



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**  
**DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA SUPERESTRUCTURA DE  
AUTOBUSES INTERPROVINCIALES RELACIONADO A LA UBICACIÓN  
DEL MOTOR MEDIANTE SIMULACIÓN POR ORDENADOR DEL  
ENSAYO DE VUELCO”**

---

**AUTOR:** Henry Alexander Arévalo Huaca

**TUTOR:** Ing. César Hernán Arroba Arroba Mg.

**AMBATO - ECUADOR**

**Enero - 2023**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA SUPERESTRUCTURA DE AUTOBUSES INTERPROVINCIALES RELACIONADO A LA UBICACIÓN DEL MOTOR MEDIANTE SIMULACIÓN POR ORDENADOR DEL ENSAYO DE VUELCO”**, elaborado por el Sr. Henry Alexander Arévalo Huaca, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 0450195763, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, enero 2023

  
.....  
**Ing. César Hernán Arroba Arroba Mg.**

**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Henry Alexander Arévalo Huaca**, con C.I. 0450195763 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA SUPERESTRUCTURA DE AUTOBUSES INTERPROVINCIALES RELACIONADO A LA UBICACIÓN DEL MOTOR MEDIANTE SIMULACIÓN POR ORDENADOR DEL ENSAYO DE VUELCO”**, así como también los análisis, gráficos, simulaciones, planos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, enero 2023



.....  
**Henry Alexander Arévalo Huaca**

**C.I. 0450195763**

**AUTOR**

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos de línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero 2023



.....  
**Henry Alexander Arévalo Huaca**

**C.I. 0450195763**

**AUTOR**



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Henry Alexander Arévalo Huaca, con C.I. 0450195763 de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA SUPERESTRUCTURA DE AUTOBUSES INTERPROVINCIALES RELACIONADO A LA UBICACIÓN DEL MOTOR MEDIANTE SIMULACIÓN POR ORDENADOR DEL ENSAYO DE VUELCO”

Ambato, enero 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. Diego Fernando Núñez Núñez

**MIEMBRO CALIFICADOR**



Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacís

**MIEMBRO CALIFICADOR**

## DEDICATORIA

*A Dios y la Santísima Virgen María por bendecir e iluminar cada uno de mis pasos.*

*A mis padres Rodrigo y Narciza, por enseñarme con su ejemplo que con trabajo y dedicación todo es posible. Gracias por creer en mí y brindarme su soporte en todo momento de mi vida.*

*A mis hermanos Cristian y Jenny, por su apoyo incondicional y estar siempre ahí para mí.*

*A mis abuelitos Esther y Juan y mi Tía Anita por estar pendientes de mí y apoyarme a lo largo de estos años.*

*En la memoria de mis Abuelitos Alonso y María Elisa por los años compartidos y ahora bendecirme desde el cielo.*

*Alexander Arévalo*

## **AGRADECIMIENTO**

*A los Docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato por compartir su conocimiento y experiencia.*

*A mi tutor el Ing. Cesar Arroba por el apoyo brindado en el desarrollo del presente trabajo.*

*A mis compañeros y amigos por los momentos compartidos.*

*A los integrantes de mi familia que estuvieron pendientes de mi progreso de igual forma muchas gracias.*

*Alexander Arévalo*

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE TABLAS .....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos.....	1
1.2. Fundamentación teórica.....	2
1.2.1. Resistencia de materiales .....	2
1.2.2. Materiales para la fabricación de carrocerías .....	7
1.2.3. Vehículos de transporte .....	10
1.2.4. Autobuses Interprovinciales .....	12
1.2.5. Fundamentos del método de elementos finitos .....	18
1.2.6. Proceso de solución mediante el método de elementos finitos .....	24
1.2.7. Ensayo de vuelco.....	29
1.3. Objetivos.....	32
1.3.1. General .....	32

1.3.2. Específicos .....	32
CAPITULO II .....	33
2. METODOLOGÍA .....	33
2.1. Diagrama de flujo del trabajo experimental .....	33
2.2. Materiales .....	35
2.3. Métodos .....	35
2.3.1. Enfoque .....	35
2.3.2. Modalidad básica de la investigación.....	35
2.3.3. Nivel o tipo de investigación.....	36
2.3.4. Población y muestra .....	36
2.3.5. Hipótesis.....	37
2.3.6. Operacionalización de variables.....	37
2.3.7. Recolección de información preliminar .....	38
2.3.8. Método de simulación por ordenador.....	43
2.3.9. Validación de resultados .....	63
CAPITULO III.....	66
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	66
3.1. Descripción y análisis de los resultados obtenidos.....	66
3.1.1. Análisis de secciones y pórticos.....	69
3.1.2. Análisis de energías.....	88
3.2. Verificación de hipótesis .....	91
CAPITULO IV.....	92
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	92
4.1. Conclusiones.....	92
4.2. Recomendaciones .....	93
5. Referencias Bibliográficas .....	94
6. ANEXOS .....	100

Anexo 1. Extracto de las normas aplicadas.....	100
Anexo 2. Planos de las estructuras con motor delantero y posterior .....	157

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Curva esfuerzo – deformación .....	3
<b>Figura 2:</b> Principio de rigidez .....	5
<b>Figura 3:</b> Principio de superposición .....	5
<b>Figura 4:</b> Principio de Saint-Venant .....	6
<b>Figura 5:</b> Distribución de esfuerzos según el principio de Saint-Venant .....	6
<b>Figura 6:</b> Maquina para ensayos de tracción .....	10
<b>Figura 7:</b> Carrocería de un bus interprovincial .....	12
<b>Figura 8:</b> Carrocería de chasis independiente .....	13
<b>Figura 9:</b> Carrocería de chasis autoportante .....	13
<b>Figura 10:</b> Carrocería de chasis tubular .....	14
<b>Figura 11:</b> Estructura del autobús .....	15
<b>Figura 12:</b> Paneles posterior y delantero.....	15
<b>Figura 13:</b> Paneles laterales .....	16
<b>Figura 14:</b> Chasis tipo torpedo.....	17
<b>Figura 15:</b> Chasis tipo piso bajo .....	17
<b>Figura 16:</b> Chasis tipo autoportante o buggy .....	18
<b>Figura 17:</b> Fibra de material inicial y deformada .....	19
<b>Figura 18:</b> Formulaciones de mallas .....	20
<b>Figura 19:</b> Deformación de un elemento .....	22
<b>Figura 20:</b> Sistemas de coordenadas locales y globales .....	27
<b>Figura 21:</b> Especificación del ensayo de vuelco de vehículo completo .....	30
<b>Figura 22:</b> Espacio de supervivencia .....	30
<b>Figura 23:</b> Diagrama de flujo para el análisis de la resistencia .....	34
<b>Figura 24:</b> Modelado de chasis .....	43
<b>Figura 25:</b> Anclajes en la carrocería .....	43
<b>Figura 26:</b> Parte inferior de la carrocería .....	44
<b>Figura 27:</b> Piso de la carrocería .....	44
<b>Figura 28:</b> Laterales de la carrocería.....	44
<b>Figura 29:</b> Techo de la carrocería .....	45
<b>Figura 30:</b> Estructura frontal de la carrocería .....	45
<b>Figura 31:</b> Estructura posterior de la carrocería.....	45

<b>Figura 32:</b> Modelos de la superestructura.....	46
<b>Figura 33:</b> Espacio de supervivencia .....	46
<b>Figura 34:</b> Revisión del modelo.....	48
<b>Figura 35:</b> Topología compartida en el modelo geométrico.....	48
<b>Figura 36:</b> Muestra de la generación de modelo de malla .....	49
<b>Figura 37:</b> Malla de elementos finitos en LS-Prepost.....	49
<b>Figura 38:</b> Revisión de parámetros Aspect ratio y Jacobian.....	50
<b>Figura 39:</b> Malla de elementos finitos del autobús interprovincial .....	50
<b>Figura 40:</b> Referencia del centro de gravedad en mm .....	54
<b>Figura 41:</b> Movimiento del autobús en el ensayo de vuelco .....	54
<b>Figura 42:</b> Centro de gravedad en el punto inicial.....	55
<b>Figura 43:</b> Diagrama de cuerpo libre del vehículo .....	56
<b>Figura 44:</b> Centro de gravedad en posición de equilibrio inestable.....	57
<b>Figura 45:</b> Centro de gravedad en el punto de contacto .....	58
<b>Figura 46:</b> Comparación entre ensayo de tracción real vs simulado .....	63
<b>Figura 47:</b> Energía cinética inicial calculada por el solucionador de LS-DYNA.....	64
<b>Figura 48:</b> Distribución de secciones y pórticos en el modelo con motor delantero	69
<b>Figura 49:</b> Distribución de secciones y pórticos en el modelo con motor posterior.	69
<b>Figura 50:</b> Esquina superior e inferior del espacio de supervivencia .....	70
<b>Figura 51:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 2.....	71
<b>Figura 52:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 3.....	72
<b>Figura 53:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 4.....	73
<b>Figura 54:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 5.....	74
<b>Figura 55:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 6.....	75
<b>Figura 56:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 7.....	76
<b>Figura 57:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 8.....	77
<b>Figura 58:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 2.....	78
<b>Figura 59:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 3.....	79
<b>Figura 60:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 4.....	80
<b>Figura 61:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 5.....	81
<b>Figura 62:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 6.....	82
<b>Figura 63:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 7.....	83
<b>Figura 64:</b> Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 8.....	84



<b>Figura 65:</b> Distancia del pórtico 2 con respecto a las esquinas del espacio de supervivencia en el modelo con motor delantero.....	85
<b>Figura 66:</b> Intrusión del pórtico 2 del modelo con motor delantero .....	85
<b>Figura 67:</b> Distancia del pórtico 5 con respecto a las esquinas del espacio de supervivencia en el modelo con motor posterior. ....	86
<b>Figura 68:</b> Deformación de la sección 4 del modelo con motor posterior.....	86
<b>Figura 69:</b> Distancia de la superestructura y el espacio de supervivencia en el momento crítico de deformación .....	87
<b>Figura 70:</b> Balance de energías del modelo con motor delantero.....	89
<b>Figura 71:</b> Balance de energías del modelo con motor posterior .....	89
<b>Figura 72:</b> Energía interna en los pórticos del modelo con motor delantero.....	90
<b>Figura 73:</b> Energía interna en los pórticos del modelo con motor posterior.....	90

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Perfiles estándar utilizados en la fabricación de carrocerías .....	8
<b>Tabla 2:</b> Clasificación Vehicular.....	10
<b>Tabla 3:</b> Clasificación de vehículos de categoría M .....	11
<b>Tabla 4:</b> Descripción de materiales utilizados .....	35
<b>Tabla 5:</b> Operacionalización de variable independiente .....	37
<b>Tabla 6:</b> Operacionalización de variable dependiente .....	38
<b>Tabla 7:</b> Especificaciones del chasis de motor delantero y posterior .....	39
<b>Tabla 8:</b> Dimensiones de voladizo delantero, posterior y entre ejes.....	39
<b>Tabla 9:</b> Dimensiones utilizadas en la superestructura con motor delantero y posterior .....	39
<b>Tabla 10:</b> Otras dimensiones generales de las superestructuras .....	41
<b>Tabla 11:</b> Materiales utilizados en el modelado de las superestructuras .....	41
<b>Tabla 12:</b> Elementos de unión al chasis .....	42
<b>Tabla 13:</b> Preparación del modelo .....	47
<b>Tabla 14:</b> Definición de unidades .....	51
<b>Tabla 15:</b> Características asignadas a la superestructura .....	51
<b>Tabla 16:</b> Características asignadas al chasis.....	51
<b>Tabla 17:</b> Características asignadas al motor.....	52
<b>Tabla 18:</b> Características asignadas al piso.....	52
<b>Tabla 19:</b> Características asignadas al espacio de supervivencia .....	52
<b>Tabla 20:</b> Valores de masa obtenidos .....	53
<b>Tabla 21:</b> Posición del centro de gravedad .....	53
<b>Tabla 22:</b> Resumen de datos para cálculo de velocidad angular.....	59
<b>Tabla 23:</b> Cálculo de velocidad angular.....	60
<b>Tabla 24:</b> Revisión de time step.....	62
<b>Tabla 25:</b> Validación de resultados de ensayo de tracción .....	64
<b>Tabla 26:</b> Distancia mínima entre cada pórtico con respecto al espacio de supervivencia – esquina inferior .....	70
<b>Tabla 27:</b> Distancia mínima entre cada pórtico con respecto al espacio de supervivencia - esquina superior.....	70

<b>Tabla 28:</b> Distancia de los pórticos con respecto al espacio de supervivencia a los 171 ms en el modelo con motor delantero .....	87
<b>Tabla 29:</b> Distancia de los pórticos con respecto al espacio de supervivencia a los 134 ms en el modelo con motor posterior .....	87
<b>Tabla 30:</b> Valores y porcentajes de energías al final de la simulación .....	89

## RESUMEN

Para el análisis de la resistencia de la superestructura relacionado a la ubicación del motor inicialmente se creó modelos 3D multicuerpo del vehículo de tipo interprovincial, con dimensiones que cumplen eventualmente los requisitos expuestos en la Normativa Técnica Ecuatoriana de Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial (NTE INEN 1668:2015). Cada estructura se ensambló a un chasis con motor delantero y posterior respectivamente. A fin de identificar la variación de la resistencia que estas experimentan en un evento de vuelco, se asignó características similares en los dos modelos. Seguidamente, se realizó la preparación de los mismos, es decir se repararon los errores en la geometría, posteriormente se generó una malla de elementos finitos con los índices de calidad recomendados. A continuación se realizó el pre-procesamiento, se definió las condiciones iniciales, de borde y de control. Finalmente se ejecutó la solución y se evaluó principalmente si algún elemento de la superestructura invadió el espacio de supervivencia descrito en la Normativa Técnica Ecuatoriana de Vehículos Automotores, Carrocerías de Buses (NTE INEN 1323:2009) y el Reglamento N° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (ECE R66, por sus siglas en inglés) mediante el análisis de cada una de las secciones y pórticos. Además, se examinó las energías producidas a fin de determinar cómo se adapta cada modelo a las exigencias de estas normativas.

**Palabras Claves:** Simulación de vuelco, Autobús interprovincial, Ubicación del motor, Análisis de resistencia, Superestructura.

## ABSTRACT

For the analysis of the strength of the superstructure related to the location of the engine, we initially created 3D multibody models of the interprovincial type vehicle, with dimensions that eventually meet the requirements set forth in the Ecuadorian Technical Standard for Intraregional, Interprovincial and Intraprovincial Public Passenger Transport Vehicles (NTE INEN 1668:2015). Each structure was assembled to a chassis with front and rear engine respectively. In order to identify the variation of the resistance they experience in a rollover event, similar characteristics were assigned to the two models. Then, the preparation of the models was carried out, that is to say, the errors in the geometry were repaired, then a finite element mesh was generated with the recommended quality indexes. Next, the pre-processing was performed, the initial, boundary and control conditions were defined. Finally, the solution was executed and it was mainly evaluated whether any element of the superstructure invaded the survival space described in the Ecuadorian Technical Standard for Motor Vehicles, Bus Bodies (NTE INEN 1323:2009) and Regulation No. 66 of the United Nations Economic Commission for Europe (ECE R66) by analyzing each of the sections and frames. In addition, the energies produced were examined in order to determine how each model adapts to the requirements of these regulations.

**Keywords:** Rollover simulation, Interprovincial bus, Engine location, Strength analysis, Superstructure.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos

Un evento de vuelco es uno de los riesgos más cruciales para la seguridad de los pasajeros y la tripulación que viaja en un autobús. En los últimos años se observó que después de los accidentes la deformación de la estructura amenaza seriamente la vida de los pasajeros, por lo que la resistencia al vuelco se ha convertido en un tema importante para los fabricantes de autobuses a nivel mundial. Según un estudio realizado en Alemania [1] en el que se tomó una muestra de 48 accidentes de autobuses ocurridos, ocho de ellos fueron accidentes de vuelco, estos representaron el 50% de todas las lesiones graves y el 90% de todas las muertes.

En la industria carrocera existen documentos regulatorios que se encuentran vigentes a fin de evitar estas consecuencias desastrosas ante posibles accidentes. De acuerdo con regulaciones técnicas europeas, específicamente en ECE R66 [2] se establece que todo vehículo de transporte de pasajeros debe obtener una certificación mediante pruebas de vehículos a gran escala (suponen altos costos económicos) o mediante técnicas de cálculo basadas en métodos numéricos avanzados (análisis de elementos finitos dinámicos explícitos no lineales) para simular condiciones similares a la realidad [2]. El interés final es la deformación por flexión que permite a los ingenieros investigar si hay alguna intrusión en el espacio de supervivencia a lo largo de todo el vehículo, sin embargo, la masa que se agrega en otras condiciones puede comprometer la resistencia de la superestructura.

Por estos motivos, Wicaksono *et al.* [3] investigaron la forma en que la deformación de la estructura del autobús cambia de acuerdo a dos condiciones: vacío y completamente cargado (incluyendo el motor, depósito de combustible, transmisión, ejes, chasis). Los resultados indican que mientras más se aumenta el peso del vehículo, este tiende a incrementar su energía potencial, lo que significará que la estructura tendrá que absorber mayor cantidad de energía cinética.

Por su parte, Guler *et al.* [4] en su trabajo de investigación realizada sobre la deformación que experimenta la estructura en un ensayo de vuelco y la influencia de

la masa en cuatro posibles escenarios (estructura, estructura-asientos, estructura-asientos-pasajeros, estructura-asientos-pasajeros–equipaje) señalan que conforme se aumentan componentes al modelo del autobús, la distancia entre el espacio de supervivencia y la estructura disminuye hasta ser invadida esta última, esto como consecuencia de la bajada del centro de gravedad y por ende, provocaría accidentes de alta gravedad. De acuerdo a estas investigaciones se puede establecer que la superestructura de un autobús no es completamente fuerte para resistir el vuelco cuando se aumentan otros componentes estructurales.

## **1.2.Fundamentación teórica**

Para el análisis de la resistencia, es necesario definir conceptos fundamentales de los materiales. En la ingeniería esta área de estudio se puede definir por otros nombres como mecánica de materiales o mecánica de cuerpos deformables [5].

### **1.2.1. Resistencia de materiales**

El principal objetivo de la resistencia de materiales es investigar el comportamiento de las estructuras cuando están sujetas a estados de carga, mediante el análisis de los estados de tensión y deformación. Las normativas vigentes especifican los criterios de resistencia, con la intención de precautelar la seguridad estructural, para valorar este hecho es necesario precisar los estados de tensión. De la misma manera, los criterios de rigidez garantizan la funcionalidad de las estructuras, para lo cual es indispensable establecer los estados de deformación. Cabe señalar, que la resistencia de materiales también aborda el estudio de estabilidad de los cuerpos, por ejemplo, la carga de compresión que se ejerce sobre un elemento estructural [6].

En pocas palabras, el área de resistencia de materiales se encarga de analizar lo relacionado a la resistencia y rigidez de las estructuras. Estos dos factores implicados son de crucial importancia para encontrar solución a las problemáticas que se presentan en la práctica de ingeniería, que son comúnmente el dimensionamiento y la verificación de las estructuras [7].

#### **1.2.1.1. Conceptos básicos en la resistencia de materiales**

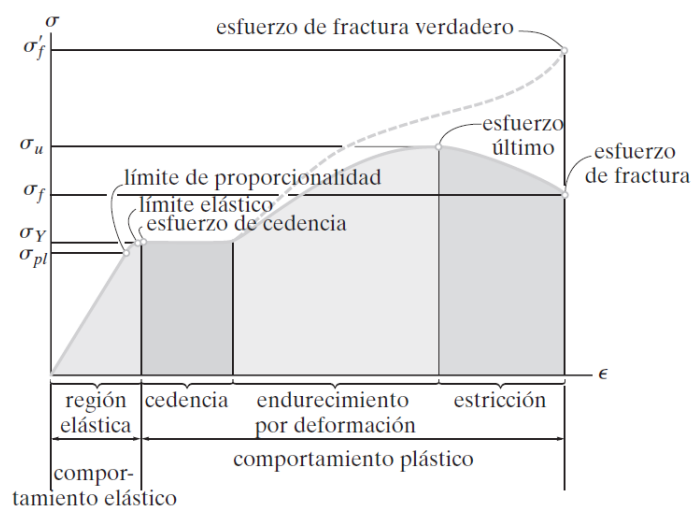
-Esfuerzo: Se define como esfuerzo a la cantidad de resistencia interna que un miembro estructural soporta por cada unidad de área, mediante la aplicación de una

carga externa [8], estos pueden actuar de forma uniforme en un área o variar de intensidad de un punto a otro. Se producen esfuerzos de tensión cuando la fuerza aplicada estira al elemento; de igual forma se producen esfuerzos de compresión cuando se comprime el elemento. Siempre que actúen fuerzas paralelas en el elemento se consideran esfuerzos normales, por el contrario, cuando actúan en dirección perpendicular al elemento se consideran esfuerzos cortantes [5].

-Deformación: Cualquier elemento estructural al que se le ejerce un sistema de cargas, se deforma por acción de estas [8], por consiguiente, los puntos en el cuerpo experimentarán desplazamientos o cambios de posición.

-Rigidez: Se define como rigidez a la acción de un cuerpo al soportar ciertas cargas y no deformarse, en sí, cuando un material es más rígido, menos experimenta el fenómeno de la deformación. En el área de la resistencia de materiales este concepto es fundamental ya que cuando en un elemento se produce deformación, su trabajo se vuelve inadecuado en un sistema estructural [9].

-Elasticidad y linealidad: Los cuerpos sólidos cuando se encuentran sometidos a un sistema de cargas se deforman, sin embargo, cuando se retira la acción de las cargas, el elemento recupera su forma original. Este fenómeno que experimentan los elementos es denominado elasticidad. No obstante, la realidad es que en todo elemento se producen dos tipos de deformación: elástica y permanente. Cuando se deja de aplicar cargas sobre un elemento la deformación elástica desaparece, por el contrario, cierta parte de la deformación permanente persiste en el elemento [7].



**Figura 1:** Curva esfuerzo – deformación

**Fuente:** [6]



La relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria se conoce como ley de Hooke, producida en la zona lineal hasta un punto denominado límite de proporcionalidad, sin embargo, no existe deformación permanente hasta el punto denominado límite elástico. Inmediatamente se observa el punto superior de cedencia, aquí ya se pueden distinguir deformaciones permanentes, enseguida hay una nivelación en el punto inferior de fluencia. Se alcanza entonces la zona de comportamiento plástico en la que el esfuerzo se mantiene constante mientras que la deformación unitaria sigue creciendo, hasta que inicia la zona de endurecimiento por deformación en la que se ejerce esfuerzo extra, por último, empieza la zona de estricción en la que el esfuerzo decrece y la deformación unitaria se mantiene creciente, hasta un punto en el que ocurre la falla del material [10].

Este comportamiento se relaciona con ciertos fenómenos descritos a continuación:

-Módulo de Young: en la curva existe una constante proporcional entre el esfuerzo y la deformación, una pendiente que es denominada como módulo de Elasticidad.

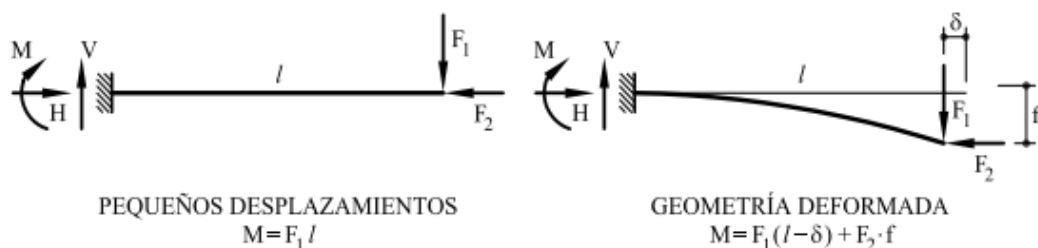
-Coeficiente de Poisson: es la relación entre el ensanchamiento transversal y el acortamiento lateral cuando un elemento se somete a un esfuerzo de compresión.

### 1.2.1.2. Principios de la Resistencia de Materiales

La resistencia de materiales está fundamentada sobre tres principios, que se describen a continuación, de modo que, si el cumplimiento de estos principios es satisfactorio se puede afirmar que los resultados obtenidos son válidos.

#### Principio de Rigidez

En el análisis estructural, este principio es aplicado como resultado de la hipótesis de movimientos pequeños, la cual manifiesta que es posible plantear ecuaciones de equilibrio sobre una geometría que no haya sido deformada, en otras palabras, sin tomar en cuenta los desplazamientos que resultan del sistema de cargas.

