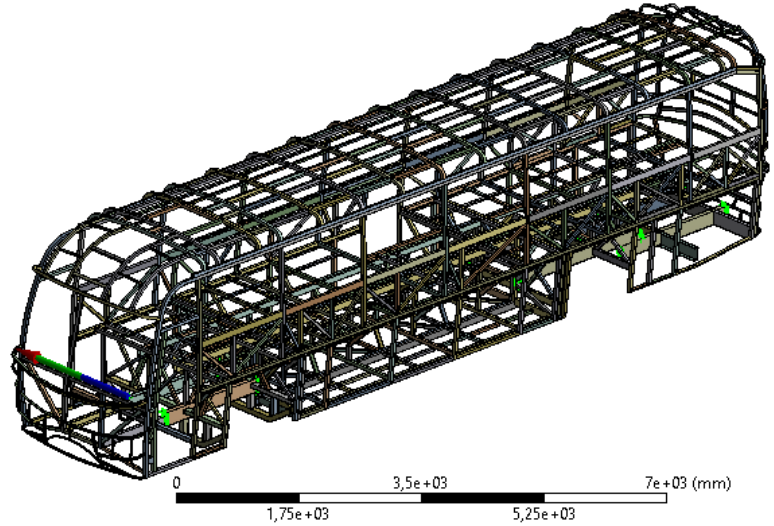
A Fixed Support  
B Remote Force: 32115 N



**Figura 6.11.** Aplicación de cargas de giro en la estructura del autobús.

**Fuente:** Autor

Como se observó en la Figura 6.12. se aplica una carga de Giro de 3277,06 Kg (32115, 18N) aplicado a toda la estructura en dirección transversal.



Time [s]	Force Reaction (X) [N]	Force Reaction (Y) [N]	Force Reaction (Z) [N]	Force Reaction (Total) [N]
1 1,	-32115	-2,686e-006	5,8327e-007	32115

**Figura 6.12.** Fuerza resultante de aplicar la carga de giro

**Fuente:** Autor

Como resultado de aplicar la carga de giro a la estructura del autobús se obtiene una reacción resultante del software sobre los puntos de apoyo de 3277,04 Kg (32115 N), por lo que se compara con el valor de 3277,06 kg se tiene una diferencia de 0,02 Kg es decir un error del 0,001%, se concluye que el resultado de la simulación por la carga giro esta validado.

#### 6.6.2.11. Carga de frenado (F) (NTE INEN 1323 5.1.1.3)

Las cargas de frenado se calculan y aplican según se muestra a continuación. La desaceleración considerada en los cálculos es de 4 m/s<sup>2</sup>.

**Tabla 6.10.** Cálculo de cargas de frenado

<b>Carga de Frenado Violento</b>			
Aceleración de la gravedad	ag	9,81	m/seg <sup>2</sup>
Peso total de la carrocería sin chasis (Pca)+ Pvi	Pca	12509,73	Kg
Desaceleración	a	4,00	m/seg <sup>2</sup>

**Fuente:** Autor

$$F = (M + V) * 4 \frac{m}{s^2}$$



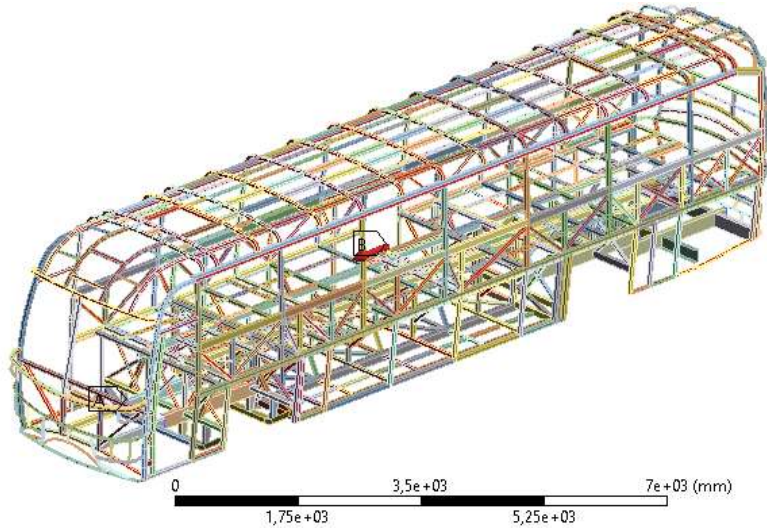
$$F = (12509,73 \text{ kg}) * 4 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 5100 \text{ kg}$$

$$F = 49980 \text{ N}$$

D: F FRENADO  
 F FRENADO  
 Time: 1, s  
 29/9/2019 17:47

A Fixed Support  
 B Remote Force: 49980 N

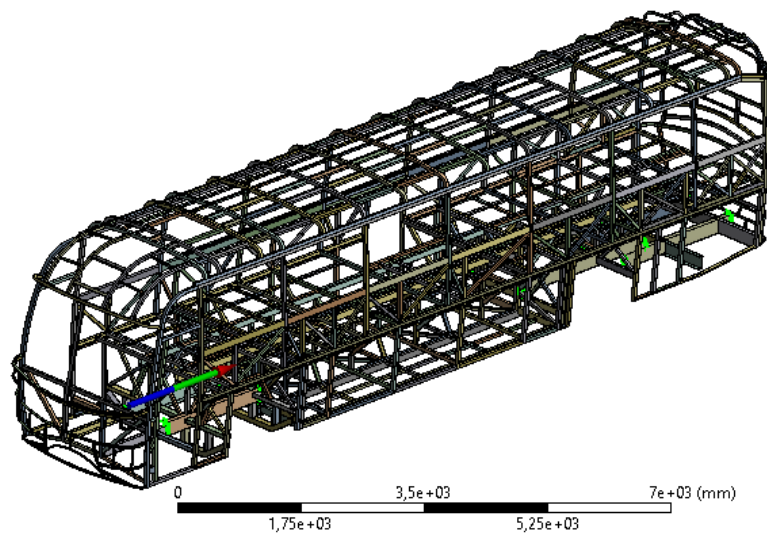


**Figura 6.13.** Aplicación de carga de Frenado Brusco a la estructura del Autobús

**Fuente:** Autor

Como se observa se aplicó una carga de 49980 N a la estructura del autobús en dirección longitudinal.

D: F FRENADO  
 Force Reaction  
 30/9/2019 18:49



Time [s]	Force Reaction (X) [N]	Force Reaction (Y) [N]	Force Reaction (Z) [N]	Force Reaction (Total) [N]
1 1,	1,0709e-007	-6,8291e-007	-49980	49980

**Figura 6.14.** Reacción sobre los apoyos por aplicar la carga de Frenado Brusco

**Fuente:** Autor

Como resultado de aplicar la carga de frenado brusco a la estructura del autobús se obtiene una reacción resultante del software sobre los puntos de apoyo de 5100 Kg (49980 N), por lo que se compara con el valor de 5100 kg se tiene una diferencia de 0 Kg es decir un error del 0%, se concluye que el resultado de la simulación por la carga de frenado brusco esta validado.

#### 6.6.2.12. Carga de Aceleración (Ab) (NTE INEN 1323 5.1.1.4)

Las cargas de aceleración se calculan con el mismo criterio de la carga de frenado, pero en sentido contrario y aplican según se muestra a continuación. La desaceleración considerada en los cálculos es de 4 m/s<sup>2</sup>.

**Tabla 6.11.** Cálculo de cargas de Aceleración

Carga de Aceleración			
Aceleración de la gravedad	ag	9,81	m/seg <sup>2</sup>
Peso total de la carrocería sin chasis (Pca)+ Pvi	Pca	12509,73	Kg
Desaceleración	a	4,00	m/seg <sup>2</sup>

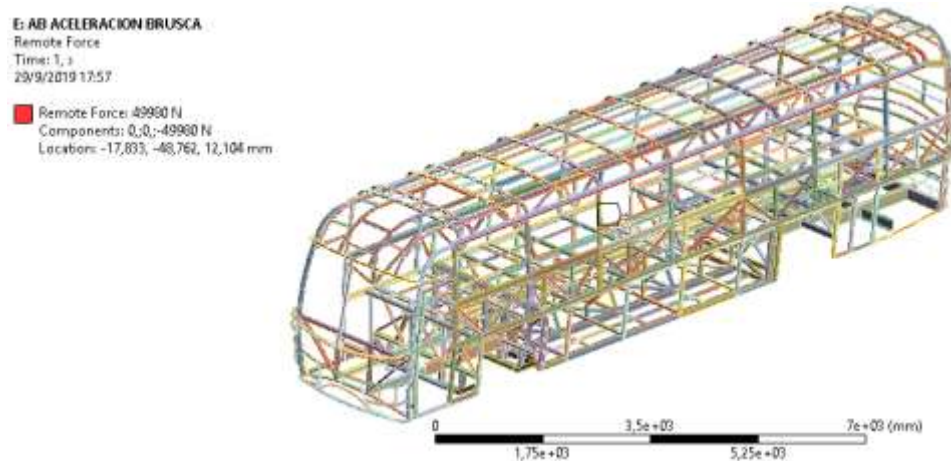
**Fuente:** Autor

$$Ab = -(M + V) * 4 \frac{m}{s^2}$$

$$Ab = -(12509,73 \text{ kg}) * 4 \frac{m}{s^2}$$

$$F = -5100 \text{ kg}$$

$$F = -49980 \text{ N}$$

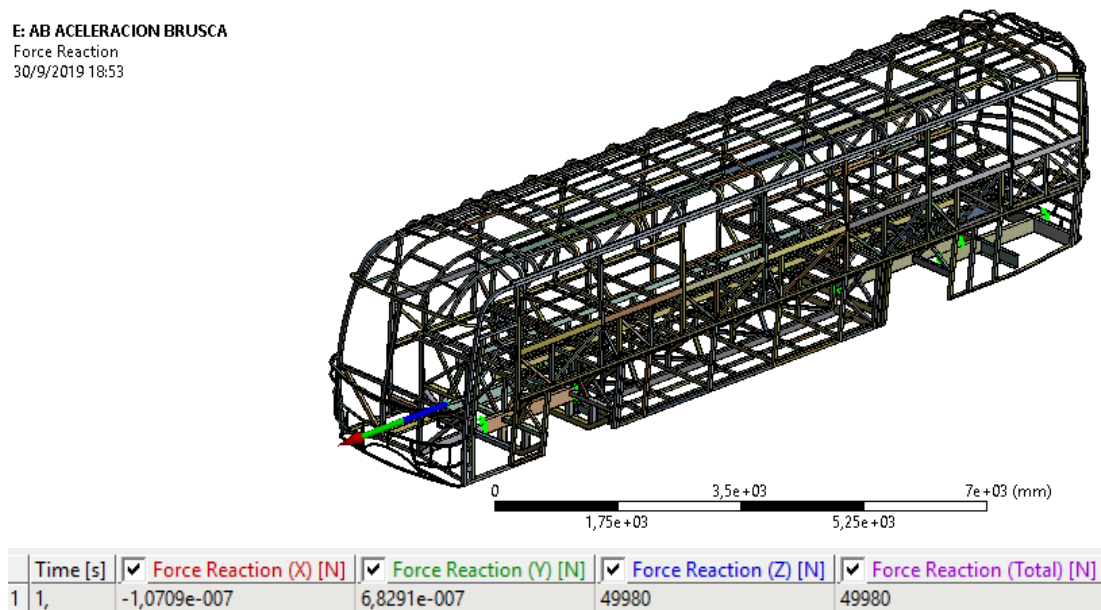


**Figura 6.15.** Aplicación de carga de aceleración a la estructura del autobús.

**Fuente:** Autor

Como se observa se aplicó una carga de 49980 N a la estructura del autobús en dirección longitudinal, pero en sentido contrario al de la fuera del frenado brusco.

E: AB ACCELERACION BRUSCA  
Force Reaction  
30/9/2019 18:53



**Figura 6.16.** Reacción sobre los apoyos por aplicar la carga de Aceleración Brusco

**Fuente:** Autor

Como resultado de aplicar la carga de aceleración brusca a la estructura del autobús se obtiene una reacción resultante del software sobre los puntos de apoyo de 5100 Kg (49980 N), por lo que se compara con el valor de 5100 kg se tiene una diferencia de 0 Kg es decir un error del 0%, se concluye que el resultado de la simulación por la carga de aceleración brusca está validado.

#### 6.6.2.12. Carga por resistencia al aire frontal (Raf) (NTE INEN 1323 5.1.1.5)

Las cargas de resistencia al viento se calculan y aplican como la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal. Se utilizará la siguiente fórmula: [29]

$$Raf = \left(\frac{1}{2}\right) * (Cx) * \rho * Af * v^2$$

Donde:

Raf = Carga por resistencia Aerodinámica, en (N).

$\rho$  = Densidad del aire, en (kg/m3).

V = Velocidad del aire, en (m/s). (Como mínimo 25 m/s).

Af = Área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal, en (m<sup>2</sup>).

Cx = Coeficiente de resistencia frontal del aire. (Como mínimo 0.7)

Tabla 6.12. Cálculo de cargas de resistencia al viento

Carga De Resistencia Al Viento			
Coeficiente de resistencia al avance	Cx	0,7	
Densidad del aire	δ	1,225	Kg/m <sup>3</sup>
Área frontal de la carrocería	Af	9,73	m <sup>2</sup>
Velocidad de traslación del vehículo	v	90	Km/h

Fuente: Autor

$$Raf = \left(\frac{1}{2}\right) * (Cx) * \rho * Af * v^2$$

$$Raf = \left(\frac{1}{2}\right) * (0,7) * 1,225Kg/m^3 * 9,73m^2 * \left(\frac{25m}{s}\right)^2$$

$$Raf = 2607,33 N$$

$$Raf = 266,05 Kg$$

H: W VIENTO  
W VIENTO  
Time: 1, s  
29/9/2019 18:17

A Fixed Support  
B Remote Force: 2607,3 N

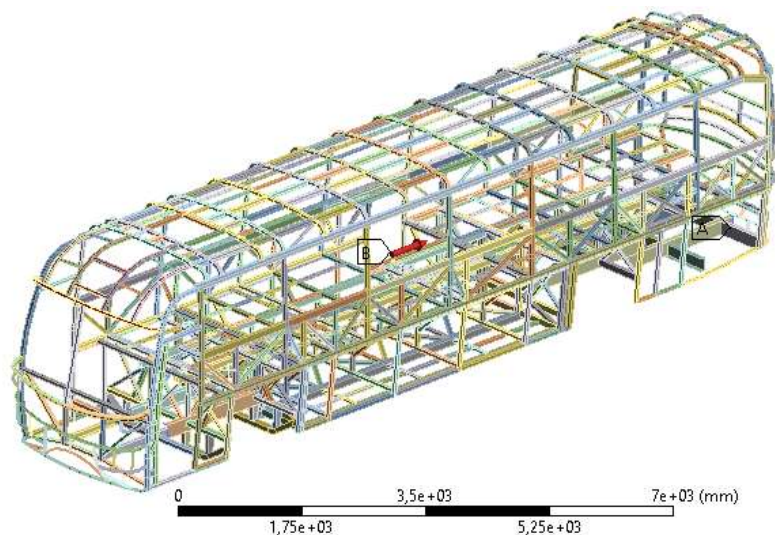
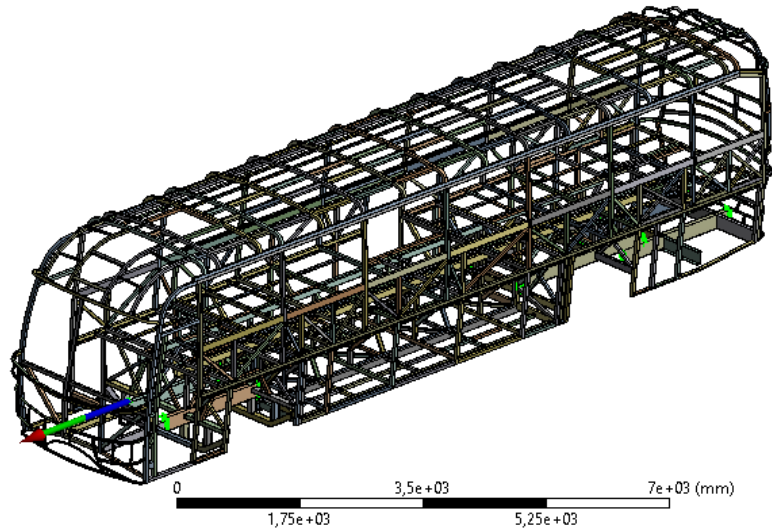


Figura 6.17. Aplicación de carga de Resistencia al Viento a la estructura del Autobús

Fuente: Autor

Como se observa se aplicó una carga de 2607,33 N a la estructura frontal del autobús en dirección longitudinal.

H: W VIENTO  
Force Reaction  
30/9/2019 18:55



Time [s]	Force Reaction (X) [N]	Force Reaction (Y) [N]	Force Reaction (Z) [N]	Force Reaction (Total) [N]
1 1,	-2,7918e-005	2,0327e-005	2607,3	2607,3

**Figura 6.18.** Reacción sobre los apoyos por aplicar la carga de Resistencia al Viento

**Fuente:** Autor

Como resultado de aplicar la carga de resistencia al viento la parte frontal de la estructura del autobús se obtiene una reacción resultante del software sobre los puntos de apoyo de 266,05 Kg (2607,3 N), por lo que se compara con el valor de 266,05 kg se tiene una diferencia de 0 Kg es decir un error del 0%, se concluye que el resultado de la simulación por la carga de resistencia al viento esta validado.

### 6.6.2.13. Estados y combinación de cargas

Después de investigaciones y estudios realizados se ha determinado los principales estados de carga que actúan sobre la carrocería, los cuales se encuentran señalados en normas y se resumen en la tabla a continuación:

**Tabla 6.13.** Estados de carga actuantes en condiciones críticas.

DESCRIPCIÓN	TIPO
Peso propio del bus	Muerta (D)
Peso de ocupantes	Live (V)
Carga debido al viento	Wind ( $R_{af}$ )
Carga debido al frenado violento	Break (F)
Carga debido al giro del bus (G)	Centrifugal
Carga debido a la aceleración brusca	Live ( $A_b$ )

**Fuente:** Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 1323

Las combinaciones de carga sometidas al diseño están en concordancia a la Norma 1323 vigente bajo el método LRFD (Load Resistance Factor Design). Los cálculos de cada estado de carga se muestran en la hoja de cálculo (Anexos). Las combinaciones aplicadas para el análisis estático y dinámico se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla 6.14.** Combinaciones de carga aplicadas para análisis estructural.

Combinaciones de carga
Combo1= $1,4M + V$
Combo2= $1,2M + 1,6V + 0,5G$
Combo3= $1,2M + 0,5V + 0,5F + 1,3R_{af}$
Combo4= $1,2M + 1,5A_b + 0,5V$
Combo5= $0,9M - 1,3R_{af}$
Combo6= $0,9M + 1,3R_{af}$

**Fuente:** Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 1323

#### 6.6.2.14. Resultados.

Después del pre-procesamiento detallado en los numerales anteriores, el paso siguiente es la corrida del análisis, que el software realiza en un determinado tiempo.

Deformaciones en la estructura

La aplicación de cada uno de los estados de carga mencionados da como resultado que la combinación extrema de carga es el Combo2. Las deformaciones estructurales del nodo que presenta mayor valor de la misma se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla 6.15.** Reporte de máximas deformaciones en el eje Y (Vertical)

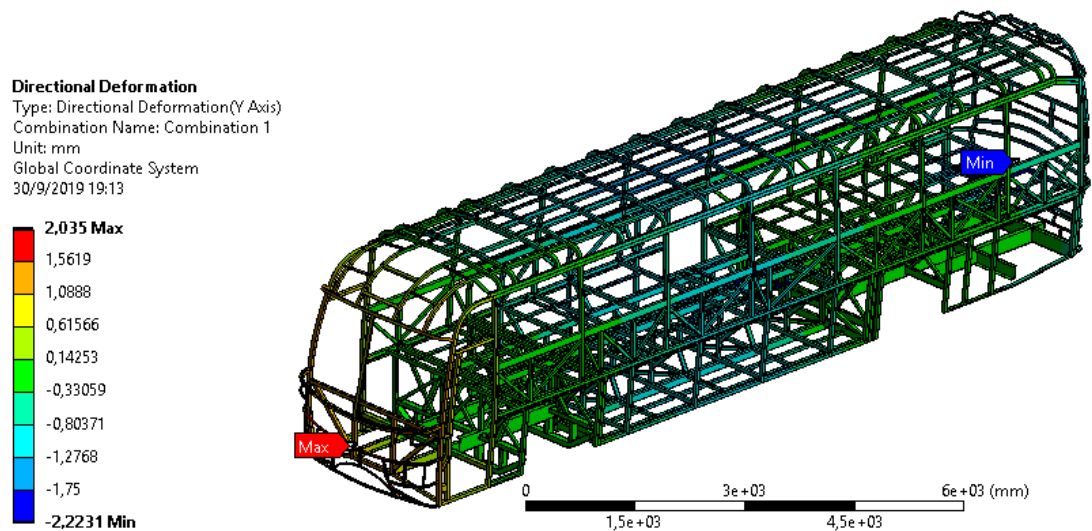
Combinación de carga	Deformación
Combo 1	0,04042 mm
Combo 2	0,174 mm
Combo 3	0,0269 mm
Combo 4	2,035 mm
Combo 5	0,0677 mm
Combo 6	0,0928 mm

**Fuente:** Autor

Los elementos que presentan mayor deformación están ubicados en la estructura del frente en el guardachoque, cuya longitud máxima de deformación previsible por la norma es de 3,75 (mm).

Dado que la deformación máxima obtenida es de 2,035 (mm), no se sobrepasa el límite establecido en la norma.

Cabe destacar que ningún otro miembro de la estructura supera el límite de deformación elástica establecido por la NTE INEN 1323 de 1/240 veces la longitud del elemento estructural.

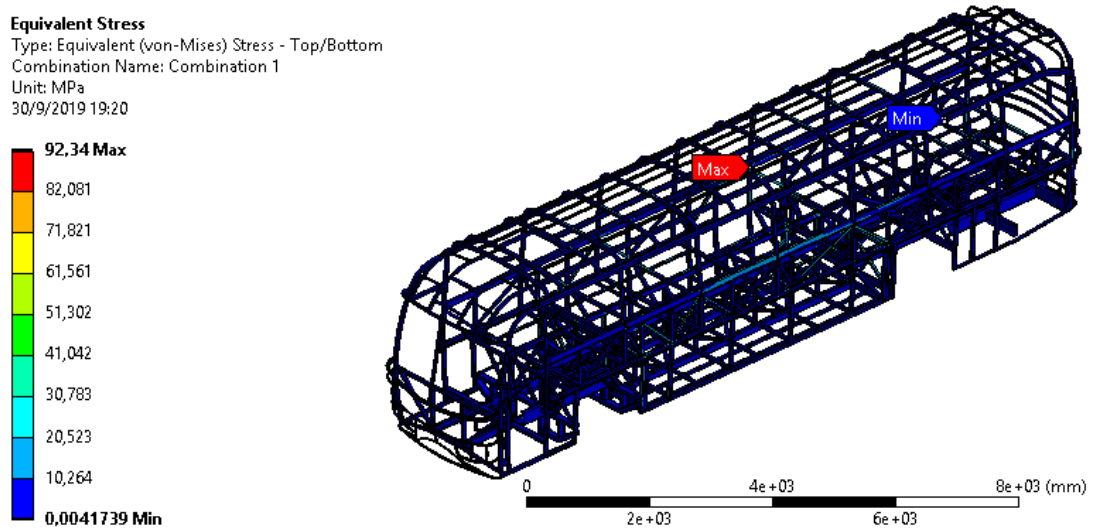


**Figura 6.19.** Punto de máxima deformación Estructura del frente – Guardachoque delantero

**Fuente:** Autor

### 6.6.2.15. Esfuerzos en la estructura.

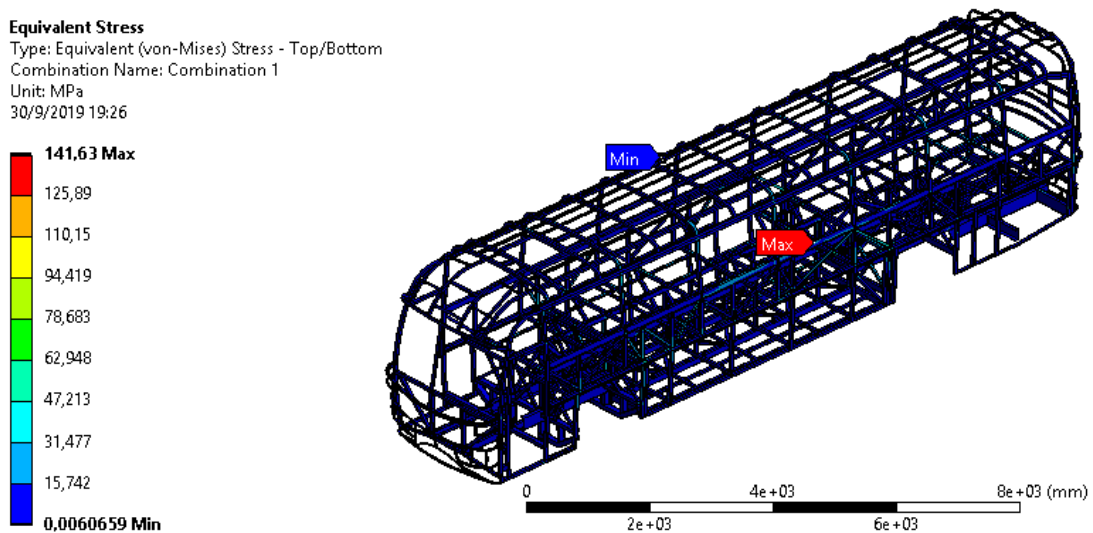
Las figuras siguientes muestran el estado de los esfuerzos para los estados de carga considerados. Cabe destacar que, dado que se usan las recomendaciones de AISC LRDF, se obtienen las gráficas siguientes que muestran en código de colores los elementos propensos a falla por esfuerzo excesivo.



**Figura 6.20.** Estado de esfuerzos para la combinación de cargas 1.

**Fuente:** Autor

Como se puede observar en la figura anterior, se obtuvo un esfuerzo máximo de 92,34MPa producido por la combinación de cargas 1.

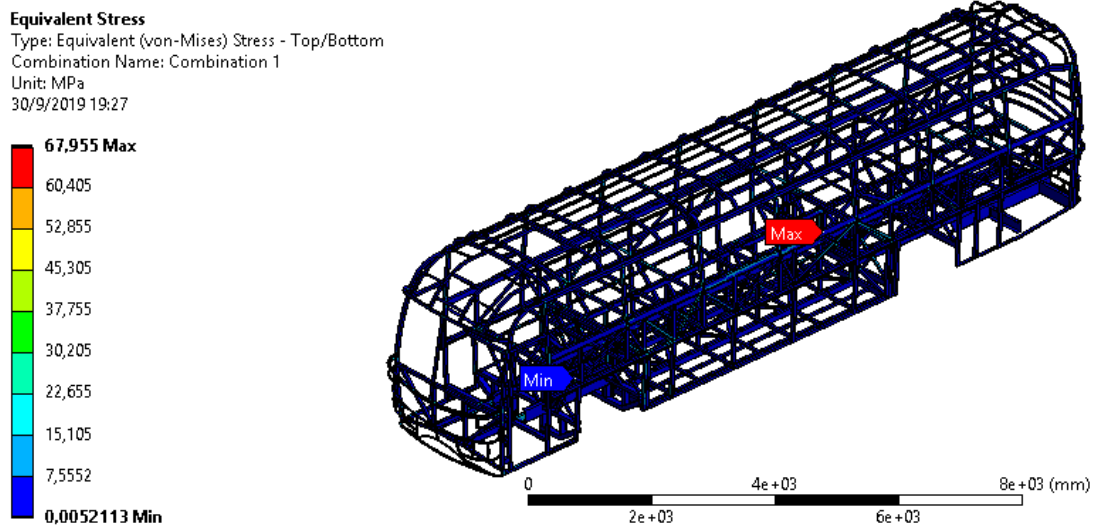


**Figura 6.21.** Estado de esfuerzos para la combinación de cargas 2.

**Fuente:** Autor



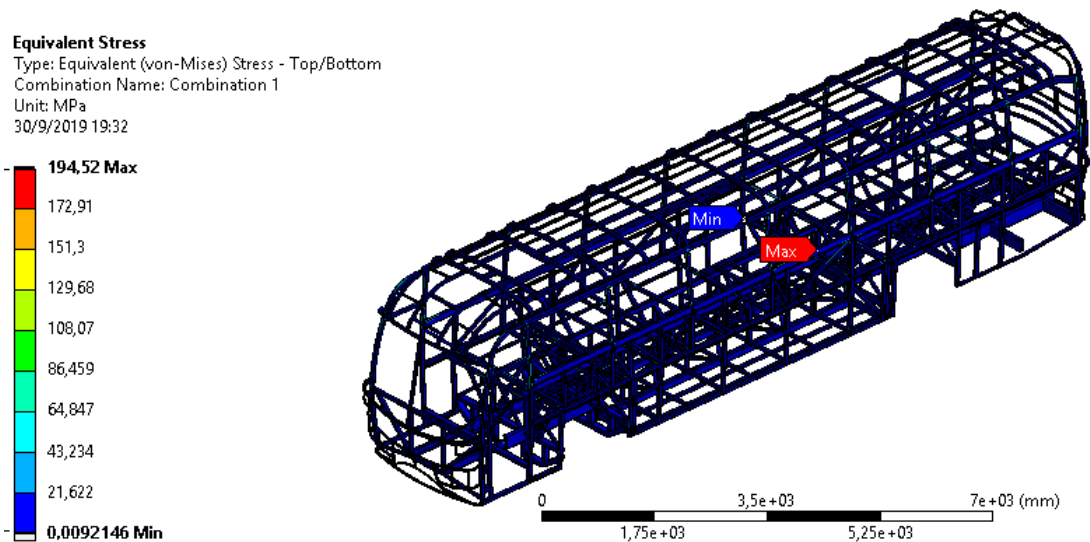
Como se puede observar en la figura anterior, se obtuvo un esfuerzo máximo de 141,63MPa producido por la combinación de cargas 2.



**Figura 6.22.** Estado de esfuerzos para la combinación de cargas 3.

**Fuente:** Autor

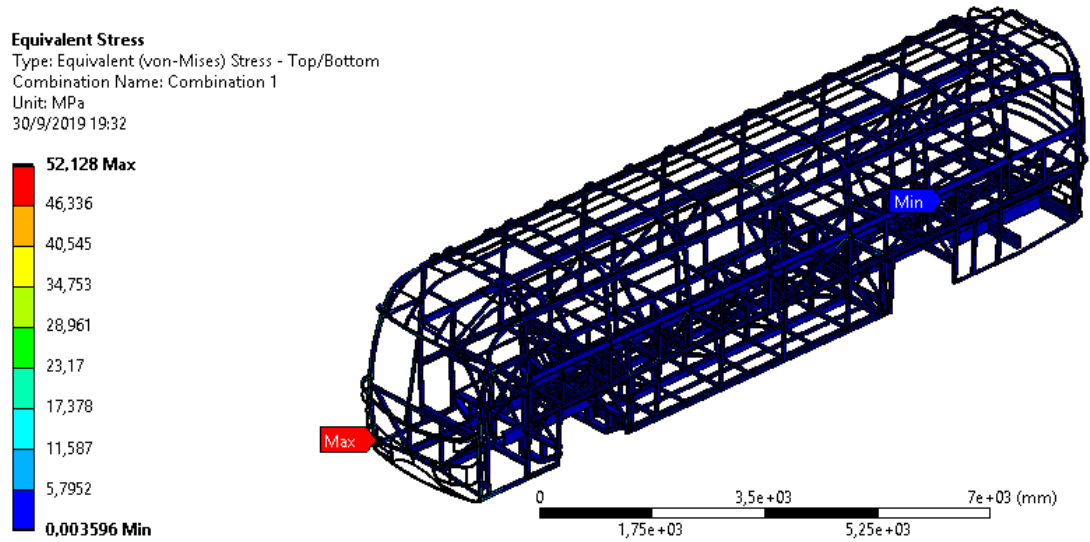
Como se puede observar en la figura anterior, se obtuvo un esfuerzo máximo de 67,955MPa producido por la combinación de cargas 3.



**Figura 6.23.** Estado de esfuerzos para la combinación de cargas 4.

**Fuente:** Autor

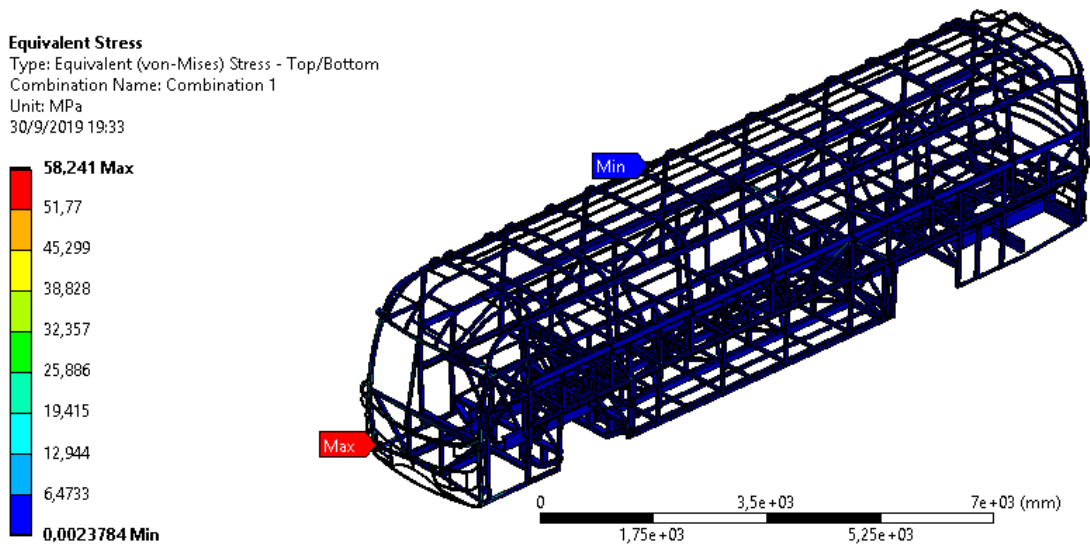
Como se puede observar en la figura anterior, se obtuvo un esfuerzo máximo de 194,52 MPa producido por la combinación de cargas 4.



**Figura 6.24.** Estado de esfuerzos para la combinación de cargas 5.

**Fuente:** Autor

Como se puede observar en la figura anterior, se obtuvo un esfuerzo máximo de 52,128 MPa producido por la combinación de cargas 5.



**Figura 6.25.** Estado de esfuerzos para la combinación de cargas 6.

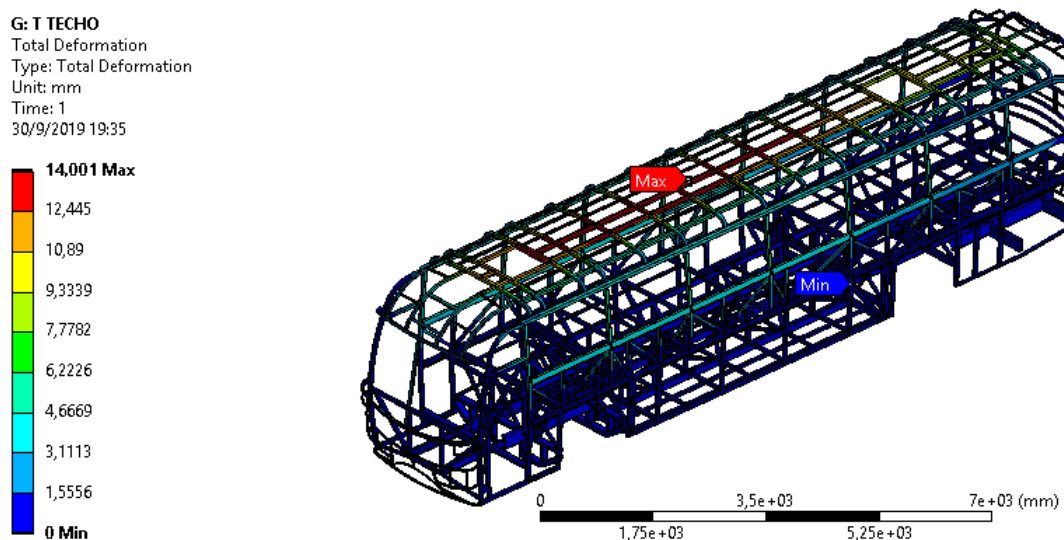
**Fuente:** Autor

Como se puede observar en la figura anterior, se obtuvo un esfuerzo máximo de 58,241 MPa producido por la combinación de cargas 6.

Cabe destacar que ningún elemento supera los límites de esfuerzo establecidos por las normas AISC-LRFD, en las cuales se basan las normativas ecuatorianas, por lo cual, la estructura es segura para su utilización en transporte de viajeros.

#### 6.6.2.16. Prueba de carga sobre techo.

Tal como se estipula en la NTE INEN 1323 en 5.1.5.1., se ha ejecutado la prueba de carga estática sobre techo. La tabla siguiente muestra los valores de deformación máxima.

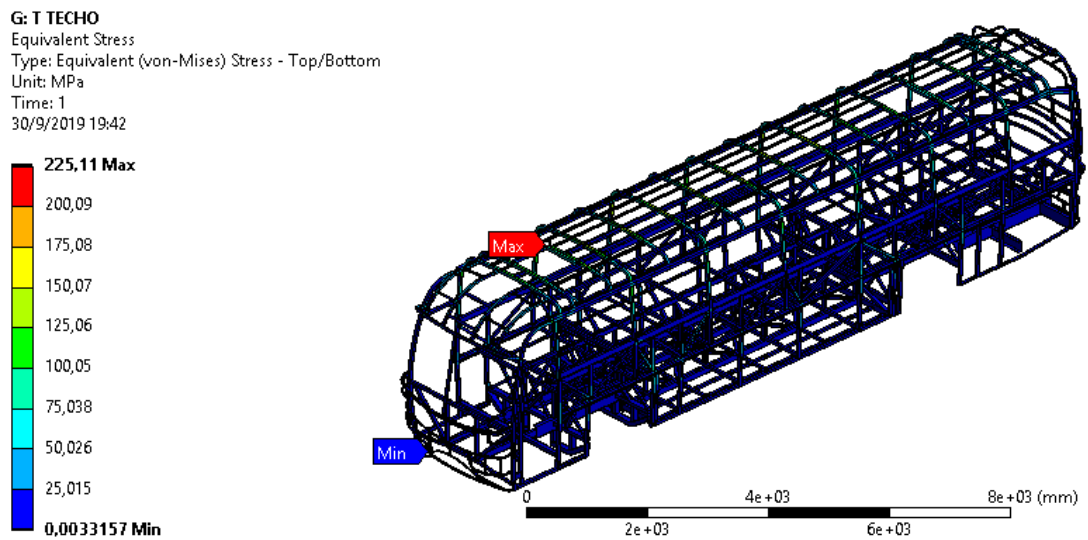


**Figura 6.26.** Deformación máxima por cargas sobre techo

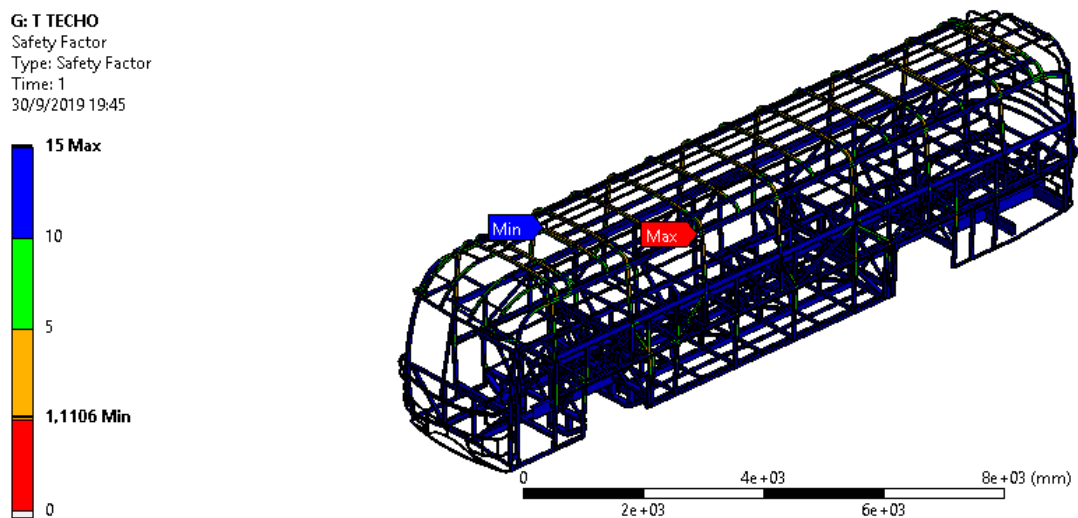
**Fuente:** Autor

En la figura anterior, se puede observar que la deformación máxima en el techo producida al aplicar la carga equivalente al 50% del Peso Bruto Vehicular del chasis, es decir 9250 kg, se obtiene una deformación máxima de 14 mm, según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323 la deformación en el techo no debe sobrepasar los 70 mm, por lo que la prueba de resistencia sobre el techo cumple satisfactoriamente.

La figura siguiente muestra el comportamiento de la estructura ante el evento de probar sobre su techo:



a)

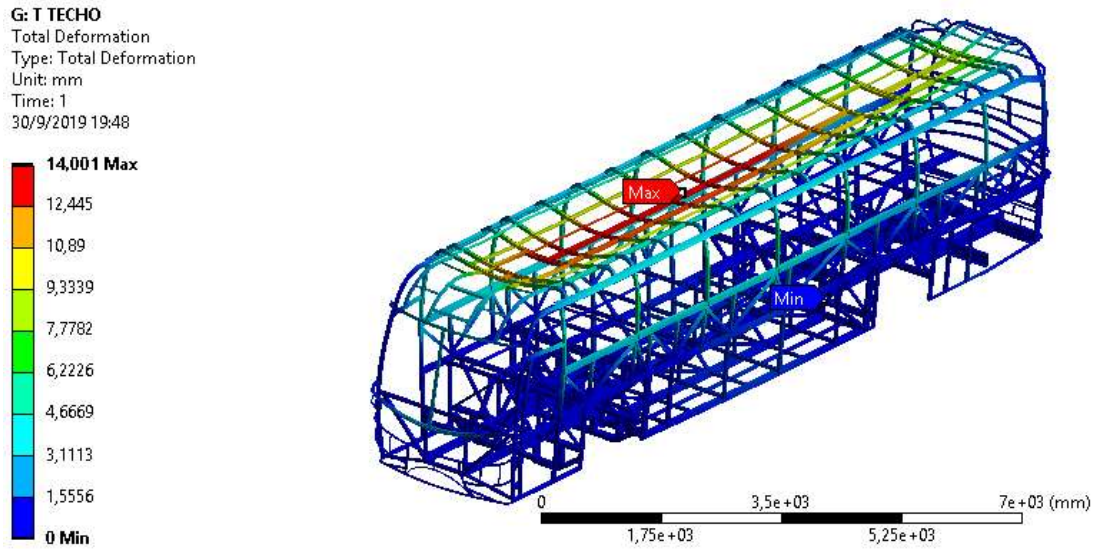


b)

**Figura 6.27.** a) Esfuerzos generados en el techo por la carga sobre techo, b) Factor de seguridad por carga de techo.

**Fuente:** Autor

En la figura anterior, se puede observar que se tiene un esfuerzo máximo de 225,11 MPa con un factor de seguridad de 15 con lo cual cumple satisfactoriamente los requisitos de la Norma NTE INEN 1323.



**Figura 6.28.** Deformación obtenida de la aplicación de carga distribuida sobre el techo.

**Fuente:** Autor

Cabe destacar que ningún elemento supera una deformación elástica de 70 (mm), establecida por norma como límite de deformación.

#### 6.6.2.17. Resumen de resultados y comparación con numerales de norma

La tabla a continuación es un resumen del proceso de cálculo efectuado para verificar el cumplimiento de RTE INEN 1323.

**Tabla 6.16.** Resumen de resultados de la validación del autobús aplicando RTE INEN 1323.

DESCRIPCION	ESPECIFICACION	VALOR	
MAXIMA DEFORMACION EN ELEMENTO PERMISIBLE POR NORMA	1/240 LONGITUD ESTRUCTURAL ELEMENTO (5.1.4)	3,75	mm
MAXIMA DEFORMACION ENCONTRADA EN ESTRUCTURA	ELEMENTO 2761 (DEL ANALISIS)	2,035	mm
CARGA VIVA	INEN NTE 1323: 5.1.1.1	3375	Kg
CARGA DE GIRO	INEN NTE 1323: 5.1.1.2	3277,06	Kg
CARGA DE FRENADO	INEN NTE 1323: 5.1.1.3	5100	Kg
CARGA DE ACELERACION	INEN NTE 1323: 5.1.1.4	5100	Kg

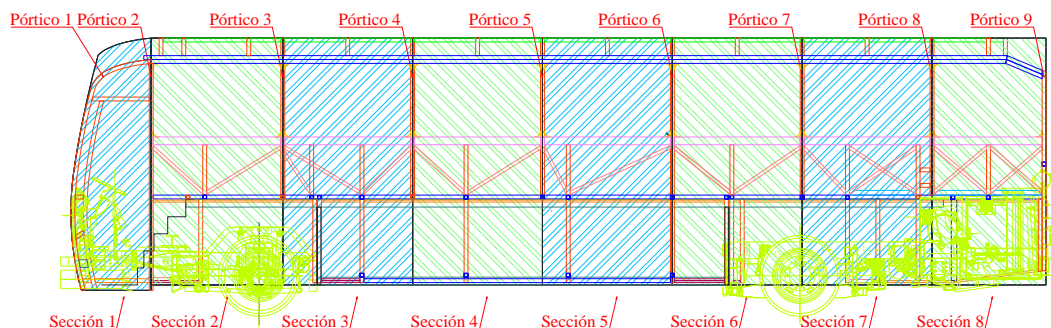
CARGA DE RESISTENCIA AERODINAMICA	INEN NTE 1323: 5.1.1.5	266,05	Kg
COMBINACIONES DE CARGA LRFD	DE ACUERDO A 5.1.2.2, INGRESADO EN SOFTWARE	-	-
RESISTENCIA ESTRUCTURAL: CRITERIO DE FALLA: ESFUERZO DE VON MISES COMPARADO CON PROPIEDAD DEL MATERIAL	Ningún elemento excede esfuerzo de fluencia del material, falla estática no presente	-	-
RESISTENCIA ESTRUCTURAL: CARGA ESTATICA SOBRE TECHO	CARGA APLICADA (5.1.5.1)	9250	Kg
	DEFORMACION MAXIMA POR NORMA (5.1.5.1)	70,00	mm
	DEFORMACION EN ESTRUCTURA	14	mm

**Fuente:** Autor

### 6.6.3. Análisis del ensayo de vuelco

#### 6.6.3.1. Distribución de masas en cada sección de la súper estructura del Autobús

A continuación, se muestra la configuración que conforma la superestructura, tal como se puede observar la misma consta de 9 pórticos, mismos que aportan a la resistencia de la estructura al igual que a la capacidad de absorción de energía durante un ensayo de vuelco de la superestructura garantizando que no se invada el espacio de supervivencia de pasajeros.



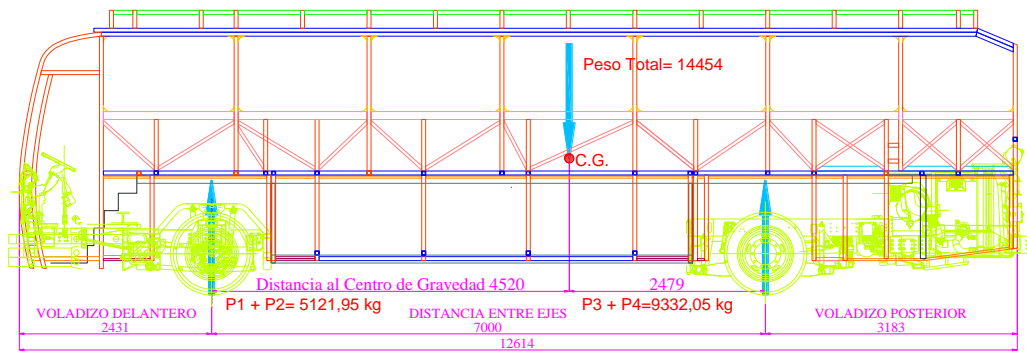
**Figura 6.29** Distribución de secciones y pórticos de la superestructura propuesta.

**Fuente:** Autor

Una vez que se ha determinado cada una de las secciones que conforman la superestructura del autobús se procede a obtener la distribución de masas para lo cual se supone que la

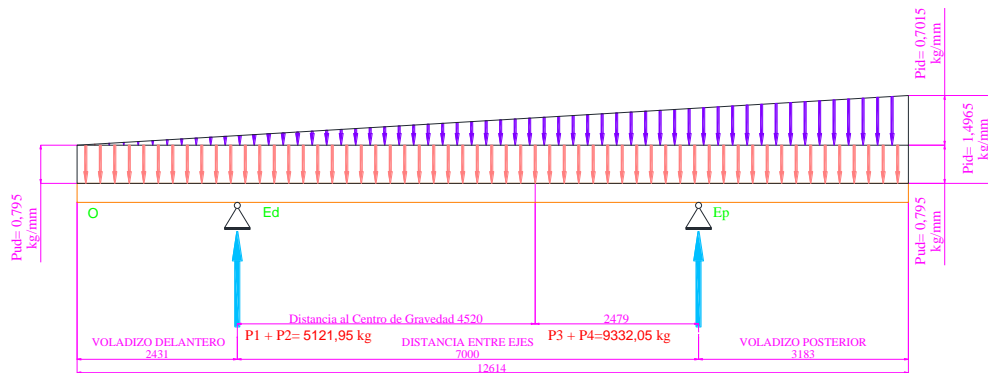
estructura conforma una viga con dos apoyos (eje delantero y eje posterior del autobús), la longitud de la viga resulta de las dimensiones del voladizo delantero, distancia entre ejes y voladizo posterior, por propósitos de simulación de ensayo de vuelco no se ha tomado en cuenta la estructura del frente ni respaldo, debido a que la zona de medición durante una volcadura, zona de supervivencia, está establecida a una determinada de dichos componentes.

A continuación, se muestran las dimensiones para realizar el cálculo.



**Figura 6.30** Valores de cargas y ubicación en la superestructura propuesta.  
**Fuente:** Autor

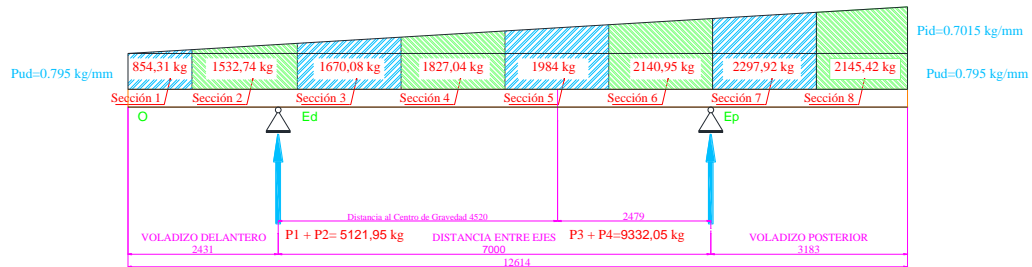
Como se puede observar se tiene las cargas puntuales, mismas que son resultado de la comparación entre el pesaje del Autobús en estado de terminado en comparación con el peso de la estructura propuesta, es necesario transformar las cargas puntuales a cargas distribuidas lo que permitirá calcular cual es la masa en cada una de las secciones de la superestructura del Autobús anteriormente establecidas, tal como se muestra en la Figura 4.13.



**Figura 6.31.** Representación de cargas uniformemente distribuidas en la superestructura del bus. **Fuente:** Autor

La distribución de masa sobre el autobús se lo realiza en base a las secciones establecidas anteriormente en la figura 4.11., de dicha distribución se obtiene cual es la sección crítica la cual absorbería una mayor cantidad de energía durante el vuelco.

Para obtener la carga que debe soportar cada sección se calcula el área de la carga distribuida como se muestra en la Figura 4. 17



**Figura 6.32** Valor de cargas que debe soportar cada sección de la superestructura del autobús

**Fuente:** El Autor

Después del análisis se pudo determinar que la sección número SIETE con una carga de 2297,92 Kg es la que tendría una mayor solicitud de resistencia al sufrir una volcadura. A partir de este resultado con dicha sección se realizará el ensayo de vuelco virtual.

**Tabla 6.17.** Distribución de peso del Autobuses por cada sección

Descripción	Carga a soportar (Kg)
Sección 8	2145,42
Sección 7	2297,92
Sección 6	2140,95
Sección 5	1984
Sección 4	1827,04
Sección 3	1670,08
Sección 2	1532,74
Sección 1	854,31
<b>TOTAL</b>	<b>14452,46</b>

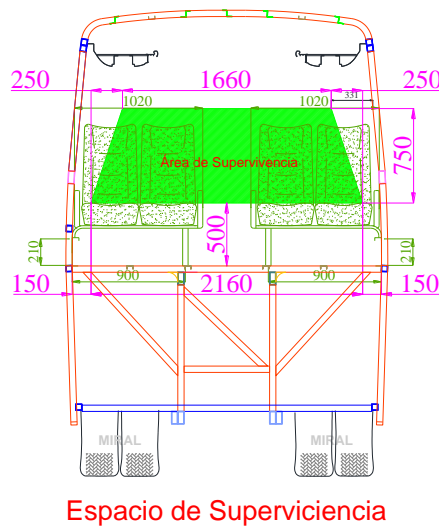
**Fuente:** El Autor



### 6.6.3.1. Espacio de Supervivencia

El espacio de Supervivencia según lo estipulado en el Reglamento N° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) se define como “el espacio que ha de quedar en el compartimento o compartimentos del conductor, de viajeros y del personal para que el conductor, los viajeros y el personal tengan más posibilidades de sobrevivir en caso de vuelco.” [10]

A continuación, se muestran una representación del espacio de supervivencia en disposición transversal con dimensiones respecto al piso de pasajeros, con una altura del 1250 mm, una separación de 150 mm respecto a las paredes laterales de la estructura del autobús bajo los mismos parámetros realizados en el capítulo 4, como se muestra a continuación:

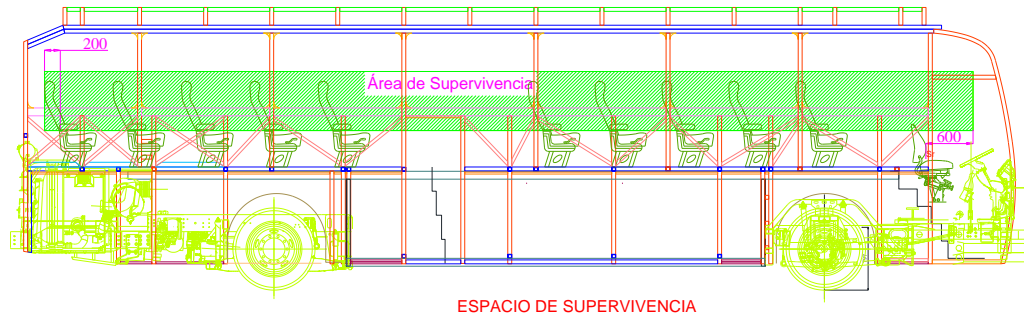


**Figura 6.33.** Disposición Transversal del Área de Supervivencia

**Fuente:** Autor

Por otro lado, la disposición longitudinal del espacio de supervivencia el cual se extiende desde la parte posterior tomando en cuenta el punto SR del asiento de la última fila 200 mm hacia afuera, con una sección constante pasando por todo lo largo

del autobús, sea cual sea la disposición de los asientos intermedios, hasta unos 600 mm después del punto SR del asiento de conductor tal como se muestra a continuación:



**Figura 6.34.** Disposición Longitudinal del Área de Supervivencia

**Fuente:** Autor

### 6.6.3.3 Velocidad de impacto de la sección del a superestructura

La masa calculada de la sección más crítica de la superestructura es de 428,78 Kg ya que las dimensiones del pórtico son igual al del evaluado en el capítulo 4, la masa real de la sección del autobús es de 2297,92 Kg. En relación a los datos obtenidos tenemos que colocar masas en forma proporcional de 5,35 veces en toda sección en estudio.

Para dar inicio a la Prueba de Vuelco Fisica se coloca la estructura sobre la Plataforma de Vasculamiento tal como se mostro en la Figura 4.23, ahora cuando se realiza la simulacion, por efectos de gasto computacional se la reliza cuando la superestructura del Autobus empieza a impactar la superficie del piso, para esto se necesita determiniar la velocidad con la que impacta contra el piso.

Para el cálculo de la energía previa de impacto de la superestructura contra la superficie del piso se utiliza la siguiente expresión [31]:

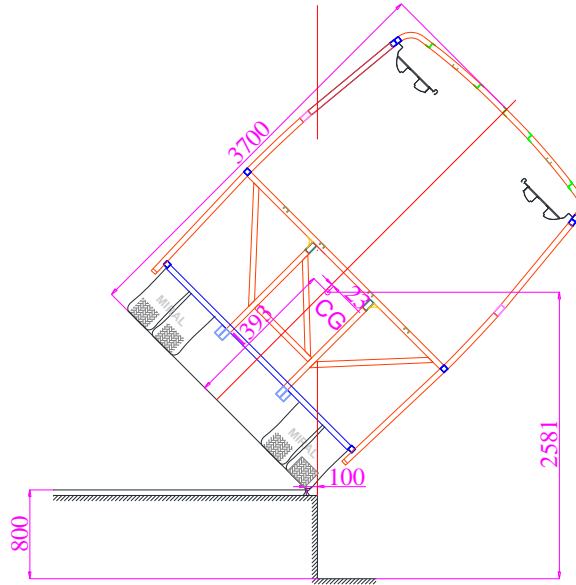
$$E_R = M * g * h1$$

Donde:

M = Masa del vehículo en marcha (kg)

g = Constante de atracción gravitacional (m/s<sup>2</sup>)

$h_1$  = Altura del centro de gravedad del vehículo en la posición inicial inestable con respecto a la superficie de impacto del piso.