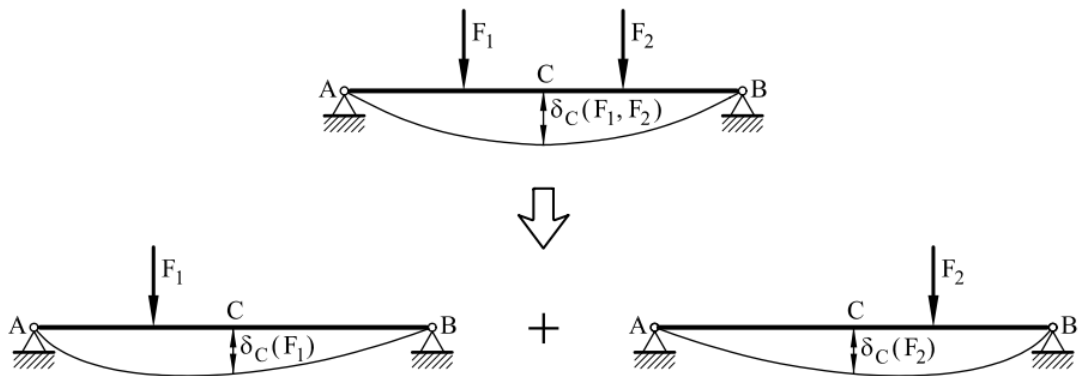


**Figura 2: Principio de rigidez**  
**Fuente: [7]**

En síntesis, expresa que el movimiento estructural producido en el sistema mediante la aplicación de cargas es insignificante, es decir, el desplazamiento no es relevante en contraste con las dimensiones que presenta una estructura, de igual forma, los giros expresados en radianes, en contraste con la unidad. En caso de incumplimiento de esta condición, se procede a plantear las ecuaciones de equilibrio en geometría deformada, por consiguiente, el problema lineal se convierte en un problema geoméricamente no definido [7].

### Principio de superposición

Un problema se caracteriza como lineal cuando se cumplen tanto la hipótesis de desplazamientos pequeños como la ley de Hooke, en función de esto es posible aplicar este principio, el cual expresa que las reacciones que se originan por aplicar un sistema de fuerzas, son equivalentes a la suma de las reacciones producidas por el mismo sistema de fuerzas que actúa de manera individual. En la siguiente figura se observa este hecho, se ejercen dos fuerzas puntuales sobre una viga con doble apoyo y se puede distribuir en dos sistemas de cargas más sencillos [7].

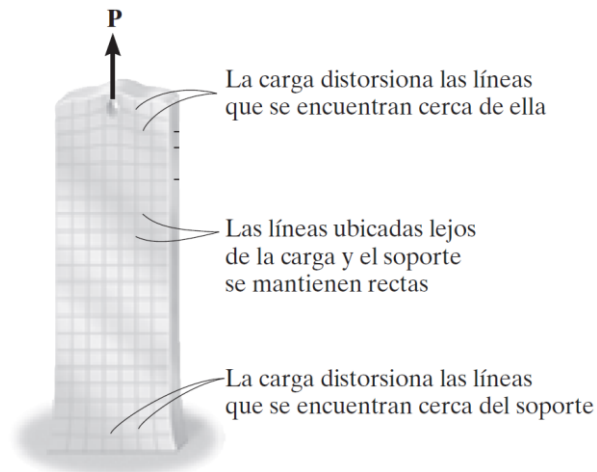


**Figura 3: Principio de superposición**  
**Fuente: [7]**

### Principio de Saint-Venant

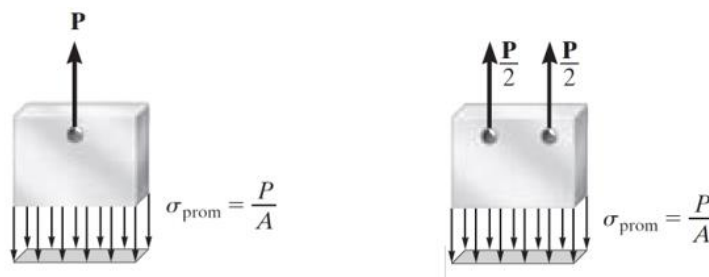
Existe una relación matemática entre el esfuerzo y la deformación en dependencia del tipo de material del elemento que se está analizando, con este antecedente, este principio establece que: el esfuerzo y deformación que se originan sobre los puntos de

un elemento que se encuentra lo suficientemente distante de la zona de aplicación de un sistema de cargas, serán equivalentes a la deformación y esfuerzo producidos por cualesquiera cargas aplicadas, con la condición que tengan la misma resultante estáticamente equivalente, y que se apliquen al elemento dentro de la misma zona [6].



**Figura 4:** Principio de Saint-Venant  
**Fuente:** [6]

Esto significa que se producen deformaciones por efecto de fuerzas, apoyos, etc., y solamente influyen sobre un área localizada en las secciones en que se originan, sin embargo, el esfuerzo se vuelve uniforme mientras se encuentre lo suficientemente distante del punto de aplicación de la carga. Por ende, si se aplican dos fuerzas  $P/2$  simultáneamente sobre una barra la distribución de esfuerzos en cierta área será uniforme.



**Figura 5:** Distribución de esfuerzos según el principio de Saint-Venant  
**Fuente:** [6]

Los principios que han sido descritos anteriormente restringuen su uso a problemas lineales, sin embargo, la realidad es que todo cuerpo sometido a un sistema de cargas sufre deformaciones temporales o permanentes como es el caso del vuelco de un autobús.

### **1.2.2. Materiales para la fabricación de carrocerías**

En la actualidad existe una cantidad muy variada de materiales utilizados en la fabricación de carrocerías, cada uno de ellos ofrece características propias, estas son aprovechadas en desarrollo de la seguridad y garantizar la resistencia estructural al producirse accidentes.

La fabricación de carrocerías de autobuses está marcada por el uso de acero como el material de uso común, ya que presenta propiedades mecánicas ideales, como la resistencia y ductilidad, además su precio es relativamente económico si se lo compara con otros materiales disponibles en el mercado [11].

#### **1.2.2.1. Acero estructural**

Este material se compone principalmente mediante aleaciones de hierro y carbono, en adición con otros elementos en pequeñas cantidades, por lo que se agrupan de acuerdo a su composición en:

-Aceros simples al carbono: están compuestos principalmente por hierro y carbono, con un porcentaje de carbono menor a 1%.

-Aceros de baja aleación: su composición se basa en hierro y carbono, en conjunto con otros componentes a menos del 5%, mediante los cuales se aumenta la resistencia y se disminuye la ductilidad.

-Aceros de alta resistencia: Presentan un porcentaje mayor de componentes agregados en comparación con los aceros de baja aleación, con características de resistencia a la corrosión.

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) realiza la identificación de los grados del acero estructural mediante una designación [10]. Recientemente, los materiales comerciales que han sido más utilizados en la fabricación de carrocerías de autobuses son los aceros ASTM A36 y A500. El acero ASTM A36 pertenece a la familia de aceros al carbono, este proporciona una alta calidad estructural debido a que posee características como la resistencia, conformabilidad y excelentes propiedades de soldadura, esto hace que sea una alternativa viable para la construcción estructural [12]. El acero ASTM A500 por su parte se encuentra disponible en varios grados de resistencia, de igual manera se

caracteriza por ser un acero al carbono sin costura y conformado en frío, entre las cualidades más sobresalientes de este material se puede destacar la excelente soldabilidad y maquinabilidad [13].

#### 1.2.2.1.1. Propiedades de los aceros estructurales

-Resistencia: Este material es capaz de soportar grandes cargas sin sufrir daños o modificaciones en su forma, por lo que proporciona un gran nivel de seguridad.

-Ductilidad: Es la capacidad que posee un elemento para soportar altas deformaciones sin experimentar fractura, por lo que permite evitar fallas prematuras.

-Tenacidad: Es la capacidad que tiene un material para absorber gran cantidad de energía, al producirse un impacto [14].

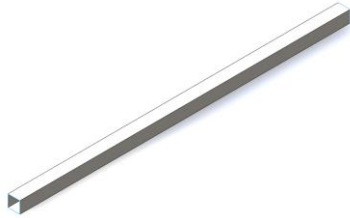
-Durabilidad: Es importante ya que se permite tener una estructura en funcionamiento durante un tiempo indeterminado, solo es importante tomar en cuenta el efecto de la corrosión en la parte exterior.

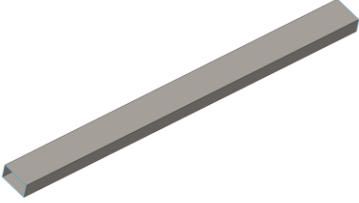
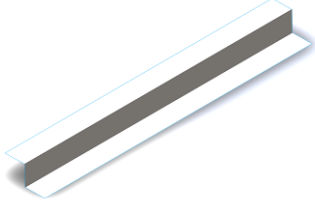
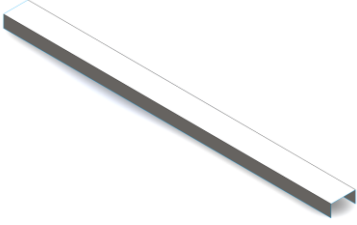
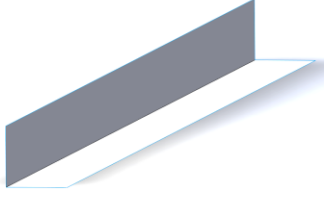
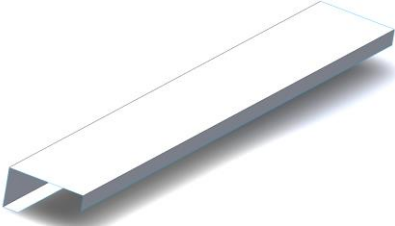
-Soldabilidad: Cabe recalcar esta propiedad ya que el acero posee una gran ventaja al ser un material soldable, por lo que es posible realizar uniones mediante el uso de la soldadura [15].

#### 1.2.2.1.2. Tipos de perfiles de acero estructural

Las empresas dedicadas a la fabricación de acero estructural mantienen en sus catálogos una amplia gama de perfiles estructurales estándar, estos proveen al fabricante un rendimiento óptimo en uso, esto se hace posible gracias a que este material se puede fabricar en diferentes formas [8]. En la siguiente tabla se indican los perfiles estructurales estándar y su aplicación en la construcción de carrocerías.

**Tabla 1:** Perfiles estándar utilizados en la fabricación de carrocerías

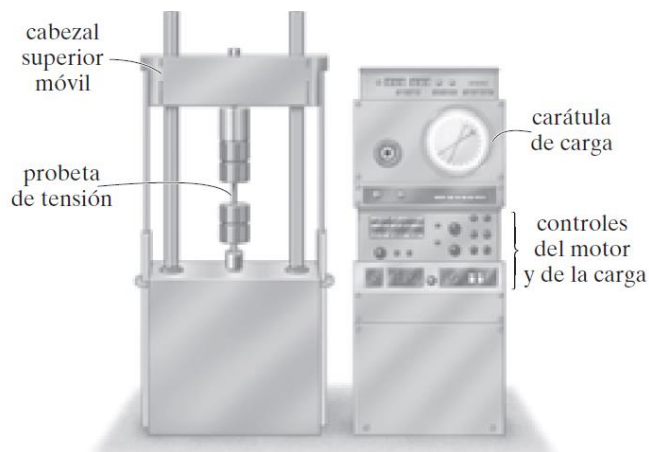
Descripción	Aplicaciones	Grafico
Tubería estructural cuadrada	-Partes principales del piso -Marco de la puerta -Parte principal del pórtico	

Tubería estructural rectangular	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Anclajes</li> <li>-Frontal de la estructura</li> <li>-Divisor de parabrisas</li> </ul>	
Tubería estructural tipo Z	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Largueros del techo</li> </ul>	
Tubería estructural tipo C	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Anclajes de los asientos</li> </ul>	
Tubería estructural tipo L	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Unión entre la carrocería y el chasis</li> </ul>	
Tubería estructural tipo G	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Refuerzos de claraboyas</li> </ul>	

### 1.2.2.2. Ensayo de tracción para aceros

En el área de la resistencia es indispensable conocer el comportamiento mecánico del material a utilizar, lo cual se puede realizar mediante experimentación. El ensayo de tracción permite establecer las propiedades mecánicas del material, sin embargo, este es usado principalmente para observar la relación entre el esfuerzo y la deformación. Se realiza con probetas estándar que están especificadas en la Normativa Técnica

Ecuatoriana de Ensayos de Tracción para Materiales Metálicos a Temperatura Ambiente (NTE INEN 109:2009) [16] y una máquina de pruebas de tracción. Los extremos de la probeta son sujetados con el objetivo de aplicar carga en tensión a velocidad constante hasta que la probeta falle, los datos se registran mediante controles de medición y procesamiento que son los encargados de tabular y graficar los resultados [5]. En el presente análisis se realiza una comparación entre un ensayo de tracción físico y simulado para realizar la validación de resultados.



**Figura 6:** Máquina para ensayos de tracción  
**Fuente:** [6]

### 1.2.3. Vehículos de transporte

Son los vehículos destinados a desplazar personas y/o equipaje de un lugar a otro mediante la prestación del servicio de transporte [17]. Tienen la capacidad de transportar a varios usuarios, por este motivo son regulados para brindar seguridad durante el desplazamiento por carretera.

#### 1.2.3.1. Clasificación vehicular

Según lo establecido en la Normativa Técnica Ecuatoriana de Clasificación Vehicular (NTE INEN 2656) [18] los vehículos de transporte terrestre se clasifican de acuerdo a las siguientes categorías:

**Tabla 2:** Clasificación Vehicular

Categoría	Descripción
L	Vehículos motorizados con dos, tres o cuatro ruedas.
M	Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de pasajeros.

N	Vehículos motorizados de cuatro ruedas o más diseñados y contruidos para el transporte de mercancías.
O	Vehículos no motorizados diseñados para ser remolcados por un vehículo de motor.
Propósitos especiales	Vehículos que pertenecen a las categorías M, N u O destinados al transporte de pasajeros o mercancías que cumplen una función adicional y que presentan características especiales tanto en su carrocería o equipamiento.
Agrícolas	Vehículos destinados al uso agrícola.
Multipropósito	Vehículos motorizados diferentes al sedan, hatchback, station wagon, coupé o convertible destinados al transporte de pasajeros y su equipaje, en un mismo compartimiento.

**Fuente:** [18]

El presente análisis se enfoca en los vehículos de categoría M que están destinados al transporte de pasajeros, estos se subclasifican así:

**Tabla 3:** Clasificación de vehículos de categoría M

Subcategoría	Descripción
M1	Vehículos motorizados con capacidad no mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor.
M2	Vehículos motorizados con capacidad mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor, y cuyo PBV no supere los 5000 kg.
M3	Vehículos motorizados con más de ocho plazas, además del asiento del conductor, y cuyo PBV sea superior a 5000 kg.

**Fuente:** [18]

El documento de la Directiva 2001/85/CE del Parlamento Europeo y del Consejo [19], en su anexo 1 expone que se puede considerar un vehículo en una o más clases, con esta consideración el vehículo de transporte interprovincial cuenta con capacidad de más de 8 pasajeros, sin embargo, el peso bruto vehicular no supera los 5000 kg, por lo que se encuentra ubicado entre la categoría M2 y M3.

La categoría M2 y M3 están subdivididas de acuerdo a la capacidad de pasajeros, que debe ser mayor a 22, conforme a lo establecido anteriormente se clasifican en:

- Clase I. Vehículos provistos con zonas para transportar pasajeros de pie.



- Clase II. Vehículos destinados para pasajeros sentados, además para trasladar pasajeros de pie en el área del pasillo o un área que no invada el espacio establecido para dos asientos dobles.
- Clase III. Vehículos destinados de forma exclusiva para trasladar pasajeros sentados.

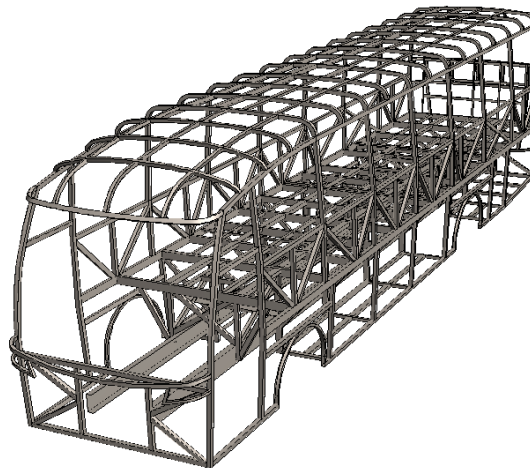
El servicio de transporte interprovincial se caracteriza por recorrer grandes distancias y por esta razón se considera el transporte de pasajeros exclusivamente sentados, por lo que para el presente análisis se estableció como un vehículo clase III.

#### **1.2.4. Autobuses Interprovinciales**

Según lo expuesto en el Reglamento General para la Aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial [20] en su art. 60 establece que el servicio de transporte interprovincial está calificado para operar dentro de los límites del territorio nacional, por lo general para transporte entre provincias de una misma región o en diferentes regiones. Estos constan especialmente de dos partes, carrocería y chasis.

##### **1.2.4.1. Carrocería**

La carrocería constituye un armazón integrado por un conjunto de elementos estructurales que forman la capa exterior del autobús. Este espacio es utilizado para el transporte de pasajeros y carga. En la actualidad es fundamental para la seguridad de los ocupantes, ya que de esta depende el nivel de resistencia, de cara a absorber energía proveniente de impactos.



**Figura 7:** Carrocería de un bus interprovincial

#### 1.2.4.1.1. Tipos de carrocería

Las carrocerías según su construcción se clasifican de la siguiente manera:

-Carrocerías de chasis independiente: se caracterizan porque la carrocería y el chasis forman cada uno en conjunto independiente, es decir, está constituida por estas dos partes, aquí el chasis cumple la función de soportar los elementos mecánicos del vehículo.



**Figura 8:** Carrocería de chasis independiente

**Fuente:** [21]

-Carrocerías de chasis autoportante: son las de mayor fabricación actual ya que permiten ahorrar peso en su estructura, forman un solo conjunto entre la carrocería y el bastidor, además presentan mayor estabilidad respecto al chasis independiente ya que su centro de gravedad se encuentra más abajo.

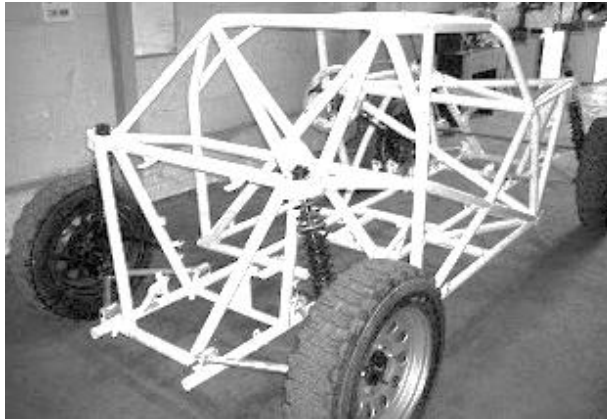


**Figura 9:** Carrocería de chasis autoportante

**Fuente:** [21]

-Carrocerías de chasis tubular: conforman el habitáculo del vehículo mediante la unión de tubos metálicos por procesos de soldadura. Estos brindan características

importantes como rigidez, resistencia y peso mínimo. El alto precio de los materiales y dificultad de fabricación hacen que sea el tipo de chasis menos construido.

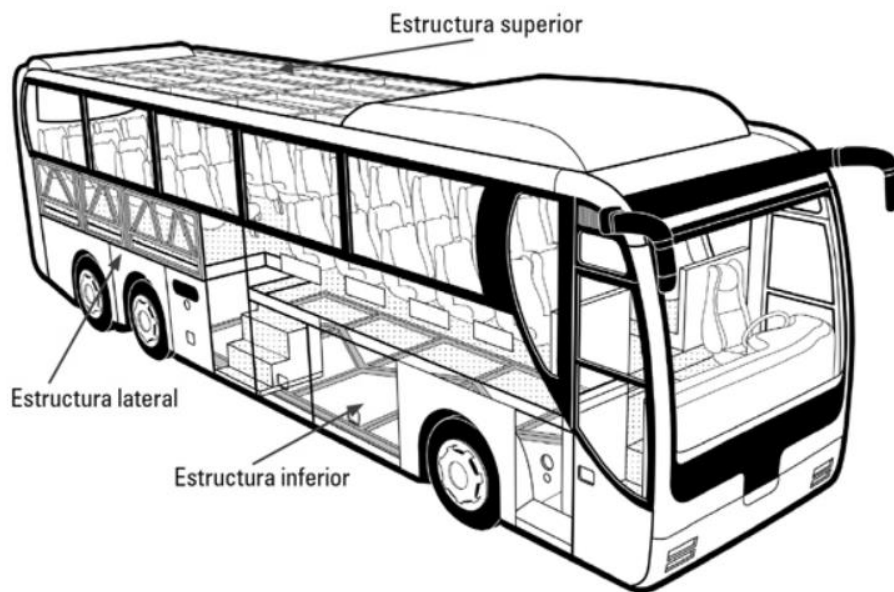


**Figura 10:** Carrocería de chasis tubular  
**Fuente:** [21]

Los autobuses interprovinciales son fabricados mediante carrocería de chasis independiente ya que están constituidos por dos sistemas principales: la carrocería y el chasis, los mismos son elementos que forman parte de la seguridad pasiva del vehículo. Son los primeros componentes que actúan cuando se produce un impacto, por lo que deben ser resistentes y deformables; resistentes para conservar el habitáculo sin invasiones de elementos estructurales y deformables para disipar la mayor cantidad de energía y reducir los efectos sobre los ocupantes [22].

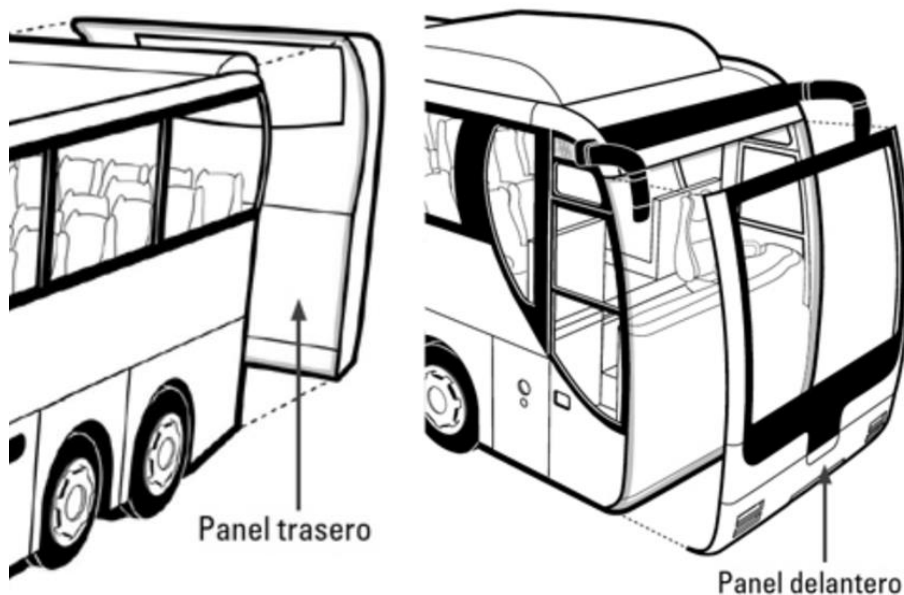
#### **1.2.4.1.2. Partes de la carrocería**

-Estructura: Conjunto conocido con otros nombres como superestructura o estructura del esqueleto, este sistema forma parte de los elementos estáticos del autobús, se encarga de proporcionar resistencia y rigidez, además, sirve como soporte para los elementos que se encuentran en el interior de la carrocería. Está constituida de varios conjuntos (piso, techo, laterales, frontal, posterior). Su función principal es absorber energías externas, a fin de propagarlas y distribuirlas hacia otros perfiles estructurales menos solicitados mediante juntas colocadas a lo largo de toda la estructura.

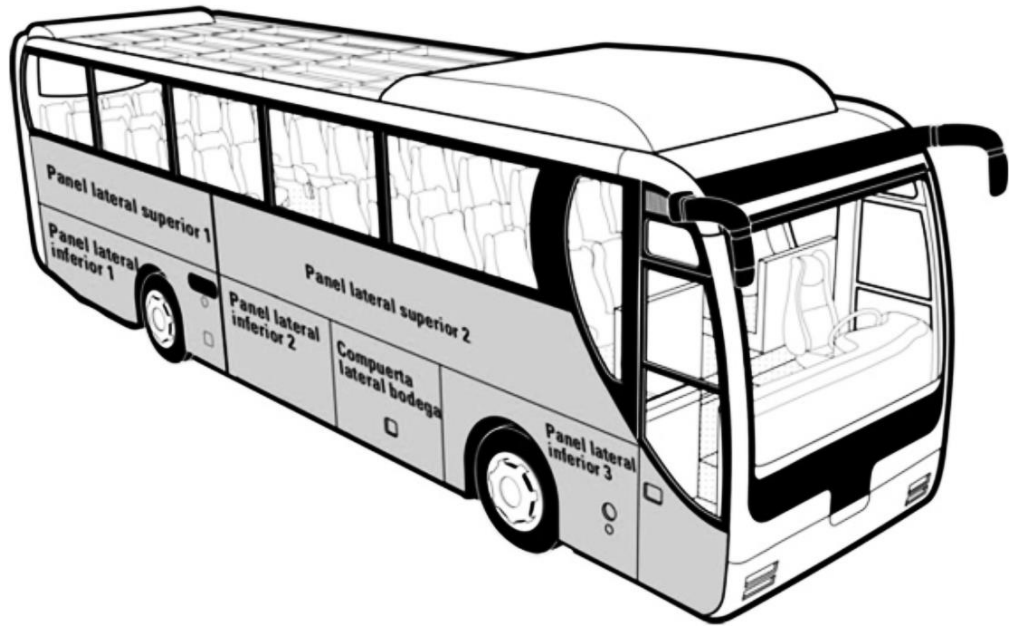


**Figura 11:** Estructura del autobús  
**Fuente:** [23]

-Panel exterior o forros: Mediante laminas metálicas y elementos de materiales compuestos como fibra conforman el recubrimiento exterior que da forma al vehículo. Son provistas de capas y revestimientos que tienen la función de proteger a la estructura contra los efectos de agentes atmosféricos (oxidación, corrosión, etc.)



**Figura 12:** Paneles posterior y delantero  
**Fuente:** [23]



**Figura 13:** Paneles laterales  
**Fuente:** [23]

-Juntas: Se refiere al sistema de sujeción utilizada y se constituyen como el enlace de los elementos que componen el autobús. Entre las principales se destaca las uniones por soldadura utilizada para fijar perfiles estructurales, uniones empernadas usadas para unión entre el chasis y carrocería, uniones mediante remaches para sujetar laminas metálicas o de fibra y aglutinantes para otros accesorios.

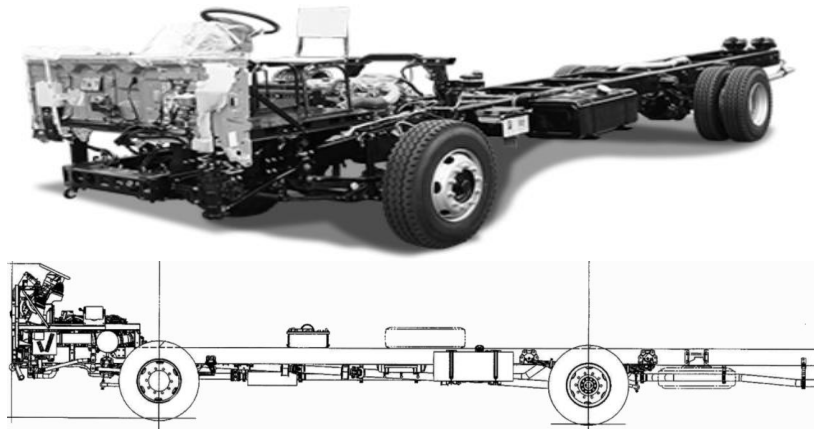
-Interior e instrumentación: elementos diseñados y ubicados, tanto en el interior como en el exterior de la carrocería para brindar a los usuarios y conductor comodidad durante el viaje [24].

#### **1.2.4.2. Chasis**

Es la parte motriz del vehículo, se encuentra bajo la carrocería y su función principal es brindar soporte tanto a la estructura metálica como al grupo de elementos mecánicos (motor, suspensión, transmisión, etc.). Existen diferentes tipos de chasis independientes usados para el carrozado, a continuación, se presentan algunos de los más conocidos.

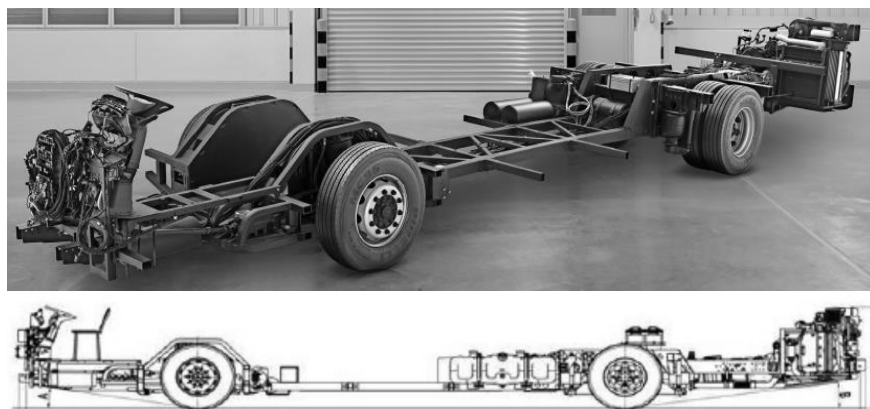
-Torpedo: Este tipo de chasis es destinado a vehículos de carga, sin embargo, se realiza una adecuación para ensamblaje de buses. Debido a su precio y comerciabilidad abarca

un alto porcentaje de producción en buses ecuatorianos. Se caracteriza por tener motor adelantado del eje frontal y un sistema de suspensión mecánico tipo ballestas [25].



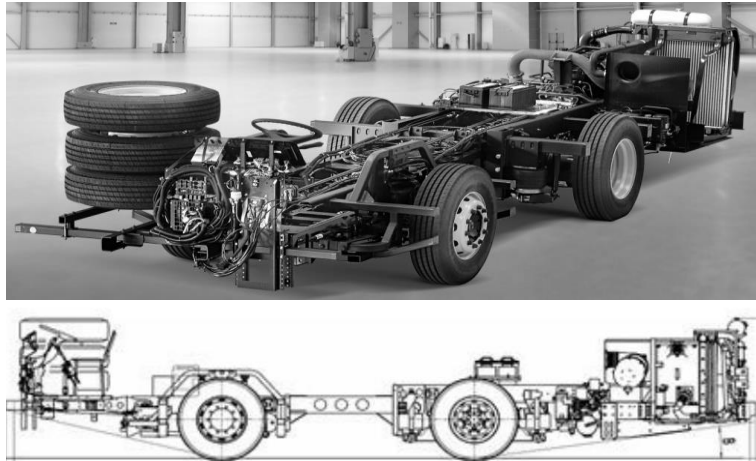
**Figura 14:** Chasis tipo torpedo  
**Fuente:** [26]

-Piso bajo: chasis diseñado para transporte de pasajeros, generalmente de buses urbanos y recorridos cortos. Se caracteriza por tener el motor en la parte posterior y suspensión delantera independiente [27]



**Figura 15:** Chasis tipo piso bajo  
**Fuente:** [28]

-Auto portante o buggy: Diseñado para buses de viajes largos. Puede tener uno o dos pisos. Se caracterizan principalmente por tener dos módulos separables, por lo que la distancia entre ejes puede ser modificada.



**Figura 16:** Chasis tipo autoportante o buggy  
**Fuente:** [29]

En la presente investigación se realiza un análisis de la resistencia de la superestructura en relación a la ubicación del motor, en el motor delantero se usó el chasis tipo torpedo marca Hino modelo AK8JRSA [26] y para el motor posterior el chasis tipo buggy marca Mercedes Benz modelo O500RS 1830 [29].

#### **1.2.5. Fundamentos del método de elementos finitos**

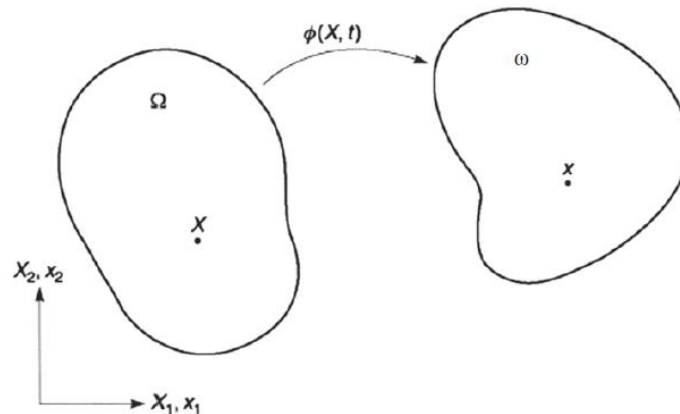
En la actualidad el Método de Elementos Finitos (MEF) es una herramienta ampliamente utilizada en diseño y simulación de sistemas de ingeniería en diferentes áreas, esto se debe a que antes de iniciar la fabricación de cualquier producto es necesario garantizar su fiabilidad, esto se realiza mediante un proceso complejo, generalmente iterativo, es decir, se repite varias veces con el fin de obtener el óptimo rendimiento al menor costo.

Cuando la superestructura de un autobús se somete al impacto en un ensayo de vuelco, se presentan dificultades en el análisis matemático porque se produce un comportamiento impredecible, es decir, cuando un elemento se somete a deformación y desplazamiento elevados se produce un problema no lineal. Este tipo de problemas, no pueden ser solucionados mediante métodos matemáticos convencionales, en consecuencia, el método numérico de elementos finitos establece una solución aproximada de la distribución de variables en el dominio del problema, esto se logra segmentando el dominio en varios elementos pequeños en medida de lo posible, para obtener una geometría manejable, aplicar leyes constructivas adecuadas, originar un

conjunto de ecuaciones algebraicas simultaneas para los elementos y resolver la variable de campo requerida [30].

### 1.2.5.1. Problemas no lineales

Al asumir deformaciones relativamente insignificantes, se pueden efectuar relaciones lineales para representar la deformación de un cuerpo, sin embargo, esto no sucede en realidad, tal caso acontece en un impacto en el que se refleja un elemento de referencia evidentemente distinto a un elemento deformado después de aplicar la carga [31].



**Figura 17:** Fibra de material inicial y deformada

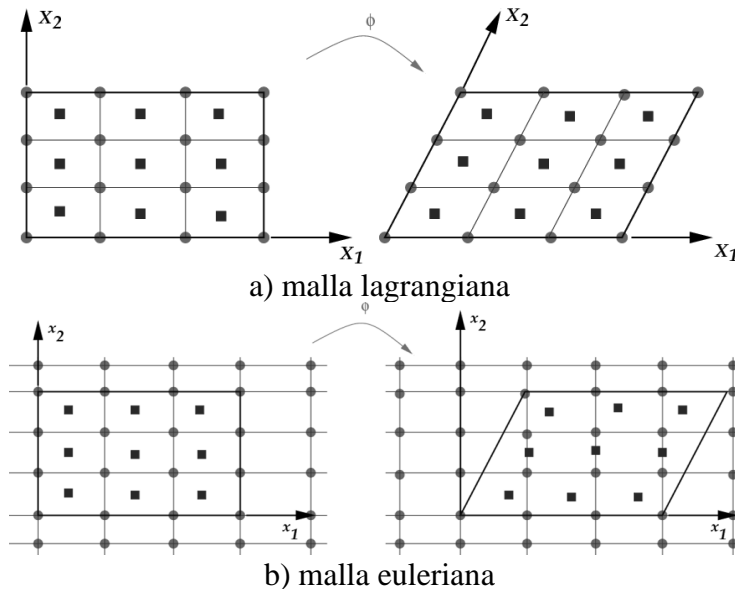
**Fuente:** [31]

Esta geometría deformada se obtiene mediante el proceso de solución, en el que intervienen factores que caracterizan a este problema como no lineal. Estos factores no lineales suelen ser; geométricos que se manifiestan en forma de altas deformaciones o rotaciones; y materiales en dependencia de la plasticidad del material y de acuerdo a la intensidad de carga [32]. El movimiento que sufre una fibra de material esta descrito en función de  $\phi(X, t)$  y representa la posición que una partícula ocupa en el espacio ( $X$ ) en función del tiempo ( $t$ ). La representación de la deformación puede ser lagrangiana y euleriana. La formulación lagrangiana se obtiene cuando se establecen las variables del problema en función de las coordenadas materiales, por el contrario, formulación euleriana se obtiene cuando se colocan las variables en función de coordenadas espaciales [33]. Como resultado de estas formulaciones también se producen efectos sobre la malla:

-Malla lagrangiana: cambia de posición conforme el cuerpo se deforma, es decir la malla se encuentra fijada sobre el material y coincide con el cuerpo mientras se produce la deformación.



-Malla euleriana: permanece fija y el cuerpo fluye a través de la malla, es decir, las coordenadas espaciales no presentan cambios y el material se traslada sobre los contornos de la malla.



**Figura 18:** Formulaciones de mallas  
**Fuente:** [34]

### 1.2.5.2. Ecuaciones gobernantes

Las ecuaciones gobernantes están asociadas a los fenómenos físicos, es decir, serán diferentes los problemas dependiendo del caso físico a resolver y varían de acuerdo a las cargas aplicadas o las condiciones de contorno. Generalmente los problemas estructurales clásicos son descritos en términos de trabajo: interno, externo e inercial.

-El trabajo interno se produce en respuesta a la deformación estructural (únicamente fuerza elástica).

-El trabajo externo proviene de la carga aplicada sobre la estructura.

- El trabajo inercial es originado propiamente por la masa de la estructura, sujeta a la aceleración como producto de la gravedad.

Los casos que se generan en respuesta a las combinaciones de estos trabajos son los siguientes:

- Un análisis de respuesta estática considera únicamente fuerzas elásticas y externas.

- Un análisis de vibración libre considera fuerzas elásticas e inerciales.

- Un análisis de respuesta dinámica considera fuerzas inerciales, elásticas y externas [35].

#### 1.2.5.2.1. Análisis de respuesta estática

Este tipo de análisis involucran las fuerzas elásticas y cargas externas en la estructura. Este caso establece lo siguiente:

$$\delta L_{int} = \delta L_{ext} \quad \text{Ec. 1}$$

El trabajo interno o elástico  $\delta L_{int}$  y el trabajo externo  $\delta L_{ext}$  se expresan respectivamente de la siguiente manera:

$$\delta U^T K U = \delta U^T P \quad \text{Ec. 2}$$

Y reducirla a su forma clásica:

$$K U = P \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$K$ : matriz de rigidez global

$U$ : vector de desplazamiento de todos los nodos

$P$ : vector de fuerza equivalente

#### 1.2.5.2.2. Análisis de vibraciones libres

Este tipo de análisis incluye efectos entre fuerzas elásticas y las fuerzas de inercia, y se expresa de la siguiente manera:

$$\delta L_{int} = -\delta L_{ine} \quad \text{Ec. 4}$$

El trabajo interno y el trabajo inercial  $\delta L_{ine}$  se expresan respectivamente así:

$$\delta U^T K U = -\delta U^T M \ddot{U} \quad \text{Ec. 5}$$

Se obtiene la ecuación para un sólido que experimenta vibración libre:

$$M \ddot{U} + K U = 0 \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

$M$ : matriz global de masa

$\ddot{U}$ : vector de componentes de aceleración

### 1.2.5.2.3. Análisis de respuesta dinámica

Este tipo de análisis incluye todos los efectos entre fuerzas elásticas, externas e inerciales y se expresa de la siguiente manera:

$$\delta L_{ine} + \delta L_{int} = \delta L_{ext} \quad \text{Ec. 7}$$

En la forma de elementos finitos el problema se transforma en:

$$\delta U^T M \ddot{U} + \delta U^T K U = \delta U^T P \quad \text{Ec. 8}$$

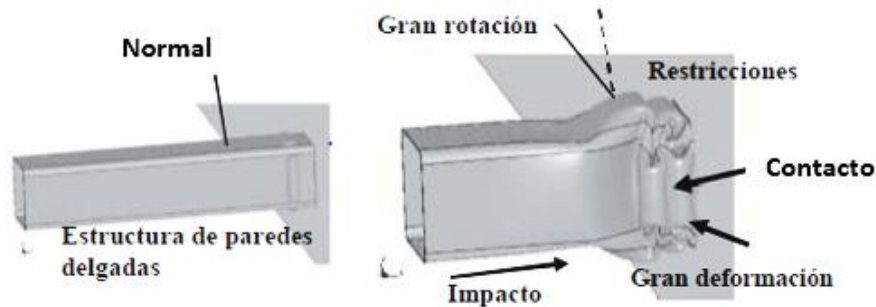
En su forma clásica esta ecuación se expresa así:

$$M \ddot{U} + K U = P \quad \text{Ec. 9}$$

Esta ecuación también es conocida como ecuación global de los elementos finitos [36].

### 1.2.5.2.4. Análisis dinámico transitorio

En la mecánica sólida, una excitación transitoria produce reacciones dinámicas elevadas sobre un componente estructural, debido al impacto, se manifiesta en la geometría mediante alta deformación y rotación o en el material mediante el fenómeno de plasticidad, de manera que esta condición establece un sistema de ecuaciones no lineales [32].



**Figura 19:** Deformación de un elemento

**Fuente:** [32]

La ecuación gobernante del análisis dinámico se reescribe para el análisis dinámico transitorio de la siguiente manera:

$$M \ddot{U} + C \dot{U} + K U = P \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

$\dot{U}$ : vector de componentes de velocidad

$C$ : matriz de coeficientes de amortiguamiento (determinada experimentalmente).

Los problemas no lineales se desarrollan mediante pasos matemáticos para resolver la ecuación a lo largo del tiempo, es decir, son temporales y dependen del paso del tiempo (time step) [37]. El sistema de ecuaciones gobernantes para el análisis dinámico transitorio tiene escrita su solución en el dominio del tiempo, por lo que se requiere aplicar una técnica numérica diferente. El método más utilizado en el análisis de elementos finitos se lo denomina método de integración directa. Con esta técnica se logra resolver ecuaciones en un número finito de pasos de tiempo y aproximan la variación del tiempo de la solución [35]. Los métodos de integración directa pueden ser implícitos o explícitos.

Los análisis estructurales del solver de LS-DYNA son realizados mediante métodos explícitos no lineales [38] de estos el más conocido es denominado método de diferencia central, mediante un proceso iterativo obtiene la solución para desplazamiento, velocidad y aceleración. Este método es conveniente para resolver eventos mecánicos de alta deformación, contacto y de gran velocidad como lo es el impacto, debido al alto paso del tiempo y fácil codificación [36].

### **1.2.5.3. Métodos de integración directa**

Como se indicó anteriormente, existen dos modos de integración, a continuación, se detalla cada uno de ellos:

#### **1.2.5.3.1. Métodos explícitos**

La solución en el paso del tiempo  $t + \Delta t$  es asumida en función de la solución en los pasos de tiempo anteriores. Estos métodos son estables dependientemente del paso del tiempo, es decir, si  $\Delta t$  es muy grande, la solución obtenida se vuelve inestable y tiende a crecer sin límite, de forma que se necesita pequeños incrementos a fin de obtener resultados confiables [37]. En [35] se expone la siguiente ecuación para métodos explícitos:

$$U(t + \Delta t) = f(U(t), \dot{U}(t), \ddot{U}(t), U(t - \Delta t), \dots) \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

$(t + \Delta t)$ : Paso de tiempo

$\ddot{U}, \dot{U}, U$ : Vectores de componentes de aceleración, velocidad y desplazamiento respectivamente.

Mediante estos métodos se pueden desarrollar eficientemente algoritmos de contacto y fenómenos muy rápidos como el impacto [36].

#### **1.2.5.3.2. Métodos implícitos**

La solución se obtiene de igual forma en función de las velocidades y aceleraciones, en el mismo paso del tiempo, es decir, encuentran una solución al sistema de ecuaciones en cada paso de tiempo, por lo que realizan un cálculo más complejo y se vuelven más estables numéricamente pero menos eficientes que los métodos explícitos. [35] presenta la siguiente ecuación para métodos implícitos, de forma que son métodos efectivos para solucionar fenómenos relativamente lentos [36].

$$U(t + \Delta t) = f(\dot{U}(t + \Delta t), \ddot{U}(t + \Delta t), U(t), \dot{U}(t), \ddot{U}(t), U(t - \Delta t), \dots) \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

$(t + \Delta t)$ : Paso de tiempo

$\ddot{U}, \dot{U}, U$ : Vectores de componentes de aceleración, velocidad y desplazamiento respectivamente.

#### **1.2.6. Proceso de solución mediante el método de elementos finitos**

El proceso típico para realizar se puede describir en líneas generales de la siguiente manera:

1. Pre-procesado: El usuario se encarga de construir el modelo de elementos finitos.
2. Procesado: La computadora realiza la simulación mediante análisis numéricos.
3. Postproceso: El usuario visualiza y analiza los resultados obtenidos de la simulación.

##### **1.2.6.1. Modelado por ordenador**

Los problemas de ingeniería actuales son resueltos en su mayoría mediante el método de discretización de dominios, al tratarse de un método práctico y versátil.

Comúnmente el modelado mediante el MEF consta de los pasos descritos a continuación.

#### **1.2.6.1.1. Modelado de geometría**

Es importante concebir un modelo estructural lo más manejable posible, puesto que el mallado consiste en formar una representación geométrica mediante elementos lineales, es decir, las líneas o contornos curvos se aproximan a líneas o contornos rectos. Se puede conseguir partes curvas más aproximadas mientras más elementos lineales se utilice, sin embargo, surge mayor demanda de recursos tecnológicos. Existen varios programas destinados a la generación de geometría, estos paquetes de software de diseño asistido (CAD) permiten crear y manipular objetos geométricos, no obstante, es necesario simplificar y modificar el modelo antes de realizar el mallado o discretización. Para elaborar un modelo es necesario un criterio definido, esto debido a que en ciertos casos la geometría únicamente tiene una función estética, por ende, estas características se pueden modificar o eliminar, considerando que no exista cambio significativo en los resultados obtenidos mediante la simulación.

#### **1.2.6.1.2. Mallado**

Consiste en dividir la geometría en estudio en elementos más pequeños, este es un proceso indispensable debido a que simplifica encontrar una solución aproximada para el dominio del problema, por lo que es necesario garantizar la conectividad precisa entre elementos comunes en el dominio para posteriormente formar las ecuaciones, lo ideal sería generar geometrías como triángulos y cuadriláteros. La forma geométrica triangular permite modelar geometrías y límites complejos, sin embargo, es menor la precisión de los resultados obtenidos en comparación con los elementos cuadriláteros [30]. En el proceso de discretización o mallado se utiliza algunos términos fundamentales descritos a continuación:

-Subdivisión: Indica que el espacio es finito y divisible, para que las cosas existan tienen que tener magnitudes.

-Continuidad: Una cantidad continua está formada por elementos divisibles, por lo tanto, existen puntos entre dos puntos cualesquiera en una línea. Los fundamentos de

continuidad y divisibilidad permiten dividir cosas continuas en elementos más pequeños.

-Convergencia: Consiste en aproximarse sucesivamente hacia una solución exacta mediante particiones de elementos cada vez más pequeños, estos tienden a replicar un área cada vez más exacta.

-Límites: Aproximación hacia el final donde se encuentra la solución exacta del elemento, el proceso marca una convergencia hacia las soluciones de los límites superior e inferior.

-Error: La aproximación de un elemento genera cierto grado de imprecisión, por lo que la solución expresada no es exacta. A esta cantidad se le denomina error y se puede obtener mediante la diferencia entre el área exacta menos el área aproximada [39].

#### **1.2.6.1.3. Propiedad de material**

Es el proceso de introducir las propiedades de los materiales y especificar la geometría o elementos en los que se asigna estos datos. Estas características de cada material varían el comportamiento en la simulación de varios fenómenos, de modo que es indispensable buscar en fuentes confiables los datos de los materiales.

#### **1.2.6.1.4. Condiciones de contorno, iniciales y de carga**

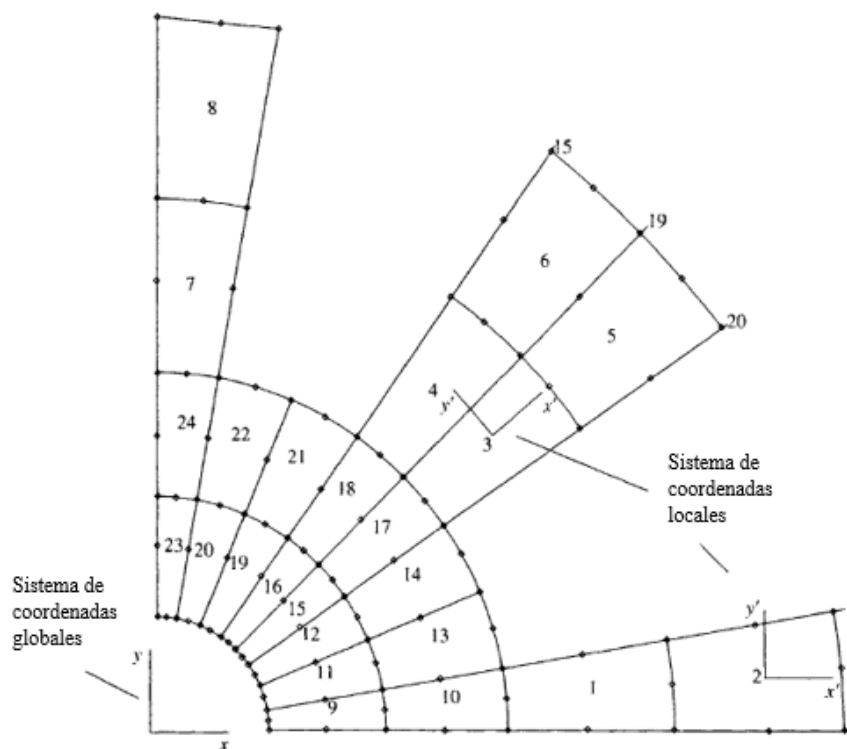
La manera en la que se desarrolla la simulación depende de las condiciones iniciales, de contorno y carga, estas condiciones de la geometría se presentan como las limitaciones físicas de un cuerpo para actuar de manera única, estos valores se asignan generalmente en la superficie o en un cuerpo. En un análisis, el estado original de un cuerpo es establecido por sus condiciones iniciales [31] y consiste en especificar estos valores: en el caso cinemático la posición y velocidad; y las variables internas en la relación esfuerzo-deformación que varían con respecto al tiempo como el límite de fluencia, etc.