**Figura 6.35.** Posición inicial inestable del vehículo para el ensayo de vuelco

**Fuente:** El Autor

De lo cual se obtiene lo siguiente:

$$E_R = M * g * h_1$$

$$E_R = 2297,92 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2,581 \text{ m}$$

$$E_R = 58182,44 \text{ J}$$

Por otro lado, el cálculo de la velocidad con la cual la superestructura va a impactar contra la superficie del piso se determina de la siguiente manera:

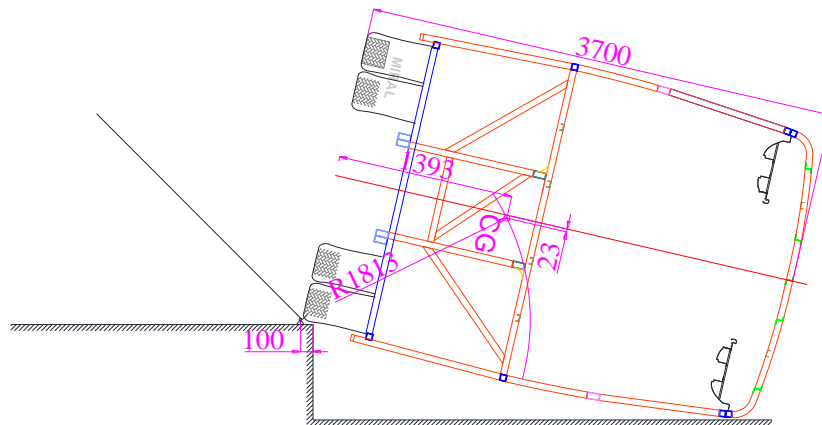
$$V_{im} = \sqrt{\frac{2 * E_R}{M}}$$

Donde:

$V_{im}$  = Velocidad de impacto de la superestructura contra la superficie del suelo respecto al centro de gravedad

$$V_{im} = \sqrt{\frac{2 * 58182,44 \text{ J}}{2297,92 \text{ kg}}}$$

$$V_{im} = 7,116 \frac{m}{s}$$



**Figura 6.36.** Radio de giro de la superestructura al momento del impacto contra la superficie del piso

**Fuente:** El Autor

Ahora la velocidad angular de impacto de la superestructura contra la superficie del piso viene dada por la siguiente expresión:

$$W_{im} = \frac{V_{im}}{r}$$

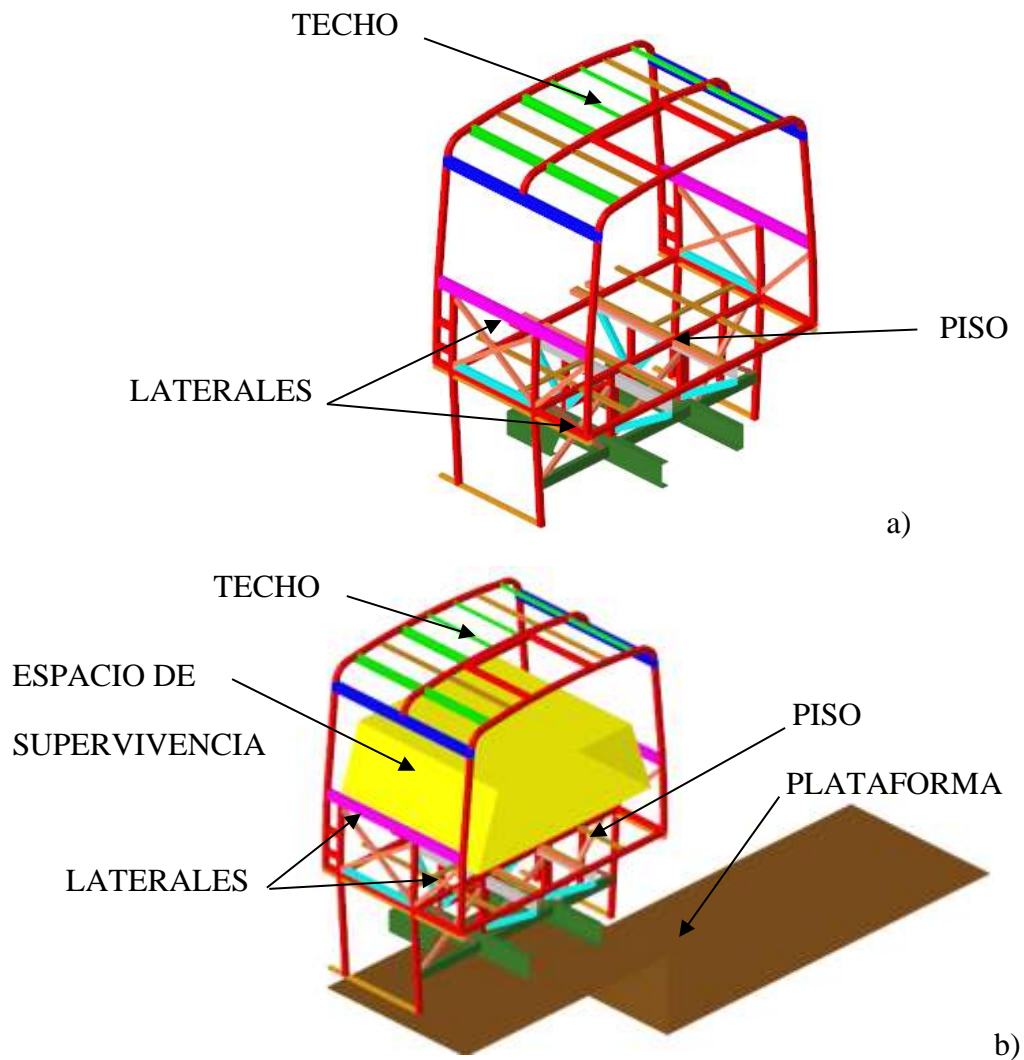
Donde:

r = Radio de giro de la superestructura al momento del impacto contra la superficie del piso respecto al centro de gravedad

$$W_{im} = \frac{7,116 \frac{m}{s}}{1,813 m}$$

$$W_{im} = 3,925 \frac{rad}{s}$$

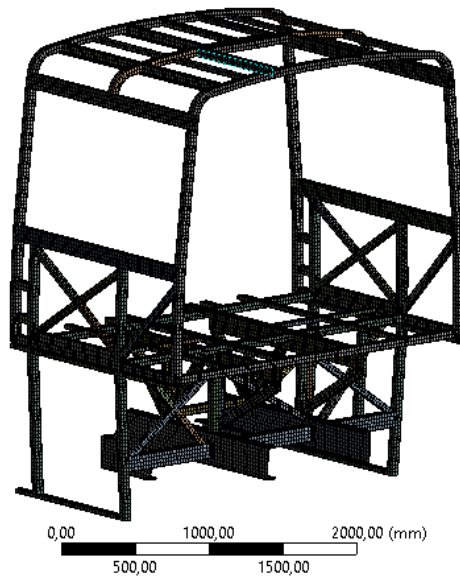
Para facilitar la simulación la geometría de la sección más crítica a analizarse es de tipo superficie tal como se observa a continuación:



**Figura 6.37.** Geometría de la Sección más crítica de la Superestructura propuesta  
 a) Sección modificada según colores de espesores, b) Sección modificada con espacio de supervivencia y plataforma

**Fuente:** El Autor

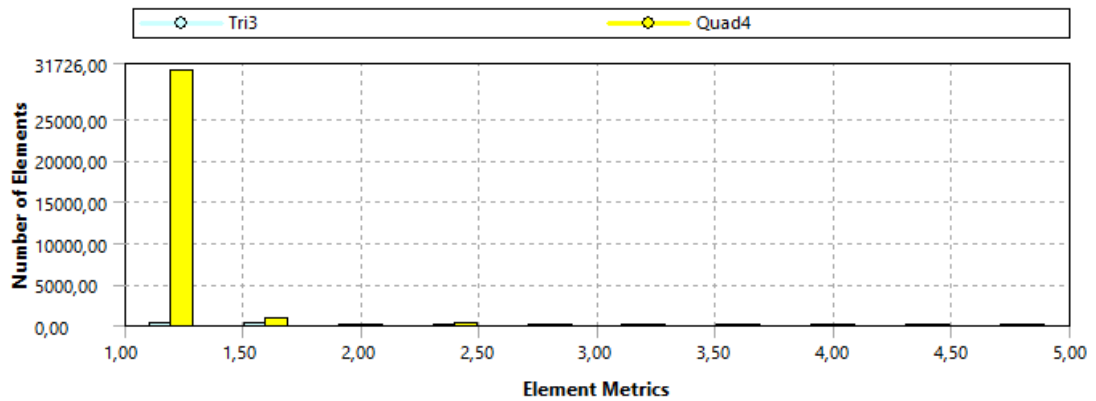
En la Figura 6.38 se presenta el mallado y la calidad de malla donde se presenta muy uniforme con elementos tipo rectangular, la longitud máxima de la cara de los elementos es de 25 mm, un valor de Jacobiano maximo de 1,0721 y un minimo de 1. El valor maximo de Aspect Ratio es de 1,2258 y un valor mínimo de 1, mismos que estan dentro del índice de caracterización de la variable Aspect Ratio.



**Figura 6.38.** Mallado de la Sección más crítica de la Superestructura

**Fuente:** El Autor

En la Figura 6.39 se muestra mediante un gráfico de barras la cantidad de elementos en el eje Y mientras que en el eje X se indica el valor del Aspect Ratio. Obteniendo 31726 elementos un Aspect Ratio de 1 y 5 elementos con Aspect Ratio de 1,2258 los demás elementos se encuentran dentro de este rango.



**Figura 6.39** Aspect Ratio versus número de elementos de la sección más crítica de la superestructura

**Fuente:** El Autor

En los términos de modelo de material específico a ser usado en LS-DYNA, al revisar la bibliografía (Elitok, 2006) se ha tomado el dato de usar el material 24 MAT\_PEICEWISE\_LINEAR\_PLASTIC que se utiliza cuando hay deformación plástica en el cuerpo en análisis.



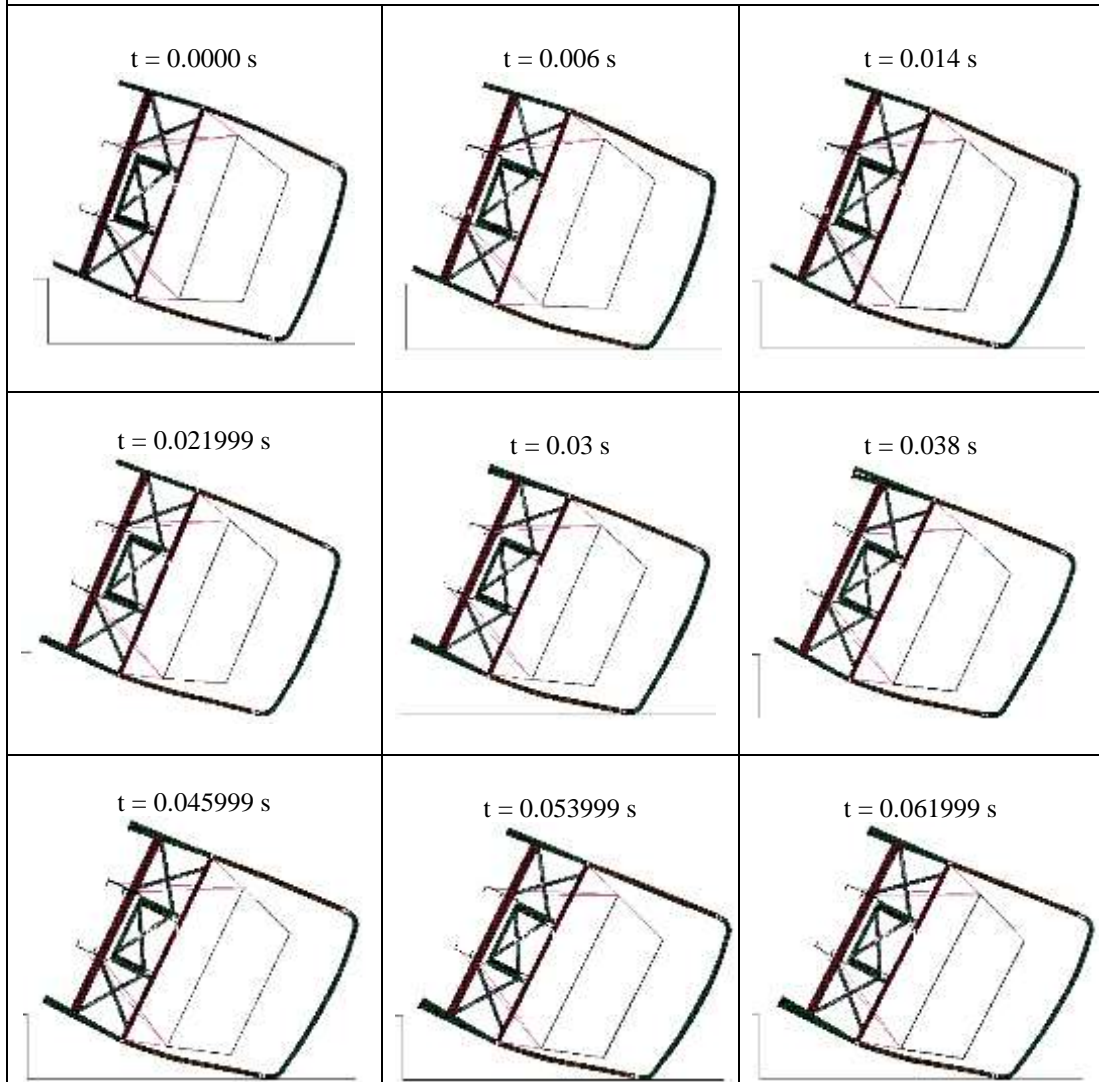
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

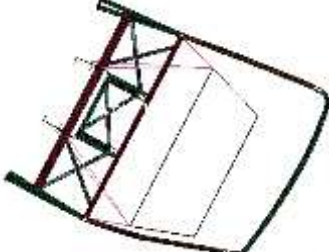
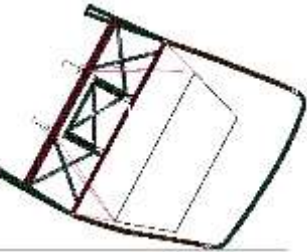
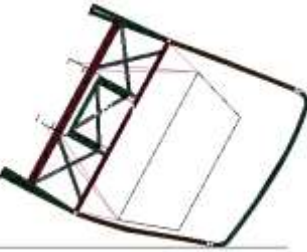
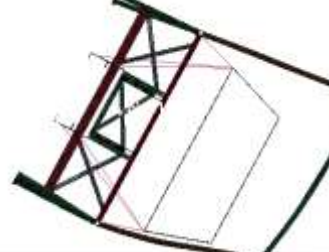
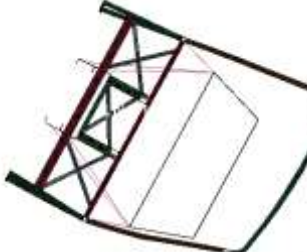

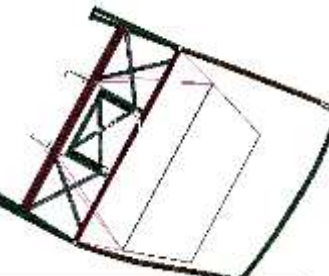
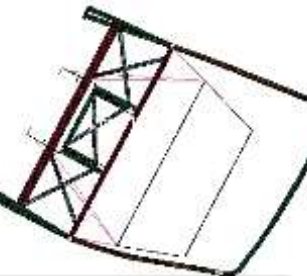
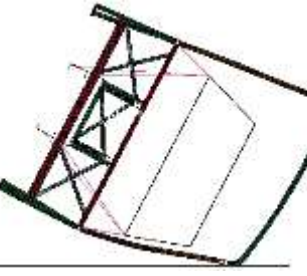


**SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE VUELCO**

Probeta N°	1	Muestra de:	Superestructura del Autobús IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836
Normas Aplicables	Reglamento CEPE/ONU66		
Fecha de ejecución	07/09/2019	Realizado por	Ing. Braulio Atacusi
		Revisado por	Ing. César Arroba
Aspect Ratio Max:	5	Aspect Ratio Min:	1
Cantidad de nodos	32356	Cantidad de elementos	31726
Tiempo de procesamiento	37 horas	Número de procesadores	1 de 3.2 GHz
Velocidad al momento de impacto	3.925 rad/seg	Masa de la sección	2297,92 kg

**RESULTADOS DEL ENSAYO**



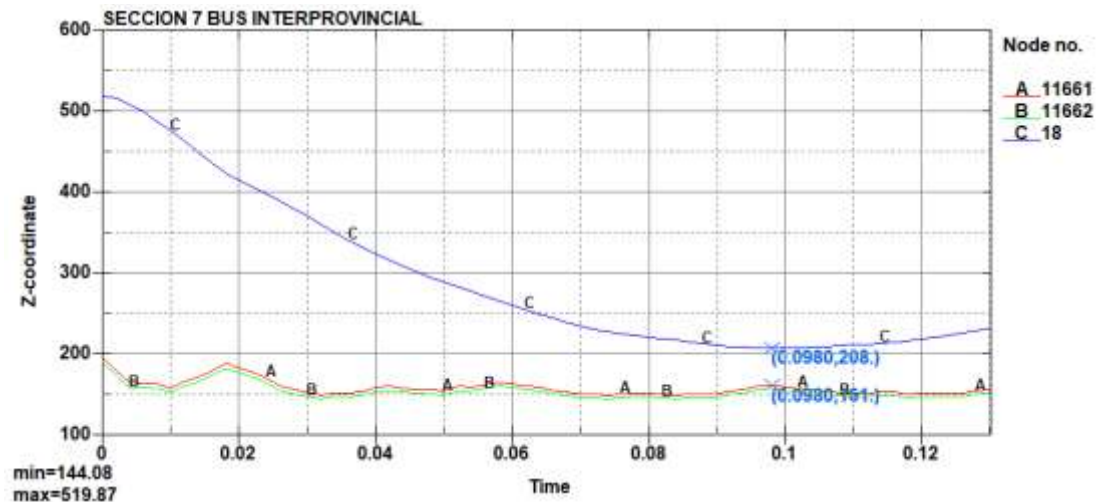
<p><math>t = 0.069999 \text{ s}</math></p> 	<p><math>t = 0.0779999 \text{ s}</math></p> 	<p><math>t = 0.0859999 \text{ s}</math></p> 
<p><math>t = 0.0939999 \text{ s}</math></p> 	<p><math>t = 0.102 \text{ s}</math></p> 	<p><math>t = 0.11 \text{ s}</math></p> 
<p><math>t = 0.118 \text{ s}</math></p> 	<p><math>t = 0.126 \text{ s}</math></p> 	<p><math>t = 0.13 \text{ s}</math></p> 
<b>RESULTADOS REGISTRADOS</b>		
Invade la Superestructura del autobús el espacio de supervivencia	<b>NO</b>	



## 6.7 Análisis de resultados

En la Figura 6. 40 se muestra las dos curvas de desplazamiento relativo del punto que más se aproxima al espacio de supervivencia durante el ensayo y la superestructura.

Los cambios que se realizaron en la superestructura han bajado el peso de la estructura y aun conservando el comportamiento de la Norma NTE INEN 1323 de la misma cumpliendo de manera satisfactoria el ensayo de vuelco, manteniendo la seguridad de los pasajeros del autobús.



**Figura 6.40.** Desplazamiento del espacio de supervivencia de pasajeros respecto a la superestructura del autobús. Las curvas A y B las cuales representan a los nodos del elemento que se encuentra en la trayectoria del espacio de supervivencia mientras que la curva C representa el desplazamiento del espacio de supervivencia.

**Fuente:** El Autor

Como se puede observar en la figura 6.40, la curva C representa el desplazamiento del espacio de supervivencia de pasajeros con relación a las curvas A y B las cuales representan a los nodos del elemento que se encuentra en la trayectoria del espacio de supervivencia durante el ensayo de vuelco, con una distancia inicial máxima de 319 mm al inicio del ensayo y una distancia de 47 mm después del ensayo por lo que el Espacio de Supervivencia NO es invadido por la Superestructura del Autobús durante el impacto.

## **6.8 Determinación de la aplicación**

Como resultado del análisis realizado en el presente trabajo de investigación se prevé la factibilidad de construir la estructura del autobús con las modificaciones establecidas, es decir utilizar perfiles de 2 mm en parantes, tejido de piso y anclajes ya que cumple satisfactoriamente con los requisitos de la norma NTE INEN 1323, dicha información será transmitida al área de diseño de Miral Autobuses en la cual se tomará la decisión de llevar a la construcción dicha propuesta con el fin de reducir peso y tener una buena resistencia al vuelco como se ha conseguido.

## **6.9 Administración**

### **Recursos Humanos:**

El estudio se lo realizó iniciando con la aprobación del Gerente General, Gerente de Planta, Líder de diseño de Miral Autobuses, Ing. Cesar Arroba como tutor del trabajo de investigación.

### **Recursos Institucionales:**

Se utilizó en las instalaciones de Miral Autobuses para del análisis de la estructura del bus, así como de la utilización de software de diseño, además se fabricó la sección más crítica de la estructura en escala 1:1 para realizar la prueba de volteo físico y verificar los resultados del análisis teórico.

Las instalaciones de la Universidad Técnica de Ambato donde se cuenta con la licencia del Programa ANSYS para realizar el análisis de la información.

### **Recursos Materiales:**

Se utilizará software de diseño para la modelación y análisis de las Estructuras, también materiales metálicos como tubería y perfiles de Miral Autobuses para la elaboración de las Estructuras escala 1:1 de la sección más crítica del autobús.

Se utilizará instrumentos calibrados para medir del peso y la deformación de la estructura, así como una cámara de alta velocidad para documentar paso a paso el ensayo de voleo físico.

**Recursos Económicos:**

Se cuenta con el apoyo económico de MIRAL AUTOBUSES a través del Mg. José Miranda, Gerente General de la empresa para la realización del tema de investigación.

A continuación, se muestra los recursos utilizados para la realización del trabajo de investigación:

**Tabla 6.18** Recursos Materiales

<b>Recursos Materiales</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Valor Total (\$)</b>
2 u	Tubo galvanizado 100x50x3mm	45	90
1 u	Tubo galvanizado 100x50x2	42	42
2 u	Tubo galvanizado 50x50x3mm	40	80
2 u	Tubo galvanizado 50x50x2mm	35	70
1 u	Perfil Z galvanizado 45x48x35x2 mm	28	28
2 u	Perfil U galvanizado 50x25x2 mm	25	50
1 u	Perfil U 50x25x4	32	32
10 u	Bascula pesaje bus completo	22	220
10 u	Bascula pesaje Estructura sección de Autobús	6	60
1 u	Materiales plataforma	400	400
1 u	Cámara de alta velocidad	6000	6000
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>7072</b>

**Fuente:** Autor

**Tabla 6.19** Recursos Humanos

<b>Recursos Humanos</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Valor Total (\$)</b>
200 h	Búsqueda Bibliográfica	0,70	140
30 h	Modelación Estructura Actual Autobús iM9 en software de diseño	10	300
49 h	Simulación del Ensayo de Vuelco de Estructura del Autobús y sus variantes	15	735

32 h	Soldadura de sección de Superestructura	3,5	112
80	Análisis de información y resultados	4	320
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>1607</b>

**Fuente:** Autor

**Tabla 6.20 Recursos Varios**

<b>Recursos Varios</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Valor Total (\$)</b>
3	Resmas de hojas	3,5	10,5
200	Impresiones	0,10	20
400	Copias	0,02	8
2	Anillados	5	10
1	Empastados	20	20
1	Transporte	400	400
1	Alimentación	350	350
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>818,5</b>

**Fuente:** Autor

**Tabla 6.21 Costo Total**

<b>COSTO TOTAL</b>	
<b>SUBTOTAL 1 Recursos Materiales</b>	7072
<b>SUBTOTAL 2 Recursos Humanos</b>	1607
<b>SUBTOTAL 3 Recursos Varios</b>	818,5
<b>10% IMPREVISTOS</b>	984,77
<b>TOTAL</b>	<b>10832,52</b>

**Fuente:** Autor

## **6.10 Previsión de la evaluación**

El presente trabajo de investigación sigue una línea de investigación que Miral Autobuses ha mantenido durante el tiempo, por lo que en un inicio no se contaba con una estructura que garantice la zona de supervivencia mediante investigaciones previas se logró determinar la configuración que es capaz de no invadir la zona de pasajeros, por lo que en el presente trabajo de investigación se ha seguido las recomendaciones de dicho trabajo de investigación realizando la validación de los resultados de la simulación mediante la elaboración de un prototipo físico el mismo que brindó mayor confiabilidad a los resultados obtenidos con el ensayo virtual, en base a dicha información se logró realizar modificaciones en segmentos en los cuales la estructura del Autobús se encontraba sobredimensionada, en otras palabras se utilizaba perfiles demasiado pesados para las exigencias de operación, por lo que se ha logrado reducir pesos en la estructura del autobús, inmediatamente se notará múltiples ventajas tales como mejor aprovechamiento de la potencia del motor del chasis, reducción de consumo de neumáticos, bajo consumo de combustible dando como resultado bajar precios de operación y por ende tener mayor aceptabilidad en los propietarios de buses y ser competitivos con marcas reconocidas a nivel mundial.

Finalmente, se recomienda se trabaje en bajar el peso de componentes del bus terminado, es decir investigar acerca de materiales compuestos para bajar aún más el peso del bus, ya que se conoce que la estructura, la base del bus que soportara cargas estáticas y dinámicas resiste tales exigencias, el desarrollo de materiales compuestos además podría reemplazar algunos componentes metálicos que actualmente aportan al peso del autobús.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] El Universo, “En 20,9% subió cifra de muertos en accidentes de buses en el Ecuador | Ecuador | Noticias | El Universo.” [Online]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/12/28/nota/7115013/209-subio-cifra-muertos-accidentes-buses-pais>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [2] “Escalofrantes estadísticas: Muertes por accidente de tránsito en el mundo | Cubadebate.” [Online]. Available: <http://www.cubadebate.cu/noticias/2010/05/06/escalofrantes-estadisticas-accidentes-transito/#.Wp8y52pubIU>. [Accessed: 09-Mar-2018].
- [3] “Los accidentes de tránsito aumentan en Ecuador.” [Online]. Available: <https://ecuador.seguros123.com/accidentes-transito-ecuador/>. [Accessed: 09-Mar-2018].
- [4] Esteban Poblete, “El índice de accidentes de tránsito es alarmante en Ecuador – EcuadorToday,” 2018. [Online]. Available: <https://ecuadortoday.media/2018/09/25/el-indice-de-accidentes-de-transito-es-alarmante-en-ecuador/>. [Accessed: 27-Jul-2019].
- [5] J. A. C. VIÑAMAGUA and B. A. Y. FLORES, “CARACTERIZACIÓN DE LA ACCIDENTABILIDAD EN AUTOBUSES DE TRANSPORTE DE PASAJEROS EN EL ECUADOR,” Universidad politécnica salesiana, 2018.
- [6] “Registro de Organismos.” [Online]. Available: <http://listaoec.acreditacion.gob.ec:58974/OrganismosRTE/#Fin>. [Accessed: 02-Oct-2019].
- [7] Y.-C. Lin and H.-Ch. Nian, “Structural Design Optimization of the Body Section Using the Finite Element Method,” *SAE Tech. Pap. Ser.*, vol. 1, 2010.
- [8] T. W. Tech and I. Iturrioz, “Structural Optimization of a Bus in Rollover Conditions,” *SAE Tech. Pap. Ser.*, vol. 1, 2010.
- [9] C. H. Arroba - Universidad Técnica de Ambato, “Universidad Técnica De Ambato,” *Repo.Uta.Edu.Ec*, vol. 593, no. 03, p. 130, 2011.
- [10] J. Kim, E. Yim, C. Jeon, C. Jung, and B. Han, “EFFECTIVENESS OF ECE R66 AND FMVSS 220 STANDARDS IN ROLLOVER CRASHWORTHINESS ASSESSMENT OF PARATRANSIT BUSES,” *Int. J. ...*, 2014.
- [11] A. G. Villegas, “ANÁLISIS MEDIANTE SIMULACIÓN

COMPUTACIONAL DEL ENSAYO DE VUELCO EN SUPERESTRUCTURAS PARA AUTOBUSES,” 2016.

- [12] S. Wicaksono, M. R. Faisal R, S. Mihradi, and S. Prifiharni, “Finite Element Analysis of Bus Rollover Test in Accordance with UN ECE R66 Standard,” *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 49, no. 6, p. 799, 2017.
- [13] E. A. Fazio, “Análisis mediante elementos finitos del comportamiento de perfiles combinados de estructuras de autobuses,” 2018.
- [14] R. . Mott, *Resistencia De Materiales*, Quinta. Mexico, 2009.
- [15] A. Hern, N. Proa, and S. Mena, “Autor: José Alfredo Hernández Proaño Director: Ing. Stalin Mena 2016,” 2016.
- [16] “El acero en la carrocería del vehículo. Tipos y propiedades (Capítulo 2) - GT Motive.” [Online]. Available: <https://gtmotive.com/propiedades-carroceria-acero>. [Accessed: 19-Nov-2019].
- [17] W. F. Smith, *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*, Cuarta edi. 1998.
- [18] A. Al, E. D. E. Las, M. Electricas, D. E. F. Axial, M. La, and A. Del, “El método de los elementos finitos,” pp. 111–144.
- [19] J. T. Celigüeta Lizarza, *Método de los Elementos Finitos para el Analisis Estructural*. 2008.
- [20] J. T. Celigüeta, *Método de los Elementos Finitos para Analisis Estructural*. 2008.
- [21] F. Díaz, D. E. L. Castillo, C. Izcalli, and E. D. O. D. E. México, “LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES METODO DEL ELEMENTO FINITO Y AutoFEM ®,” 2018.
- [22] G. Calderón and R. Gallo, *Introducción al Método de los Elementos Finitos : un enfoque matemático*. 2011.
- [23] “ANÁLISIS EXPLÍCITO - Tus Elementos Finitos.” [Online]. Available: <http://sergioariasfernandez.com/analisis-explicito/>. [Accessed: 20-Nov-2019].
- [24] D. De, H. Numérica, and L. Problema, “Descripción de la Herramienta Numérica 2.1.-.”
- [25] “Selector de material LS-DYNA.” [Online]. Available: <http://www.lstc.com/dynamat/>. [Accessed: 23-Nov-2019].
- [26] “Cámara de alta velocidad Chronos 1.4.” [Online]. Available:

<https://www.krontech.ca/store/Chronos-1-4-high-speed-camera-p92268927>.  
[Accessed: 23-Nov-2019].

- [27] INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Ecuatoriana NTE Inen 1668,” p. 34, 2015.
- [28] I.-I. E. de Normalización, “REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 043 (2R) ‘VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRAREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL,’” no. 929, pp. 1–7, 2015.
- [29] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, “NTE Inen 1323:2009 Vehiculos Automotores. Carrocerias De Buses. Requisitos.,” p. 14, 2009.
- [30] INEN, “Norma Técnica Ecuatoriana 2656 CLASIFICACIÓN VEHICULAR,” 2016.
- [31] Reglamento n o 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), “Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respecta a la resistencia de su superestructura,” no. 78, pp. 30–59, 2015.
- [32] I. Y. Comunicación, D.-D. E. L. A. Universidad, and T. D. E. Ambato, “Universidad Técnica de Ambato Consejo Universitario,” vol. 593, no. 03, 2016.
- [33] J. L. Cepeda Miranda, “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DEL AUTOBÚS FELINE PARA LA EMPRESA CARROCERA MIRAL BUSES.,” 2006.



## ANEXOS

Anexo 1. Diseño de la investigación.

Anexo 2 Matriz de consistencia.

Anexo 3. Extractos de normas: reglamentos 66 de las Naciones Unidas, RTE INEN 1323, RTE INEN 1668.

Anexo 4. Fotografías de pesaje de autobús en bascula.

Anexo 5. Planos de estructura de bus interprovincial.

Anexo 6. Licencia software especializado análisis ANSYS

Anexo 7. Extracto de codificación para simulación de vuelco de sección más crítica de superestructura del autobús.

Anexo 8. Prueba de vuelco de autobús emitida por ente acreditado.

Anexo 9. Planos de plataforma para prueba de vuelco y sección crítica de la estructura del autobús.

Anexo 10. Fotografías de construcción de plataforma para prueba de vuelco y sección crítica de la estructura del autobús, su transporte, ubicación en el sitio del ensayo y desarrollo del Prueba de vuelco físico.

Anexo 11. Calibración de cámara de alta velocidad Chronos 1.4.

Anexo 12 Tabla t student.

## ANEXO 1

### DISEÑO DE LA INVESTIGACION

### DISEÑO DE LA INVESTIGACION

#### CAUSA

- Peso del bus cargado de aproxima a la capacidad de cargad el chasis.
- Invasión del espacio de supervivencia de pasajeros durante un accidente.

**¿En donde?** MIRAL Autobuses

**¿En qué?** En la sección mas critica de la Estructura del Autobús Interprovincial Modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836

**Problema:** Elevado Peso y baja resistencia al Vuelco

#### CONSECUENCIA

- No se aprovecha toda la potencia del motor del chasis.
- Zona de supervivencia de pasajeros invadida por Estructura deformada.

#### APORTE

- Fabricar buses mas livianos y seguros para los parejeros durante un accidente.
- Validar resultados simulados con prueba física del comportamiento real del Autobus

**PROBLEMA:** Fórmula: problema + Causa/Consecuencia/Aporte + En Qué? + En Dónde?

Elevado peso y baja resistencia al Vuelco de la Estructura del Autobús Interprovincial Modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de MIRAL Autobuses

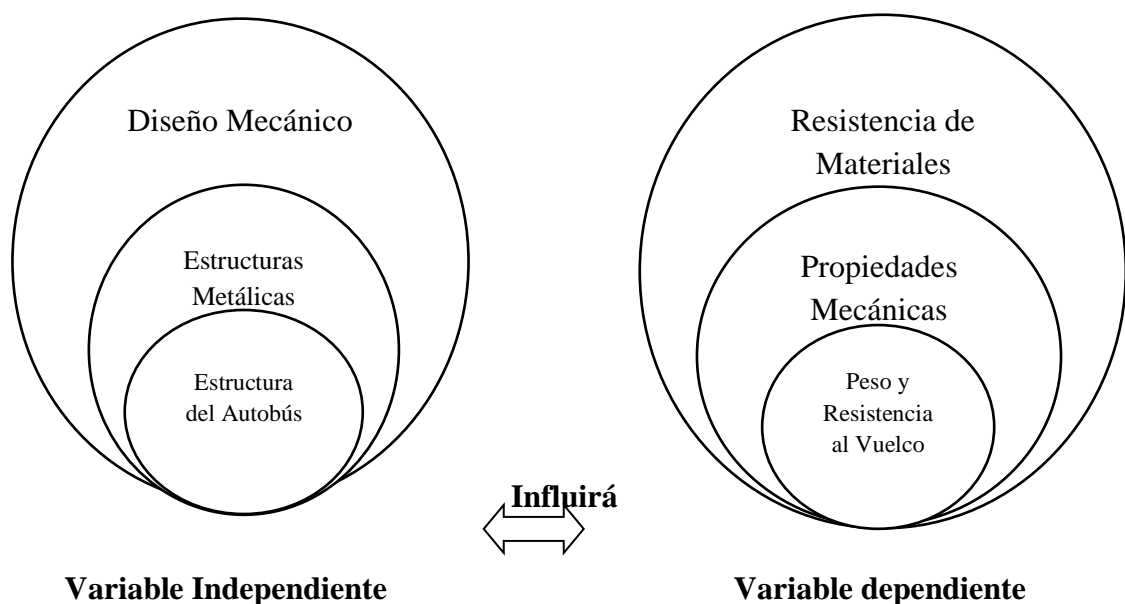
**TEMA:** DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL AUTOBUS INTERPROVINCIAL MODELO iM9 SOBRE CHASIS MERCEDES BENZ 0500 RS 1836 DE MIRAL AUTOBUSES EN BASE A LA SEGURIDAD AL VUELCO

**Variable independiente**

Diseño de la Estructura del Autobús Interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de MIRAL AUTOBUSES.

**Variable dependiente**

Peso y Resistencia al ser sometida a la Prueba de Volteo.



**Preguntas directrices**

- ¿Cuáles son los criterios de diseño de la Estructura del Autobús Interprovincial Modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 que permitan reducir su peso?
- ¿Cuál el Diseño de la Estructura del Autobús Interprovincial Modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 que garantice la zona de supervivencia de pasajeros?

- ¿Cómo se determinará el comportamiento de la estructura del Autobús Interprovincial Modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 garantice su resistencia y no afecte la zona de supervivencia?

## **Objetivos**

### **General**

Diseñar la estructura del Autobús Interprovincial Modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 mediante la aplicación de métodos numéricos para reducir su peso y mejorar su Resistencia a la prueba de vuelco de la sección más crítica del Autobús.

### **Específicos**

- Definir el conjunto de criterios de diseño de la estructura del Autobús Interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 para reducir su peso.
- Diseñar la Estructura del Autobús Interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 modelando la Prueba de Volteo mediante el método de elementos finitos para garantizar la zona de supervivencia de pasajeros.
- Validar el comportamiento de la Estructura del Autobús mediante un Ensayo Físico de Vuelco de la sección más crítica del Autobús Interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836.

## ANEXO 2. MATRIZ DE CONCISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARAIBALES Y SUBVARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA TECNICAS E INTRUMENTOS
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>Variable independiente</b>		<b>Tipo de investigación aplicada</b>
<b>Elevado peso y baja resistencia al Vuelco de la Estructura del Autobús Interprovincial Modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de MIRAL Autobuses</b>	<b>Diseñar la estructura del Autobús Interprovincial Modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 mediante la aplicación de métodos numéricos para reducir su peso y mejorar su Resistencia a la prueba de vuelco de la sección más crítica del Autobús.</b>	<b>Diseño de la Estructura del Autobús Interprovincial modelo iM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de MIRAL AUTOBUSES influirá el peso y su Resistencia al ser sometida a la Prueba de Volteo.</b>	<p>Diseño de la Estructura del Autobús Interprovincial</p> <p><b>D1.</b> Análisis Estructural</p> <p><b>D2</b> Producir una estructura</p> <p><b>Variable dependiente</b></p> <p><b>Peso y Resistencia</b></p> <p><b>D1.</b> Peso de la Estructura</p> <p><b>D2</b> Capacidad de estructura para resistir cargas</p>		<p><b>Técnica</b> Campo Observación</p> <p><b>Población</b> <b>• Modelos de Autobús:</b> iM9 Quantum Evony Feline Plus</p> <p><b>•Tipo de servicio</b> Interprovincial Intraprovincial Intraregional Turismo Escolar</p>

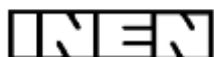
			<p><b>Variable Interviniente</b></p> <p>Estructura del Autobús Interprovincial Modelo IM9 sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836 de MIRAL Autobuses</p>		<p>Urbano Especial</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>Estructura del Modelo iM9 para servicio Interprovincial sobre chasis Mercedes Benz O500 RS 1836</p> <p><b>Instrumento de recolección de datos</b></p> <p>Simulación de estructura</p> <p>Báscula</p> <p>Software especializado para el análisis</p> <p>Tablas comparativas</p> <p>Cámara de alta Velocidad</p> <p>Calibrador (Comparar dimensiones del plano)</p> <p>Flexómetro digital (Comparar dimensiones del plano)</p>
--	--	--	--	--	--

<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECIFICA</b>			
<p>Desconocer los parámetros para realizar el <b>Análisis Estructural</b> del Bus Interprovincial que incidirán en su <b>peso</b></p> <p>No tener claros cuales son los parámetros del <b>Análisis Estructural</b> del Bus Interprovincial que incidirán en su <b>resistencia a la Prueba de Volteo.</b></p> <p>No se define como se <b>producirá la estructura</b> del Autobús que incidirá en el <b>peso y la resistencia</b> l vuelco</p>	<p>Establecer los parámetros para realizar el <b>Análisis Estructural</b> del Bus Interprovincial que incidirán en su <b>peso</b></p> <p>Identificar los parámetros para realizar el <b>Análisis Estructural</b> del Bus Interprovincial que incidirán en su <b>resistencia a la Prueba de Volteo</b></p> <p>Definir como se <b>producirá la estructura</b> del Autobús que incidirá en el <b>peso y la capacidad de resistir cargas</b> de la prueba de Volteo</p>	<p>Estableciendo los parámetros para realizar el <b>análisis Estructural</b> se reducirá su <b>peso.</b></p> <p>Conociendo los parámetros para realizar el <b>Análisis Estructural</b> se mejorará su <b>capacidad para resistir cargas</b> durante la Prueba de Volteo.</p> <p>Mediante un diseño adecuado se <b>producirá la estructura</b> del Autobús que reducirá su <b>peso</b> y mejorará su</p>			

<p>No se verifica físicamente la <b>estructura producida</b> para observar su <b>capacidad de resistir cargas</b></p>	<p>Verificar el diseño de la <b>estructura producida</b> mediante una prueba física para observar su <b>capacidad de resistir cargas</b></p>	<p><b>capacidad de resistir cargas</b></p> <p>Mediante la prueba de vuelco física de la <b>estructura producida</b> se podrá verificar el comportamiento de la estructura mediante su <b>capacidad de resistir cargas</b></p>			
---	--	---	--	--	--



# **NORMAS APLICABLES**



# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 1323:2009**  
**Primera revisión**

---

---

## **VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS.**

**Primera Edición**

ROAD VEHICLES. BUS BODIES. REQUIREMENTS

First Edition

DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, buses, requisitos  
MC 01.01-401  
CDU: 629.11.011.6  
~~CIU: 3843~~  
ICS: 43.020.60

---

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<b>VEHÍCULOS AUTOMOTORES CARROCERIAS DE BUSES REQUISITOS</b>	<b>NTE INEN 1323:2009</b> Primera Revisión <b>2009-02</b>
---	--	---

## 1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades.

## 2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a todas las carrocerías de buses, sean importadas o de construcción nacional. (Ver nota 1).

2.2 Esta norma incluye a las carrocerías que son parte de los chasis carrozados importados y carrocerías autoportantes

## 3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de la presente NTE INEN se adoptan las definiciones establecidas en las NTE INEN ISO 3833 vigente, NTE INEN 1 155 vigente, y las que a continuación se detallan:

3.1.1 *Carga de aceleración brusca* ( $A_b$ ). Corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo.

3.1.2 *Carga de frenado* (F). Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo.

3.1.3 *Carga de giro* (G). Corresponde a la fuerza producida por el giro de un vehículo.

3.1.4 *Carga por Resistencia del Aire frontal* ( $R_{af}$ ). Corresponde a la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal.

3.1.5 *Carga muerta* (M). Corresponde al peso total de la carrocería en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes; es decir, la carrocería terminada con todos sus accesorios.

3.1.6 *Carga viva* (V). Corresponde a la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería.

3.1.7 *Carrocería*. Conjunto de estructura, elementos de seguridad y confort que se adiciona al chasis de forma fija, para el transporte de personas.

3.1.8 *Carrocería autoportante*. Aquella que en su diseño conforma el bastidor e incluye en su estructura los anclajes necesarios para el equipo mecánico y eléctrico.

3.1.9 *Bastidor o chasis*. Constituye el soporte de todos los órganos principales del vehículo (motor, transmisión, suspensión sobre la que se apoya, dirección, ruedas, frenos).

3.1.10 *Espacio de supervivencia*. Es el volumen que se obtiene en el compartimento de ocupantes, desplazando en línea recta el plano vertical y transversal indicado en la figura 1, de manera que se pase el punto  $S_R$  de la figura 2 desde el punto  $S_R$  del último asiento exterior a través del punto  $S_R$  de cada asiento exterior intermedio hasta el punto  $S_R$  del primer asiento exterior del ocupante.

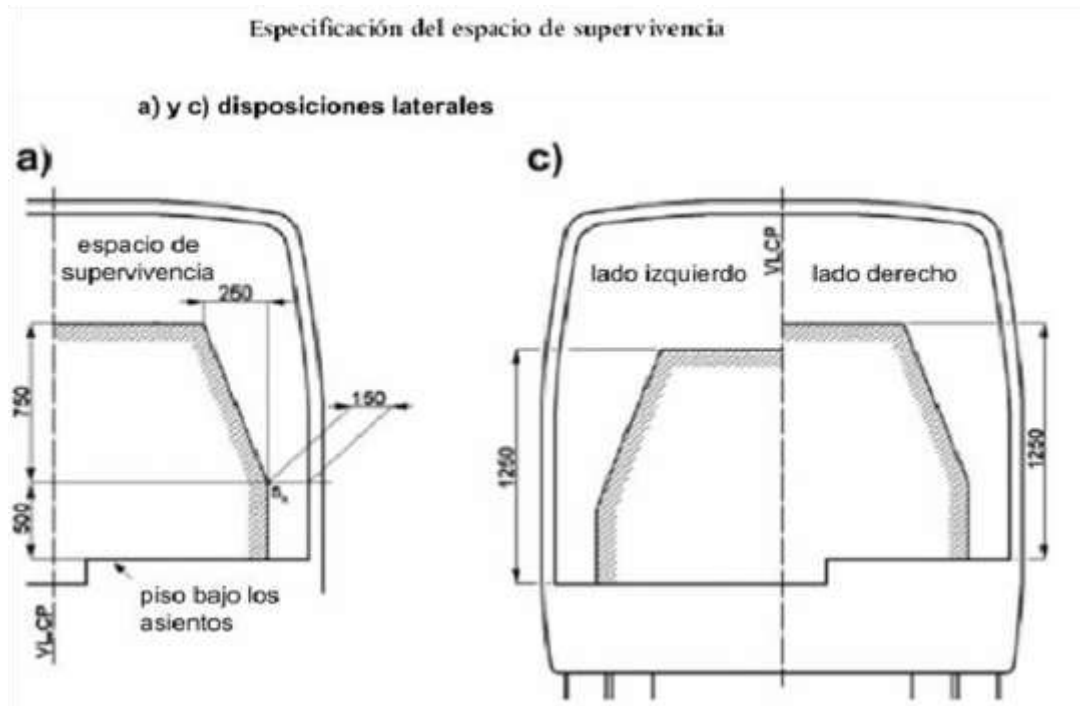
---

NOTA 1.- La definición de buses de acuerdo a la NTE INEN ISO 3833 vigente.

(Continua)

DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, buses, requisitos

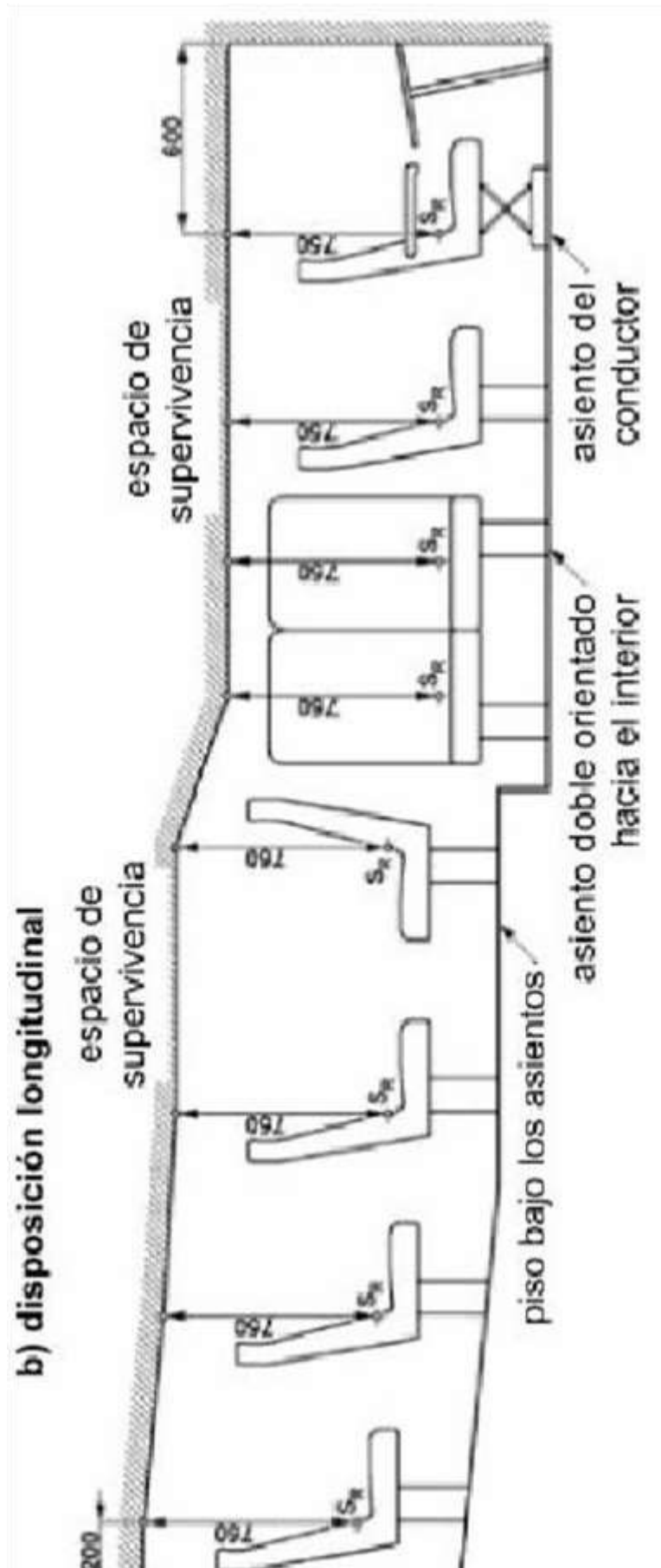
FIGURA 1. Vista transversal del espacio de supervivencia. (Ver nota 2)



NOTA 2. El objetivo de las figuras 1 y 2 es indicar las dimensiones en milímetros del espacio de supervivencia. Las figuras 1 y 2 no están relacionadas con una forma geométrica o distribución de asientos específica en las carrocerías.

(Continúa)

FIGURA 2 Vista longitudinal del espacio de supervivencia



**3.1.11** Peso máximo admisible para el chasis. Conocida también como capacidad de carga. Es la carga útil máxima emitida para la cual fue diseñado el vehículo. Este valor es proporcionado por el fabricante del chasis.

#### **4. DISPOSICIONES GENERALES**

**4.1** Consideraciones de diseño de la carrocería. Se debe considerar lo siguiente:

**4.1.1** Las especificaciones del chasis, lo cual incluye:

- Tipo de Servicio de la carrocería.
- Peso bruto vehicular (PBV).
- Capacidad de carga de los ejes.
- Peso del chasis en vacío o tara, total y por ejes.
- Relación peso/potencia.

**4.1.2** La estabilidad, lo cual incluye:

- Distribución de masa
- Altura del centro de gravedad
- Dimensiones de la carrocería
- Rigidez de suspensión.
- Capacidad de inclinación (rolido).

**4.1.3** El confort, lo cual incluye:

- Aislamiento acústico y térmico.
- Ventilación.
- Hermeticidad.
- Ergonomía.

**4.1.4** El mantenimiento, lo cual incluye:

- Accesibilidad a los elementos del vehículo.

**4.1.5** La seguridad, lo cual incluye:

- Seguridad activa y pasiva.

**4.1.6** Método de anclaje y montaje, lo cual incluye:

- Disposiciones y recomendaciones del fabricante del chasis (manual de carrozado).

**4.1.7** Estructura, lo cual incluye:

- Materiales metálicos y no metálicos.
- Uniones y juntas.
- Tratamientos de materiales.
- Geometría.
- Resistencia estructural.

## 5. REQUISITOS

### 5.1 Estructura de las carrocerías de buses

**5.1.1 Cargas de Diseño.** Para el análisis cuasi estático de la estructura de la carrocería se aplicarán las cargas especificadas en el presente numeral.

**5.1.1.1 Cargas vivas.** Se determinarán de acuerdo con la tabla 1.

**TABLA 1. Cargas vivas de diseño.**

TIPO DE SERVICIO (ver nota 3)	MASA DE UN OCUPANTE (kg)	MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE DE MANO POR PASAJERO (kg)	MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE A TRANSPORTARSE EN BODEGAS PORTA EQUIPAJES (kg) (ver nota 4)	ESPACIO NECESARIO POR PASAJERO DE PIE (m <sup>2</sup> )
Urbano	70	-	-	0,16
Urbano (escolar e institucional)	70	-	-	Sin pasajeros de pie
Interurbano (Intraprovincial)	70	5	100 x Vol	0,16
Larga Distancia (Interprovincial y turismo)	70	5	100 x Vol	Sin pasajeros de pie

**5.1.1.2 Carga de Giro (G).** Debe calcularse en función de la fuerza centrífuga que se genera al ingresar el vehículo en una curva de determinado radio de giro y a cierta velocidad. Esta fuerza centrífuga deberá ser inferior a la fuerza de vuelco, calculada sobre la base del peso total del bus a plena carga y su centro de gravedad. La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 km/h y el radio de giro se establece en función de la tabla 2.

**TABLA 2.- Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera. (Ver Nota 5)**

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)	
80	250	8	
85	300		
90	350		
95	400		
100	450		
105	500		
110	550		
115	600		
120	700		
125	800		7,51
130	900		6,97
135	1050	6,25	
140	1250	5,49	
145	1475	4,84	
150	1725	4,29	

NOTA 3.- De acuerdo a la NTE INEN ISO 3833 vigente y al Reglamento de la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre vigente.

NOTA 4.- Vol.- Volumen de las bodegas portaequipajes en m<sup>3</sup>



**5.1.1.3** Carga de frenado (F). Se asume una desaceleración mayor o igual a 4 m/s<sup>2</sup> (ver Nota 6).

**5.1.1.4** Carga de aceleración brusca (A<sub>b</sub>). Se calcula con el mismo criterio de la carga de frenado pero en sentido contrario.

**5.1.1.5** Carga por resistencia del aire frontal (R<sub>af</sub>). Se la aplicará como la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal. Se utilizará la siguiente fórmula:

$$R_{af} = (1/2) \times (C_x) \times \rho \times A_f \times V^2$$

Donde:

R<sub>af</sub> = Carga por resistencia Aerodinámica, en (N).

ρ = Densidad del aire, en (kg/m<sup>3</sup>).

V = Velocidad del aire, en (m/s). (Como mínimo 25 m/s).

A<sub>f</sub> = Área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal, en (m<sup>2</sup>).

C<sub>x</sub> = Coeficiente de resistencia frontal del aire. (Como mínimo 0.7)

**5.1.2** *Combinaciones de cargas básicas.* Las estructuras de las carrocerías deben ser diseñadas de tal manera que resistan los esfuerzos determinados en base al menos a las siguientes combinaciones de cargas básicas:

**5.1.2.1** Según método ASD (Allowable strength design)

1: M

2: M + V

3: M + V + G

4: M + V + F

5: M + V + F + R<sub>af</sub>

6: M + V + R<sub>af</sub>

7: M + V + A<sub>b</sub>

8: M + V + A<sub>b</sub> + R<sub>af</sub>

**5.1.2.2** Según método LRFD (Load resistance factor design)

1: 1,4M+V

2: 1,2M + 1,6V + 0,5G

3: 1,2M + 0,5V + 1,6G

4: 1,2M + 1,6F+ 0,8 R<sub>af</sub>

5: 1,2M + 0,5 V+ 0,5F+ 1,3R<sub>af</sub>

6: 1,2M +1,5A<sub>b</sub>+0,5V

7: 0,9M – 1,3R<sub>af</sub>

8: 0,9M + 1,3R<sub>af</sub>

**5.1.3** *Factores.* Los factores a utilizarse según el método ASD o LRFD serán los indicados en: Specification for Structural Steel Buildings (AISC) y North American Specification for the design of Cold Formed Steel-Structural Members (AISII).

**5.1.4** Las cargas combinadas, según los dos métodos (ASD y LRFD), deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores a 1/240 veces su longitud.

NOTA 6. De acuerdo con el Ensayo del Tipo 0 con motor embragado para vehículos clase N de la DIRECTIVA 98/12/CE DE LA COMISIÓN EUROPEA, Anexo 2, Ensayos de frenado y rendimiento de los dispositivos de frenado.

**5.1.5 Resistencia de la estructura.** Las estructuras de carrocerías deberán cumplir las siguientes condiciones:

**5.1.5.1** Debe resistir una carga estática sobre el techo, equivalente al cincuenta por ciento (50%) del peso máximo admisible para el chasis, distribuido uniformemente a lo largo del mismo, sin experimentar deformaciones en ningún punto, que superen los setenta milímetros (70 mm).

**5.1.5.2** Durante el ensayo de resistencia de la estructura o ni una vez finalizado el mismo, la estructura de la carrocería debe resistir para que el espacio de supervivencia no resulte invadido según el alcance del documento Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure de las Naciones Unidas. (Ver Nota 7)

**5.1.6 Materiales de la estructura.** Deben ser perfiles estructurales protegidos contra la corrosión que cumplan con las NTE INEN correspondientes vigentes. (Ver nota 8).

**5.1.7 Soldadura de carrocerías.** Las carrocerías de buses deben soldarse de acuerdo con las normas vigentes AWS D8.8 para componentes de acero y/o AWS D8.14 para componentes de aluminio.

**5.1.7.1** El proceso y procedimiento de soldadura será calificado de acuerdo con las normas vigentes AWS D1.3 para acero, AWS D1.2 para aluminio y AWS D1.6 para acero inoxidable.

**5.1.8 Manuales.** El fabricante de carrocerías debe disponer y aplicar la información indicada en los manuales de fabricación y montaje de carrocerías provistos por el fabricante de chasis. Para ello el fabricante de chasis debe entregar obligatoriamente dichos manuales específicos para cada modelo de chasis.

**5.2 Unión chasis-carrocería.** Las uniones entre el chasis y la carrocería se realizarán siguiendo exclusivamente las recomendaciones del fabricante del chasis para bus de transporte de pasajeros, indicadas en su manual de fabricación y montaje de carrocerías de buses.

**5.3 Documentos técnicos.** El proveedor de carrocerías debe disponer de memorias de cálculo estructural, listado de materiales, planos de construcción dimensionales, eléctricos, y neumáticos; para cada modelo de carrocería y chasis. El formato de los planos debe cumplir con el CPE INEN 03 Código de Dibujo Técnico-Mecánico.

**5.4 Vidrios de seguridad.** Los vidrios deben cumplir con la NTE INEN 1669 vigente y con el RTE INEN 034 Elementos de Seguridad en vehículos automotores vigente.

**5.5 Elementos de seguridad.** Las carrocerías de buses deben cumplir con el RTE INEN 034 Elementos de Seguridad en vehículos automotores vigente.

**5.6** Los dispositivos de alumbrado, espejos retrovisores y señalización luminosa deben cumplir con la NTE INEN 1 155 vigente y con el RTE INEN 034 Elementos de Seguridad en vehículos automotores vigente.

## **5.7 Otros Requisitos**

**5.7.1 Superficies de pisos y áreas de entrada y salida.** Deben ser de material antideslizante.

**5.7.2 Equipo e instalación eléctrica.** Deben cumplir con lo indicado en el numeral 7.5.2 y 7.5.3 de la Directiva Europea 2001/85 CE (ver anexo A).

**5.7.3 Pintura.** Debe cumplir con las NTE INEN correspondientes vigentes (ver nota 8).

---

NOTA 7. Mientras no exista un documento normativo INEN equivalente

NOTA 8. En el caso de no existir Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN se deben utilizar las normas o reglamentos equivalentes de reconocido prestigio, tales como: ASTM, DIN, JIS, ANSI.

(Continúa)

**5.7.4 Aislamiento térmico y acústico.** Debe cumplir con lo indicado en el numeral 7.5.1 de la Directiva Europea 2001/85 CE (ver Anexo A).

**5.7.5 Flamabilidad de materiales.** Retardante al fuego con un índice de llama no menor de 150 bajo la norma ASTM E 162 o un máximo de 250 mm/min según la norma ISO 3795.

**5.7.6 Sujeción de Parabrisas.** Debe cumplir con lo dispuesto en el documento normativo FMVSS 212 vigente.

**5.7.7** Los materiales del piso, la perfilera de las ventanas y de las puertas deben cumplir con las NTE INEN vigentes (ver Nota 8).

**5.7.8** Los sistemas eléctricos y neumáticos deben estar ocultos (ver Anexo A).

**5.7.9 Salidas de emergencia.** El número mínimo de salidas de emergencia será de acuerdo a la tabla 3.

**TABLA 3. Número mínimo de salidas de emergencia**

<b>Número de pasajeros</b>	<b>Número total mínimo de salidas de emergencia</b>
17-30	4
31-45	5
46-60	6
61-75	7
76-90	8
Mayor a 90	9

## **6. ENSAYOS**

**6.1** Los ensayos serán los indicados en la presente norma.

### **6.2 Métodos de ensayo de resistencia de la estructura.**

La estructura del bus se ensayará por cualquiera de los métodos de ensayo contemplados en el numeral 6 del documento Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure, de las Naciones Unidas.

## **7. ROTULADO**

**7.1** Las carrocerías deben disponer de una placa inalterable de identificación, con fines de rastreo, de fácil acceso, visible, legible y debe disponer de al menos la siguiente información:

- Nombre de la empresa fabricante de la carrocería.
- Número de certificado de evaluación de la conformidad de la estructura (NCE).
- Capacidad de pasajeros.
- Fecha de la fabricación (de finalización) (MM/AAAA).
- Número de producción (seis dígitos alfanuméricos).
- Número de chasis (VIN)
- País de origen de la carrocería.

Tamaño mínimo de la placa: 148,5 mm de largo  
105 mm de ancho (formato A6).

**7.2** El fabricante será responsable de marcar el número de producción indeleblemente en al menos dos lugares de la carrocería.

## ANEXO A

Texto de los numerales 7.5.1, 7.5.2 y 7.5.3 de la Directiva 2001/85/CE.

### **7.5.1** *Compartimento del motor*

**7.5.1.1** En el compartimento del motor no se utilizará ningún material de isonización inflamable o susceptible de impregnarse de combustible o lubricante, salvo que dicho material esté recubierto de un revestimiento impermeable.

**7.5.1.2** Se adoptarán las debidas precauciones, ya sea configurando de forma adecuada el compartimento del motor, ya sea disponiendo orificios de drenaje, para evitar en la medida de lo posible que pueda acumularse combustible o aceite lubricante en alguna parte del compartimento del motor.