Con respecto a las condiciones de borde o contorno existen dos tipos definidos; mecánicas que determinan tensión y tracción superficiales; y geométricas que prescriben los desplazamientos. Estas condiciones pueden ser geométricas (superficies fijas), mecánicas (tensión o superficie libre) o combinación entre geométricas y

mecánicas (superficie mixta). Además, existen otros tipos de condiciones de contorno como las de tipo contacto (fricción estática y dinámica) [31]

### 1.2.6.2. Simulación por ordenador

La simulación mediante el MEF se describe a breves rasgos como: la representación de sistemas reales modelizados por medio de la formulación de un sistema de ecuaciones para encontrar una solución aproximada mediante métodos numéricos habituales usando equipos computacionales. Estos sistemas pueden tener comportamientos estáticos o dinámicos, con la única diferencia que en un sistema dinámico las fuerzas se aplican en función del tiempo. La solución mediante el método de elementos finitos se obtiene en base a un sistema de coordenadas. Por lo general se usan sistemas de coordenadas locales a lo largo de las coordenadas globales para referenciar un elemento sobre la estructura, como se observa en la siguiente figura.



**Figura 20:** Sistemas de coordenadas locales y globales

**Fuente:** [36]

#### 1.2.6.2.1. Ecuaciones de sistemas discretos

Consiste en formular un conjunto de ecuaciones simultaneas discretas mediante algunos enfoques, en la actualidad existen dos enfoques principales para sólidos y



estructuras. El primer enfoque es habitual del método de elementos finitos y se fundamenta en principios energéticos. El segundo es el método de residuo ponderado utilizado para formular ecuaciones de algunos problemas físicos.

El principio energético de Hamilton es el más importante debido a su simplicidad, generalmente es utilizado para sistemas dinámicos, [36] establece que, si se requiere una respuesta precisa, los desplazamientos deben hacer que la función lagrangiana sea la más baja. Estos desplazamientos admisibles están sujetos a ciertas condiciones: los bordes entre los elementos deben estar conectados a fin de que no exista incompatibilidad en el dominio del problema, cumplir las condiciones de contorno y obedecer las limitaciones de tiempo inicial y final. Es conocido que en los problemas de ingeniería no es posible encontrar una solución exacta, por lo que el Principio de Hamilton se constituye como la base de los elementos finitos para resolver cualquier conjunto de desplazamientos, hace posible encontrar una aproximación conveniente con la solución de ecuaciones algebraicas mediante métodos convencionales.

#### **1.2.6.2.2. Solucionadores de ecuaciones**

El sistema discretizado formado por medio de ecuaciones simultaneas para las variables de campo es resuelto por el sistema computacional. Generalmente se resuelven mediante dos métodos: directos e iterativos.

-Métodos directos: Usados en sistemas de ecuaciones relativamente pequeños. Exigen gran espacio de almacenamiento ya que resuelven sistemas de ecuaciones completamente enlazadas. El método de eliminación de Gauss y sus modificaciones son ejemplos de este tipo de método.

-Métodos iterativos: Usados en sistemas de ecuaciones relativamente grandes. Evitan la unión entre matrices para obtener sistemas no tan complejos capaces de ser resueltos sin comprometer excesivamente el almacenamiento. Algunos métodos iterativos son Jacobi, Gauss-Seidel, etc.

Los elementos estructurales se solucionan a menudo mediante métodos iterativos. Este procedimiento se realiza mediante una estimación de las incógnitas, que son corregidas de forma sucesiva en una serie de repeticiones, se continúa esta técnica hasta la convergencia que se define cuando la solución final difiere un número mínimo a la solución en la iteración anterior [39]. Cuando se presentan problemas no lineales se

realiza otro ciclo iterativo, por esta razón, la ecuación no lineal se debe formular de manera correcta en la iteración de la ecuación lineal, se ejecutan pasos matemáticos para resolver la ecuación en un intervalo de tiempo, esto quiere decir que se obtiene una solución inicial para luego usarla en el siguiente paso, y así de forma sucesiva hasta obtener una solución.

### **1.2.6.3. Interpretación de resultados**

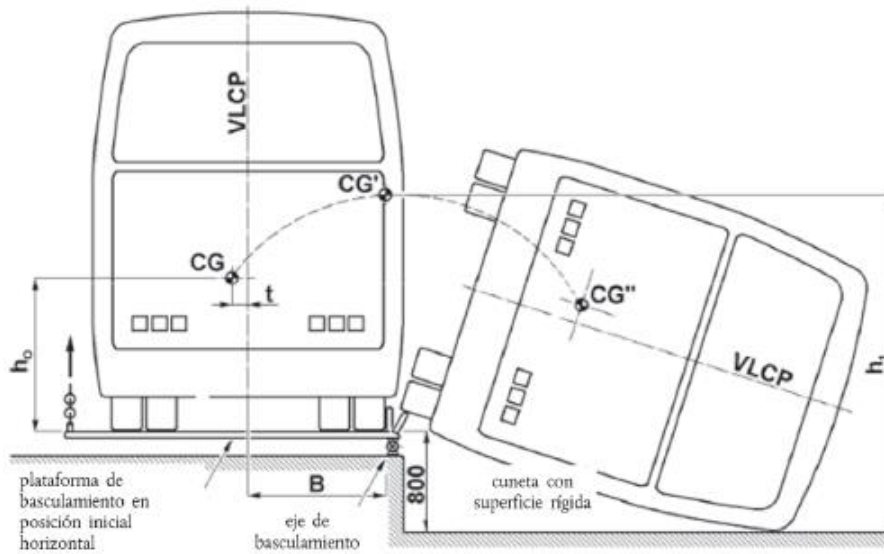
Por lo regular se obtiene una gran cantidad de datos producto de la simulación, por ello es necesario visualizar los resultados de manera eficiente, este proceso se realiza en el postprocesador que permite manipular y observar elementos, agregar efectos visuales y generar animaciones, estas herramientas facilitan analizar e interpretar resultados correctamente [30].

### **1.2.7. Ensayo de vuelco**

El principal objetivo de este tipo de ensayo es comprobar la resistencia de la superestructura, esta debe ser suficiente como para evitar que un área denominada “espacio de supervivencia” sea invadida. ECE R66 [2] es el documento regulatorio a nivel internacional para estos ensayos y establece dos requisitos esenciales:

1. El espacio de supervivencia no debe ser invadido por ningún parte que se encuentre fuera de el mismo al inicio del ensayo, sin tomar en cuenta los elementos estructurales que se encuentren dentro de dicho espacio.
2. Luego de producida la deformación de la estructura, el espacio de supervivencia nunca deberá de sobresalir de esta, se establecerá una superficie teórica mediante líneas rectas entre elementos de cada ventana o puerta adyacente.

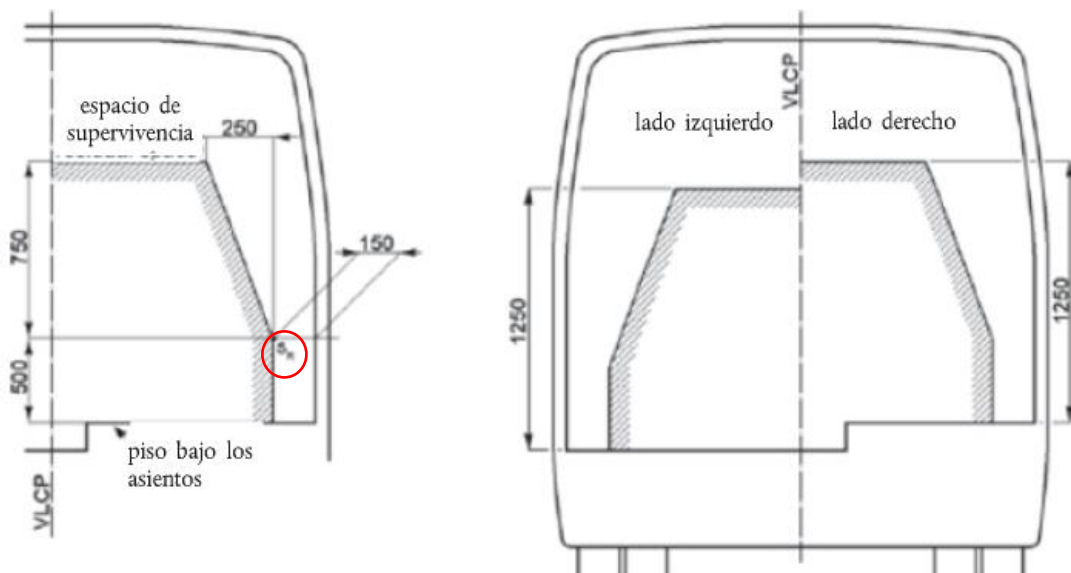
El procedimiento que se sigue para realizar un el ensayo de vuelco se encuentra especificado en el literal 5.3 del ECE R66 [2]. El vehículo se coloca en una plataforma, esta se inclina de manera gradual hasta una posición inestable, con velocidad angular igual a cero y además el eje de rotación en el contacto entre las ruedas y el suelo, el vehículo cae sobre un plano horizontal colocado a una profundidad de 800 mm sobre la superficie de cemento horizontal, seca y lisa.



**Figura 21:** Especificación del ensayo de vuelco de vehículo completo  
**Fuente:** [2]

### 1.2.7.1. Espacio de supervivencia

Es el volumen en el interior de la estructura del vehículo el cual es necesario garantizar que no sea invadido, por ende, las personas en esta área tienen más posibilidad de sobrevivir. En ECE R66 [2] se describe la ubicación que el espacio de supervivencia debe tener en el área de ocupantes.



**Figura 22:** Espacio de supervivencia  
**Fuente:** [2]

El punto  $S_R$  señalado en la figura anterior debe estar ubicado en la parte del respaldo de cada asiento exterior a lo largo del vehículo, de igual forma la parte baja de este

espacio se debe colocar a 500 mm por encima del piso bajo el asiento y a 150mm de la cara interior de la pared lateral. La parte posterior de esta área se la debe colocar en un plano vertical 200 mm hacia atrás del punto  $S_R$  del último asiento exterior; o 200 mm de la cara interna de la pared posterior, de tal forma que debe quedar dentro del área interior del vehículo. La parte delantera de este espacio se la debe colocar en la extensión de un plano vertical a 600 mm por delante del asiento más adelantado que se encuentre en el vehículo.

#### **1.2.7.2. Homologación del ensayo de vuelco**

Las carrocerías de autobuses fabricadas por la industria ecuatoriana son evaluadas mediante ensayos estructurales realizados bajo requerimientos de NTE INEN 1323:2009 [40], laboratorios designados realizan el análisis de vuelco para verificar la resistencia de la superestructura con respeto al espacio de supervivencia, posteriormente se emite un informe a la Agencia Nacional de Transito (ANT) como requisito para homologación de nuevos modelos [41].

Estas inspecciones son ejecutadas a fin de satisfacer lo indicado en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad [42], documento regulatorio para la propuesta, ejecución, gestión, implementación, delegación y control de reglamentos y normativas técnicas para su aplicación y control de la conformidad para las industrias del país, describe en su art.1 que el sistema ecuatoriano de calidad está designado a proteger los derechos relacionados a la salud, seguridad y protección de la vida, es decir, el desarrollo de las normativas y reglamentos técnicos ecuatorianos tienen que cumplir con dichos principios.

Comúnmente se realizan ensayos físicos de vehículos, sin embargo, debido a los altos costos que estos representan se ha optado por realizar ensayos equivalentes, la simulación por ordenador del ensayo de vuelco es uno de ellos y se encuentra especificado en el literal 5.4 del ECE R66 [2].

#### **1.2.7.3. Normativas nacionales e internacionales aplicadas al ensayo de vuelco**

Las normativas y reglamentos vigentes guían la práctica de ensayos de vuelco de autobuses mediante requisitos técnicos descritos en reglamentos nacionales e internacionales.

-Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 043:2010

Describe los requisitos que deben cumplir los buses interprovinciales de transporte de pasajeros para precautelar la salud e integridad de los pasajeros. Este contenido aplica para los vehículos que circulan en el parque automotor ecuatoriano (importados, ensamblados o fabricados) [43].

-Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323:2009

Establece de forma general requisitos aplicados al diseño, fabricación y montaje de carrocerías de autobuses e incluye todas las carrocerías de buses importadas o que han sido construidas a nivel nacional [40].

-Reglamento N°66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa

Este documento expone las disposiciones emitidas mediante acuerdos internacionales, sobre la homologación de vehículos para el transporte de pasajeros en referencia a la resistencia de la superestructura. Además, expone la simulación por ordenador del ensayo de vuelco como un método de homologación equivalente [2].

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. General**

- Analizar de la resistencia de la superestructura de autobuses interprovinciales relacionado a la ubicación del motor mediante simulación por ordenador del ensayo de vuelco.

#### **1.3.2. Específicos**

- Determinar las condiciones requeridas para la simulación por ordenador del ensayo de vuelco de un vehículo completo para las diferentes ubicaciones del motor.
- Analizar el cumplimiento de requisitos de seguridad indicados en normativas, mediante la simulación por ordenador de las condiciones del ensayo de vuelco.
- Formular una metodología para el análisis de la superestructura de autobuses interprovinciales según los requisitos técnicos descritos en reglamentos nacionales contrastados con reglamentos internacionales.

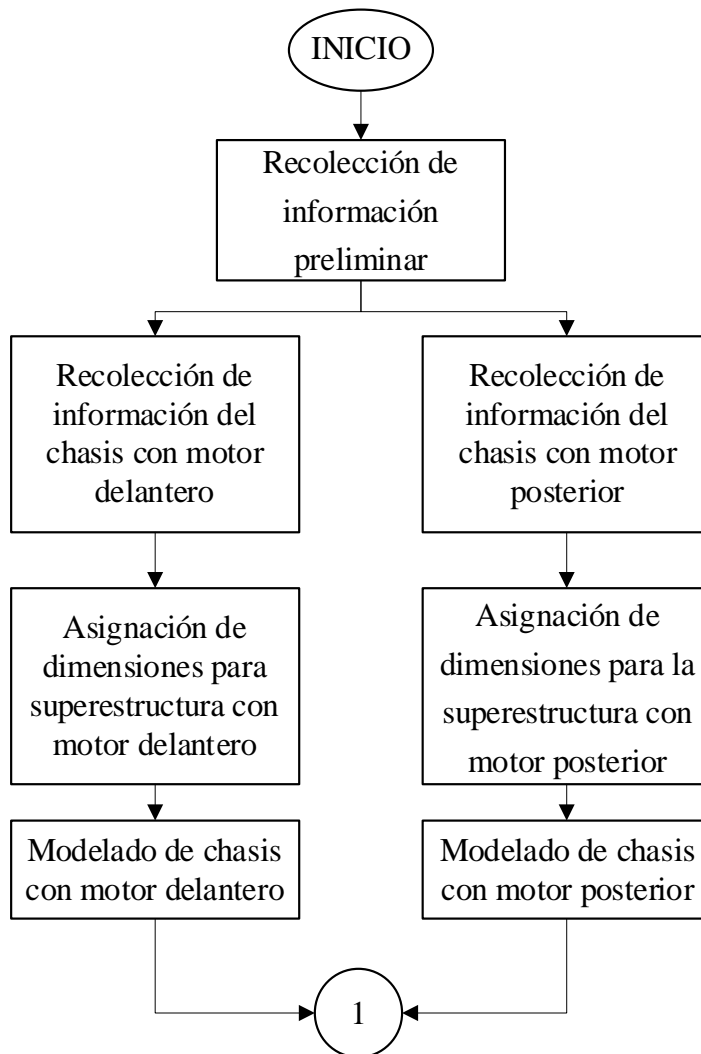
## CAPITULO II

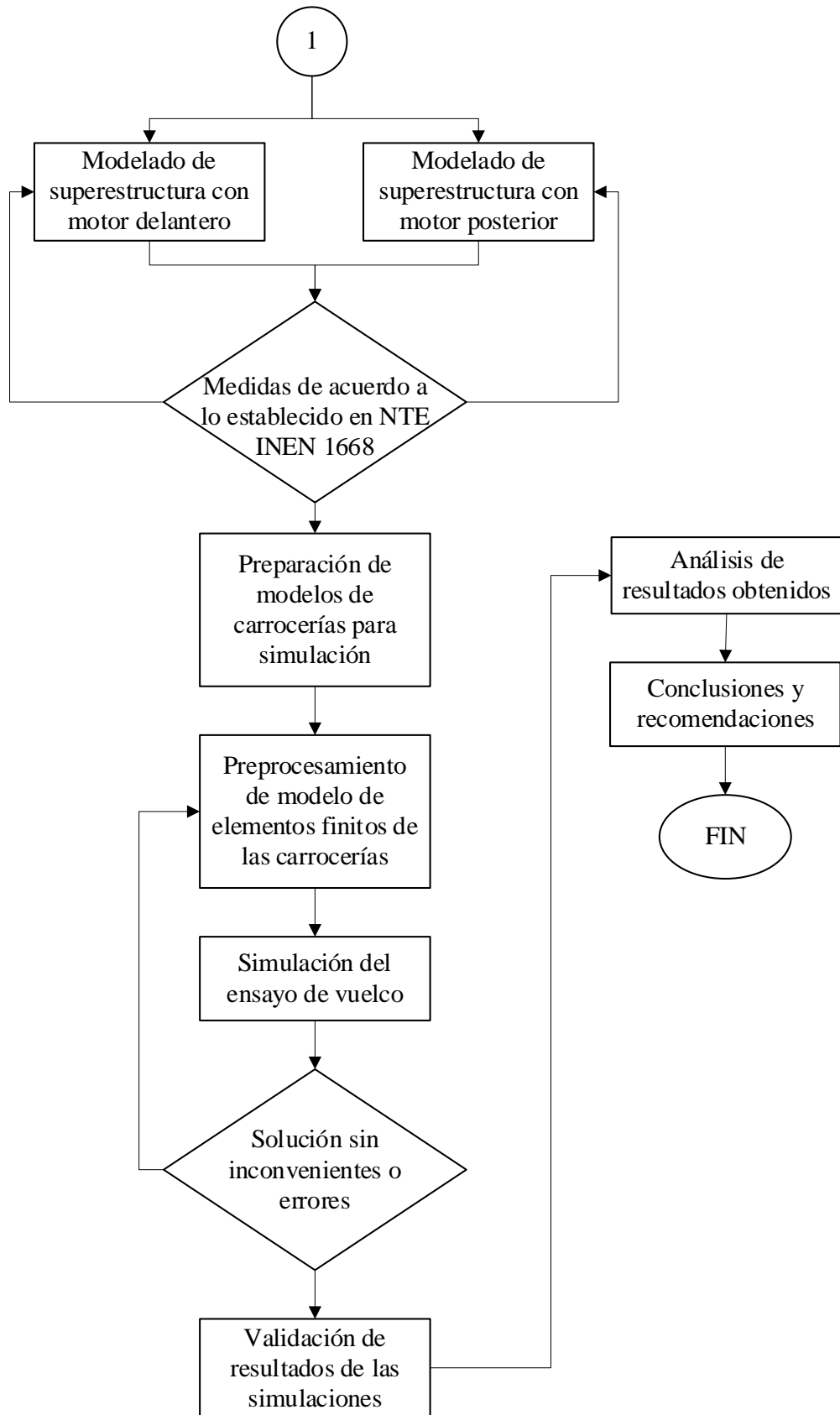
### 2. METODOLOGÍA

Los principales medios que se usaron para efectuar la simulación del ensayo de vuelco se detallan en este capítulo, de igual forma la metodología que se siguió para desarrollar este trabajo experimental.

#### 2.1. Diagrama de flujo del trabajo experimental

El siguiente diagrama de flujo presenta el proceso que se definió para realizar el análisis de la resistencia de la superestructura de autobuses interprovinciales relacionado a la ubicación del motor mediante simulación por ordenador del ensayo de vuelco.






**Figura 23:** Diagrama de flujo para el análisis de la resistencia

## 2.2. Materiales

**Tabla 4:** Descripción de materiales utilizados

Materiales y equipos		
Computador	Elemento principal que se usó para realizar la simulación por ordenador del ensayo de vuelco	

## 2.3. Métodos

En la presente investigación, el proceso de simulación se realizó mediante una serie de pasos, por lo que se estableció metodologías para realizar el trabajo de manera eficiente.

### 2.3.1. Enfoque

Debido a que se utilizó datos numéricos para analizar el comportamiento de la superestructura en referencia a la posición de motor (delantero o posterior) se adoptó un enfoque cuantitativo, para ello se obtuvo la posición de los centros de gravedad, ángulo de inestabilidad lateral, velocidad angular, es decir, los requisitos indicados en ECE R66 [2]. Una vez finalizada la simulación y luego de obtener los resultados, se analizó estos datos mediante graficas que describen el comportamiento que experimentó la superestructura con respecto al espacio de supervivencia.

### 2.3.2. Modalidad básica de la investigación

#### Bibliográfica

Esta investigación se desarrolló mediante la recopilación de información bibliográfica en diversas fuentes como libros, revistas, artículos científicos, páginas web, etc. a fin de establecer una base científica sólida y sustentar este trabajo experimental.

#### Experimental

El análisis se ejecutó bajo una investigación experimental, en este caso mediante la simulación por ordenador del ensayo de vuelco, las diferentes ubicaciones del motor



en el chasis permitieron analizar y observar los efectos producidos respecto a la resistencia de la superestructura de autobuses interprovinciales.

### **2.3.3. Nivel o tipo de investigación**

#### **Exploratorio**

Se caracterizó como exploratorio porque se deseaba conocer el efecto de la ubicación del motor sobre la resistencia de la superestructura, mediante simulaciones de vuelco basadas en los requisitos técnicos descritos en normativas nacionales e internacionales, puesto que no existe una investigación previa que pueda sustentar el tema en análisis.

#### **Correlacional**

El presente análisis buscó identificar el grado de relación presente entre la ubicación del motor y la resistencia de la superestructura, ejecutando el proceso de simulación de vuelco de la superestructura con motor delantero y posterior bajo un contexto similar.

### **2.3.4. Población y muestra**

#### **Población**

La población de esta investigación se tomó del listado de fabricantes o ensambladores nacionales de vehículos categoría M2 Y M3, destinada a autobuses de los siguientes tipos de servicio:

- Interprovincial
- Intraprovincial
- Intrarregional
- Turismo
- Urbano
- Escolar/Institucional

Estos son ensamblados sobre las siguientes marcas de chasis que se comercializan y han sido homologadas en el país:

- Chevrolet
- Hino

- Volvo
- Mercedes Benz
- Volkswagen
- Scania
- Higer
- Agrale
- Hyundai
- International [44].

### **Muestra**

La muestra se fijó sobre los autobuses de tipo de servicio interprovincial, ya que estos son más propensos a sufrir accidentes de vuelco en sus largas rutas, en la ubicación de motor se señaló específicamente dos modelos de chasis que abarcan altos porcentajes de comercialización en el país.

- Chasis con motor delantero: Hino AK8JRSA [26].

- Chasis con motor posterior: Mercedes Benz O500RS 1830 [29].

### **2.3.5. Hipótesis**

La ubicación del motor influye en el cumplimiento del Reglamento N°66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa respecto a la invasión del espacio de supervivencia.

### **2.3.6. Operacionalización de variables**

**Variable independiente:** Ubicación del motor

**Tabla 5:** Operacionalización de variable independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Hace referencia al lugar en el que se encuentra ubicado el motor con respecto al chasis.	Ubicación del motor.	Posición.	Motor en el eje delantero.  Motor en el eje posterior.	Modelado.  Centro de gravedad.

**Variable dependiente:** Resistencia de la superestructura de autobuses interprovinciales

**Tabla 6:** Operacionalización de variable dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Capacidad de la superestructura del autobús para soportar esfuerzos generados en el ensayo de vuelco, estos esfuerzos se manifiestan en los elementos estructurales a través de deformaciones que están asociadas a las características mecánicas de los materiales.	Deformación que experimenta la superestructura.	Evaluación del espacio de supervivencia descrito en ECE R66 [2].	-La superestructura invade el espacio de supervivencia.  - La superestructura no invade el espacio de supervivencia.	-Simulación por ordenador del ensayo de vuelco.  -Normativas nacionales (NTE 1323:2009) e internacionales (ECE R66).

### 2.3.7. Recolección de información preliminar

Para ejecutar el proceso de simulación por ordenador del ensayo de vuelco fue indispensable definir correctamente todos los parámetros y variables. Al tratarse de un trabajo experimental se requirió imitar fenómenos de vuelco e impacto similares a los experimentados en la realidad, a fin de obtener resultados confiables, para ello se recolectó objetivamente información acorde a documentos relacionados al tema.

#### 2.3.7.1. Características del chasis

Para el análisis de la superestructura fue necesario establecer las características técnicas de cada chasis. El análisis se centró en determinar la resistencia mecánica de la superestructura de acuerdo a la ubicación del motor, por ello fue necesario conocer sus características técnicas.

**Tabla 7:** Especificaciones del chasis de motor delantero y posterior

Ítems/ Modelo del chasis	Hino AK8JRSA	MB O500RS 1830	Unidades
Distancia entre centro de las ruedas delanteras	2035	2036	mm
Distancia entre centro de las ruedas posteriores	1840	1824	mm
Peso total del chasis	4765	5990	kg
Altura del centro de gravedad desde el suelo	744	797	mm

**Fuente:** [26], [29]

Estas especificaciones se usaron únicamente como referencia conjuntamente con planos que describen específicamente dimensiones del chasis con motor delantero y posterior, entre las dimensiones principales se encuentran: distancia entre ejes, voladizo delantero y posterior.

**Tabla 8:** Dimensiones de voladizo delantero, posterior y entre ejes

Ítems/ Modelo del chasis	Hino AK8JRSA	MB O500RS 1830
Distancia entre ejes	5800 mm	Ajustable
Voladizo delantero	1990 + 150* mm	2100 + 100* mm
Voladizo posterior	3150 mm + 300* mm	3280 mm + 70* mm

**Fuente:** [45], [26]

Antes de realizar los modelos del chasis con motor delantero y posterior, se establecieron estas dimensiones extraídas de los manuales de carrozado, la distancia entre ejes de 5800 mm, el voladizo delantero de 2150 mm y el voladizo posterior de 3350 mm para los dos modelos geométricos.

### 2.3.7.2. Dimensiones generales de la carrocería

Las dimensiones para construcción del autobús interprovincial en el país se encuentran especificadas en NTE INEN 1668 [46], estos valores se establecieron para las superestructuras con motor delantero y posterior respectivamente.

**Tabla 9:** Dimensiones utilizadas en la superestructura con motor delantero y posterior

Numeral	Requisito	NTE INEN 1668	HINO AK8JRSA	MB O500 1830 RS	Unidades
5.6.4. a	Largo total de vehículo (bus de dos ejes)	10250 a 13300	11900	11900	mm
5.6.4. b	Ancho total del vehículo	máx. 2600	2500	2500	mm
5.6.4. c	Altura total del vehículo	máx. 3800	3700	3700	mm
5.6.4. d	Voladizo delantero	2000 a 2900	2450	2450	mm
5.6.4. d	Voladizo posterior	máx. 66% de la distancia entre ejes	3650	3650	mm
5.6.6. b	Altura de ventanas de los usuarios	máx. 1000	1000	1000	mm
5.6.7	Distancia entre parte más saliente del parachoques delantero y carrocería	máx. 300	300	300	mm
5.6.7	Distancia entre parte más saliente del parachoques posterior y carrocería	máx. 300	300	300	mm
5.6.7	Altura del parachoques delantero desde la calzada	máx. 500	400	400	mm
5.6.7	Altura del parachoques posterior desde la calzada	máx. 600	475	475	mm
5.6.8. a	Ancho libre de la puerta ingreso/salida	min. 850	850	850	mm
5.6.8. a	Altura de la puerta desde el estribo	min. 2000	2000	2000	mm
5.6.8.c	Posición de la puerta de ingreso/salida	Lado derecho delante del eje frontal	Delante del eje frontal lado derecho	Delante del eje frontal lado derecho	-
5.6.8. d	Ancho de la puerta de ingreso del conductor	min. 550	850	850	mm
5.6.10. a	Distancia entre escotillas	min. 2000	3610	3610	mm
5.6.10. a	Área de escotillas	min. 0,35	0,35	0,35	m <sup>2</sup>
5.6.12. a	Altura interna del vehículo	min. 1900	2000	2000	mm

5.6.12. b	Altura del piso al borde inferior de la ventana	min. 700	750	750	mm
-----------	---	----------	-----	-----	----

**Fuente:** [46]

Únicamente se tomó en referencia las dimensiones que influyen sobre la resistencia de la superestructura, estas fueron similares en los dos modelos de autobuses. La siguiente tabla expone otras dimensiones no especificadas en normativas, pero que de igual forma que las anteriores, inciden de alguna manera sobre la resistencia en la superestructura.

**Tabla 10:** Otras dimensiones generales de las superestructuras

Descripción	Dimensiones
Distancia entre ejes	5800 mm
Numero de puertas	2
Numero de escotillas	2
Numero de ventanas	7
Largo de ventanas	1400 mm
Altura de la carrocería	3300 mm
Alto de cajuelas	1200 mm
Numero de cajuelas	3
Ancho superior de la cercha	2400 mm
Ancho inferior de faldón	2400 mm

### 2.3.7.3. Elementos de la superestructura

La superestructura del autobús está conformada por elementos estructurales que poseen diferentes geometrías y funciones, estos componentes de igual manera, fueron iguales en los dos modelos de las carrocerías (chasis con motor delantero y posterior) a excepción de las estructuras de anclaje al chasis.

**Tabla 11:** Materiales utilizados en el modelado de las superestructuras

Ubicación	Descripción	Aplicación
Piso y estructura inferior	Tubo de 100x50x2	Durmientes transversales principales
	Tubo de 40x40x2	Base transversal de piso de cajuela
	Canal C 80x40x2	Base longitudinal del piso de cajuelas
	Tubo 50x50x2	Refuerzo pasillo principal - tapas de inspección
	Canal C 100x50x2	Anclaje longitudinal del piso- Anclaje de asientos
	Canal C 50x25x2	Anclaje transversal del piso
	C 50x25x2	Estructura de guardafangos

	Tubo 40x40x2	Soporte longitudinal de cajuelas
	Angulo L 50x50x2	Cubierta exterior de cajuela
Laterales	Tubo 50x50x2	Pórtico estructural principal
	Tubo 50x50x2	Marco de puerta
	Tubo 50x50x2	Armado estructura lateral
	Tubo 50x50x2	Larguero longitudinal superior
	Tubo 100x50x2	Larguero longitudinal intermedio
Techo	Tubo de 50x50x2	Cerchas
	Perfil Z 50x50x50x2	Largueros del techo
	Perfil G 20x100x50x20x2	Refuerzos de claraboyas
	Tubo 40x40x2	Estructura frontal del techo
Frontal	Tubo 50x50x2	Pórtico delantero
	Tubo 50x50x2	Estructura refuerzo frontal
	Tubo 40x40x2	Travesaño parachoques delantero
	Tubo 30x30x2	Soportes faros delanteros
Respaldo	Tubo 40x40x2	Estructura principal del parachoques posterior

Como se mencionó anteriormente, las estructuras de unión al chasis son diferentes en los dos modelos, a pesar de ello las dimensiones se mantuvieron similares.

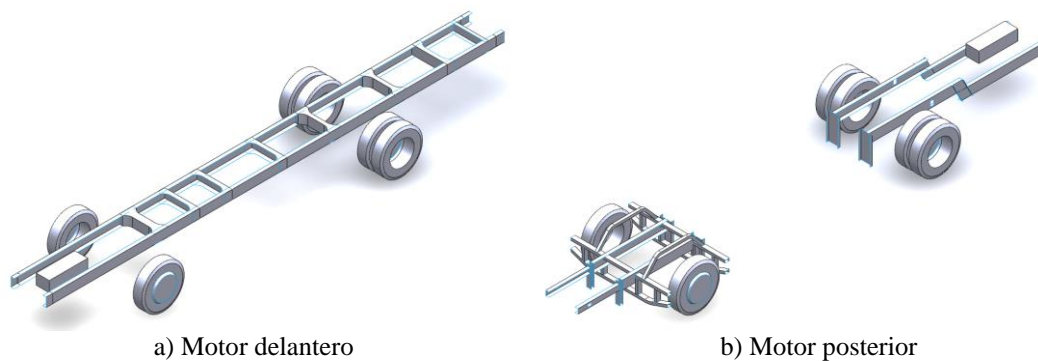
**Tabla 12:** Elementos de unión al chasis

Ubicación	Descripción	Aplicación
Anclaje Hino (modelo con motor delantero)	Tubo de 80x40x2	Tubo de anclaje
	Tubo de 60x40x2	Estabilizadores
Anclaje MB (modelo con motor posterior)	Tubo de 80x40x2	Tubo de anclaje
	Tubo de 60x40x2	Estabilizadores
	Tubo de 100x50x2	Unión entre módulos delantero y posterior
	Tubo de 50x50x2	Estabilizadores en la unión entre módulos

## 2.3.8. Método de simulación por ordenador

### 2.3.8.1. Modelado CAD

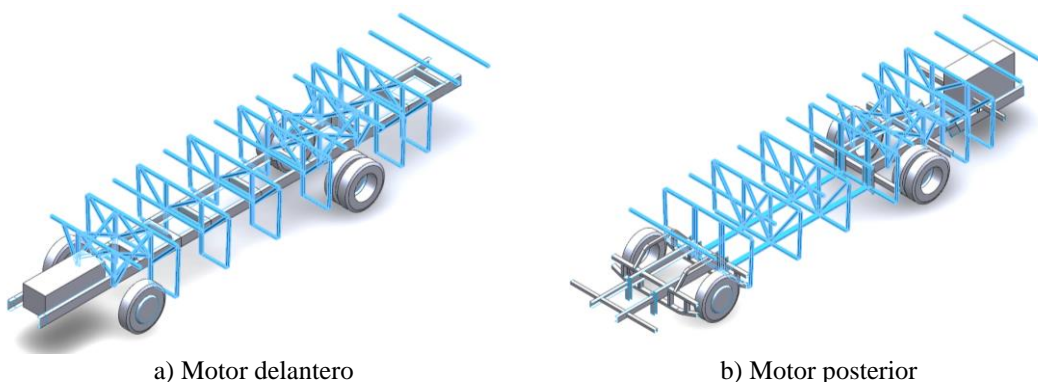
Se desarrolló un modelado multicuerpo con la información recopilada anteriormente para todo el modelo de autobús. Inicialmente se realizó el modelado del chasis con motor delantero y posterior, una vez terminados estos dos modelos se realizó la carrocería correspondiente.



**Figura 24:** Modelado de chasis

Las superestructuras se modelaron respectivamente para el chasis con motor delantero y posterior. Se inició desde la parte baja del autobús interprovincial para mayor facilidad, estos modelos constan de las siguientes partes:

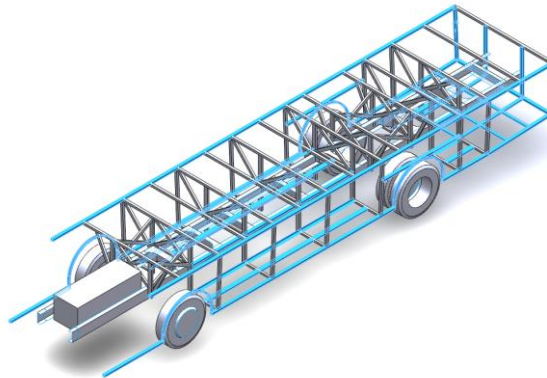
**Anclajes.** - Estos elementos son los encargados de distribuir las cargas que se generan en la carrocería hacia el chasis. Las configuraciones del chasis con motor delantero y posterior no son las mismas, esto sucede esencialmente por la unión entre módulos en el chasis con motor posterior, sin embargo, las medidas fueron similares entre cada uno de los elementos estructurales.



**Figura 25:** Anclajes en la carrocería

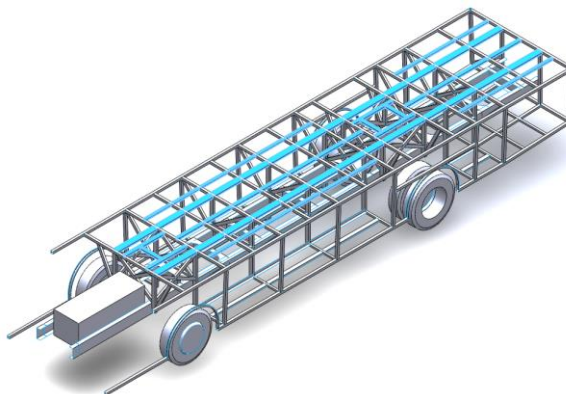


**Inferior.** -Estos elementos conforman la parte baja de la carrocería, son la base para el piso de las cajuelas y para colocar recubrimiento de los mecanismos del autobús.



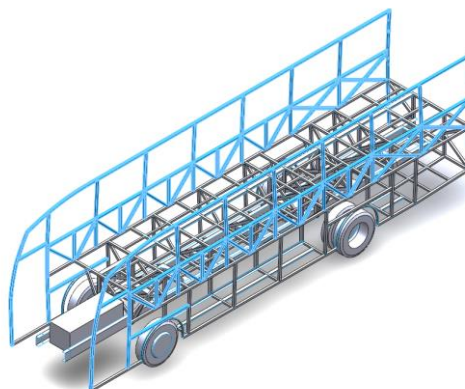
**Figura 26:** Parte inferior de la carrocería

**Piso.** - Este segmento soporta y distribuye la carga viva que se genera en el interior del vehículo, además, son elementos de anclaje de los asientos, planchas de acero, etc.



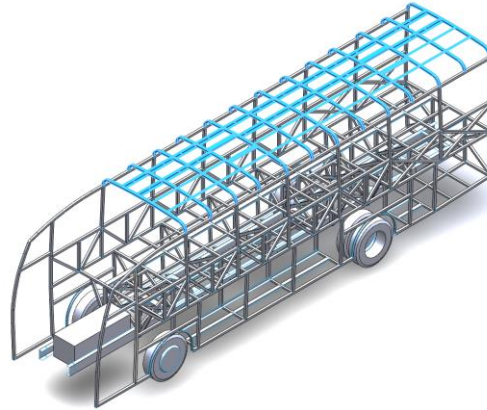
**Figura 27:** Piso de la carrocería

**Laterales.** - Parte estructural que cubre los costados derecho e izquierdo del vehículo, aquí se encuentran las ventanas y puertas de pasajeros.



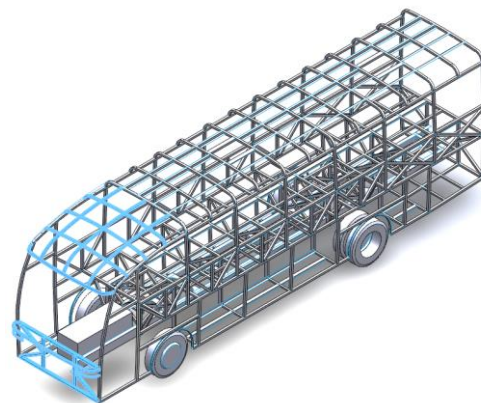
**Figura 28:** Laterales de la carrocería

**Techo.** - Parte superior del vehículo que cumple la función de cubrir el interior contra factores climáticos, generalmente se colocan las tomas de ventilación en este segmento.



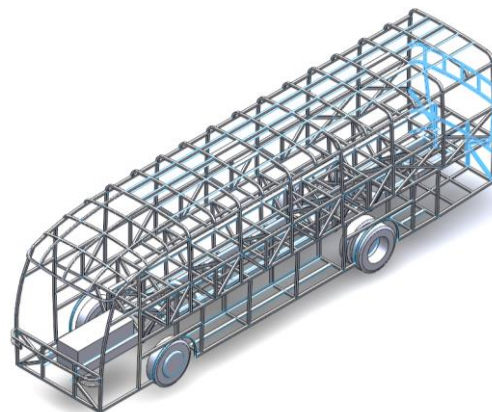
**Figura 29:** Techo de la carrocería

**Frontal.** - Estructura delantera que protege al conductor y pasajeros, su principal función es absorber la energía que se produce en impactos frontales.



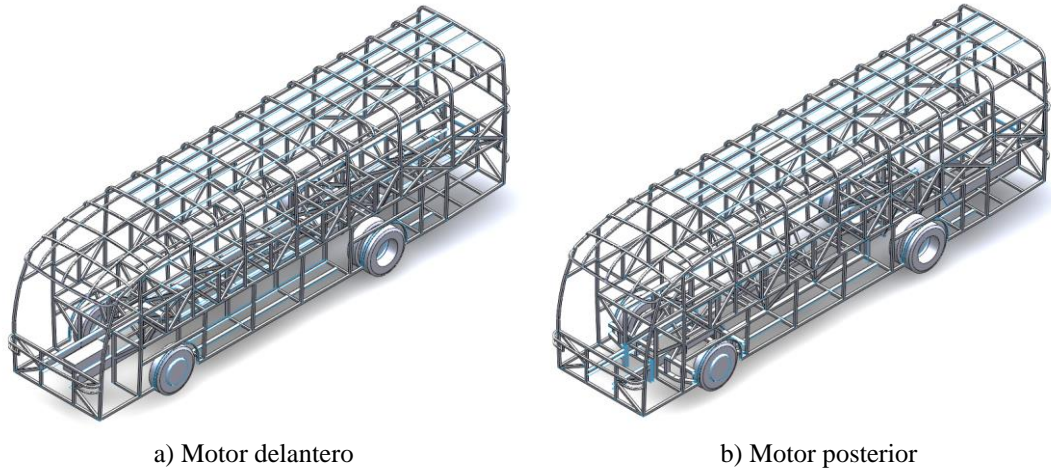
**Figura 30:** Estructura frontal de la carrocería

**Posterior.**- Protección contra golpes o impactos en la parte trasera del vehículo.



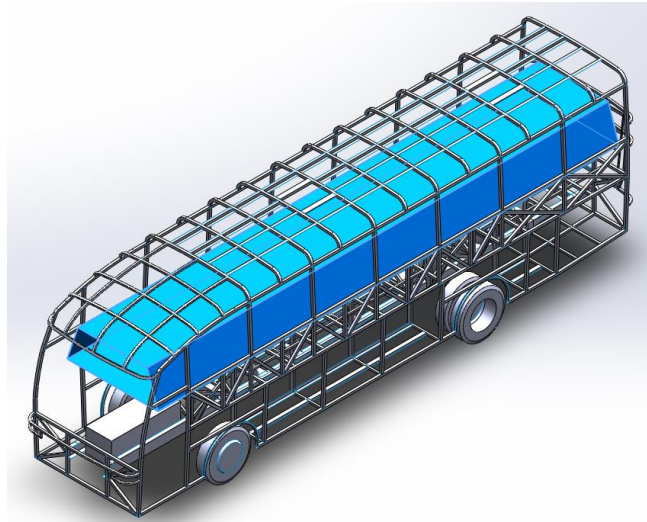
**Figura 31:** Estructura posterior de la carrocería

Este proceso de modelado se lo realizó para los dos modelos con dimensiones que ya fueron previamente analizadas, por lo que se obtuvieron modelos comparables entre sí.



**Figura 32:** Modelos de la superestructura

En referencia a la distribución interna para los asientos de pasajeros y conductor indicada en el literal 5.7 de la NTE INEN 1668 [46] se realizó el modelado del espacio de supervivencia siguiendo las especificaciones expuestas en el literal 5.2 del ECE R66 [2].



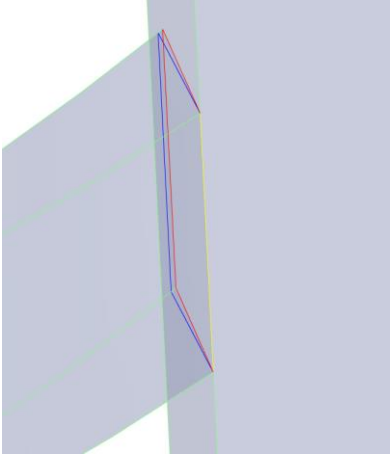
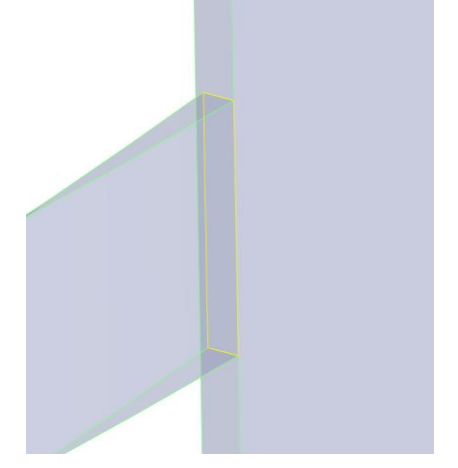
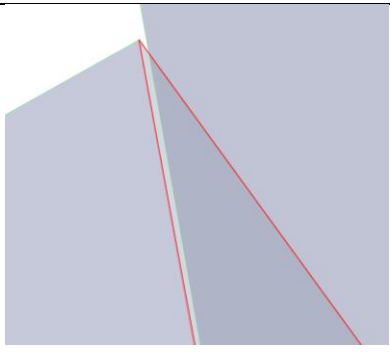
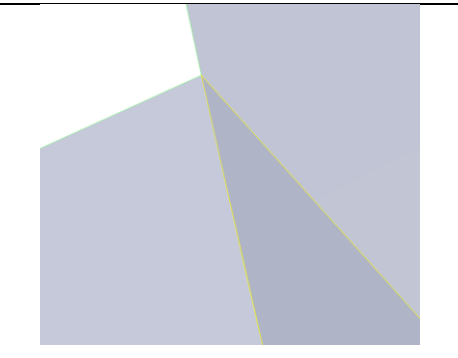
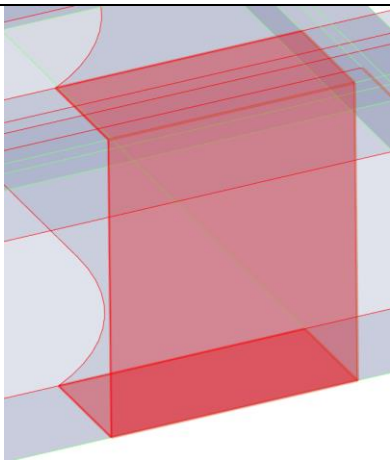
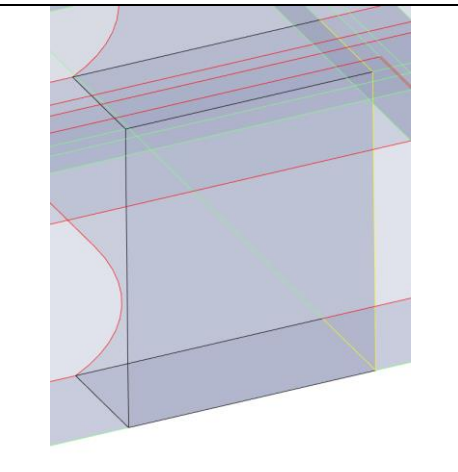
**Figura 33:** Espacio de supervivencia

#### 2.3.8.2. Preparación del modelo

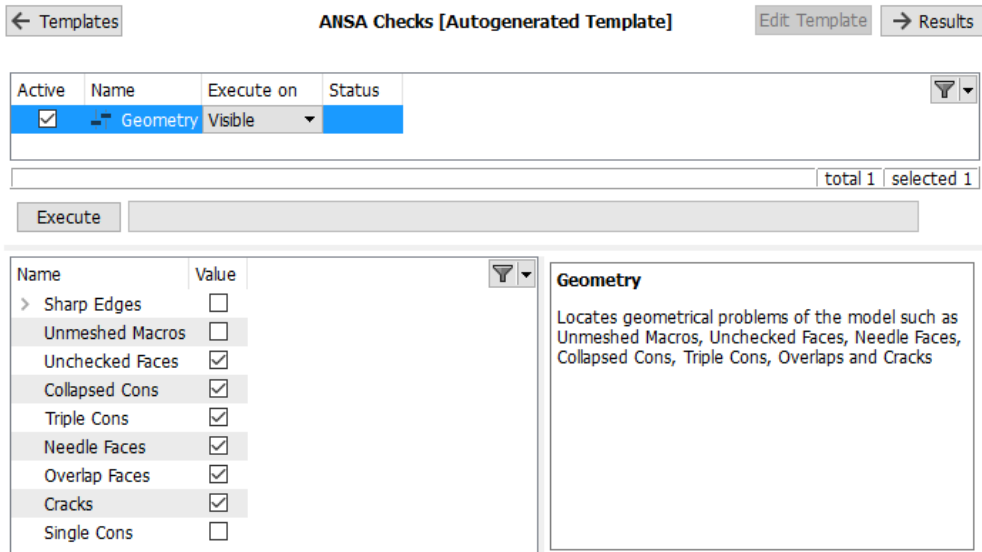
Se revisó el cumplimiento de las dimensiones de acuerdo a los literales expuestos en la tabla 9 que describe las medidas utilizadas en las superestructuras. Se verificó y

reparó el modelo de interferencias, separaciones, residuos no deseados y elementos duplicados. Finalmente, se examinó la conexión entre cada uno de los elementos.

**Tabla 13:** Preparación del modelo

Ítem	✘ Mal	✔ Bien
Interferencias		
Separaciones no deseadas		
Caras duplicadas		

De igual forma, este proceso se complementó mediante la revisión general de la geometría, para evitar errores con respecto a la generación de la malla de elementos finitos.

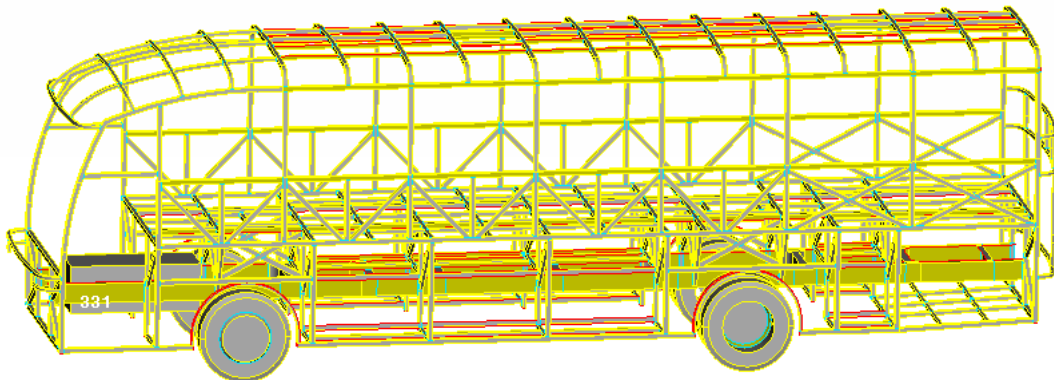


**Figura 34:** Revisión del modelo

### 2.3.8.3. Preprocesamiento

#### 2.3.8.3.1. Generación de malla de elementos finitos

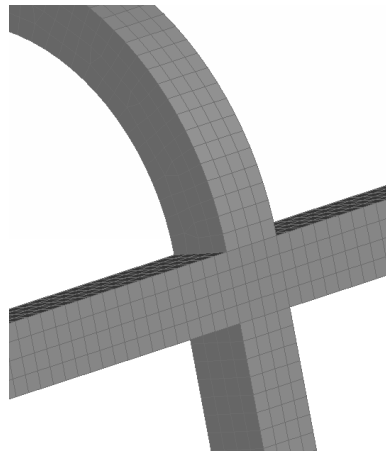
Se generó el modelo de malla de elementos finitos a partir del modelo geométrico. Inicialmente se compartió la topología en cada uno de los elementos, los bordes coloreados indican la topología compartida de acuerdo a su conectividad: rojo (un solo borde), amarillo (doble conectividad) y azul (triple o más conectividad).