**7.5.1.3** Entre el compartimento del motor o cualquier otra fuente de calor (como un dispositivo destinado a absorber la energía liberada cuando un vehículo desciende por una larga pendiente, por ejemplo un ralentizador, o un dispositivo utilizado como calefactor del habitáculo, exceptuando sin embargo, los que funcionan por circulación de agua caliente) y el resto del vehículo, deberá colocarse una pantalla de separación resistente al calor. Todas las mordazas, juntas, etc. utilizadas en unión con dicha pantalla de separación deberán ser resistentes al fuego.

**7.5.1.4** Podrá instalarse en el compartimento de viajeros un dispositivo calefactor que funcione por un método distinto del de circulación de agua caliente, siempre que este rodeado de material que resista las temperaturas que produzca el dispositivo, no emita gases tóxicos y esté situado de forma que los viajeros no puedan entrar en contacto con una superficie caliente.

### **7.5.2** *Equipo e instalación eléctricos*

**7.5.2.1** Todos los cables deben estar bien aislados y todos los cables y material eléctrico deben resistir las condiciones de temperatura y humedad a las que están expuestos. En cuanto al compartimento del motor, se prestará especial atención a su resistencia a la temperatura ambiente y a los efectos de todos los posibles productos contaminantes.

**7.5.2.2** Ninguno de los cables utilizados en los circuitos eléctricos deben transmitir una corriente de intensidad superior a la admisible para el cable en cuestión. Habida cuenta de su forma de montaje y de la temperatura ambiente máxima.

**7.5.2.3** Cada circuito eléctrico que alimente un elemento del sistema distinto del motor de arranque, el circuito de encendido ( encendido por chispa), las bujías de incandescencia, el dispositivo de parada del motor, el circuito de carga y la conexión a tierra de la batería, deben estar provisto de un fusible o de un disyuntor. No obstante, podrán ir protegidos por un fusible o un disyuntor comunes, siempre que su potencia nominal no sobrepase los 16 A.

**7.5.2.4** Todos los cables deben ir bien protegidos y firmemente fijados, de manera que no puedan ser dañados por cortes, abrasiones o roces.

**7.5.2.5** Cuando la tensión eficaz supere los 100 voltios en uno o más de los circuitos eléctricos de un vehículo, se conectará un conmutador manual de aislamiento, capaz de desconectar dichos circuitos de la alimentación eléctrica principal, a todos los polos que no vayan conectados eléctricamente a tierra, situándolo en el interior del vehículo de modo que el conductor pueda acceder fácilmente a él, todo ello, siempre que dicho conmutador de aislamiento no pueda desconectar ninguno de los circuitos eléctricos que alimentan las luces exteriores obligatorias del vehículo. No obstante esto no será aplicable cuando se trate de circuitos de encendido de alta tensión o de circuitos autónomos incorporados a un elemento de equipo en el vehículo.

**7.5.2.6** Todos los cables eléctricos deben estar colocados de tal forma que ninguna parte de los mismos pueda entrar en contacto con ningún tubo de carga de combustible ni con ninguna parte del sistema de escape, ni pueda estar sometida a calor excesivo, a menos que vayan provistos de aislamiento y protección especial, por ejemplo en el caso de una válvula de escape solenoide.

### **7.5.3** *Baterías*

**7.5.3.1** Todas las baterías deben estar sólidamente fijadas y fácilmente accesibles.

**7.5.3.2** El compartimento de las baterías estará separado del habitáculo destinado a los viajeros y del habitáculo del conductor y contará con ventilación por aire del exterior.

**7.5.3.3** Los polos de la batería irán provistos de protección contra el riesgo de cortocircuito.

## APENDICE Z

### Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 03:1989  
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1155:2008

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1669:1990

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 3833:2008

Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE 034:2008

Reglamento a la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre.

ASTM E 162 Standard Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Energy Source.

AWS D1.2 Structural Welding Code- Aluminium.

AWS D1.3 Structural Welding Code- Sheet Steel.

AWS D1.6 Structural Welding Code- Stainless Steel.

AWS D8.8M. Specification for Automotive weld quality-Arc Welding of Steel.

AWS D8.14M/D8.14. Specification for automotive and light truck components weld quality aluminium arc welding.

Directiva Europea: Directiva 98/12/CE de la Comisión del 27 de enero de 1998 por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 71/320/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los dispositivos de frenado de determinadas categorías de vehículos a motor y sus remolques.

Directiva Europea: Directiva 2001/85/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 20 de noviembre del 2001, relativa a las disposiciones especiales aplicables a los vehículos utilizados para el transporte de viajeros con más de ocho plazas además del asiento del conductor, y por la que se modifican las Directivas 70/156/CEE y 97/27/CE.

FMVSS 212. Federal Motors Vehicles Safety Standard 212. Windshield Mounting.

ISO 3795. Road Vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry. Determination of burning behaviour of interior materials.

Norma 3.1-IC: *Trazado*. O.M. de 27 de diciembre de 1999. Boletín Oficial del Estado, número 28, de 2 de febrero de 2000. MINISTERIO DE FOMENTO (2000) Madrid.

Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure

Specification for Structural Steel Buildings. American Institute Steel Construction.

North American Specification for the design of Cold Formed Steel-Structural Members. American Iron and Steel Institute.

### Z.2 BASES DE ESTUDIO

Regulation 36. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to their General Construction.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

<b>Documento:</b> NTE INEN 1323 Primera Revisión	<b>TÍTULO: VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS</b>	<b>Código:</b> MC 01.01-401
--	--	--------------------------------

<b>ORIGINAL:</b>  Fecha de iniciación del estudio: 2007-06	<b>REVISIÓN:</b>  Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo 1985-07-05 Oficialización con el Carácter de Obligatoria Por Acuerdo No. 545 de 1985-07-31 publicado en el Registro Oficial No. 260(s) de 1985-08-29  Fecha de iniciación del estudio: 2007-06
--	--

Fechas de consulta pública: de \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_

Subcomité Técnico: Carrocerías de buses  
 Fecha de iniciación: 2008-04-22  
 Integrantes del Subcomité Técnico:

Fecha de aprobación: 2008-07-15

**NOMBRES:**

**INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**

Ing. Alexis Ortiz, (Presidente)  
 Ing. Christian Villacrés  
 Ing. Santiago Mena  
 Sr. Luis A. Mosquera T.  
 Sr. Pedro Santos

CIMEPI  
 IBIMCO  
 CIMEPI  
 IMETAM C.A  
 COOPERATIVA ARTESANAL DE  
 PRODUCCIÓN DE CARROCERIAS  
 METALICAS TUNGURAHUA-IMPEDSA.  
 ARTESANOS  
 SIKA ECUATORIANA SA  
 AUTECH S.A.  
 EPN-CCICEV  
 SERMAN  
 CINAIE  
 I. MUNICIPIO DE LOJA- UMTTT-L  
 CEPEDA CIA LTDA  
 AEADE  
 METROVIA  
 DIRECCIÓN NACIONAL DE TRÁNSITO  
 METÁLICAS PAPER'S  
 ESPE  
 LA CASA DEL PARABRISAS Y VIDRIERIA J.S  
 ALUVID VENTANAS  
 CHARLIE AUTOGLASS- CRISETSA  
 UMT-CUENCA  
 DIRECCION NACIONAL DE TRANSITO Y  
 TRANSPORTE TERRESTRE  
 ATTE  
 PICOSA-CANFAC  
 CIMEG-COLEGIO DE ING. MEC. DEL GUAYAS  
 DINA-VOLKSWAGEN  
 COVIAL  
 FAIRIS C.A.  
 CORPAIRE  
 CÁMARA DE TRANSPORTE – TRANSPORTES  
 SAN CRISTOBAL  
 GLASSUIT LOJA  
 D.N.T.  
 CARROCERIAS PILLAPA  
 STARMOTORS

Sr. Raúl Ruiz Dueñas  
 Sr. Johnny Lowndes  
 Ing. Ángel Portilla  
 Sr. Carlos Jácome  
 Sr. Iván Paredes  
 Ing. Lenin Jimenez  
 Sr. Medardo Cepeda  
 Sr. Ricardo Medina  
 Ing. James Casteline  
 Arq. Vinicio Manzano  
 Sr. Luis Patricio Pérez  
 Sr. Robert Velasco  
 Sr. Jorge Enrique Salgado.  
 Sr. Carlos Laniano  
 Sr. Raúl Morales  
 Ing. Pedro Cabrera  
 Sbte. Luis Palacios  
  
 Sr. Jorge Ledesma  
 Sr. Bladimir Pico  
 Ing. Luigi M. Lertora Velarde  
 Sr. Rubén Román  
 Sr. Francisco Borja  
 Sr. Moisés Flores  
 Ing. Jorge Álvarez  
 Sr. Vicente Chávez  
  
 Sr. Carlos Carchi  
 Ing. Jorge Cevallos  
 Sr. Carlos Pillapa  
 Ing. José Sánchez López

Ing. Marco Grijalva  
Ing. Víctor Paredes

Ing. Elizabeth Guamán  
Sr. Francisco Velasco  
Lcda. Piedad Aguilar  
Ing. Geovany Novillo A

Sr. Clemente Ponce  
Sr. Víctor Jimenez  
Ing. Flavio Cotacachi

Ing. Patricio Lara  
Sr. Marco García

Ing. Pablo Viteri  
Ing. Alvaro Meza  
Srta. Myriam Salgado  
Ing. Santiago Benavides  
Ing. John A. Quintana I.  
Ing. Diego Dávila  
Dr. Freddy Sánchez  
Ing. Santiago Vargas  
Ing. Carlos Landires

Ing. Galo Espín  
Ing. Ángel Tierra

Sr. Julio Llerena  
Ing. Santiago Montero  
Ing. José Miranda  
Ing. Santiago Moya  
Sra. América Núñez  
Ing. Antonio Chamorro  
Sr. Marcelo Valencia r  
Tlgo. Daniel Mosquera  
Ing. Juan Revelo  
Sr. Damián Llerena  
Ing. Hugo Paredes, (Secretario Técnico)

GM OBB  
MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS  
PÚBLICAS  
CCICEV  
MOVIMIENTO JUSTICIA VIAL  
CANFAC  
ESPOCH- FACULTAD INGENIERIA.  
MECÁNICA-  
AEADE  
COVIAL  
CONSEJO NACIONAL DE TRANSITO Y  
TRANSPORTE TERRESTRE  
CCICEV  
ATTE ASOCIACIÓN TRANSPORTE  
TURÍSTICO DEL ECUADOR  
NEOHYUNDAI  
CARROCERIAS PATRICIO CEPEDA  
LA CASA DEL PARABRISAS CIMEPI  
CIMEG  
ANETA  
POLISAN  
VARMA S.A.  
COLEGIO DE INGENIEROS MECANICOS DEL  
GUAYAS-CIMEG  
CRILAMIT S.A.  
ESPOCH-FACULTAD DE INGENIERIA  
MECANICA  
CARROCERIAS JC LLERENA  
SIKA  
MIRAL  
PICOSA  
CARROCERIAS CUENCA  
EMSAT  
DINA S.A.  
IMETAM  
ROOFTEC ECUADOR S.A.  
CARROCERIAS JC LLERENA  
INEN

---

Otros trámites: Esta NTE INEN 1323:2009 (Primera revisión), reemplaza a la NTE INEN 1323:1985.

♦<sup>10</sup> Esta norma sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA** a **VOLUNTARIA**, según Resolución Ministerial y oficializada mediante Resolución No. 14158 de 2014-04-21, publicado en el Registro Oficial No. 239 del 2014-05-06.

---

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2008-11-28

---

Oficializada como: Obligatoria  
Registro Oficial No. 519 de 2009-02-02

---

Por Resolución No. 142-2009 de 2009-01-29

---

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre  
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2  
567815**

**Dirección General: E-  
Mail: [furresta@inen.gov.ec](mailto:furresta@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Normalización: E-  
Mail: [normalizacion@inen.gov.ec](mailto:normalizacion@inen.gov.ec) Área Técnica de  
Certificación: E-Mail: [certificacion@inen.gov.ec](mailto:certificacion@inen.gov.ec) Área Técnica  
de Verificación: E-Mail: [verificacion@inen.gov.ec](mailto:verificacion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-  
Mail: [inencati@inen.gov.ec](mailto:inencati@inen.gov.ec)  
Regional Guayas: E-Mail: [inenguayas@inen.gov.ec](mailto:inenguayas@inen.gov.ec)  
Regional Azuay: E-Mail: [inencuenca@inen.gov.ec](mailto:inencuenca@inen.gov.ec)  
Regional Chimborazo: E-  
Mail: [inenriobamba@inen.gov.ec](mailto:inenriobamba@inen.gov.ec) URL:**



## II

(Actos no legislativos)

## ACTOS ADOPTADOS POR ÓRGANOS CREADOS MEDIANTE ACUERDOS INTERNACIONALES

Solo los textos CEPE originales tienen efecto jurídico en el marco del Derecho internacional público. La situación y la fecha de entrada en vigor del presente Reglamento deben consultarse en la última versión del documento de situación CEPE TRANS/WP.29/343, disponible en: <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdoosts.html>

### **Reglamento n° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) — Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respecta a la resistencia de su superestructura**

Incluye todo el texto válido hasta:

La serie 02 de modificaciones, con fecha de entrada en vigor el 19 de agosto de 2010.

#### ÍNDICE

##### REGLAMENTO

1. *Ámbito de aplicación*
2. *Términos y definiciones*
3. *Solicitud de homologación*
4. *Homologación*
5. *Especificaciones y requisitos generales*
6. *Modificación y extensión de la homologación de un tipo de vehículo*
7. *Conformidad de la producción*
8. *Sanciones por no conformidad de la producción*
9. *Cese definitivo de la producción*
10. *Disposiciones transitorias*
11. *Nombres y direcciones de los servicios técnicos responsables de realizar los ensayos de homologación, y de los departamentos administrativos*

##### ANEXOS

- Anexo 1 — *Comunicación relativa a un tipo de vehículo en lo que concierne a la resistencia de su superestructura, con arreglo al Reglamento n° 66*
- Anexo 2 — *Ejemplo de marca de homologación*
- Anexo 3 — *Determinación del centro de gravedad del vehículo*
- Anexo 4 — *Perspectivas de la descripción estructural de la superestructura*
- Anexo 5 — *Ensayo de vuelco como método básico de homologación*

- Anexo 6 — Ensayo de vuelco utilizando secciones de la carrocería como método de homologación equivalente
- Anexo 7 — Ensayo de carga cuasiestática de secciones de la carrocería como método de homologación equivalente
- Apéndice — Determinación del movimiento vertical del centro de gravedad durante el vuelco
- Anexo 8 — Cálculo cuasiestático basado en el ensayo de componentes como método de homologación equivalente
- Apéndice — Características de las bisagras plásticas
- Anexo 9 — Simulación por ordenador del ensayo de vuelco de un vehículo completo como método de homologación equivalente

## 1. ÁMBITO DE APLICACIÓN

- 1.1. El presente Reglamento se aplica a los vehículos de un solo piso, rígidos o articulados, pertenecientes a la categoría  $M_2$  o  $M_3$ , a la clase II o III o a la clase B, para más de 16 viajeros<sup>(1)</sup>.
- 1.2. A petición del fabricante, el presente Reglamento también podrá aplicarse a cualquier otro vehículo perteneciente a la categoría  $M_2$  o  $M_3$  que no se incluya en el apartado 1.1.

## 2. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

A los efectos del presente Reglamento, se utilizarán los siguientes términos y definiciones:

### 2.1. Unidades de medida

Las unidades de medida serán las siguientes:

Dimensiones y distancias lineales: metros (m) o milímetros (mm)

Masa o carga: kilogramos (kg)

Fuerza (y peso): newtons (N)

Momento: newton-metros (Nm)

Energía: julios (J)

Constante gravitacional: 9,81 (m/s<sup>2</sup>)

- 2.2. Se entenderá por «vehículo» el autobús o autocar diseñado y equipado para el transporte de viajeros. El vehículo es una representación individual de un tipo de vehículo.
- 2.3. Se entenderá por «tipo de vehículo» la categoría de vehículos fabricados con la misma especificación técnica de diseño, las mismas dimensiones principales y la misma disposición de construcción. El tipo de vehículo vendrá definido por el fabricante del vehículo.
- 2.4. Se entenderá por «grupo de tipos de vehículo» los tipos de vehículo, actuales y futuros, que estén incluidos en la homologación del peor caso, en relación con el presente Reglamento.
- 2.5. Se entenderá por «vehículo de dos pisos» el vehículo en el que los espacios destinados a viajeros estén situados, al menos en una parte, en dos niveles superpuestos y en cuyo piso superior no haya espacios para viajar de pie.
- 2.6. Se entenderá por «el peor caso» el tipo de vehículo, dentro de un grupo de tipos de vehículo, que tenga menos probabilidades de cumplir los requisitos del presente Reglamento por lo que respecta a la resistencia de su superestructura. Los tres parámetros que definen el peor caso son: la resistencia estructural, la energía de referencia y el espacio de supervivencia.

<sup>(1)</sup> Con arreglo a la definición del anexo 7 de la Resolución consolidada sobre la construcción de vehículos (R.E.3) (documento TRANS/WP.29/78/Rev.1/Amend. 2, modificado en último lugar por la serie 4 de modificaciones).

## ANEXO 3

## DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD DEL VEHÍCULO

## 1. Principios generales

- 1.1. La energía de referencia y la energía total que van a ser absorbidas en el ensayo de vuelco dependen directamente de la posición del centro de gravedad del vehículo. Por tanto, su determinación debería ser lo más precisa posible. El servicio técnico registrará para su evaluación el método de medición de las dimensiones, los ángulos y los valores de carga, así como la precisión de las mediciones. Es necesario que los equipos de medición ofrezcan la precisión siguiente:

- para mediciones inferiores a 2 000 mm, precisión de  $\pm 1$  mm
- para mediciones superiores a 2 000 mm, precisión de  $\pm 0,05$  %
- para ángulos medidos, precisión de  $\pm 1$  %
- para valores de carga medidos, precisión de  $\pm 0,2$  %

La distancia entre ejes y la distancia entre los centros del dibujo de la rueda o ruedas en cada eje (la vía de cada eje) se determinará a partir de los dibujos del fabricante.

- 1.2. El bloqueo de la suspensión se especifica como la condición para determinar el centro de gravedad y llevar a cabo el ensayo real de vuelco. La suspensión se bloqueará en la posición de funcionamiento normal definida por el fabricante.

- 1.3. La posición del centro de gravedad se define mediante tres parámetros:

1.3.1. distancia longitudinal ( $l_1$ ), desde la línea central del eje frontal;

1.3.2. distancia transversal ( $t$ ), desde el plano central longitudinal vertical del vehículo;

1.3.3. altura vertical ( $h_0$ ), por encima del nivel del suelo plano horizontal cuando los neumáticos están inflados con arreglo a lo especificado para el vehículo.

- 1.4. Aquí se describe un método para determinar  $l_1$ ,  $t$  y  $h_0$  utilizando células de carga. El fabricante podrá proponer al servicio técnico métodos alternativos que utilicen equipos de levantamiento o plataformas de basculamiento, por ejemplo, y el servicio técnico decidirá si el método es aceptable en función de su grado de precisión.

- 1.5. La posición del centro de gravedad del vehículo sin carga (masa en orden de marcha  $M_k$ ) se determinará mediante mediciones.

- 1.6. La posición del centro de gravedad del vehículo con masa total efectiva ( $M_e$ ) podrá determinarse:

1.6.1. midiendo el vehículo en condiciones de masa total efectiva, o

1.6.2. utilizando la posición medida del centro de gravedad en condición de masa en orden de marcha y considerando el efecto de la masa total de los ocupantes;

1.6.3. en los vehículos de dos pisos, se tendrá en cuenta la masa de los viajeros sentados en los asientos del piso inferior y del superior.

## 2. Mediciones

- 2.1. La posición del centro de gravedad del vehículo se determinará en condición de masa en orden de marcha o en condición de masa total efectiva del vehículo, con arreglo a lo establecido en los puntos 1.5 y 1.6. Para determinar la posición del centro de gravedad en condición de masa total efectiva del vehículo, la masa de cada ocupante (multiplicada por la constante,  $k = 0,5$ ) se colocará y sujetará con rigidez 100 mm por encima y 100 mm por delante del punto R del asiento (definido en el Reglamento nº 21, anexo 5).

- 2.2. Las coordenadas longitudinal ( $l_1$ ) y transversal ( $t$ ) del centro de gravedad se determinarán sobre un suelo horizontal común (véase la figura A3.1), en el que cada rueda o rueda gemela del vehículo estará en una célula de carga individual. Las ruedas directrices se colocarán en posición de marcha en línea recta hacia delante.

- 2.3. Las indicaciones de las células de carga individuales se anotarán simultáneamente y se utilizarán para calcular la masa total del vehículo y la posición del centro de gravedad.
- 2.4. La posición longitudinal del centro de gravedad en relación con el centro del punto de contacto de las ruedas frontales (véase la figura A3.1) viene dada por:

$$l_1 = \frac{(P_3 + P_4) \cdot L_1 + (P_5 + P_6) \cdot L_2}{P_{\text{total}}}$$

donde:

$P_1$  = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda izquierda del primer eje

$P_2$  = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda derecha del primer eje

$P_3$  = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda o ruedas izquierdas del segundo eje

$P_4$  = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda o ruedas derechas del segundo eje

$P_5$  = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda o ruedas izquierdas del tercer eje

$P_6$  = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda o ruedas derechas del tercer eje

$P_{\text{total}} = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) = M_b$ , la masa en orden de marcha, o

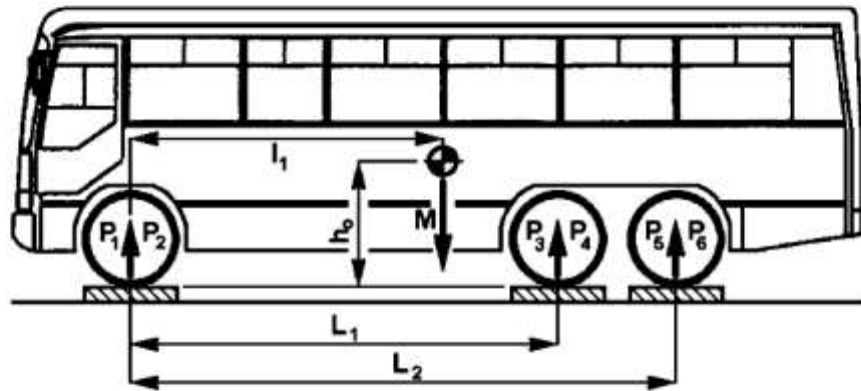
=  $M_v$ , la masa total efectiva del vehículo, según corresponda

$L_1$  = la distancia desde el centro de la rueda del primer eje hasta el centro de la rueda del segundo eje

$L_2$  = la distancia desde el centro de la rueda del primer eje hasta el centro de la rueda del tercer eje, de haberlo

Figura A3.1

Posición longitudinal del centro de gravedad



- 2.5. La posición transversal ( $t$ ) del centro de gravedad del vehículo en relación con su plano central longitudinal vertical (véase la figura A3.2) viene dada por:

$$t = \left( (P_1 - P_2) \frac{T_1}{2} + (P_3 - P_4) \frac{T_2}{2} + (P_5 - P_6) \frac{T_3}{2} \right) \cdot \frac{1}{P_{\text{total}}}$$

donde:

$T_1$  = la distancia entre los centros del dibujo de la rueda o ruedas a cada extremo del primer eje

$T_2$  = la distancia entre los centros del dibujo de la rueda o ruedas a cada extremo del segundo eje

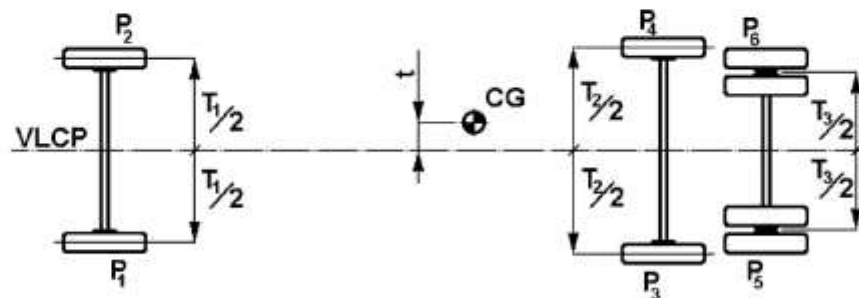
$T_3$  = la distancia entre los centros del dibujo de la rueda o ruedas a cada extremo del tercer eje

Esta ecuación parte del supuesto de que es posible trazar una línea recta a través de los puntos centrales  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$ ; de lo contrario, será necesario aplicar una fórmula especial.

Si el valor de  $(t)$  es negativo, el centro de gravedad del vehículo está situado a la derecha de la línea central del vehículo.

Figura A3.2

Posición transversal del centro de gravedad



- 2.6. La altura del centro de gravedad ( $h_0$ ) se determinará basculando el vehículo en sentido longitudinal y utilizando células de carga individuales en las ruedas de dos ejes:
- 2.6.1. se colocarán dos células de carga sobre un plano horizontal común para recibir las ruedas frontales; el plano horizontal estará, con respecto a la superficie circundante, a una altura suficiente para permitir que el vehículo pueda bascular hacia delante, hasta alcanzar el ángulo requerido (véase el punto 2.6.2, a continuación) sin que el morro toque dicha superficie;
- 2.6.2. se colocará un segundo par de células de carga en un plano horizontal común, encima de las estructuras de soporte, listo para recibir las ruedas del segundo eje del vehículo; las estructuras de soporte serán lo suficientemente altas como para crear un ángulo de basculamiento significativo a ( $> 20^\circ$ ) para el vehículo; cuanto mayor sea el ángulo, más preciso será el cálculo (véase la figura A3.3); el vehículo se colocará de nuevo sobre las cuatro células de carga, con las ruedas delanteras bloqueadas para evitar que se deslice hacia delante; las ruedas directrices se colocarán en posición de marcha en línea recta hacia delante.
- 2.6.3. las indicaciones de las células de carga individuales se anotarán simultáneamente y se utilizarán para verificar la masa total del vehículo y la posición del centro de gravedad;
- 2.6.4. la inclinación del ensayo de basculamiento se determinará mediante la ecuación (véase la figura A3.3):

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{H}{L_1}\right)$$

donde:

$H$  = la diferencia de altura entre los dibujos de las ruedas del primer y el segundo eje

$L_1$  = la distancia desde el centro de las ruedas del primer y el segundo eje

- 2.6.5. la masa en orden de marcha del vehículo se verificará de la manera siguiente:

$$F_{\text{total}} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = P_{\text{total}} = M_k$$

donde:

$F_1$  = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda izquierda del primer eje

$F_2$  = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda derecha del primer eje

$F_3$  = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda izquierda del segundo eje

$F_4$  = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda derecha del segundo eje

si esta ecuación no se cumple, deberán repetirse las mediciones o se pedirá al fabricante que modifique el valor de la masa en orden de marcha en la descripción técnica del vehículo;

2.6.6. la altura ( $h_0$ ) del centro de gravedad del vehículo viene dada por:

$$h_0 = r + \left( \frac{1}{\text{tga}} \right) \left( l_1 - l_1 \frac{F_3 + F_4}{P_{\text{total}}} \right)$$

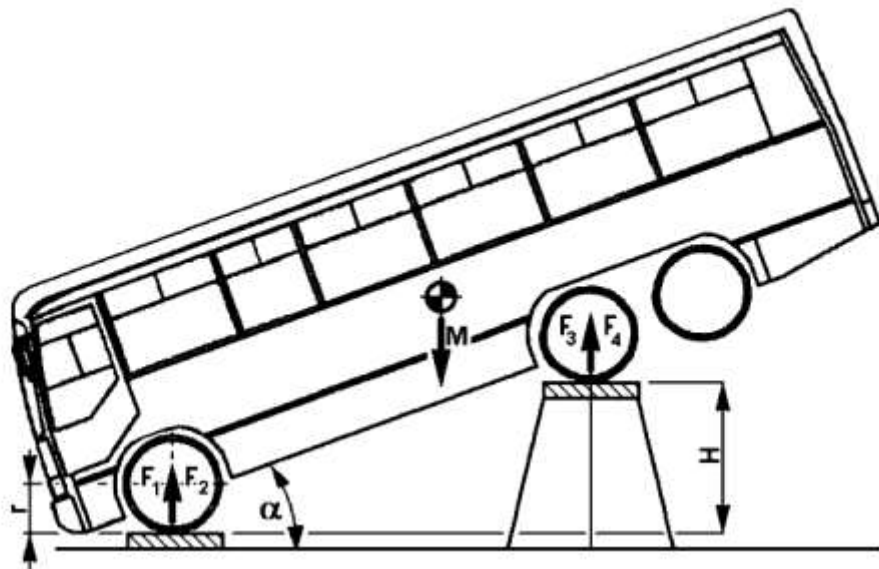
donde:

$r$  = la altura del centro de la rueda (en el primer eje) por encima de la superficie superior de la célula de carga

2.6.7. si el vehículo articulado se somete a ensayo en secciones separadas, la posición del centro de gravedad se establecerá por separado para cada sección.

Figura A3.3

**Determinación de la altura del centro de gravedad**



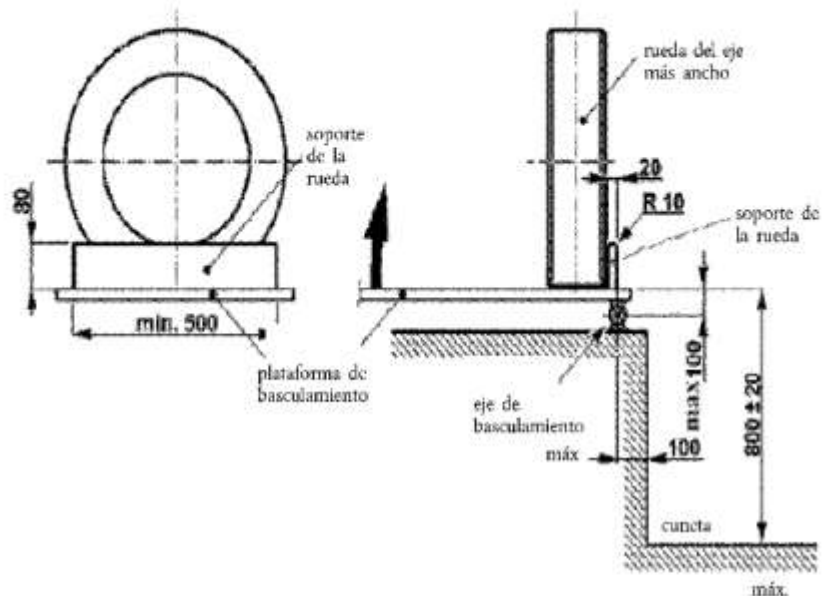
## ANEXO 5

## ENSAYO DE VUELCO COMO MÉTODO BÁSICO DE HOMOLOGACIÓN

1. Banco de ensayo
  - 1.1. La plataforma de basculamiento será lo suficientemente rígida y la rotación estará lo suficientemente controlada como para garantizar el levantamiento simultáneo de los ejes del vehículo con una diferencia inferior a 1° en los ángulos de basculamiento de la plataforma, medidos debajo de los ejes.
  - 1.2. La diferencia de altura entre el plano inferior horizontal de la cuneta (véase la figura A5.1) y el plano de la plataforma de basculamiento sobre la que está colocado el autobús será de  $800 \pm 20$  mm.
  - 1.3. La plataforma de basculamiento se colocará de la manera siguiente con respecto a la cuneta (véase la figura A5.1):
    - 1.3.1. su eje de rotación será de un máximo de 100 mm desde la pared vertical de la cuneta;
    - 1.3.2. su eje de rotación será de un máximo de 100 mm por debajo del plano de la plataforma de basculamiento horizontal.

Figura A5.1

## Geometría del banco de ensayo



- 1.4. Los soportes de las ruedas se aplicarán a las ruedas cercanas al eje de rotación para evitar que el vehículo se deslice hacia los lados al bascular. Las características principales de los soportes de las ruedas (véase la figura A5.1) serán las siguientes:
  - 1.4.1. dimensiones del soporte de la rueda:
 

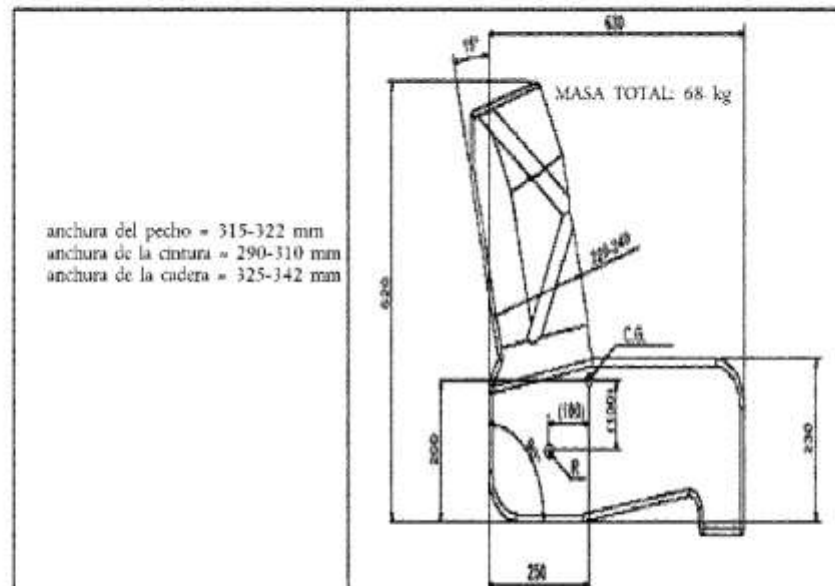
altura:	no superará los dos tercios de la distancia entre la superficie sobre la que está situado el vehículo antes de bascular y la parte de la llanta de la rueda que se encuentre más cerca de la superficie
anchura:	20 mm
radio del borde:	10 mm
longitud:	500 mm como mínimo

- 1.4.2. los soportes de las ruedas situados en el eje más ancho se colocarán en la plataforma de basculamiento de manera que el lateral del neumático esté a 100 mm como máximo del eje de rotación;
  - 1.4.3. los soportes de las ruedas situados en los demás ejes se ajustarán de manera que el plano central longitudinal vertical del vehículo quede paralelo al eje de rotación.
  - 1.5. La plataforma de basculamiento estará hecha de manera que impida que el vehículo se desplace a lo largo de su eje longitudinal.
  - 1.6. La zona de impacto de la cuneta tendrá una superficie de cemento horizontal, uniforme, lisa y seca.
2. Preparación del vehículo de ensayo
- 2.1. No es necesario que el vehículo que se vaya a someter a ensayo esté completamente terminado, «listo para funcionar». En general, se acepta cualquier alteración de la condición de vehículo completamente terminado si las características básicas y el comportamiento de la superestructura no se ven afectados. El vehículo de ensayo será el mismo que su versión completamente terminada con respecto a lo siguiente:
    - 2.1.1. la posición del centro de gravedad, el valor total de la masa del vehículo (masa en orden de marcha, o masa total efectiva del vehículo cuando esté equipado con dispositivos de retención) y la distribución y el emplazamiento de las masas, con arreglo a lo declarado por el fabricante;
    - 2.1.2. todos los elementos que, según el fabricante, contribuyan a la resistencia de la superestructura estarán instalados en su posición original (véase el anexo 4 del presente Reglamento);
    - 2.1.3. los elementos que no contribuyan a la resistencia de la superestructura y sean demasiado valiosos como para correr el riesgo de que se dañen (por ejemplo, la cadena de transmisión, los instrumentos del salpicadero, el asiento del conductor, el equipamiento de la cocina y del aseo, etc.) podrán ser sustituidos por elementos adicionales equivalentes en masa y método de instalación; estos elementos adicionales no deberán tener efecto reforzador en la resistencia de la superestructura;
    - 2.1.4. el carburante, el ácido de batería y los demás materiales combustibles, explosivos o corrosivos podrán sustituirse por otros materiales siempre que se cumplan las condiciones del punto 2.1.1;
    - 2.1.5. en caso de que los dispositivos de retención formen parte del tipo de vehículo, a cada asiento equipado con un dispositivo de retención se fijará una masa siguiendo uno de los métodos siguientes, a elección del fabricante:
      - 2.1.5.1. en el primer método, la masa:
        - 2.1.5.1.1. será del 50 % de la masa de cada ocupante ( $M_m$ ) de 68 kg.
        - 2.1.5.1.2. estará colocada de manera que su centro de gravedad se encuentre 100 mm por encima y 100 mm por delante del punto R del asiento, con arreglo a la definición del Reglamento nº 21, anexo 5,
        - 2.1.5.1.3. estará sujeta de manera rígida y segura, de forma que no se rompa durante el ensayo;
      - 2.1.5.2. en el segundo método, la masa:
        - 2.1.5.2.1. será un maniquí, de 68 kg de masa, y estará sujeto con un cinturón de seguridad de dos puntos; el maniquí deberá permitir el movimiento y la colocación de los cinturones de seguridad,
        - 2.1.5.2.2. estará colocada de manera que su centro de gravedad y sus dimensiones se ajusten a lo establecido en la figura A5.2,
        - 2.1.5.2.3. estará sujeta de manera rígida y segura, de forma que no se rompa durante el ensayo.



Figura A5.2

## Dimensiones del maniquí



- 2.2. El vehículo de ensayo se preparará como sigue:
- 2.2.1. los neumáticos estarán inflados a la presión recomendada por el fabricante;
- 2.2.2. el sistema de suspensión del vehículo estará bloqueado, es decir, los ejes, los resortes y los elementos de suspensión del vehículo estarán fijos con respecto a la carrocería; la altura del piso por encima de la plataforma de basculamiento horizontal se ajustará a las especificaciones del fabricante para el vehículo, dependiendo de si este se encuentra en condiciones de masa en orden de marcha o de masa total del vehículo;
- 2.2.3. todas las puertas y ventanas practicables del vehículo estarán cerradas, pero no bloqueadas.
- 2.3. Las secciones rígidas de un vehículo articulado podrán someterse a ensayo por separado o en combinación:
- 2.3.1. para someter a ensayo las secciones articuladas en combinación, estas deberán fijarse entre sí de manera que:
- 2.3.1.1. no se produzca ningún movimiento relativo entre ellas durante el proceso de vuelco,
- 2.3.1.2. no se produzca ningún cambio significativo en la distribución de las masas ni en las posiciones del centro de gravedad,
- 2.3.1.3. no se produzca ningún cambio significativo en la resistencia ni en la capacidad de deformación de la superestructura;
- 2.3.2. para someter a prueba las secciones articuladas por separado, las secciones con un solo eje se sujetarán a un soporte artificial que las mantenga fijas con respecto a la plataforma de basculamiento durante su movimiento desde la posición horizontal hasta el punto de vuelco; dicho soporte cumplirá los requisitos siguientes:
- 2.3.2.1. estará sujeto a la estructura de manera que ni refuerce ni aporte carga adicional a la superestructura,
- 2.3.2.2. estará hecho de manera que no sufra ninguna deformación que pueda cambiar la dirección de vuelco del vehículo,

- 2.3.2.3. su masa será equivalente a la masa de aquellos elementos que, siendo partes de la junta articulada, pertenezcan nominalmente a la sección que se somete a ensayo, pero no estén colocados en ella (por ejemplo, el plato giratorio y su piso, las barras de sujeción, las cortinas de cierre de caucho, etc.),
- 2.3.2.4. su centro de gravedad tendrá la misma altura que el centro de gravedad común de las partes enumeradas en el punto 2.3.2.3,
- 2.3.2.5. tendrá un eje de rotación paralelo al eje longitudinal de la sección con múltiples ejes del vehículo y atravesará los puntos de contacto de los neumáticos de dicha sección.
3. Procedimiento y proceso de ensayo
- 3.1. El ensayo de vuelco es un proceso muy rápido y dinámico con etapas diferenciadas, lo que debería tenerse en cuenta a la hora de planificar el ensayo, sus instrumentos y sus mediciones.
- 3.2. El vehículo basculará sin balancearse y sin efectos dinámicos hasta que alcance el equilibrio inestable y comience el vuelco. La velocidad angular de la plataforma de basculamiento no superará los 5 grados por segundo (0,087 radianes por segundo).
- 3.3. Para la observación interior, se utilizará fotografía ultrarrápida, vídeo, gálibos deformables, sensores de contacto eléctrico u otros medios adecuados, que determinarán si se cumplen los requisitos del apartado 5.1 del presente Reglamento. Esta verificación se llevará a cabo en todas las zonas de los compartimentos de viajeros, del personal y del conductor en las que pueda parecer que el espacio de supervivencia se encuentra en peligro; las posiciones exactas las decidirá el servicio técnico. Se utilizarán al menos dos posiciones, en principio en la parte delantera y trasera del compartimento o compartimentos de viajeros.
- 3.4. Se recomienda la observación exterior y la grabación del proceso de vuelco y deformación, lo que significa lo siguiente:
- 3.4.1. dos cámaras ultrarrápidas: una delante y otra detrás, que deberán estar colocadas lo suficientemente lejos de las paredes delantera y trasera del vehículo, para ofrecer una imagen mensurable, evitando la distorsión de gran angular en la zona sombreada, como se muestra en la figura A5.3a;
- 3.4.2. la posición del centro de gravedad y del contorno de la superestructura (véase la figura A5.3b) estará marcada con tiras y bandas para garantizar la correcta medición en las imágenes.

Figura A5.3a

**Campo de visión recomendado de la cámara exterior**

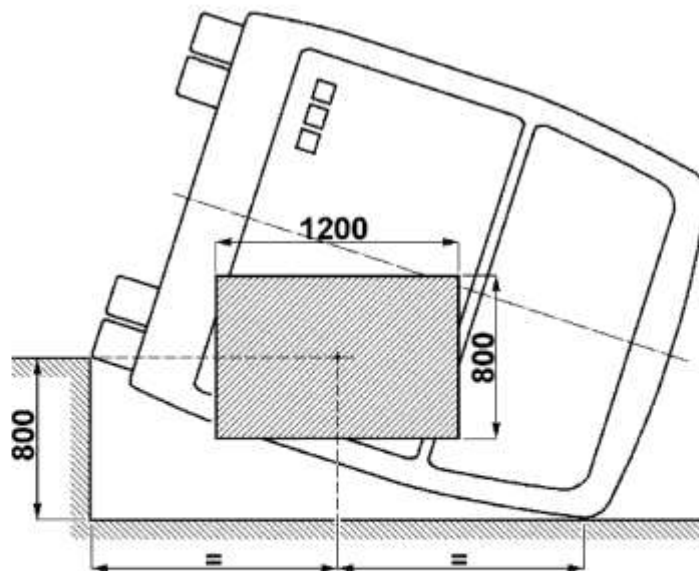
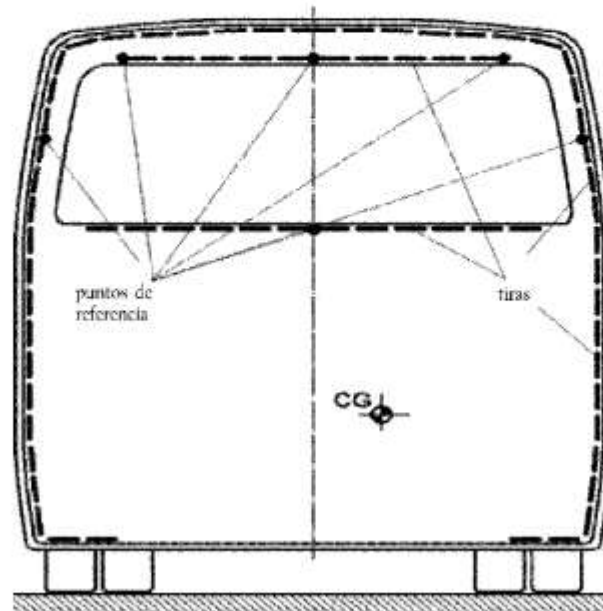


Figura A5.3b

## Marcado recomendado de la posición del centro de gravedad y del contorno del vehículo



4. Documentación del ensayo de vuelco
  - 4.1. El fabricante facilitará una descripción detallada del vehículo sometido a ensayo, en la cual:
    - 4.1.1. se enumerarán todas las desviaciones entre el tipo de vehículo completamente terminado en orden de marcha y el vehículo sometido a ensayo;
    - 4.1.2. se demostrará la sustitución equivalente (con respecto a la masa, la distribución de la masa y la instalación) en cada caso, cuando las partes estructurales y las unidades se sustituyan por otras unidades o masas;
    - 4.1.3. se incluirá una declaración precisa de la posición del centro de gravedad en el vehículo sometido a ensayo, que podrá estar basada en las mediciones realizadas en el vehículo de ensayo, cuando este esté preparado para el ensayo, o en una combinación de medidas (tomadas en el tipo de vehículo completamente terminado) y un cálculo basado en las sustituciones de las masas.
  - 4.2. El informe de ensayo incluirá todos los datos (imágenes, grabaciones, dibujos, valores medidos, etc.) que muestren:
    - 4.2.1. que el ensayo se ha realizado de conformidad con el presente anexo;
    - 4.2.2. que se cumplen (o no) los requisitos de los apartados 5.1.1 y 5.1.2 del presente Reglamento;
    - 4.2.3. la evaluación individual de las observaciones internas;
    - 4.2.4. todos los datos y la información necesarios para identificar el tipo de vehículo, el vehículo de ensayo, el propio ensayo y el personal responsable del ensayo y de su evaluación.
  - 4.3. Se recomienda indicar en el informe de ensayo la posición más alta y más baja del centro de gravedad con respecto al nivel del suelo de la cuneta.

## ANEXO 6

**ENSAYO DE VUELCO UTILIZANDO SECCIONES DE LA CARROCERÍA COMO MÉTODO DE HOMOLOGACIÓN EQUIVALENTE**

## 1. Datos e información adicionales

Si el fabricante opta por este método de ensayo, además de los datos, la información y los dibujos enumerados en el apartado 3 del presente Reglamento, se facilitará al servicio técnico la información siguiente:

- 1.1. los dibujos de las secciones de la carrocería que van a someterse a ensayo;
- 1.2. la verificación de la validez de la distribución de masas que figura en el anexo 4, punto 4, una vez completados con éxito los ensayos de vuelco de las secciones de la carrocería;
- 1.3. las masas medidas de las secciones de la carrocería que van a someterse a ensayo y la verificación de que las posiciones de su centro de gravedad coinciden con las del vehículo en condiciones de masa en orden de marcha, si no está equipado con dispositivos de retención, o en condiciones de masa total efectiva del vehículo, si está equipado con dispositivos de retención (presentación de informes de medición).

## 2. Banco de ensayo

El banco de ensayo deberá cumplir los requisitos del anexo 5, punto 1.

## 3. Preparación de las secciones de la carrocería

- 3.1. El número de secciones de la carrocería que van a someterse a ensayo quedará determinado por las reglas siguientes:
  - 3.1.1. las distintas configuraciones de los segmentos que forman parte de la superestructura se someterán a ensayo, como mínimo, en una sección de la carrocería;
  - 3.1.2. cada sección de la carrocería tendrá, como mínimo, dos segmentos;
  - 3.1.3. en una sección artificial de la carrocería (véase el apartado 2.28 del presente Reglamento), la proporción de la masa de cualquier segmento con respecto a cualquier otro no excederá de 2;
  - 3.1.4. el espacio de supervivencia del vehículo completo estará bien representado en las secciones de la carrocería, incluida cualquier combinación peculiar que surja de la configuración de la carrocería de los vehículos;
  - 3.1.5. la estructura completa del techo deberá estar bien representada en las secciones de la carrocería cuando presente particularidades locales, como altura variable, instalación de aire acondicionado, depósitos de combustible, portaequipajes, etc.
- 3.2. Los segmentos de la sección de la carrocería coincidirán exactamente, desde el punto de vista estructural, con los representados en la superestructura por lo que se refiere a la forma, la geometría, el material y las juntas.
- 3.3. Las estructuras de conexión entre los segmentos representarán la descripción de la superestructura por parte del fabricante (anexo 4, punto 3) y se tendrán en cuenta las siguientes reglas:
  - 3.3.1. en el caso de una sección original de la carrocería tomada directamente de la disposición real del vehículo, las estructuras de conexión básica y adicional (véase el anexo 4, punto 3.1) coincidirán con las de la superestructura del vehículo;
  - 3.3.2. en el caso de una sección artificial de la carrocería, las estructuras de conexión coincidirán con las de la superestructura del vehículo por lo que se refiere a resistencia, rigidez y comportamiento;
  - 3.3.3. los elementos rígidos que no formen parte de la superestructura, pero que puedan invadir el espacio de supervivencia durante la deformación, se instalarán en las secciones de la carrocería;
  - 3.3.4. la masa de las estructuras de conexión se incluirá en la distribución de la masa, por lo que se refiere a la atribución a un segmento determinado y la distribución en el interior de dicho segmento.
- 3.4. Las secciones de la carrocería estarán equipadas con soportes artificiales, de manera que las posiciones de su centro de gravedad y sus ejes de rotación sobre la plataforma de basculamiento coincidan con los del vehículo completo. Dichos soportes cumplirán los requisitos siguientes:
  - 3.4.1. estarán sujetos a la sección de la carrocería de manera que no la refuercen ni le aporten carga adicional;
  - 3.4.2. serán lo suficientemente fuertes y rígidos como para resistir cualquier deformación que pudiera modificar la dirección del movimiento de la sección de la carrocería durante los procesos de basculamiento y vuelco;
  - 3.4.3. su masa estará incluida en la distribución de la masa y la posición del centro de gravedad de la sección de la carrocería.
- 3.5. La distribución de la masa en la sección de la carrocería se establecerá teniendo en cuenta lo siguiente:
  - 3.5.1. a la hora de verificar la validez de las dos ecuaciones del anexo 4, puntos 4.2.1 y 4.2.2, se tendrá en cuenta la sección completa de la carrocería (segmentos, estructuras de conexión, elementos estructurales adicionales y soportes);

- 3.5.2. todas las masas fijadas a los segmentos (véanse el punto 4.2.2 y la figura 4 del anexo 4) se colocarán y fijarán a la sección de la carrocería de manera que no la refuercen ni le aporten carga adicional ni limiten la deformación;
- 3.5.3. en caso de que los dispositivos de retención formen parte del tipo de vehículo, se tendrán en cuenta las masas de los ocupantes de la manera descrita en los anexos 4 y 5.
4. Procedimiento de ensayo  
El procedimiento de ensayo será el mismo que se describe en el anexo 5, punto 3, para un vehículo completo.
5. Evaluación de los ensayos
  - 5.1. Se homologará el tipo de vehículo cuando todas las secciones de la carrocería superen el ensayo de vuelco y se cumplan las ecuaciones 2 y 3 del anexo 4, punto 4.
  - 5.2. Si una de las secciones de la carrocería no supera el ensayo, no se homologará el tipo de vehículo.
  - 5.3. Cuando una sección de la carrocería supere el ensayo de vuelco, se considerará que todos los segmentos que forman dicha sección de la carrocería han superado el ensayo de vuelco, y podrá citarse el resultado en futuras solicitudes de homologación, siempre y cuando la proporción de sus masas sea la misma en la superestructura en cuestión.
  - 5.4. Cuando una sección de la carrocería no supere el ensayo de vuelco, se considerará que ningún segmento de dicha sección de la carrocería ha superado el ensayo de vuelco, incluso cuando el espacio de supervivencia solo se haya visto invadido en uno de los segmentos.
6. Documentación de los ensayos de vuelco de secciones de la carrocería  
El informe de ensayo contendrá todos los datos necesarios para demostrar lo siguiente:
  - 6.1. la construcción de las secciones de la carrocería sometidas a ensayo (dimensiones, materiales, masas, posición del centro de gravedad y métodos de construcción);
  - 6.2. que los ensayos se han realizado de conformidad con el presente anexo;
  - 6.3. si se cumplen o no los requisitos del apartado 5.1 del presente Reglamento;
  - 6.4. la evaluación individual de las secciones de la carrocería y sus segmentos;
  - 6.5. la identidad del tipo de vehículo, su superestructura, las secciones de la carrocería sometidas a ensayo, los ensayos en sí y el personal responsable de llevarlos a cabo, así como de su evaluación.

**ANEXO 4**  
**FOTOS PESAJE**



Pesaje Bus Completo



Pesaje bus completo



Pesaje Bus Completo



Pesaje Bus Completo



Pesaje eje delantero



Pesaje eje posterior



Pesaje lateral derecho



Pesaje eje lateral izquierdo



Pesaje neumático delantero derecho



Pesaje neumático delantero izquierdo



Pesaje neumático derecho posterior



Pesaje neumático izquierdo posterior

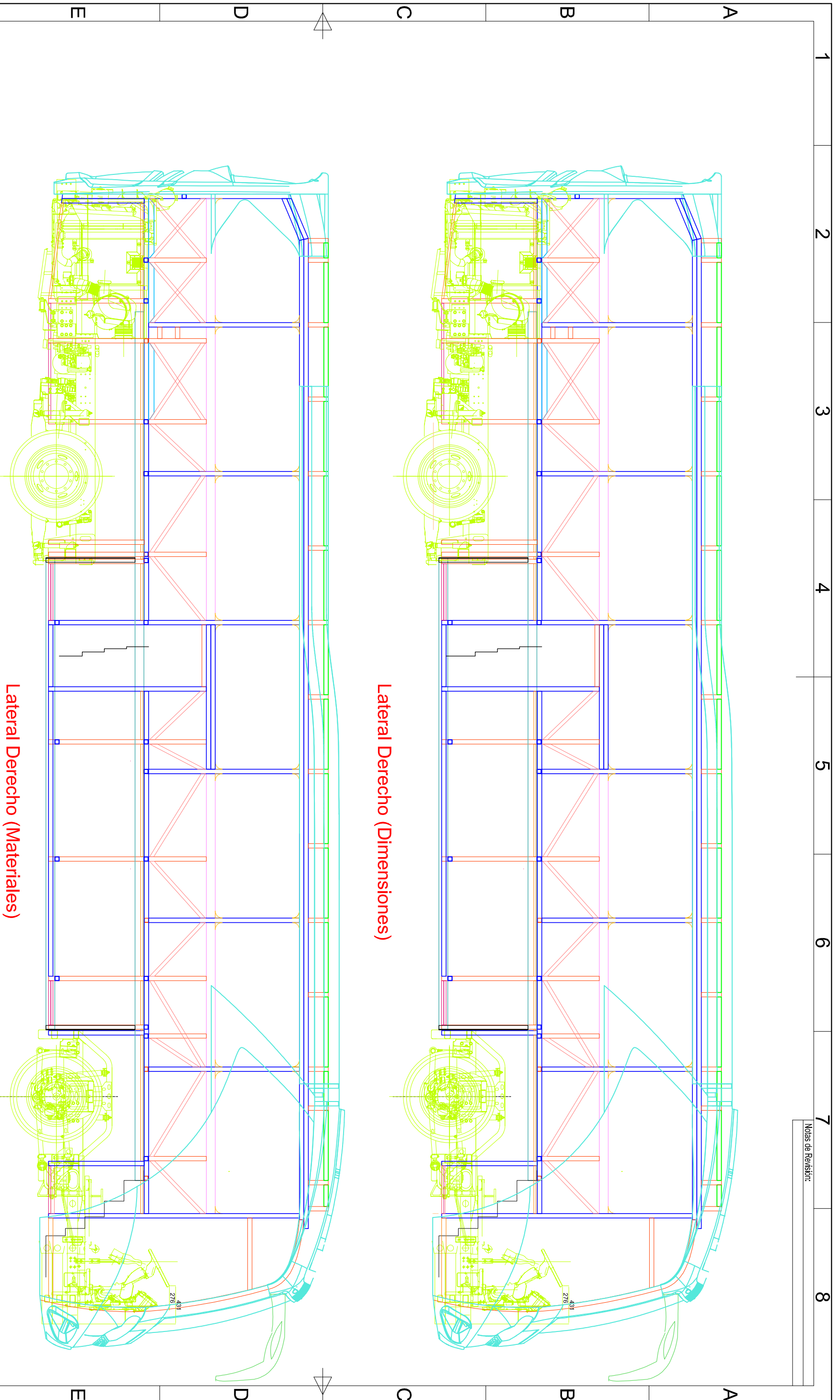


Pesaje bus completo levantando el eje delantero



## **ANEXO 5**

Planos estructura del autobús analizado



**TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES**

CLASES DE TOLERANCIAS	DISEÑO (EN MILÍMETROS)		FABRICACIÓN (EN MILÍMETROS)	
	DESIGNACIÓN	VALOR	DESIGNACIÓN	VALOR
M	Medida	$\pm 0,2$ hasta 30	$\pm 0,3$ hasta 120	$\pm 0,5$ hasta 400
C	Gruesa	$\pm 0,5$ hasta 120	$\pm 0,8$ hasta 400	$\pm 1,2$ hasta 1200
V	Muy Gruesa	$\pm 1$ hasta 120	$\pm 1,5$ hasta 400	$\pm 2,5$ hasta 1200

DISEÑO APLICABLE A LOS BUSES CÓDIGO:

Valid.