**Figura 35:** Topología compartida en el modelo geométrico

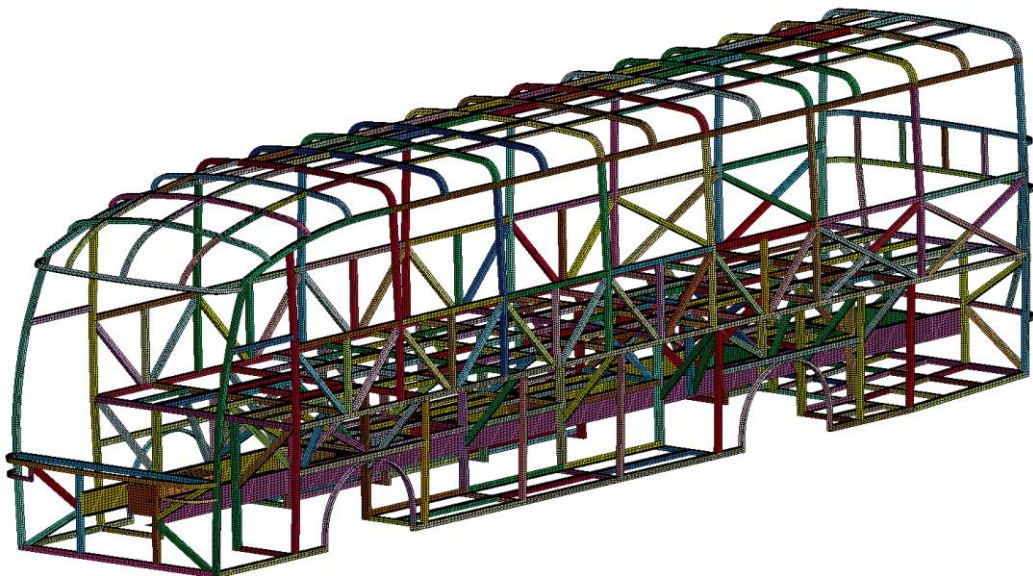
Luego de compartir la topología se procedió a generar la malla de elementos finitos. Se asignó el tamaño de malla de 12.5 mm y se observó una distribución uniforme entre nodos y elementos.





**Figura 36:** Muestra de la generación de modelo de malla

Los siguientes procedimientos del preprocesamiento se los ejecutó en el software de LS-Prepost (preprocesador de LS-DYNA) para ello se importó la geometría generada a este programa.



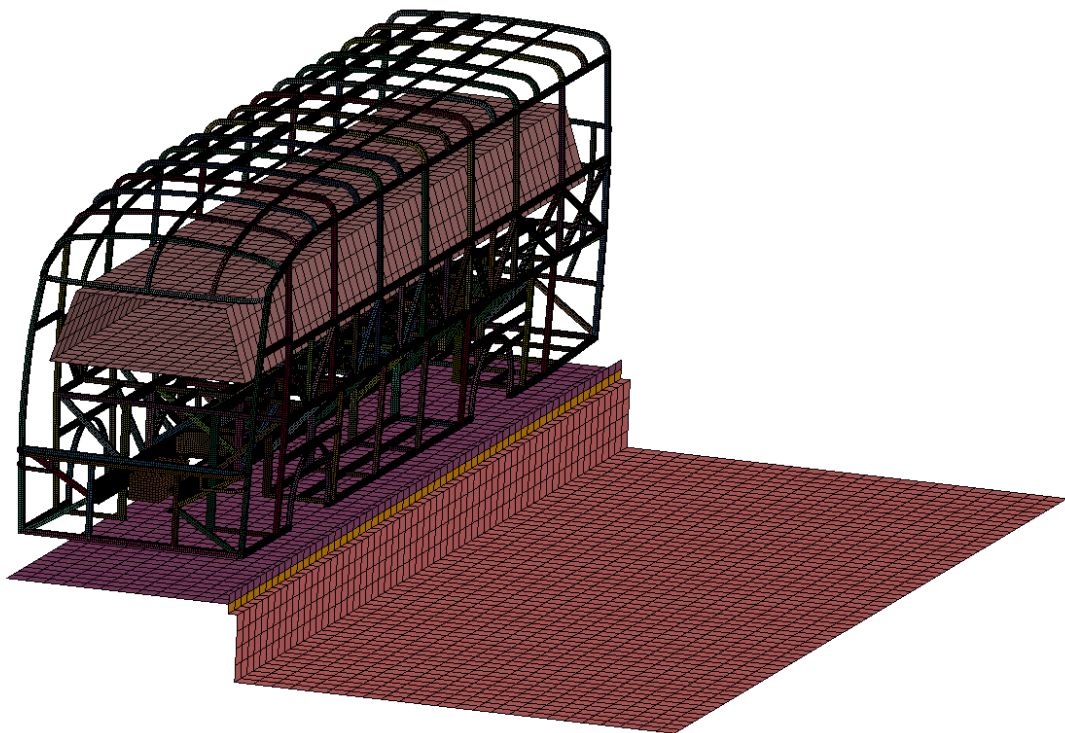
**Figura 37:** Malla de elementos finitos en LS-Prepost

La malla de elementos finitos debe cumplir ciertos índices de calidad, esto recomendado a fin de obtener un modelo de autobús válido para ejecutar la simulación. Inicialmente se eliminó los nodos duplicados en el modelo. El control de calidad de malla se realizó mediante *ELEMENT\_EDITING* y se evaluó específicamente dos parámetros. En el parámetro *Jacobian*, la malla de elementos finitos fue modificada hasta observar valores mayores a 0.3, lo cual permitió obtener una distribución de malla uniforme y elementos de calidad aceptable. De igual forma se procedió con el parámetro *Aspect Ratio* hasta observar valores entre 1 y 10.

Shell check item	Allowable	Min. val	Max. val	#violated(%)
<input type="checkbox"/> Min side len	3	***	***	***
<input type="checkbox"/> Max side len	30	***	***	***
<input checked="" type="checkbox"/> Aspect ratio	10	1	8.99	0(0%)
<input type="checkbox"/> Warpage	10	***	***	***
<input type="checkbox"/> Min quad ang	45	***	***	***
<input type="checkbox"/> Max quad ang	135	***	***	***
<input type="checkbox"/> Min tria ang	30	***	***	***
<input type="checkbox"/> Max tria ang	120	***	***	***
<input type="checkbox"/> Taper	0.7	***	***	***
<input type="checkbox"/> Skew	45	***	***	***
<input checked="" type="checkbox"/> Jacobian	0.3	0.338	1	0(0%)
<input type="checkbox"/> Char. length	1	***	***	***
<input type="checkbox"/> Area	5	***	***	***
<input type="checkbox"/> Feature angle	30	***	***	***
<input type="checkbox"/> Time step	1e-06	***	***	***

**Figura 38:** Revisión de parámetros Aspect ratio y Jacobian

A continuación, se procedió a importar los elementos que fueron parte de la simulación, es decir, el espacio de supervivencia y motor ya definidos anteriormente. El banco de ensayo se modeló de acuerdo a las dimensiones establecidas en el Anexo 5 del ECE R66 [2].



**Figura 39:** Malla de elementos finitos del autobús interprovincial

### 2.3.8.3.2. Definición de materiales y secciones

Este proceso se realizó previo a obtener los centros de gravedad, para ello se asignaron las características a cada uno de los componentes que influyen en esta investigación. Para evitar problemas con las unidades de medida se las definió como se indica a continuación.

**Tabla 14:** Definición de unidades

Descripción	Unidad de medida
Longitud	Milímetros (mm)
Masa	Toneladas (ton)
Tiempo	Segundos (s)
Fuerza	Newtons (N)
Energía	Newton Milímetro (N.mm)
Tensión	Megapascales (MPa)

**Superestructura:** El material que se asignó a toda la superestructura fue el acero ASTM A500 Gr C y se seleccionó el modelo del material *MAT 024 PIECEWISE LINEAR PLASTICITY*. Este constituye un material plástico elástico, utiliza el módulo de Young, cuando el esfuerzo se encuentra bajo el límite elástico y la curva esfuerzo-deformación, si los esfuerzos están sobre límite elástico [47].

**Tabla 15:** Características asignadas a la superestructura

Material	Tipo de Material	Características	
Acero ASTM A500 Gr C	024-Piecewise Linear Plasticity	Densidad	$7.85e - 09 \text{ ton/mm}^3$
		Porcentaje de elongación	25,9 %
		Límite de fluencia $S_y$	316,364 MPa
		Módulo de Young	$1.498e05 \text{ MPa}$
		Coefficiente de Poisson	0.3

**Fuente:** [48]

**Chasis:** Se realizó el mismo procedimiento anterior, con las características del acero SAPH 440 que según [49] es el material utilizado para la fabricación del chasis.

**Tabla 16:** Características asignadas al chasis

Material	Tipo de Material	Características	
Acero SAPH 440	024-Piecewise Linear Plasticity	Porcentaje de elongación	13.15 %
		Límite de fluencia $S_y$	360 MPa
		Resistencia a la tracción $S_u$	447.34 MPa
		Coefficiente de Poisson	0.29
		Módulo de Young	$2.15e05 \text{ Mpa}$
		Densidad	$7.9e - 09 \text{ ton/mm}^3$

**Fuente:** [49], [50]



**Motor:** El modelo del material seleccionado para este elemento fue *MAT 001-ELASTIC*, al cual se le asignaron características del hierro fundido gris SAE-ASTM grado G4000 que es el material que generalmente se usa en la fabricación de bloques de motores [51]. El peso del conjunto del motor (Engine Assy) se encuentra especificado en [26] de aproximadamente 600 kg, es decir, las dimensiones de este componente se realizaron en base a la densidad que se especifica a continuación.

**Tabla 17:** Características asignadas al motor

Material	Tipo de Material	Características	
Hierro fundido gris SAE-ASTM grado G4000	<i>001-Elastic</i>	Densidad	$7.6e - 09 \text{ ton/mm}^3$
		Coefficiente de Poisson	0.29
		Módulo de Young	1.80e05 MPa

**Fuente:** [50]

**Piso y plataforma:** De acuerdo a lo establecido en ECE R66 [2] estos elementos deben ser rígidos, por lo que se definió este modelo del material como *MAT 020-RIGID* el cual evita deformaciones, las características asignadas hacen referencia al Anexo C4 observado en [52] en el cual se especifica los siguientes valores.

**Tabla 18:** Características asignadas al piso

Tipo de Material	Características	
<i>020-Rigid</i>	Densidad	$7.89e - 09 \text{ ton/mm}^3$
	Módulo de Young	2.1e05 MPa
	Coefficiente de Poisson	0.3

**Fuente:** [52]

**Espacio de supervivencia:** Este elemento al igual que el piso y la plataforma, constituyen únicamente como una referencia y no han de influir en la simulación, por ende, se asignó un modelo del material *MAT 009-NULL*, la única característica necesaria fue la densidad y al no ser relevante se asignó la misma que el material de la superestructura.

**Tabla 19:** Características asignadas al espacio de supervivencia

Tipo de Material	Características	
<i>009-Null</i>	Densidad	$7.85e - 09 \text{ ton/mm}^3$

**Fuente:** [48]

## Secciones

El espesor se definió para elementos tipo *SHELL* con valores de 2 mm para los componentes de la *superestructura* y de 6 mm para los componentes del *chasis*. De

igual manera, fue necesario definir el espesor del *espacio de supervivencia* y para que no influya en la simulación, se designó un valor de  $1e - 6$  mm. Al *piso y la plataforma* se les asignó el mismo valor que el espacio de supervivencia, ya que permanecerán fijos durante toda la simulación y no sufrirán deformaciones. Finalmente se asignó el elemento tipo *SOLID* al motor.

Al terminar de definir las características anteriores, se procedió a asignar materiales y secciones a cada uno de los elementos de la simulación mediante *DATA\_ASSING*.

### 2.3.8.3.3. Cálculo del centro de gravedad y velocidad angular del autobús

#### Análisis del centro de gravedad

Previo al cálculo de la velocidad angular, se procedió a controlar dos parámetros importantes del ensayo de vuelco para que los resultados que se alcancen puedan ser comparables. Primero, se realizó la comparación del valor de masa de los elementos que conforman el modelo de autobús, obteniendo valores equivalentes entre sí, con una diferencia aproximada de 6 kg que representaron el 0.22% de la masa total y no presentaron incidencia significativa.

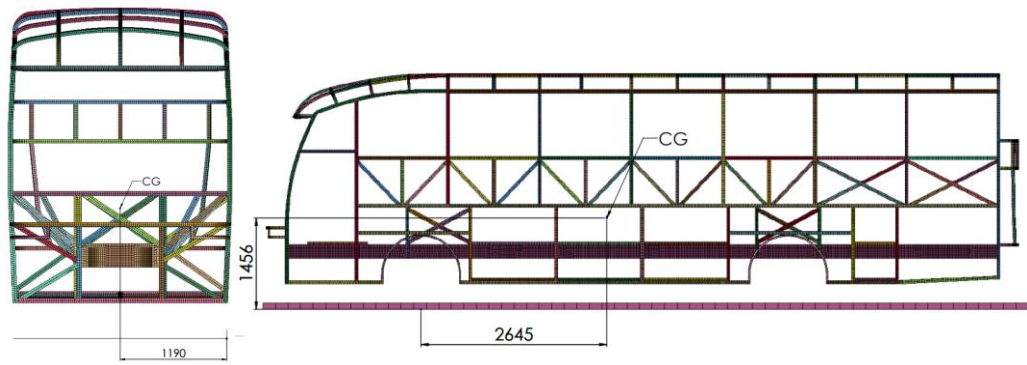
**Tabla 20:** Valores de masa obtenidos

Ítem/Ubicación del motor	Delantero	Posterior
Chasis	563.78 kg	560.74 kg
Estructura	1458.89 kg	1467.92 kg
Motor	600.70 kg	600.70 kg
Total	2623.37 kg	2629.36 kg

Segundo, se procedió a verificar la posición del centro de gravedad. Los modelos de superestructuras mantuvieron valores similares, la diferencia radicó en la estructura de unión entre módulos del chasis en el modelo con motor posterior. Sin embargo, por la influencia de la ubicación del motor y consecuente diferencia de configuración del chasis, la altura del centro de gravedad en la configuración con motor posterior fue de aproximadamente 4% más baja y 2000 mm hacia la parte trasera del vehículo, estos factores influyen en el comportamiento estructural de los pórticos y secciones.

**Tabla 21:** Posición del centro de gravedad

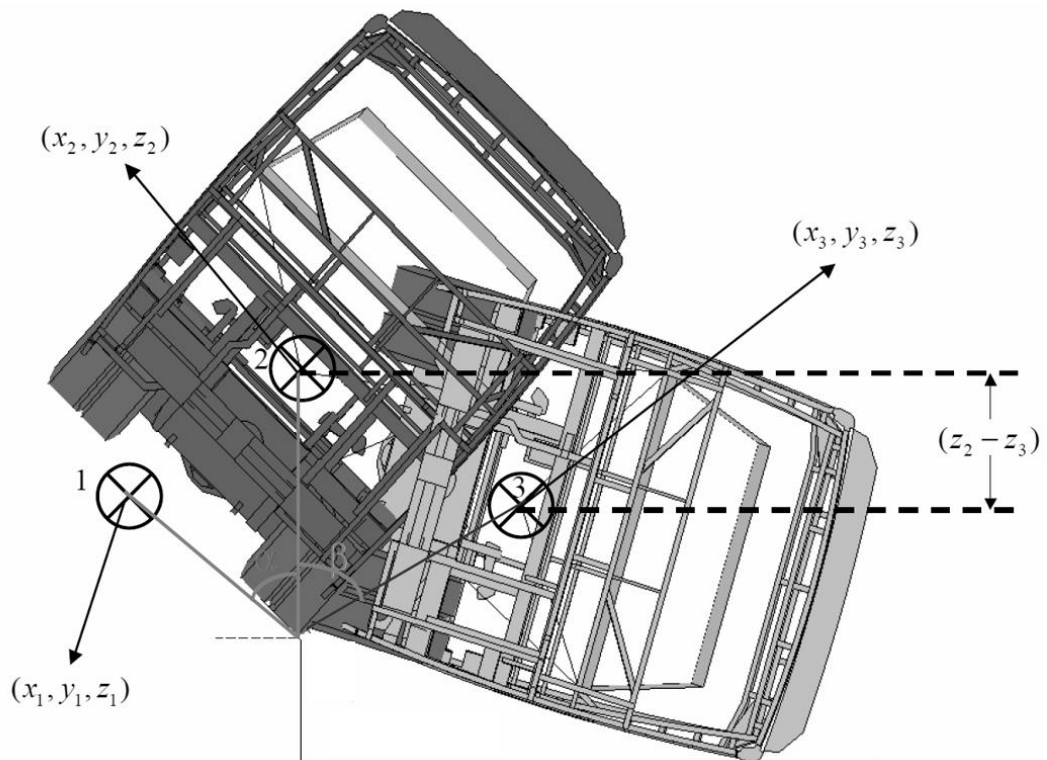
Componentes	Posición del motor	Posición respecto al punto de referencia		
		Eje x [mm]	Eje y [mm]	Eje z [mm]
Superestructura	Delantero	-1190	1885.37	-3860.96
	Posterior	-1190	1852.06	-3829.84
Superestructura, chasis y motor	Delantero	-1190	1456.92	-2645.38
	Posterior	-1190	1397.78	-4733.81



**Figura 40:** Referencia del centro de gravedad en mm

### Cálculo de velocidad angular

La simulación del ensayo de vuelco se produce por medio de la rotación del bus desde la posición inicial hasta la posición de contacto con el suelo. El desarrollo de este proceso se lo puede observar en la siguiente figura, inicialmente el vehículo se encuentra sobre la plataforma y el centro de gravedad está ubicado en la posición 1, a continuación, el vehículo gira hasta la posición 2 que se denomina punto de equilibrio inestable. Finalmente, el vehículo cae hacia el punto 3 en el cual se produce el contacto entre el vehículo y el suelo.

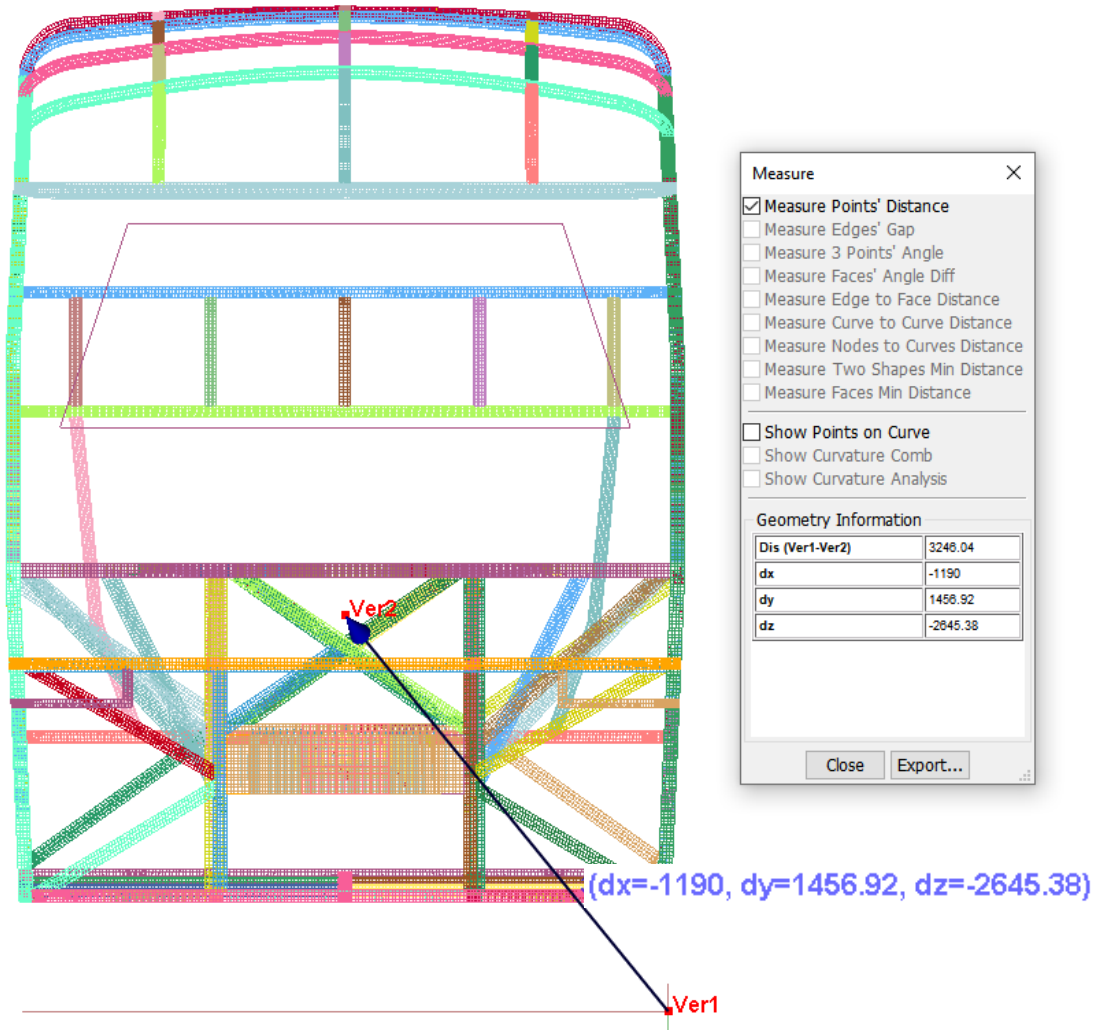


**Figura 41:** Movimiento del autobús en el ensayo de vuelco

**Fuente:** [1]

Una vez que se definió los materiales y secciones, LS-PrePost permitió obtener el centro de gravedad por medio de *MEASURE\_INERTIA*, esto se lo realizó en la posición inicial del vehículo  $P_1$ .

$$P_1(x_1, y_1, z_1) = (-1190 ; 1456.92; -2645.38) \text{ mm}$$



**Figura 42:** Centro de gravedad en el punto inicial

Con este datos se procedió al cálculo del ángulo de inestabilidad lateral formado entre la plataforma y el centro de gravedad en la posición inicial, el diagrama de cuerpo libre del autobús permitió establecer las ecuaciones para encontrar el ángulo.

$$+\varnothing \sum M = 0$$

$$-D_y \cdot F_x + D_x \cdot F_y = 0$$

$$F_x = m \cdot g \cdot \text{sen}\alpha$$

$$F_y = m \cdot g \cdot \text{cos}\alpha$$

$$-D_y \cdot m \cdot g \cdot \text{sen}\alpha + D_x \cdot m \cdot g \cdot \text{cos}\alpha = 0$$

$$D_y \cdot m \cdot g \cdot \sin \alpha = D_x \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{D_x}{D_y}$$

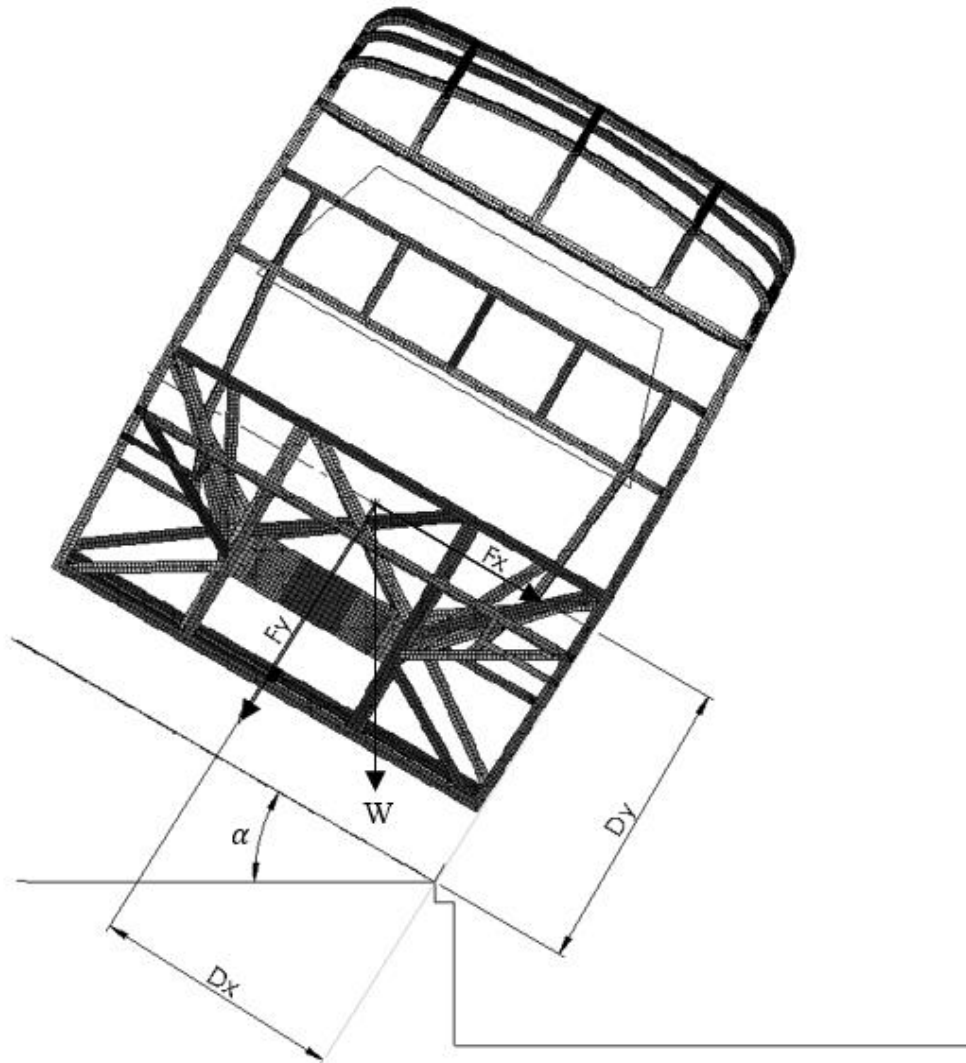
$$\tan \alpha = \frac{D_x}{D_y}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{D_x}{D_y} \right)$$