MODELO DE CARROCERÍA: **iM9**

TOLERANCIA GENERAL: **GRUESA**

CHASIS: **MBZ 1836**

NORMA: **RTE INEN 043**

Contiene: **ESTRUCTURA LATERAL DERECHA**

Observaciones: **BUS AUTOPORTANTE**

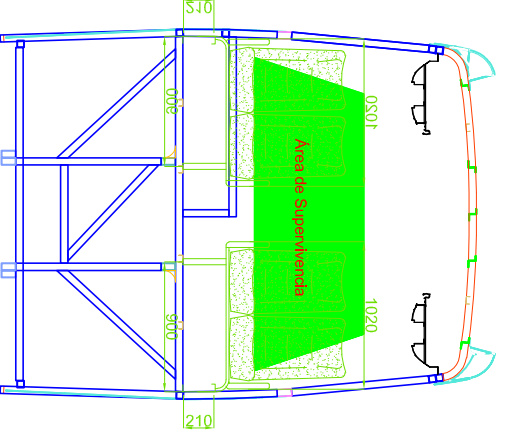
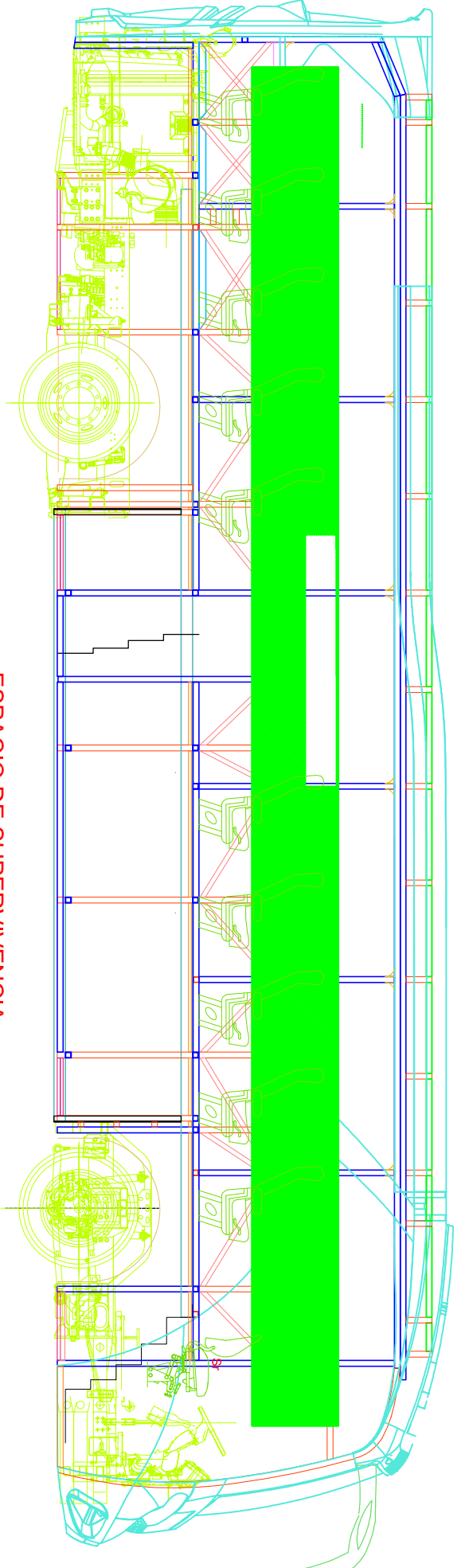


Panamericana Norte - Km. 7 1/2 Sector El Plisgue  
 Telf: (03) 2-855172 / (03) 2-855173 Fax: (03) 2-854467  
 Ambato - Ecuador

ESCALA: **1:40** VERIFICACIÓN: **VE-DIS-MBZ-IM** VERSIÓN: **PL-DIS-MBZ-IM 01 DE 27** HOJA:







**Espacio de Supervivencia**

**Espacio de Supervivencia**


**TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES**

CLASES DE TOLERANCIAS	DISTRIBUCION DE TOLERANCIAS RESPECTO AL NOMINAL (En milímetros)	
	mas de 120 hasta 30	mas de 30 hasta 4000
Designación	30	400
M	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$
C	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$
V	$\pm 1$	$\pm 1,5$

DISEÑO APLICABLE A LOS BUSES CÓDIGO:

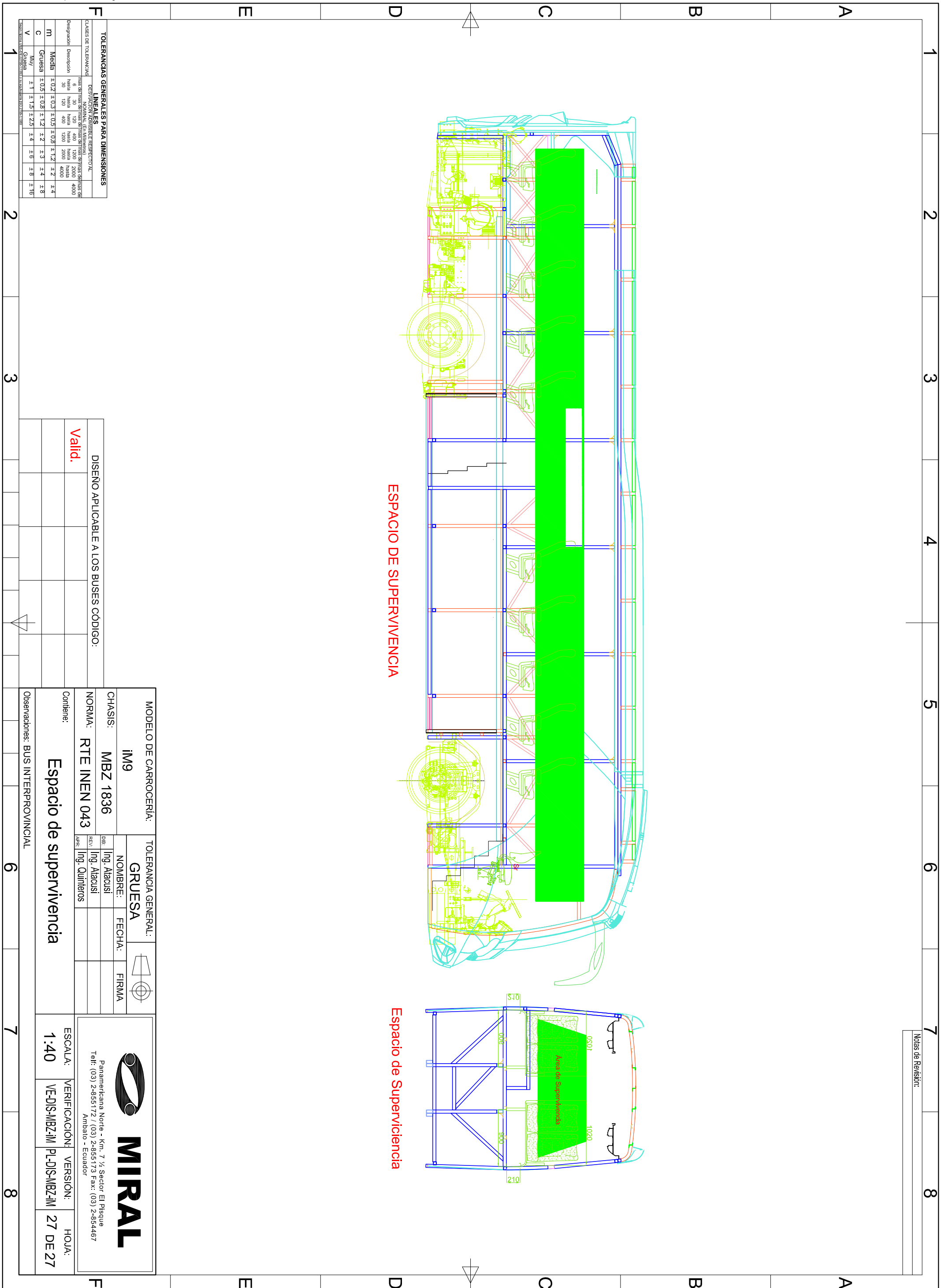
Valid.									
--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

MODELO DE CARROCERIA:	IM9	TOLERANCIA GENERAL:	GRUESA
CHASIS:	MBZ 1836	NOMBRE:	Ing. Atacusi
NORMA:	RTE INEN 043	FECHA:	
Contiene:	<b>Espacio de supervivencia</b>		
Observaciones:	BUS INTERPROVINCIAL		

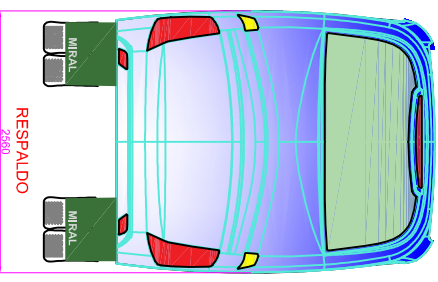
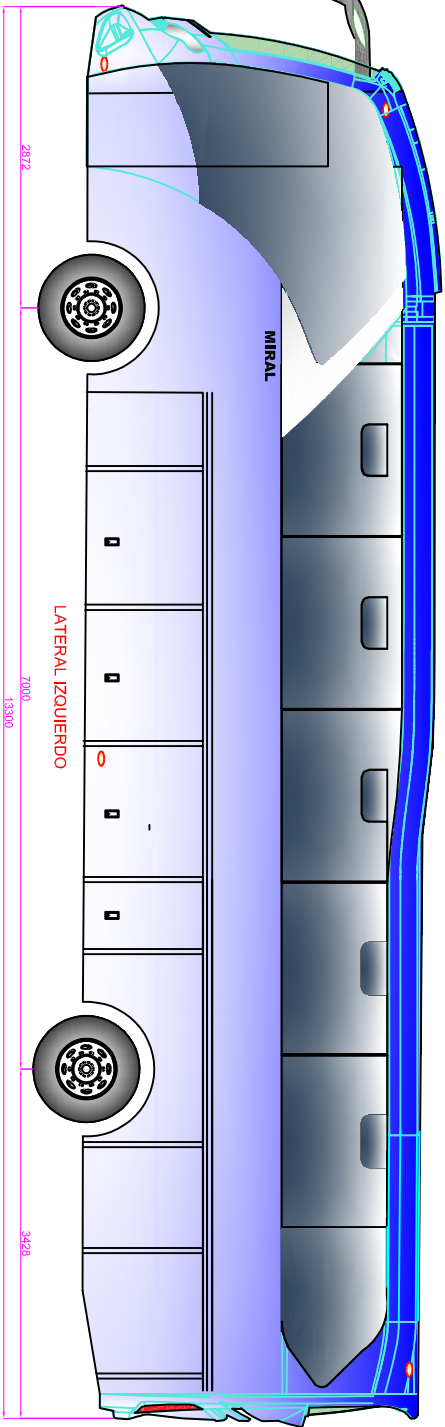
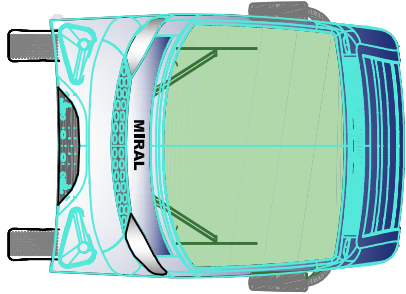
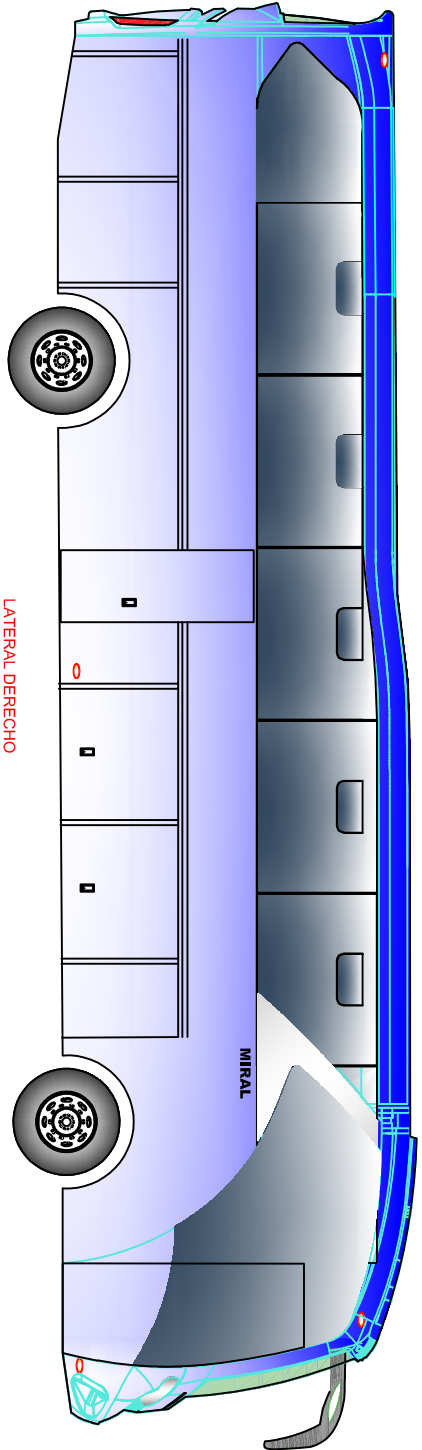


Panamericana Norte - Km. 7 1/2 Sector El Plisgue  
 Telf: (03) 2-855172 / (03) 2-855173 Fax: (03) 2-854467  
 Ambato - Ecuador

ESCALA:	1:40	VERIFICACION:	VE-DIS-MBZ:IM	VERSION:	PL-DIS-MBZ:IM	HOJA:	27 DE 27
---------	------	---------------	---------------	----------	---------------	-------	----------



Módulo de Revisión:



**TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES**

Clases de Tolerancias	LÍNEALES		ANGULARES	
Descripción	Valor	Valor	Valor	Valor
Dimensiones nominales	±0.10	±0.15	±0.10	±0.15
Dimensiones nominales > 30	±0.15	±0.20	±0.15	±0.20
Dimensiones nominales > 100	±0.20	±0.25	±0.20	±0.25
Dimensiones nominales > 300	±0.30	±0.35	±0.30	±0.35
Dimensiones nominales > 1000	±0.40	±0.45	±0.40	±0.45
Dimensiones nominales > 3000	±0.50	±0.55	±0.50	±0.55
Dimensiones nominales > 10000	±0.60	±0.65	±0.60	±0.65
Dimensiones nominales > 30000	±0.70	±0.75	±0.70	±0.75
Dimensiones nominales > 100000	±0.80	±0.85	±0.80	±0.85
Dimensiones nominales > 300000	±0.90	±0.95	±0.90	±0.95
Dimensiones nominales > 1000000	±1.00	±1.05	±1.00	±1.05
Dimensiones nominales > 3000000	±1.10	±1.15	±1.10	±1.15
Dimensiones nominales > 10000000	±1.20	±1.25	±1.20	±1.25
Dimensiones nominales > 30000000	±1.30	±1.35	±1.30	±1.35
Dimensiones nominales > 100000000	±1.40	±1.45	±1.40	±1.45
Dimensiones nominales > 300000000	±1.50	±1.55	±1.50	±1.55
Dimensiones nominales > 1000000000	±1.60	±1.65	±1.60	±1.65
Dimensiones nominales > 3000000000	±1.70	±1.75	±1.70	±1.75
Dimensiones nominales > 10000000000	±1.80	±1.85	±1.80	±1.85
Dimensiones nominales > 30000000000	±1.90	±1.95	±1.90	±1.95
Dimensiones nominales > 100000000000	±2.00	±2.05	±2.00	±2.05
Dimensiones nominales > 300000000000	±2.10	±2.15	±2.10	±2.15
Dimensiones nominales > 1000000000000	±2.20	±2.25	±2.20	±2.25
Dimensiones nominales > 3000000000000	±2.30	±2.35	±2.30	±2.35
Dimensiones nominales > 10000000000000	±2.40	±2.45	±2.40	±2.45
Dimensiones nominales > 30000000000000	±2.50	±2.55	±2.50	±2.55
Dimensiones nominales > 100000000000000	±2.60	±2.65	±2.60	±2.65
Dimensiones nominales > 300000000000000	±2.70	±2.75	±2.70	±2.75
Dimensiones nominales > 1000000000000000	±2.80	±2.85	±2.80	±2.85
Dimensiones nominales > 3000000000000000	±2.90	±2.95	±2.90	±2.95
Dimensiones nominales > 10000000000000000	±3.00	±3.05	±3.00	±3.05
Dimensiones nominales > 30000000000000000	±3.10	±3.15	±3.10	±3.15
Dimensiones nominales > 100000000000000000	±3.20	±3.25	±3.20	±3.25
Dimensiones nominales > 300000000000000000	±3.30	±3.35	±3.30	±3.35
Dimensiones nominales > 1000000000000000000	±3.40	±3.45	±3.40	±3.45
Dimensiones nominales > 3000000000000000000	±3.50	±3.55	±3.50	±3.55
Dimensiones nominales > 10000000000000000000	±3.60	±3.65	±3.60	±3.65
Dimensiones nominales > 30000000000000000000	±3.70	±3.75	±3.70	±3.75
Dimensiones nominales > 100000000000000000000	±3.80	±3.85	±3.80	±3.85
Dimensiones nominales > 300000000000000000000	±3.90	±3.95	±3.90	±3.95
Dimensiones nominales > 1000000000000000000000	±4.00	±4.05	±4.00	±4.05
Dimensiones nominales > 3000000000000000000000	±4.10	±4.15	±4.10	±4.15
Dimensiones nominales > 10000000000000000000000	±4.20	±4.25	±4.20	±4.25
Dimensiones nominales > 30000000000000000000000	±4.30	±4.35	±4.30	±4.35
Dimensiones nominales > 100000000000000000000000	±4.40	±4.45	±4.40	±4.45
Dimensiones nominales > 300000000000000000000000	±4.50	±4.55	±4.50	±4.55
Dimensiones nominales > 1000000000000000000000000	±4.60	±4.65	±4.60	±4.65
Dimensiones nominales > 3000000000000000000000000	±4.70	±4.75	±4.70	±4.75
Dimensiones nominales > 10000000000000000000000000	±4.80	±4.85	±4.80	±4.85
Dimensiones nominales > 30000000000000000000000000	±4.90	±4.95	±4.90	±4.95
Dimensiones nominales > 100000000000000000000000000	±5.00	±5.05	±5.00	±5.05

DISÑO APLICABLE A LOS BUSES CODIGO:

Valid.

MODELO DE CARROCERÍA: **IM9**

CHASIS: **MBZ 1836**

NORMA: **RTE INEN 043**

Contiene:

Observaciones: BUS INTERPROVINCIAL

TOLERANCIA GENERAL:	GRUESA
ING: ABCUSI	ING: ABCUSI
FECHA:	FECHA:
FIRMA:	FIRMA:

Diseño Exterior



Panamericana Norte - Km 7 1/2 Sector El Pique  
 Telef: (03) 2-855172 / (03) 2-855173 Fax: (03) 2-854467  
 Ambato - Ecuador

ESCALA: **SE**

VERIFICACIÓN: **VE-DIS-MBZ-IM**

PL-DIS-MBZ-IM

HOJA: **18 DE 27**

## **ANEXO 6**

### **Licencia ANSYS**





## Propuesta Actualización de Software Simulación ANSYS Research Mechanical and CFD y ANSYS LS DYNA Y HPC

**Proposal N°: 684.19\_UTA\_Ansys.Tecs Place and Date:**

Quito, 18 de Junio del 2019

**Cliente: EMPRESA PUBLICA DE LA UNIVERSIDAD DE AMBATO RUC:**  
1865042910001

**Atención:** Ing. César H. Arroba A. / Facultad de Ingeniería Civil Mecánica **Dirección:**  
Ingahurco, calles México y Salvador

De nuestras consideraciones

Nos es grato poner en su consideración la cotización para la Actualización (TECS) del licenciamiento adquirido por la Universidad Técnica de Ambato.

Estamos a sus gratas ordenes para cualquier consulta o inquietud, no dude en comunicárnoslo será muy grato servirles.

Atentamente,

Cecilia Vargas Avendaño  
Commercial Manager – Quito -  
Ecuador Office: +593(2)3263186  
Cell: +593 987547567

[cvargas@bereziakequipos.com](mailto:cvargas@bereziakequipos.com)

**Engineering Simulation Scientific Software**





## Actualización TECS

Ítem	Tiempo	Fechas	Cant.	P. UNIT.	Subtotal sin
ANSYS Academic Research Mechanical and	365 días	15/11/2019-14/11/2020	1	1.802,00	1.802,00
ANSYS Academic Research LS-DYNA (25	365 días	15/11/2019-14/11/2020	1	1.766,00	1.766,00
					3.568,00

**TECS:** Actualizaciones continuas, acceso al portal de usuario y Soporte Técnico al Cliente por **UN AÑO**.

**VALIDEZ OFERTA: 45 días**

### CONDICIONES GENERALES

**Precios:** En Dólares Americanos. **No incluye IVA**

**Entrega:** 10 – 12 días hábiles luego de recibida la O/C y/o contrato del cliente **Forma de pago:** contra entrega de las actualizaciones (renovación) TECS.

### GRACIAS POR SU CONFIANZA

Av. La Prensa N42-95 y Mariano Echeverría, Edificio Rendón, Oficina 4, Quito, Ecuador



## ANEXO 7.

Extracto de Codificación para simulación de Vuelco de Sección más crítica de Superestructura del Autobús.

```
*KEYWORD      0

*TITLE

SECCION 7 BUS INTERPROVINCIAL

*CONTROL_TERMINATION

$$ ENDTIM  ENDCYC  DTMIN  ENDENG  ENDMAS  NOSOL

    0.2 1000000  0.01  10.0  0.0

*CONTROL_TIMESTEP

$$ DTINIT  TSSFAC  ISDO  TSLIMIT  DT2MS  LCTM  ERODE  MSIST

    0.0  0.9  0  0.0  0.0  3  1  0

*CONTROL_SHELL

$$ WRPANG  ESORT  IRNXX  ISTUPD  THEORY  BWC  MITER  PROJ

    20.0  1  -2  4  2  1  1  1

*CONTROL_HOURLASS

$$ IHQ  QH

    1  0.1

*CONTROL_BULK_VISCOSITY

$$ Q1  Q2  TYPE  BTYPE

    1.5  0.06  -2

*CONTROL_CONTACT

$$ SLSFAC  RWPNAL  ISLCHK  SHLTHK  PENOPT  THKCHG  ORIEN  ENMASS

    0.0  0.0  1  1  1  0  2  0

$$ USRSTR  USRFRC  NSBCS  INTERM  XPENE  SSTHK  ECDT  TIEDPRJ

$$ SFRIC  DFRIC  EDC  INTVFC  TH  TH_SF  PEN_SF

$$ IGNORE  FRCENG  SKIPRWG  OUTSEG  SPOTSTP  SPOTDEL  SPOTHIN

    2  0  0  1  0  1  0.5

*CONTROL_ENERGY

$$ HGEN  RWEN  SLNTEN  RYLEN

    2  1  2  2
```

```

*CONTROL_ACCURACY

$$ OSU      INN  PIDOSU

      1      4

*DAMPING_GLOBAL

$$ LCID  VALDMP  STX   STR   STZ   SRX   SRY   SRZ

      0.0

$$DATABASE_OPTION -- Control Cards for ASCII output

*DATABASE_ELOUT

$$  DT  BINARY  LCUR  IOPT

      0.002  0

*DATABASE_GLSTAT

$$  DT  BINARY  LCUR  IOPT

      0.002  0

*DATABASE_MATSUM

$$  DT  BINARY  LCUR  IOPT

      0.002  0

*DATABASE_NODFOR

$$  DT  BINARY  LCUR  IOPT

      0.002  0

*DATABASE_NODOUT

$$  DT  BINARY  LCUR  IOPT  DTHF  BINHF

      0.002  0

*DATABASE_RCFORC

$$  DT  BINARY  LCUR  IOPT

      0.002  0

*DATABASE_BINARY_D3PLOT

$$ DT/CYCL  LCDT  BEAM  NPLTC  PSETID

      0.002  0    0    0

      0

*DATABASE_BINARY_RUNRSF

$$ DT/CYCL  LCDT/NR

      5000.0

*DATABASE_FORMAT

```



\$HWCOLOR CURVES 1 4

\$HMCURVE 1 1 ACERO- A36

1	1.0	1.0
0.0	356.0	
0.0205	356.0	
0.0336	383.776	
0.0605	393.8	
0.0793	400.49	
0.296	511.98	
0.374	429.5	
0.3844	0.0	

\*DEFINE\_CURVE

\$HMNAME CURVES 3CURVA DE CARGA

\$HWCOLOR CURVES 3 33

\$HMCURVE 1 1 CURVA DE CARGA

3	1.0	1.0
0.0	100000000.0	
0.2	100000000.0	
2.0	100000000.0	

\*DEFINE\_CURVE

\$HMNAME CURVES 2ACERO A-500

\$HWCOLOR CURVES 2 64

\$HMCURVE 1 1 ACERO A-500

2	1.0	1.0
0.0	320.0	
0.01092	320.0	
0.03959	347.155	
0.04388	351.21875	
0.04817	355.2825	
0.1431	382.065	
0.2545	341.91	
0.4	0.0	

\*DEFINE\_CURVE

```

$HMNAME CURVES      4CURVA DE LA GRAVEDAD

$HWCOLOR CURVES    4  38

$HMCURVE  1  1 CURVA DE LA GRAVEDAD

      4      1.0  1.0

      0.0      1.0

      1000.0      1.0

*END

$HMNAME BEAMSECTCOLS      1auto1

$HMNAME BEAMSECTS

$HMCONT  1  1t50x50x2

$HMCONT  2  7  1  01.0  1.0  0.0  0.0  0.0

$HMCONT 0.0      9

$HMNAME BEAMSECTS BEAMSECTIONSTANDARD      0  6  0Tubular box

$HMNAME BEAMSECTS BEAMSECTIONSTANDARD PARAMETERS  2.0  0.5  2.0

$HMNAME BEAMSECTS BEAMSECTIONSTANDARD PARAMETERS  50.0  10.0  50.0

$HMNAME BEAMSECTS BEAMSECTIONSTANDARD PARAMETERS  50.0  10.0  50.0

$HMNAME BEAMSECTS BEAMSECTIONSTANDARD PARAMETERS  2.0  0.5  0.5

$HMNAME BEAMSECTS BEAMSECTIONSTANDARD PARAMETERS  2.0  0.5  0.5

$HMNAME BEAMSECTS BEAMSECTIONSTANDARD PARAMETERS  2.0  0.5  0.5

$HMNAME BEAMSECTS END

```

**ANEXO 8.**

Extracto prueba de vuelco de autobús emitida por ente acreditado.



Av. Pachano y Montalvo, Edificio Ficoa Park of. 208 Ambato - Ecuador

**Informe de ensayo y  
simulación de estructura  
de autobús**

Código de Ensayo: E0652-MIR-IM9-INTTUR-MBO500-V95D-1P\_PCOND-AC

Lugar y fecha: Ambato, Octubre 11 de 2017

## INFORME DE ENSAYO

### 1. Antecedentes. Nombre y dirección del cliente.

El Laboratorio de Ensayo y Simulación de la Corporación Ingeniería Avanzada COINAV del Ecuador S.A., Designado por el Ministerio de Industrias y Productividad MIPRO como Organismo Evaluador de la Conformidad de Estructuras de autobús bajo norma NTE INEN 1323:2009 mediante Certificado No. SCA-13-007 y Resolución No. 13 248; y por conocimiento de la Agencia Nacional de Tránsito según Oficio No. ANT-DRTTTSV-2013-0528-O; fue contactado por parte de empresa MIRAL AUTOBUSES, ubicada en AMBATO, PANAMERICANA NORTE KM 7.5 SECTOR EL PISQUE, en la persona de su representante ING. JOSÉ MIRANDA, quien solicitó de forma libre y voluntaria la realización de la evaluación de estructura de autobús, misma que tiene los siguientes datos:

Tabla 1. Datos de la estructura a ensayar.

CARROCERÍA (MARCA):	MIRAL
CARROCERÍA (MODELO):	IM9
CARROCERÍA (PROCEDENCIA):	ECUADOR
TIPO DE SERVICIO:	INTERPROVINCIAL/INTRAPROVINCIAL/ INTRAREGIONAL/TURISMO 1 PUERTA, CON PUERTA DE CONDUCTOR V.950
AÑO:	2018
CHASIS (MARCA):	MERCEDES BENZ
CHASIS (MODELO):	O500 RS 1836
CHASIS (PROCEDENCIA):	BRASIL
AÑO:	2018
AIRE ACONDICIONADO	SI

### 2. Objetivos.

Simular y evaluar el comportamiento estructural cuasi-estático y dinámico de la estructura del autobús propuesto, en base a la aplicación del Método No Normalizado: "DYSIM Programa y Metodología para simulación de eventos cuasi-estáticos, dinámicos no lineales y de impacto automotrices aplicados. Pruebas de vuelco de autobuses" patentado por COINAV S.A., a través de software comercial HyperWorks, con el respectivo licenciamiento, para obtener el comportamiento de dicha estructura ante cargas propuestas en la norma INEN NTE 1323:2009 [1].

#### 2.1 Objetivos específicos

- Simular el comportamiento de la estructura ante las combinaciones de carga propuestas en INEN NTE 1323:2009 [1], y presentar datos acerca de dicho comportamiento





formas reales y pesos reales y críticos soportados, según requerimiento de la norma NTE INEN 1323:2009 numeral 5.1.5.2.

## 6. Descripción del modelo y ensayo de simulación

### 6.1 Material.

El material usado en las simulaciones es acero con especificación ASTM. Las propiedades del material fueron proporcionadas por el cliente y tomadas de las fuentes citadas e investigaciones realizadas por el laboratorio.

### 6.2 Tipo de malla

Para simular la estructura del autobús sujeto del presente informe, los elementos utilizados fueron del tipo SHELL. Se ha representado los detalles geométricos más importantes del diseño estructural, para lograr la mayor concordancia con la realidad posible. Se ha modelado el chasis y de los anclajes de la estructura.

### 6.3 Condiciones de borde.

Para los análisis cuasi-estáticos, las condiciones de borde se cumplen con lo solicitado en INEN NTE 1323:2009 [1]:

- Combinaciones de carga solicitadas (LRFD) NTE INEN 1323:2009 numeral 5.1.2.2,
- Carga equivalente al 50% del peso máximo admisible del chasis, sobre el techo, NTE INEN 1323:2009 numeral 5.1.5.1.

#### 6.3.1 Cargas actuantes

A continuación se muestran los valores de las cargas actuantes

Tabla 2. Cargas que actúan en el análisis de la carrocería del presente estudio.