Ec. 13

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{1190 \text{ mm}}{1456.92 \text{ mm}} \right)$$

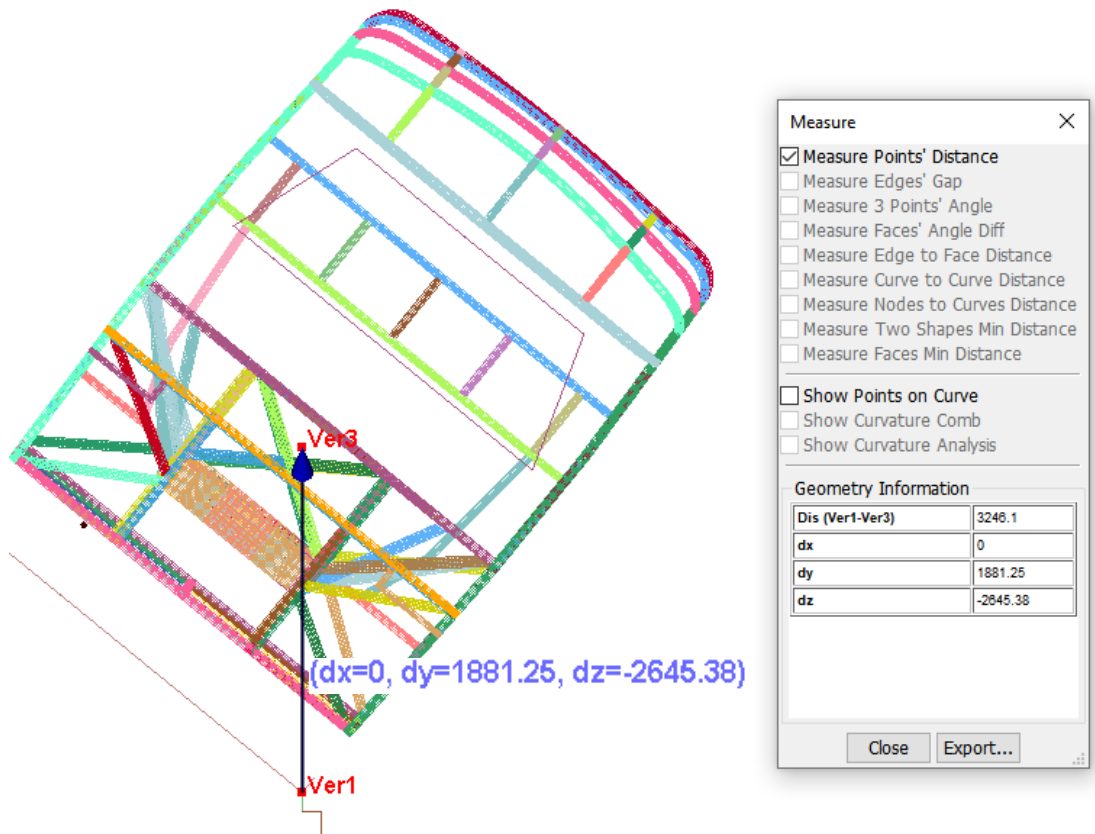
$$\alpha = 39.241^\circ$$



**Figura 43:** Diagrama de cuerpo libre del vehículo

Por lo tanto, el ángulo de inestabilidad lateral calculado fue  $39.241^\circ$ , el vehículo giró alrededor del eje Z hasta colocarse en posición inestable ( $P_2$ ) en la que el centro de gravedad se encuentra en su punto más alto e inicialmente con velocidad angular igual a cero, aquí se obtuvo el siguiente dato.

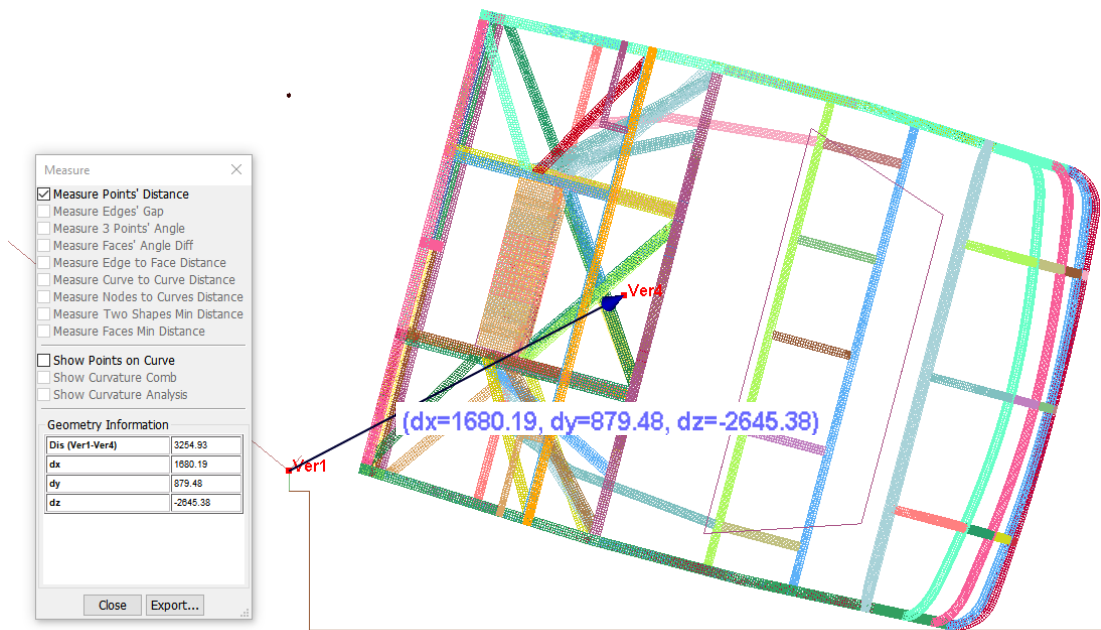
$$P_2(x_2, y_2, z_2) = (0; 1881.25; -2645.38) \text{ mm}$$



**Figura 44:** Centro de gravedad en posición de equilibrio inestable.

Finalmente, el modelo se giró alrededor del obstáculo de 100 mm hasta que el vehículo hizo contacto con el suelo y su centro de gravedad se ubicó en el punto  $P_3$ .

$$P_3(x_3, y_3, z_3) = (1680.19; 879.48; -2645.38) \text{ mm}$$



**Figura 45:** Centro de gravedad en el punto de contacto

La velocidad angular del autobús en el momento de impacto contra el suelo se calculó mediante balance de energías, en este caso, la transformación de la energía potencial ( $E_p$ ) en energía cinética rotacional ( $E_c$ ).

La energía potencial que adquiere el vehículo fue determinada mediante la siguiente formula:

$$E_p = M \cdot g \cdot \Delta h \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

$M$ : masa del vehículo.

$g$ : valor de la constante gravitacional.

$\Delta h$ : desplazamiento vertical del centro de gravedad medido desde la posición de equilibrio inestable hasta el impacto.

La energía cinética rotacional se determinó mediante la fórmula descrita a continuación:

$$E_c = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2 \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

$I$ : momento de inercia del autobús



$\omega$ : velocidad angular de la carrocería

Despejando la incógnita de la ecuación e igualando la energía potencial, se obtuvo la fórmula para determinar el valor de la velocidad angular en el momento del impacto del vehículo contra el suelo.

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot E_p}{I}} \quad \text{Ec. 16}$$

El valor del momento de inercia se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$I: I_{zz} + M \cdot r^2 \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

$I_{zz}$ : momento de inercia con respecto al eje de rotación del vehículo

$r$ : Distancia desde el centro de gravedad del autobús hasta el eje de referencia

Los datos que se obtuvieron para los dos modelos se los resumen en la siguiente tabla, adicionalmente, se determinaron valores de masa e inercia mediante la función *ID MEASURE*.

Cabe recalcar que estas medidas fueron tomadas desde la referencia que se encuentra en el *punto de contacto entre la rueda y el eje delantero* hacia los puntos de los centros de gravedad  $P_1, P_2, P_3$  respectivamente.

**Tabla 22:** Resumen de datos para cálculo de velocidad angular

Ítem	Motor delantero	Motor posterior
$P_1 \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$	-1190 mm 1456,92 mm -2645,38 mm	-1190 mm 1397,78 mm -4733.81 mm
$\alpha$	39,251°	40,409°
$P_2 \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix}$	0 mm 1881.25 mm -2645.38 mm	0 mm 1835.84 mm -4733.81 mm
$P_3 \begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{pmatrix}$	1679.77 mm 879.48 mm -2645.38 mm	1624,28 mm 893.978 mm -4733.81 mm
$M$	2,62337 Tn	2,62937 Tn



$I_{zz}$	$3.40021 e^6 Tn.mm^2$	$3.68572 e^6 Tn.mm^2$
$r$	$1896.45 mm$	$1854.04 mm$

Con estos antecedentes y las ecuaciones 14, 16 y 17, se procedió a calcular el valor de la velocidad angular para los dos modelos del vehículo interprovincial.

**Tabla 23:** Cálculo de velocidad angular

Modelo con motor delantero	$E_p = M \cdot g \cdot \Delta h$ $E_p = (2,62337 Tn) \left( 9806 \frac{mm}{s^2} \right) (1881,25 - 879,48 mm)$ $E_p = 2,577029906 e^7 Tn \frac{mm^2}{s^2}$
	$I: I_{zz} + M \cdot r^2$ $I: 3,40021 e^6 Tn.mm^2 + (2,62337 Tn) \cdot (1896,45)^2$ $I = 1,28352195 e^7 Tn.mm^2$
	$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot E_p}{I}} = \sqrt{\frac{2 \left( 2,577029906 e^7 Tn \frac{mm^2}{s^2} \right)}{1,28352195 e^7 Tn.mm^2}}$ $\omega = 2.00389 \frac{rad}{s}$
Modelo con motor posterior	$E_p = M \cdot g \cdot \Delta h$ $E_p = (2,62937 Tn) \left( 9806 \frac{mm}{s^2} \right) (1835,84 - 893,978 mm)$ $E_p = 2,428459515 e^7 Tn \frac{mm^2}{s^2}$
	$I: I_{zz} + M \cdot r^2$ $I: 3.68572 e^6 Tn.mm^2 + (2,62937 Tn) \cdot (1854.04)^2$ $I = 1,272408556 e^7 Tn.mm^2$
	$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot E_p}{I}} = \sqrt{\frac{2 \left( 2,428459515 e^7 Tn \frac{mm^2}{s^2} \right)}{1,272408556 e^7 Tn.mm^2}}$ $\omega = 1.95374 \frac{rad}{s}$

#### 2.3.8.3.4. Asignación de condiciones finales

Antes de ejecutar la solución se procedió a asignar ciertas condiciones que definieron las características de la simulación.

**Restricciones:** Para establecer el movimiento del espacio de supervivencia y del motor con respecto a la superestructura se utilizó *CONSTRAINED\_NODAL RIGID BODY*.

**Gravedad:** El valor de la gravedad se definió mediante *CURVE* estableciendo el valor de 9806 mm/s, esta misma curva característica se le asignó al modelo mediante *LOAD\_BODY*.

**Contacto:** Mediante *BOUNDARY\_SPC* se fijó el área del piso sobre la cual va a impactar la superestructura. A continuación, se creó conjuntos de elementos para generar el contacto entre la superestructura (master) y el piso (slave) mediante *SET PART*.

Finalmente, se procedió a generar el contacto mediante *CONTACT\_AUTOMATIC SURFACE TO SURFACE* con los conjuntos definidos entre la superestructura y el piso. Adicionalmente, se definió los coeficientes de fricción estática y dinámica entre el acero y el cemento que es el material especificado en ECE R66 [2] para el piso.

- Coeficiente de fricción estático entre el acero y el concreto: 0,6 [53]
- Coeficiente de fricción dinámico asignado por defecto en el programa, ya que depende de la velocidad relativa entre las superficies en contacto.

**Velocidad angular:** Se asignó el valor de la velocidad angular calculada anteriormente a través de *INITIAL\_VELOCITY GENERATION*. Este dato se designó para los elementos de la superestructura, motor y espacio de supervivencia.

**Energía:** Como especifica el literal 5.1.4 en el anexo 9 del ECE R66 [2], es necesario adjuntar los valores totales de energía, este requisito se cumplió mediante *CONTROL\_ENERGY* con el que se activó el balance de energías. De igual forma se controló la energía de Hourglass (reloj de arena) por medio de *CONTROL\_HOURLASS*.

**Control del ciclo:** Se definió el control del tiempo de terminación de la simulación mediante *CONTROL\_TERMINATION* con un valor de 0.4 s, además, se estableció la terminación del ciclo en 1000000. Finalmente se controló el ciclo de simulación mediante *CONTROL\_TIMESTEP*. Para establecer el valor de time step se realizó el cálculo correspondiente.

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{Ec. 18}$$

$$c = \sqrt{\frac{1.498e11 \frac{kg}{m \cdot s^2}}{7890 \frac{kg}{m^3}}} = 4357.29 \frac{m}{s}$$

$$\Delta t = \frac{h}{c} \quad \text{Ec. 19}$$

$$\Delta t \leq \frac{0.015 m}{4357.29 \frac{m}{s}} = 3.44 e^{-6} s^{-1} \approx 3e^{-6}$$

Donde:

$c$ : Velocidad de onda del material

$\rho$ : Densidad del material

$E$ : Módulo de elasticidad del material

$\Delta t$ : Time step

$h$ : Longitud característica del elemento finito

Con este valor de referencia, se procedió a controlar la masa añadida, a fin de encontrar un equilibrio entre las tres variables que se muestran en la siguiente tabla. Con el time step de  $-1.5e^{-6} s^{-1}$  el valor de masa añadida es 1.72 kg, que no es altamente significativo, de igual forma el tiempo de procesamiento en referencia a los anteriores es razonable.

**Tabla 24:** Revisión de time step

Time step ( $s^{-1}$ )	Added mass (Tn)	Tiempo de procesamiento
$-3e^{-6}$	1.53	3h 15min
$-2e^{-6}$	$6.81e^{-3}$	4h 9min
$-1.5e^{-6}$	$1.72e^{-3}$	5h 40min
$-1e^{-6}$	$1.72e^{-5}$	8h 4min

**Datos de salida:** Finalmente, la obtención de datos de salida se realizó mediante *DATABASE\_BINARY D3PLOT*, de igual manera a través *DATABASE\_ASCII OPTION*.

#### 2.3.8.4. Solución

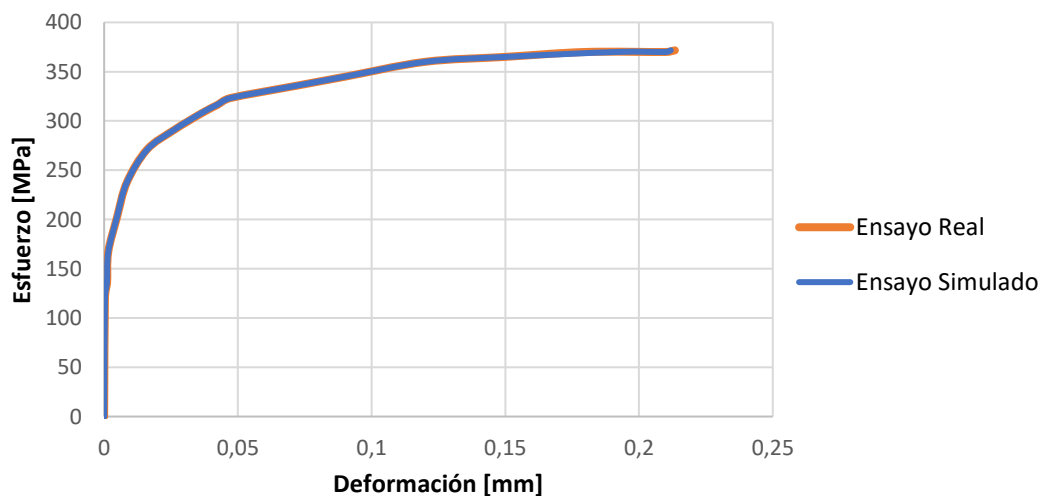
Una vez finalizado el proceso de preprocesamiento, se procedió a ejecutar la solución por medio del software LS\_DYNA que utiliza el método explícito no lineal para el análisis en tres dimensiones.

#### 2.3.8.5. Post procesamiento

Se visualizó los resultados obtenidos mediante el postprocesador de LS-DYNA, lo que se analizó principalmente fue la influencia de la posición del motor en la resistencia de la superestructura y adicionalmente si algún elemento estructural invadió el espacio de supervivencia durante la simulación del vuelco.

#### 2.3.9. Validación de resultados

Para la validación de las simulaciones se utilizó datos publicados en bibliografía relacionada. Carrasco [48] expone datos obtenidos mediante ensayos de tracción realizados a probetas de acero ASTM A500 Gr C de 2 mm de espesor, a partir de estos datos, se ejecutó el mismo ensayo mediante simulación empleado el modelo del material 024-PIECEWISE LINEAR PLASTICITY. Se realizó la comparación entre el ensayo de tracción real vs simulado y los resultados mantienen un comportamiento similar, con un error promedio de 0.85 % que se encuentra dentro de los límites recomendados [24]. Esto significa que los resultados que se obtengan en la simulación del ensayo de vuelco serán válidos.



**Figura 46:** Comparación entre ensayo de tracción real vs simulado

**Tabla 25:** Validación de resultados de ensayo de tracción

Ensayo Real		Ensayo Simulado		Error
Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm)	%
0,00	0,0000	0,00	0,00000	0,00
120,00	0,0003	120,00	0,00030	0,00
135,67	0,0011	135,67	0,00104	5,45
166,67	0,0015	166,67	0,00151	0,67
202,17	0,0048	202,17	0,00477	0,21
237,67	0,0085	237,67	0,00849	0,00
270,90	0,0160	270,90	0,01610	0,50
290,43	0,0259	290,43	0,02585	0,08
307,90	0,0365	307,90	0,03630	0,49
316,36	0,0424	316,36	0,04229	0,26
323,23	0,0472	323,23	0,04724	0,08
335,63	0,0717	335,63	0,07164	0,07
344,86	0,0900	344,86	0,08989	0,12
360,00	0,1200	360,00	0,12016	0,13
365,00	0,1500	365,00	0,15014	0,09
370,00	0,1800	370,00	0,19147	6,37
370,00	0,2100	370,00	0,21006	0,03
371,64	0,2134	371,64	0,21185	0,73
Promedio				0,85

Adicionalmente, para comprobar el cálculo de la velocidad angular, al ejecutar la solución el programa se generó el valor de la energía cinética inicial que coincidió con el valor de energía potencial  $E_p$  obtenida en la tabla 23.

input of data is completed initial kinetic energy = 0.25770378E+08	input of data is completed initial kinetic energy = 0.24284537E+08
a) Motor delantero	b) Motor posterior

**Figura 47:** Energía cinética inicial calculada por el solucionador de LS-DYNA



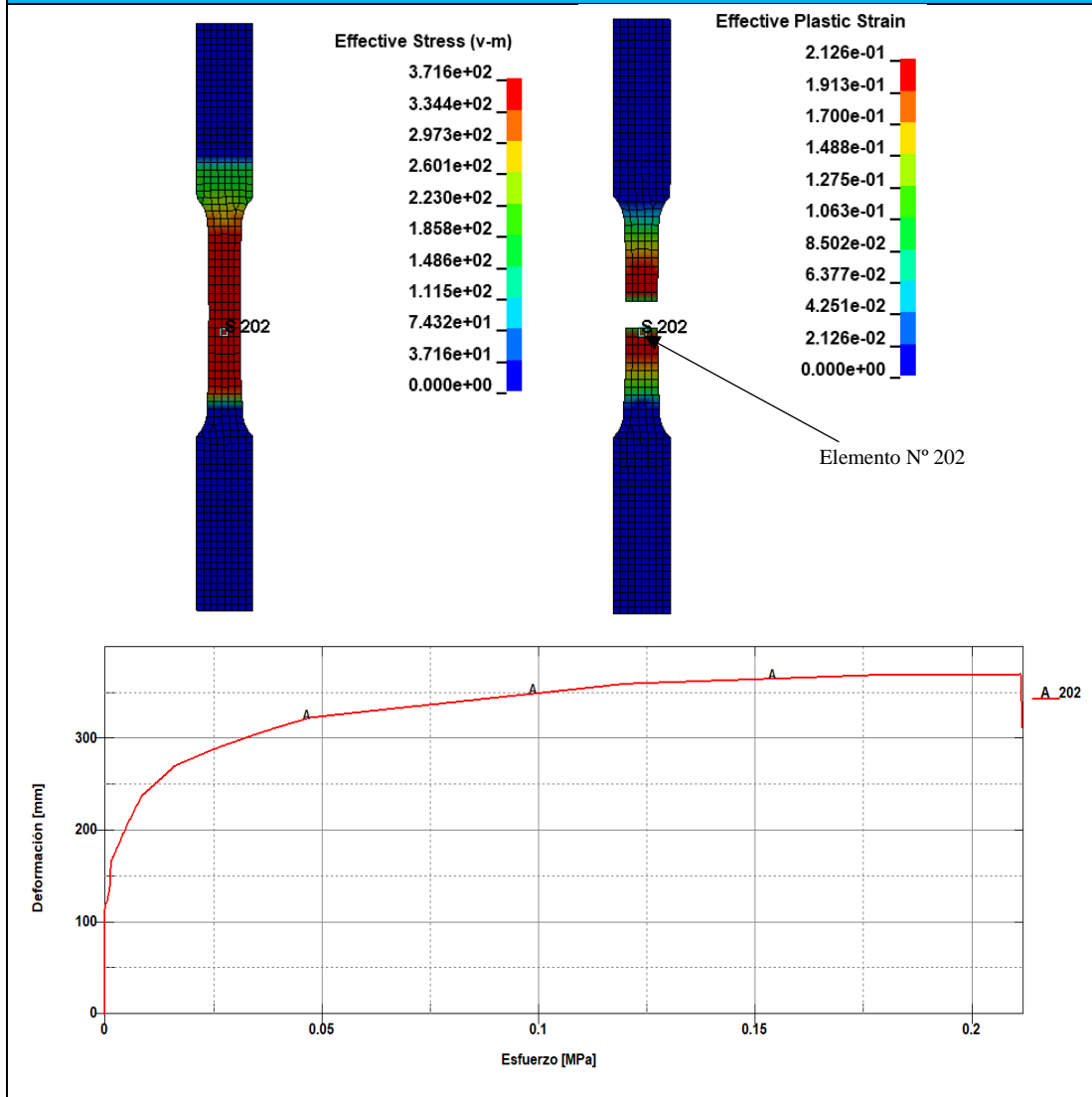
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN**

Probeta N°	1	Muestra de	Acero ASTM A500 Gr C
Normas Aplicables	NTE INEN 109:2009 y EN ISO 377		
Fecha de ejecución	01/07/2022	Revisado por	Ing. César Arroba
		Realizado por	Henry Arévalo
Espesor	2 mm	Longitud calibrada	50 mm
Tiempo de procesamiento	0 h 13 min	Numero de procesadores	6 de 4.0 Hz

**RESULTADOS DEL ENSAYO**



**REGISTRO DE RESULTADOS**

Deformación inicial	0 mm	Deformación última	0,21 mm
Esfuerzo inicial	0 MPa	Esfuerzo último	370,87 MPa

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Descripción y análisis de los resultados obtenidos

Por medio de la comparación entre los dos modelos en análisis se puede identificar qué propuesta ofrece mayor resistencia de la superestructura. Inicialmente, se verificó que ninguno de los elementos estructurales invada el espacio de supervivencia. Finalmente se interpretaron los resultados obtenidos y se analizó los requisitos expuestos en ECE R66 [2].

#### **Simulación del modelo con motor delantero**

La simulación inicia a los 0 ms, a los 50 ms se observa que los elementos estructurales absorbieron la energía del impacto y comenzó la deformación. Alrededor de los 130 ms la superestructura invadió el espacio de supervivencia, entre los 155 y 170 ms la estructura alcanzó su deformación máxima, a continuación, los elementos estructurales iniciaron la recuperación de su estado original hasta que finalizó la simulación a los 300 ms.