TIPO DE CARGA	REF. NORMA	VALOR
CARGA MUERTA (M)		63700.00 N
CARGA VIVA (V)	INEN NTE 1323: 5.1.1.1	52136.00 N
CARGA DE GIRO (G)	INEN NTE 1323: 5.1.1.2	22773.44 N
CARGA DE FRENADO (F)	INEN NTE 1323: 5.1.1.3	58300.00 N
CARGA DE ACELERACIÓN (Ab)	INEN NTE 1323: 5.1.1.4	58300.00 N
CARGA DE RESISTENCIA AERODINAMICA (Raf)	INEN NTE 1323: 5.1.1.5	2652.89 N

#### 6.3.2 Combinaciones de carga: Método LRFD (Load Resistance Factor Design)

Las combinaciones son las mostradas en la tabla a continuación:

Tabla 3. Combinaciones de carga recomendadas por AISC-LRFD

1. 1,4M + V

Informe de Ensayo NTE INEN 1323:2009

11 de octubre de 2017

Tabla 3. Resumen de resultados

DESCRIPCION	ESPECIFICACION	Long. (mm)	Def. max (mm)	Def. obtenida (mm)	Obs.
1. COMBINACIONES DE CARGA LRFD NTE INEN 1323-2009 5.1.2.2	1. 1,4M + V	2640	18,86	5,6	NINGUNA
	2. 1,2M + 1,6V + 0,5G	2640	18,85	6,27	NINGUNA
	3. 1,2M + 0,3V + 1,6G	2790	19,93	4,37	NINGUNA
	4. 1,2M + 1,6F + 0,8Raf	2640	18,86	3,57	NINGUNA
	5. 1,2M + 0,5V + 0,5F + 1,3Raf	2640	18,86	4,14	NINGUNA
	6. 1,2M + 1,5Ab + 0,5V	2640	18,85	4,29	NINGUNA
	7. 0,9M - 1,3Raf	2000	14,29	2,38	NINGUNA
	8. 0,9M + 1,3Raf	2000	14,29	2,38	NINGUNA
3. RESISTENCIA ESTRUCTURAL: CRITERIO DE FALLA: ESFUERZO DE VON MISES COMPARADO CON PROPIEDAD DEL MATERIAL NTE INEN 1323-2009 5.1.4	Ningún elemento giró o estuvo de fuera del análisis, falla estática no presente.				
3. FACTORES USADOS EN LOS CALCULOS NTE INEN 1323-2009 5.1.3	RECOMENDADOS POR MANUALES AISC (S. I.B.), véase Tesis: "Comportamiento sísmico del sistema estructural del autobús Felina", por Cepeda I.				
4. RESISTENCIA ESTRUCTURAL: CARGA ESTÁTICA SOBRE TECHO NTE INEN 1323-2009 5.1.6.1	DEFORMACION MAXIMA PERMISIBLE POR NORMA (NTE INEN 1323-2009 5.1.5.1)	70 mm			
	DEFORMACION EN ESTRUCTURA	12,8 mm			
	ZONA DE SUPERVIVENCIA INVADIDA	SI		<b>NO</b>	
	MOVIMIENTO GENERAL DEL SISTEMA	ok			
	ENERGÍA HOURLASS	0 J			
	MASA AÑADIDA	0 %			
5. SIMULACION DE PRUEBA DE VUELCO NTE INEN 1323-2009 5.1.2	TIPO DE ANALISIS: IMPACTO, NO-LINEAL, DINAMICO MODELADO GEOMETRICO: SOFTWARE ESPECIALIZADO CONCORDANCIA GEOMETRICA CON EL MODELO REAL: ALTO GRADO DE DETALLE CAPTADO: ALTO MODELADO MATEMATICO: SOFTWARE ESPECIALIZADO TIPO DE ELEMENTOS: SHELL CANTIDAD DE ELEMENTOS: ALTA FORMULACION: APROPIADA PARA ANALISIS DE IMPACTO CONCORDANCIA DE CENTRO DE GRAVEDAD Y MOMENTOS DE INERCIA CON BUS REAL: ALTA SIMULACION DE UNIONES: SI SIMULACION DE COMPORTAMIENTO DE AGUJEROS: SI				

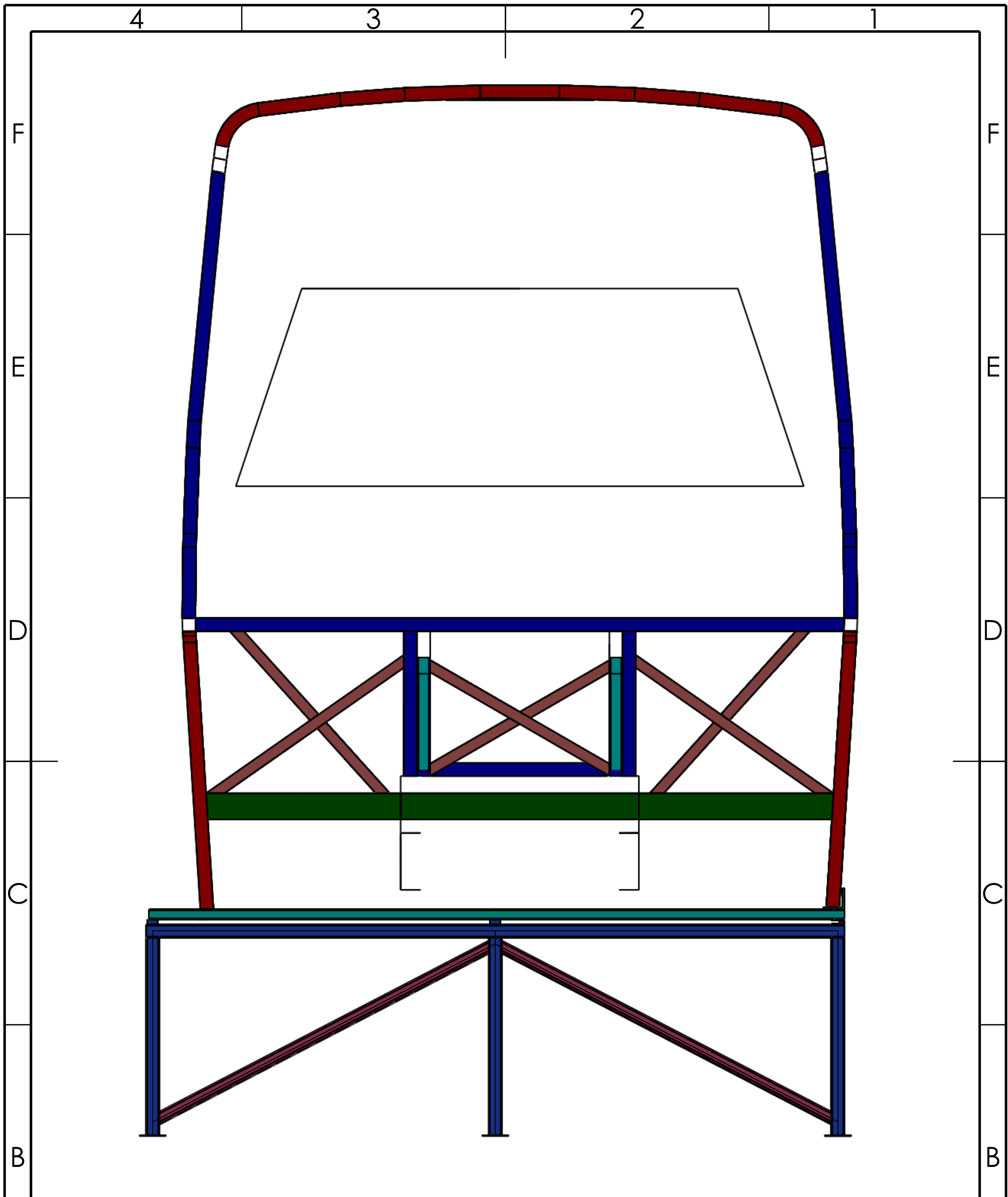
Inicialmente: 25

Informe de Ensayo NTE INEN 1323-2009

11 de octubre de 2017

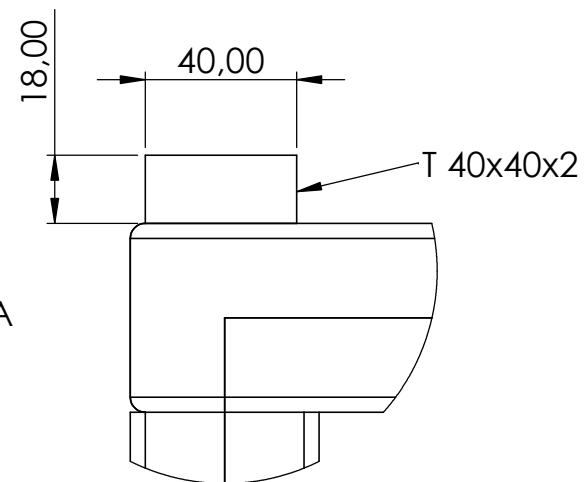
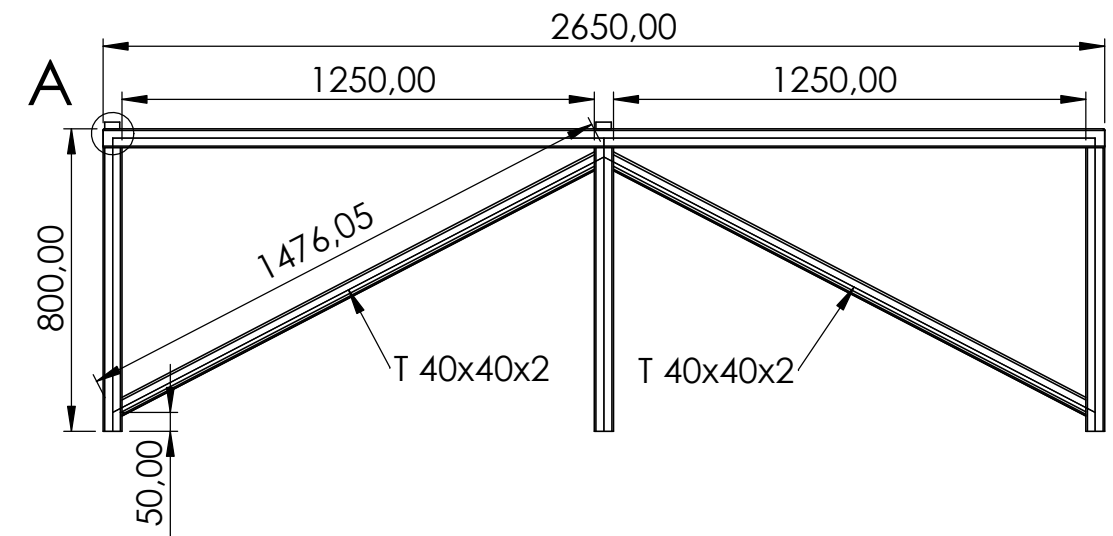
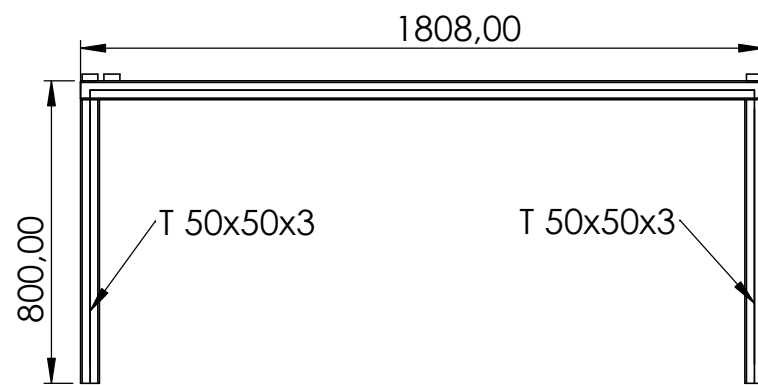
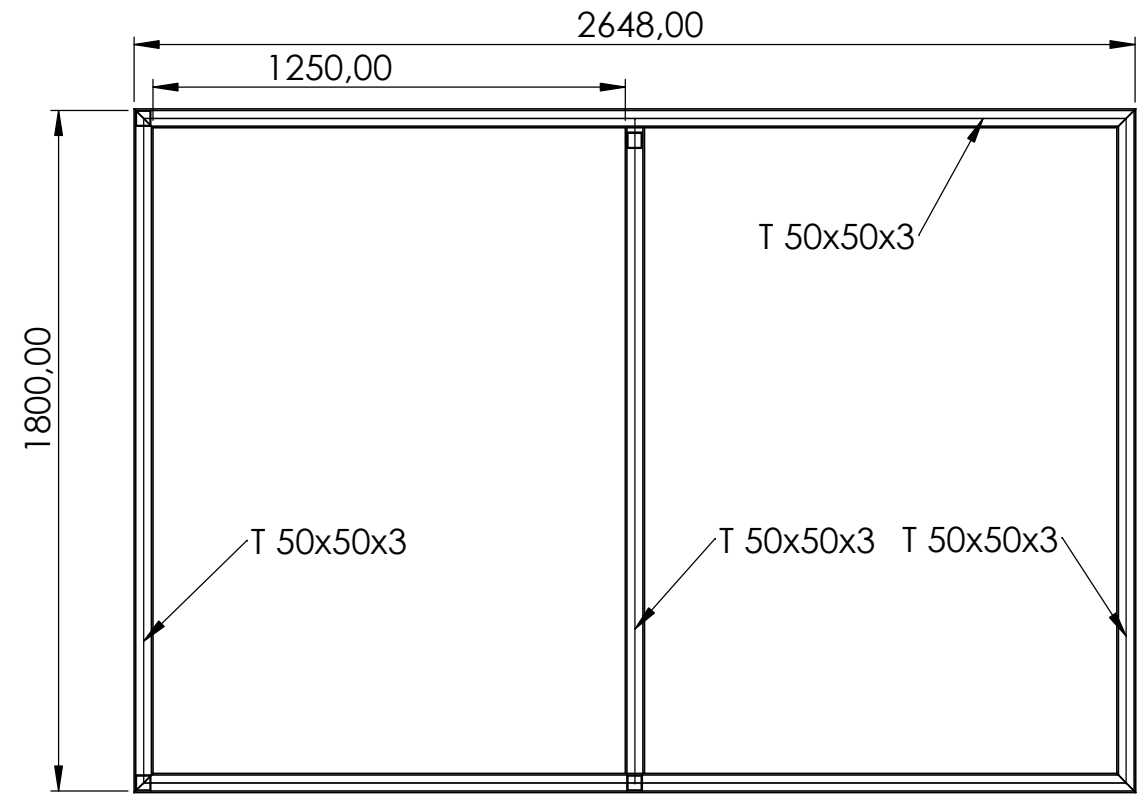
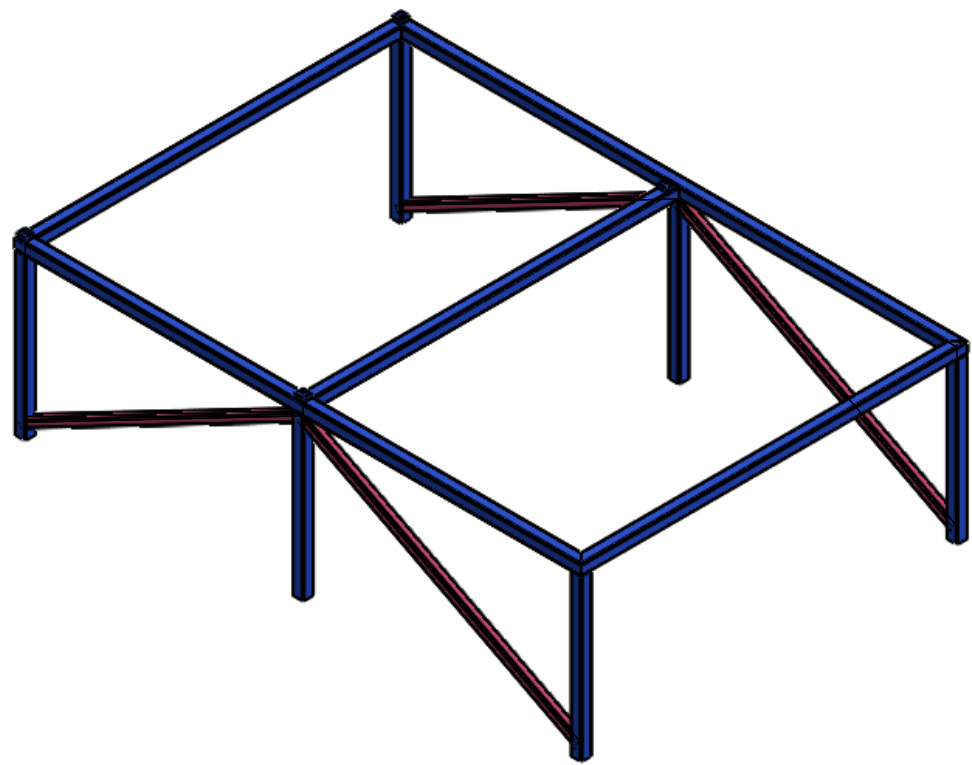
## **ANEXO 9.**

Planos de plataforma para prueba de vuelco y sección crítica de la estructura del autobús.



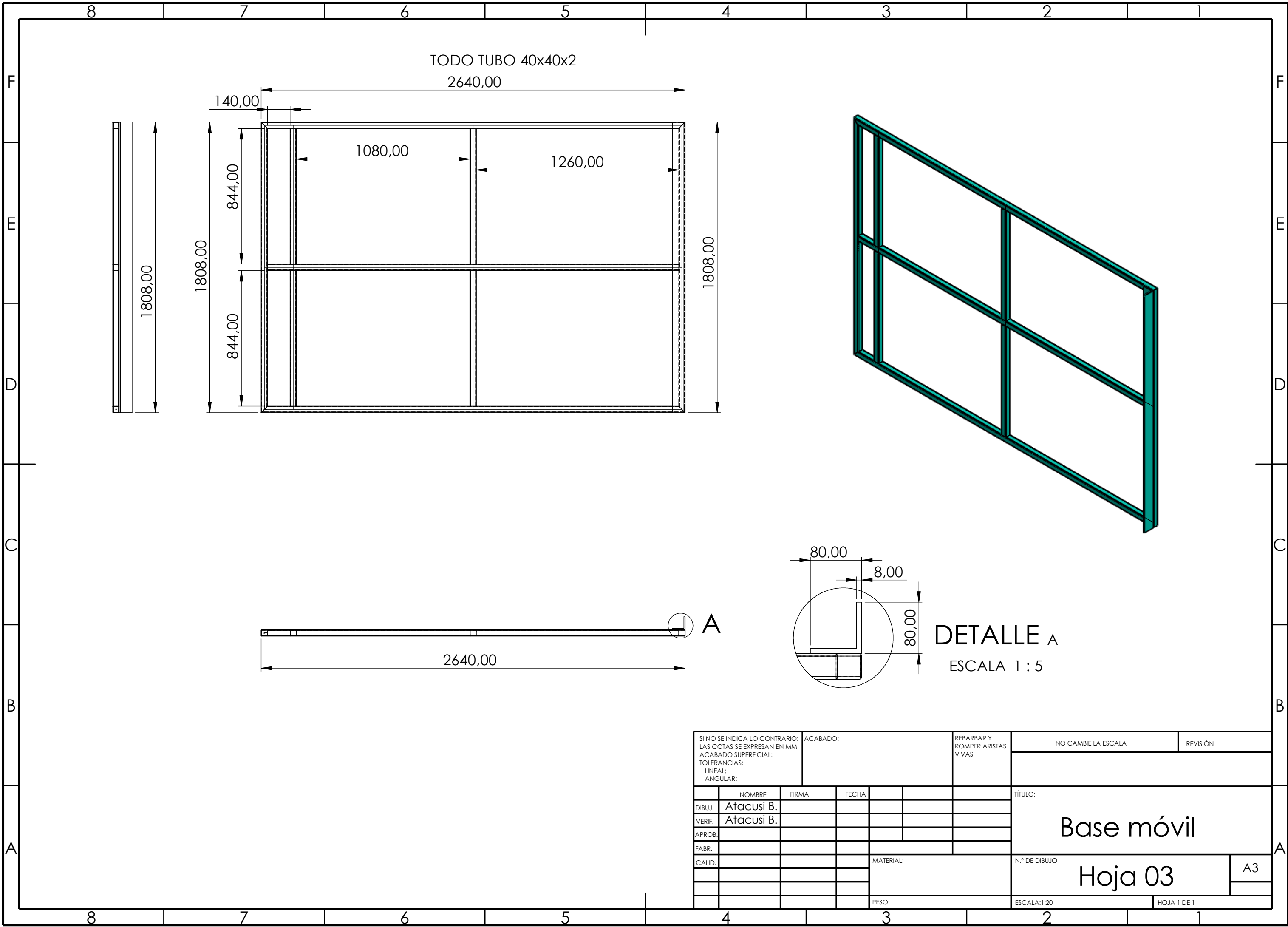
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.	Atacusi B.					Plataforma vuelco completo			
VERIF.	Atacusi B.								
APROB.									
FABR.						N.º DE DIBUJO		A4	
CALID.				MATERIAL:		Hoja 01			
PESO:				ESCALA:1:50		HOJA 1 DE 1			

4 3 2 1



**DETALLE A**  
ESCALA 1:2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	Atacusi B.	FIRMA	FECHA	TÍTULO: <b>Plataforma vuelco</b>	
VERIF.	Atacusi B.			N.º DE DIBUJO	
APROB.				<b>Hoja 02</b>	
FABR.				A3	
CALID.			MATERIAL:	ESCALA:1:20	
			PESO:	HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
DIBUJ. Atacusi B.			FIRMA		FECHA		TÍTULO: <b>Base móvil</b>				
VERIF. Atacusi B.							N.º DE DIBUJO <b>Hoja 03</b>				
APROB.							MATERIAL:		A3		
FABR.							PESO:		ESCALA:1:20		
CALID.									HOJA 1 DE 1		

4 3 2 1

F

F

E

E

D

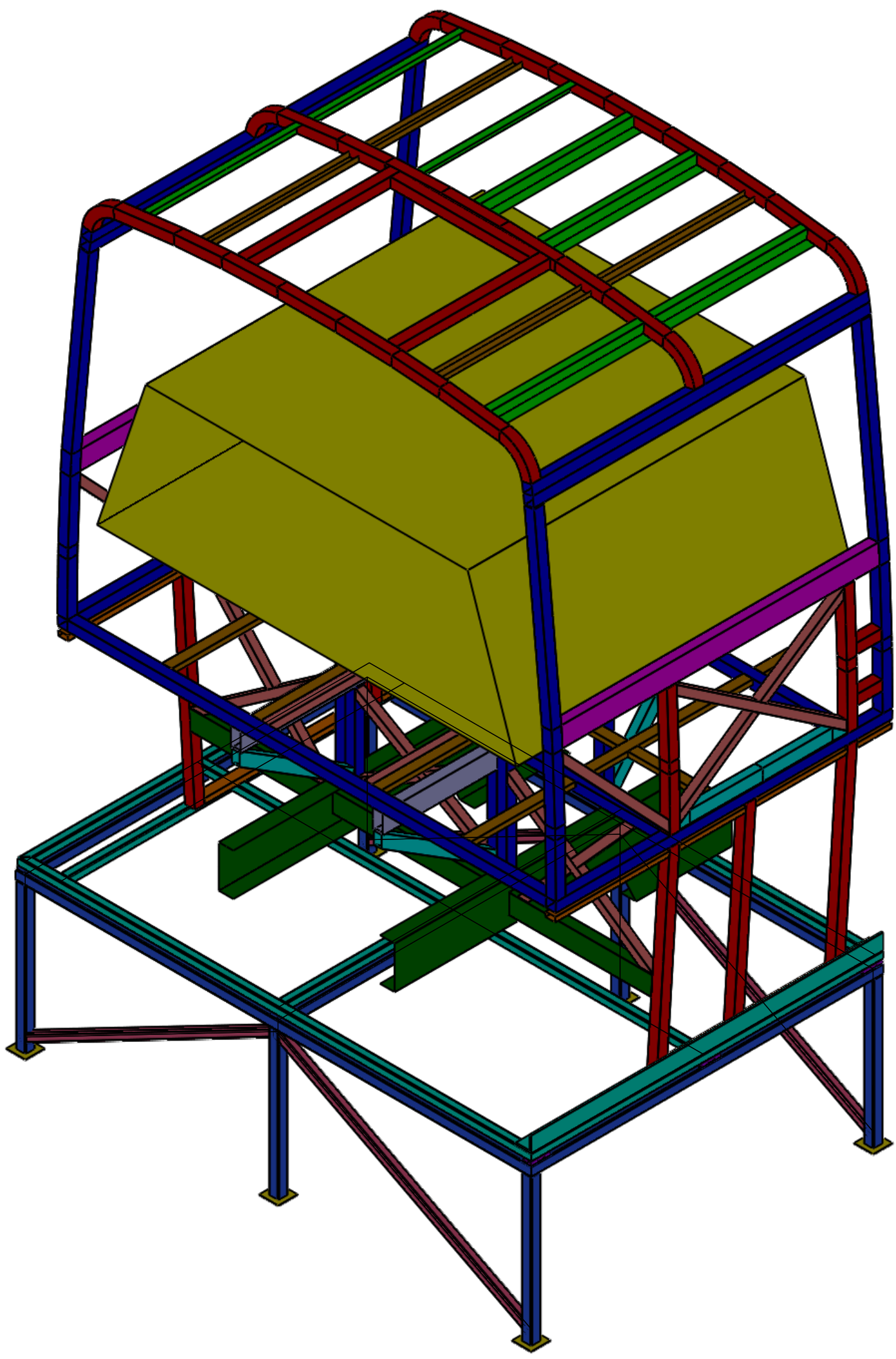
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN

A		NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: <b>Plataforma vuelco isométrico</b>	N.º DE DIBUJO <b>Hoja 04</b>	A4
	DIBUJ.	Atacusi B.						
	VERIF.	Atacusi B.						
	APROB.							
	FABR.							
	CALID.				MATERIAL:	ESCALA: 1:50	HOJA 1 DE 1	
				PESO:				

4 3 2 1

## ANEXO 10.

Fotografías de construcción de plataforma para prueba de vuelco y sección crítica de la estructura del autobús.

### FOTOS PLATAFORMA



Construcción de plataforma



Construcción de plataforma



Construcción de plataforma



Construcción de plataforma



Construcción de plataforma



Construcción de plataforma





Construcción de techo



Construcción de laterales



Construcción de Anclajes



Construcción de Anclajes



Armado de Piso de pasajeros



Armado de Piso de pasajeros



Ensamblaje de Piso, anclajes y laterales



Ensamblaje de Piso, anclajes y laterales



Ensamblaje de techo



Ensamblaje de techo



Armado total de la seccion mas crítica



Movilización de Estructura



Ubicación de estructura en zona de ensayo



Colocacion de masas equivalentes sobre estructura



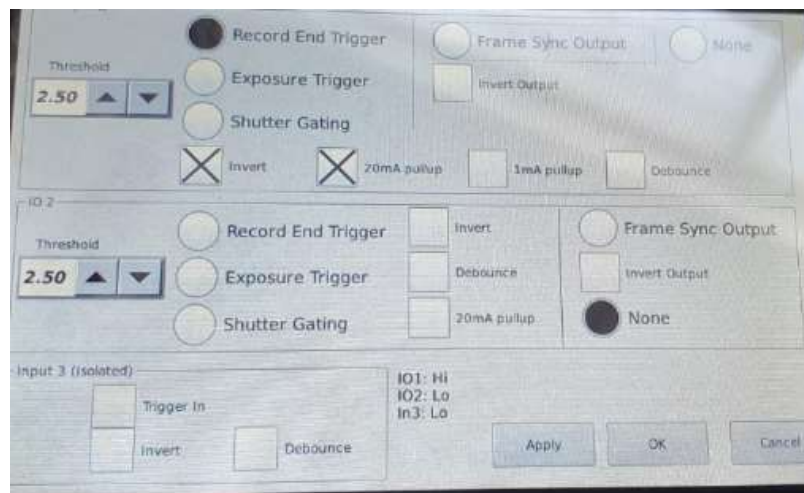
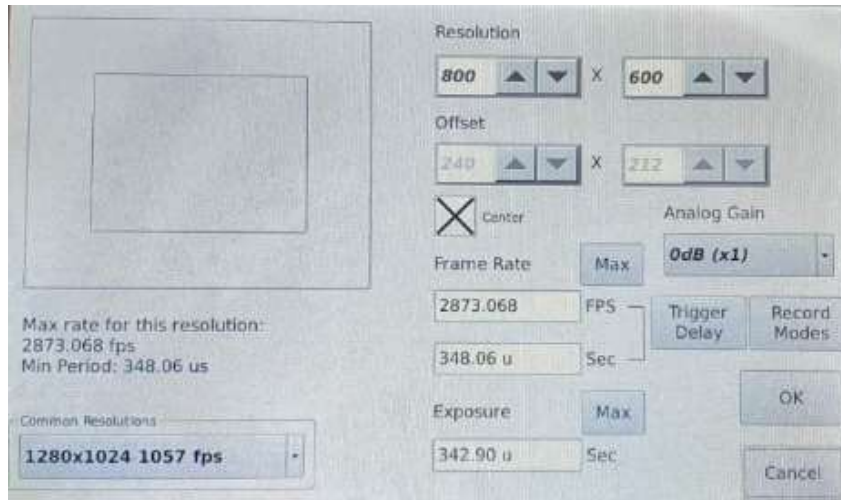
Colocación de espacio de supervivencia y puntos de referencia



Ubicación de estructura de la sección mas crítica sobre plataforma y desarrollo del ensayo de vuelco

## ANEXO 11.

Imágenes de calibración de cámara Chronos 1.4 de alta velocidad



ANEXO 12

TABLA T STUDENT

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
51	0.6793	1.2984	1.6753	2.0076	2.4017	2.6757
52	0.6792	1.2980	1.6747	2.0066	2.4002	2.6737
53	0.6791	1.2977	1.6741	2.0057	2.3988	2.6718
54	0.6791	1.2974	1.6736	2.0049	2.3974	2.6700
55	0.6790	1.2971	1.6730	2.0040	2.3961	2.6682
56	0.6789	1.2969	1.6725	2.0032	2.3948	2.6665
57	0.6788	1.2966	1.6720	2.0025	2.3936	2.6649
58	0.6787	1.2963	1.6716	2.0017	2.3924	2.6633
59	0.6787	1.2961	1.6711	2.0010	2.3912	2.6618
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
61	0.6785	1.2956	1.6702	1.9996	2.3890	2.6589
62	0.6785	1.2954	1.6698	1.9990	2.3880	2.6575
63	0.6784	1.2951	1.6694	1.9983	2.3870	2.6561
64	0.6783	1.2949	1.6690	1.9977	2.3860	2.6549
65	0.6783	1.2947	1.6686	1.9971	2.3851	2.6536
66	0.6782	1.2945	1.6683	1.9966	2.3842	2.6524
67	0.6782	1.2943	1.6679	1.9960	2.3833	2.6512
68	0.6781	1.2941	1.6676	1.9955	2.3824	2.6501
69	0.6781	1.2939	1.6672	1.9949	2.3816	2.6490
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
71	0.6780	1.2936	1.6666	1.9939	2.3800	2.6469
72	0.6779	1.2934	1.6663	1.9935	2.3793	2.6458
73	0.6779	1.2933	1.6660	1.9930	2.3785	2.6449
74	0.6778	1.2931	1.6657	1.9925	2.3778	2.6439
75	0.6778	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
76	0.6777	1.2928	1.6652	1.9917	2.3764	2.6421
77	0.6777	1.2926	1.6649	1.9913	2.3758	2.6412
78	0.6776	1.2925	1.6646	1.9908	2.3751	2.6403
79	0.6776	1.2924	1.6644	1.9905	2.3745	2.6395
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
81	0.6775	1.2921	1.6639	1.9897	2.3733	2.6379
82	0.6775	1.2920	1.6636	1.9893	2.3727	2.6371
83	0.6775	1.2918	1.6634	1.9890	2.3721	2.6364
84	0.6774	1.2917	1.6632	1.9886	2.3716	2.6356
85	0.6774	1.2916	1.6630	1.9883	2.3710	2.6349
86	0.6774	1.2915	1.6628	1.9879	2.3705	2.6342
87	0.6773	1.2914	1.6626	1.9876	2.3700	2.6335
88	0.6773	1.2912	1.6624	1.9873	2.3695	2.6329
89	0.6773	1.2911	1.6622	1.9870	2.3690	2.6322
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
91	0.6772	1.2909	1.6618	1.9864	2.3680	2.6309
92	0.6772	1.2908	1.6616	1.9861	2.3676	2.6303
93	0.6771	1.2907	1.6614	1.9858	2.3671	2.6297
94	0.6771	1.2906	1.6612	1.9855	2.3667	2.6291
95	0.6771	1.2905	1.6611	1.9852	2.3662	2.6286
96	0.6771	1.2904	1.6609	1.9850	2.3658	2.6280
97	0.6770	1.2903	1.6607	1.9847	2.3654	2.6275
98	0.6770	1.2903	1.6606	1.9845	2.3650	2.6269
99	0.6770	1.2902	1.6604	1.9842	2.3646	2.6264
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758