#### **Simulación del modelo con motor posterior**

La simulación inicia a los 0 ms, a los 50 ms se observa que los elementos estructurales absorbieron la energía del impacto y comenzó la deformación. Alrededor de los 100 y 115 ms se observó que la distancia entre el espacio de supervivencia y la estructura fue mínima, a continuación, los elementos estructurales iniciaron la recuperación de su estado original y la estructura empezó a deslizarse hasta que se encontró a los 290 ms con los elementos que componen el piso del autobús. La simulación finalizó a los a 300 ms.



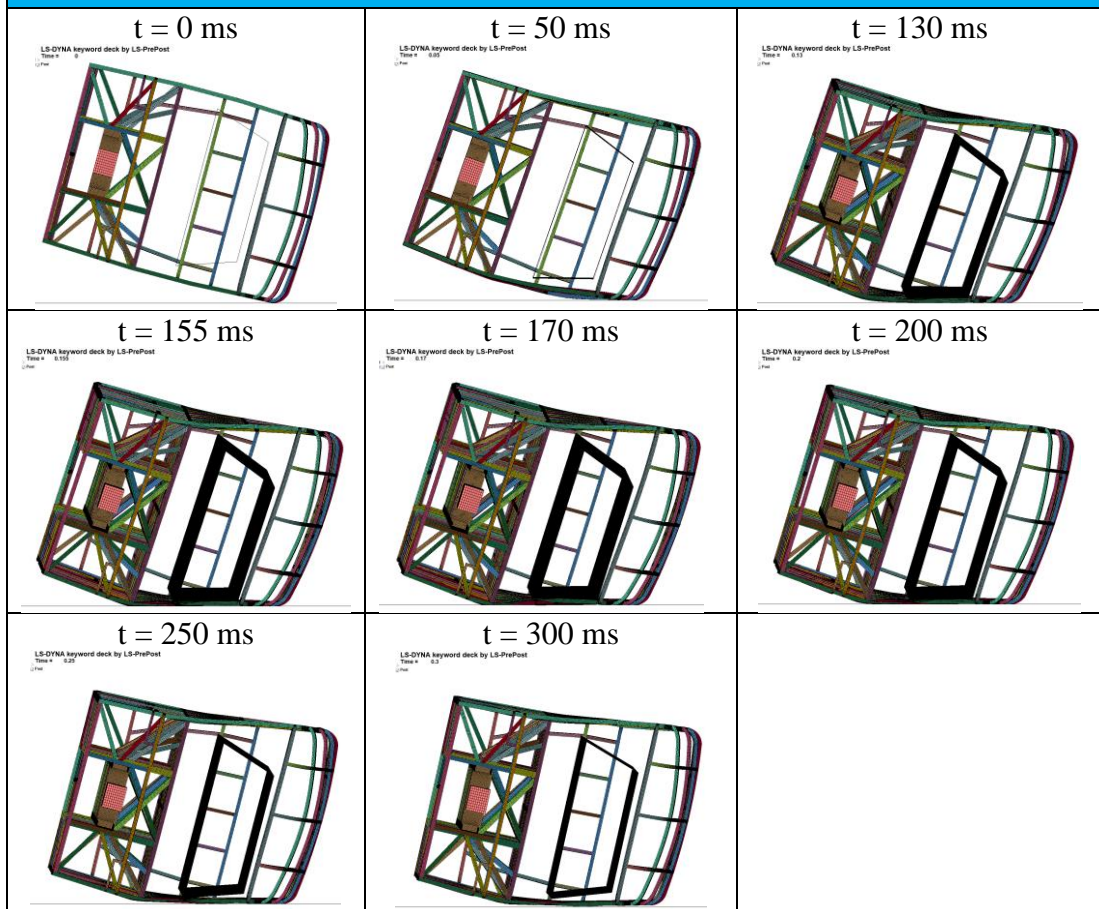
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE VUELCO**

Modelo N°	1	Modelo de:	Superestructura de autobús interprovincial con motor delantero
Normas Aplicables	Reglamento CEPE/ONU 66 Anexo 9		
Fecha de ejecución	09/07/2022	Revisado por:	Ing. César Arroba
		Realizado por:	Henry Arévalo
Cantidad de nodos	761282	Cantidad de elementos	760036
Tiempo de procesamiento	6 h 39 min	Numero de procesadores	6 de 4.0 Hz
Velocidad al momento del impacto	2.00 rad/s	Masa de la sección	2623.37 kg

**RESULTADOS DEL ENSAYO**



**REGISTRO DE RESULTADOS**

La superestructura invade el espacio de supervivencia	SI
---	----





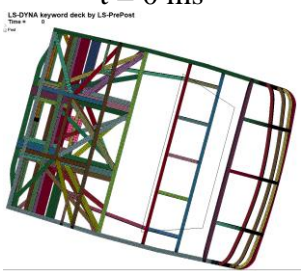
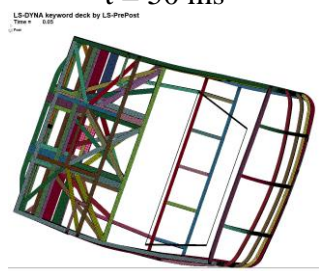
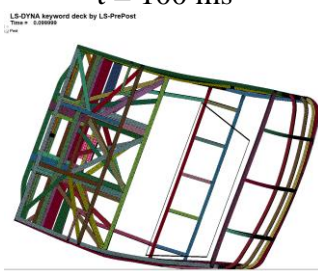

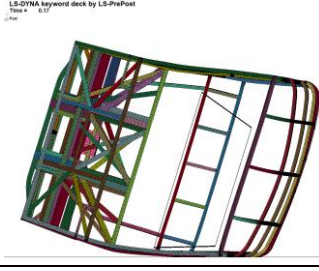
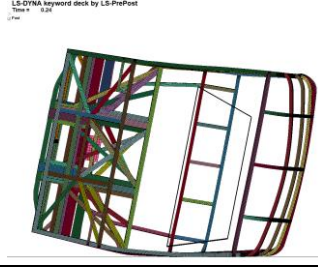
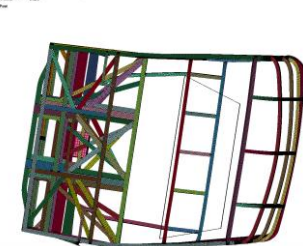
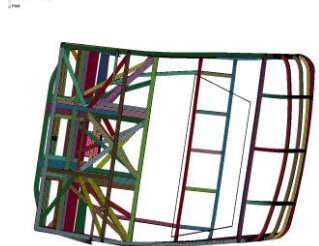
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE VUELCO**

Modelo N°	2	Modelo de:	Superestructura de autobús interprovincial con motor posterior
Normas Aplicables	Reglamento CEPE/ONU 66 Anexo 9		
Fecha de ejecución	13/07/2021	Revisado por:	Ing. César Arroba
		Realizado por:	Henry Arévalo
Cantidad de nodos	767173	Cantidad de elementos	767565
Tiempo de procesamiento	6 h 23 min	Numero de procesadores	6 de 4.0 Hz
Velocidad al momento del impacto	1.95 rad/s	Masa de la sección	2629.36 kg

**RESULTADOS DEL ENSAYO**

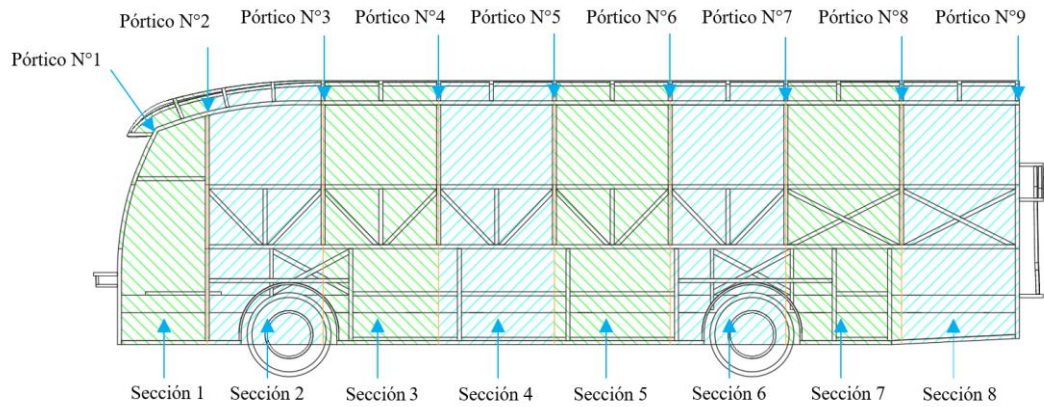
<p>t = 0 ms</p> 	<p>t = 50 ms</p> 	<p>t = 100 ms</p> 
<p>t = 115 ms</p> 	<p>t = 170 ms</p> 	<p>t = 240 ms</p> 
<p>t = 290 ms</p> 	<p>t = 300 ms</p> 	

**REGISTRO DE RESULTADOS**

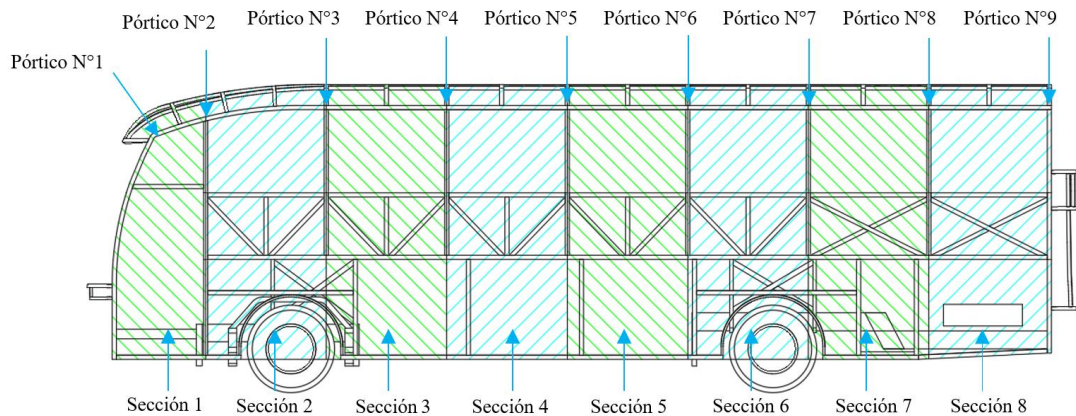
La superestructura invade el espacio de supervivencia	NO
---	----

### 3.1.1. Análisis de secciones y pórticos

En las figuras 48 y 49 se presenta la vista lateral para identificar los pórticos y secciones presentes en los dos modelos del autobús interprovincial.



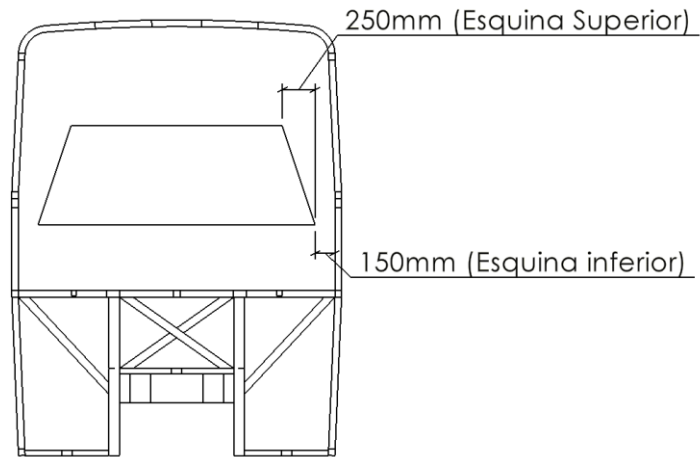
**Figura 48:** Distribución de secciones y pórticos en el modelo con motor delantero



**Figura 49:** Distribución de secciones y pórticos en el modelo con motor posterior

#### 3.1.1.1. Análisis de pórticos

Luego de identificar estas partes de la superestructura, se realizó el análisis de la distancia entre cada uno de los pórticos con respecto al espacio de supervivencia. Cabe recalcar que se analizó dos secciones del espacio de supervivencia. La esquina inferior que tiene una distancia de 150 mm con respecto a los pórticos y la esquina superior con una distancia de 250 mm respecto a la esquina inferior del espacio de supervivencia.



**Figura 50:** Esquina superior e inferior del espacio de supervivencia

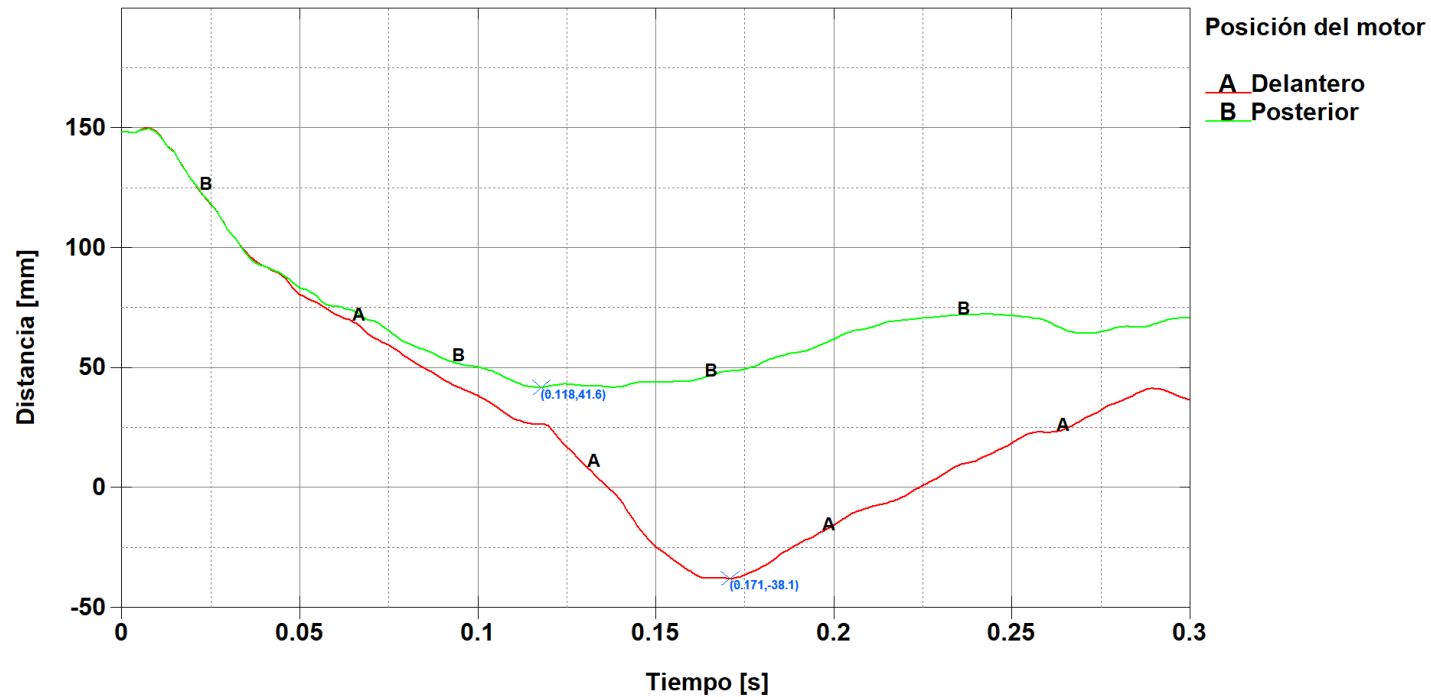
**Tabla 26:** Distancia mínima entre cada pórtico con respecto al espacio de supervivencia – esquina inferior

Pórtico	Motor delantero			Motor posterior			Modelo crítico
	Distancia	Tiempo	Intrusión	Distancia	Tiempo	Intrusión	
1	--	--	--	--	--	--	--
2	38.1 mm	171 ms	SI	41.6 mm	118 ms	NO	Delantero
3	6.5 mm	168 ms	SI	23.4 mm	136 ms	NO	Delantero
4	9.2 mm	137 ms	NO	20.6 mm	135 ms	NO	Delantero
5	15.5 mm	133 ms	NO	19.5 mm	134 ms	NO	Delantero
6	25.1 mm	137 ms	NO	22.1 mm	136 ms	NO	Posterior
7	32.4 mm	106 ms	NO	24.3 mm	139 ms	NO	Posterior
8	51.5 mm	111 ms	NO	33.1 mm	141 ms	NO	Posterior
9	--	--	--	--	--	--	--

**Tabla 27:** Distancia mínima entre cada pórtico con respecto al espacio de supervivencia - esquina superior

Pórtico	Motor delantero			Motor posterior			Modelo crítico
	Distancia	Tiempo	Intrusión	Distancia	Tiempo	Intrusión	
1	--	--	--	--	--	--	--
2	40.6 mm	162 ms	SI	60.9 mm	131 ms	NO	Delantero
3	16.6 mm	161 ms	SI	41.2 mm	132 ms	NO	Delantero
4	8.3 mm	138 ms	NO	37 mm	134 ms	NO	Delantero
5	26.6 mm	134 ms	NO	35.3 mm	134 ms	NO	Delantero
6	48.5 mm	137 ms	NO	39.8 mm	137 ms	NO	Posterior
7	64.6 mm	110 ms	NO	42.5 mm	139 ms	NO	Posterior
8	88.4 mm	112 ms	NO	49.3 mm	139 ms	NO	Posterior
9	--	--	--	--	--	--	--

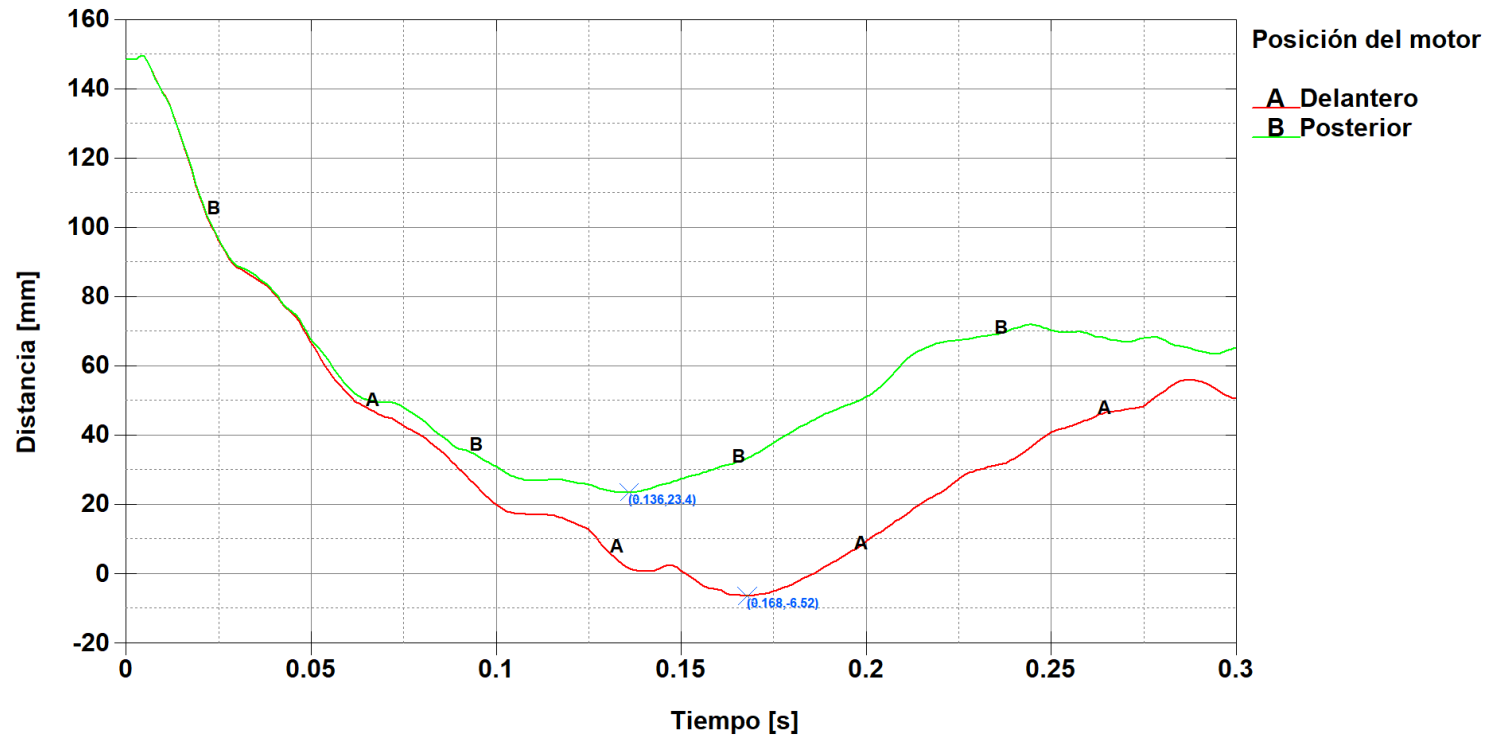
## Pórtico 2 - esquina inferior



**Figura 51:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 2.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 2 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presentó a los 171 ms, con una distancia de referencia de 38.1 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 41.6 mm a los 118 ms. La posición del motor en este caso afectó más al modelo con motor delantero, ya que entre los dos existió una diferencia aproximada de 79.7 mm que representa el 53 % de la distancia inicial.

### Pórtico 3 - esquina inferior



**Figura 52:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 3.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 3 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 168 ms, con una distancia de referencia de 6.5 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 23.4 mm a los 136 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor delantero, ya que entre los dos modelos existe una diferencia aproximada de 29.9 mm que representa el 19.9 % de la distancia inicial.

### Pórtico 4 - esquina inferior

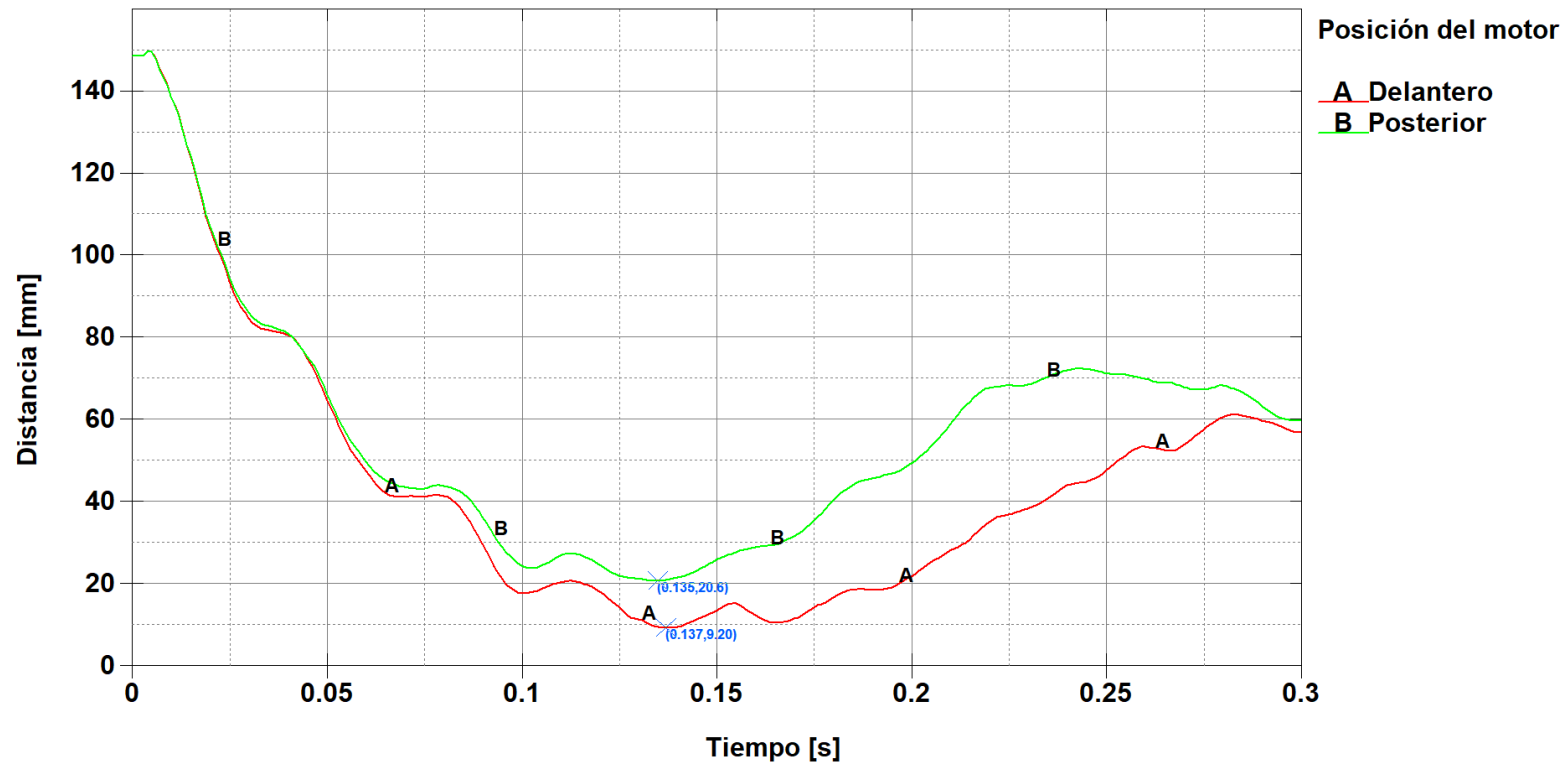
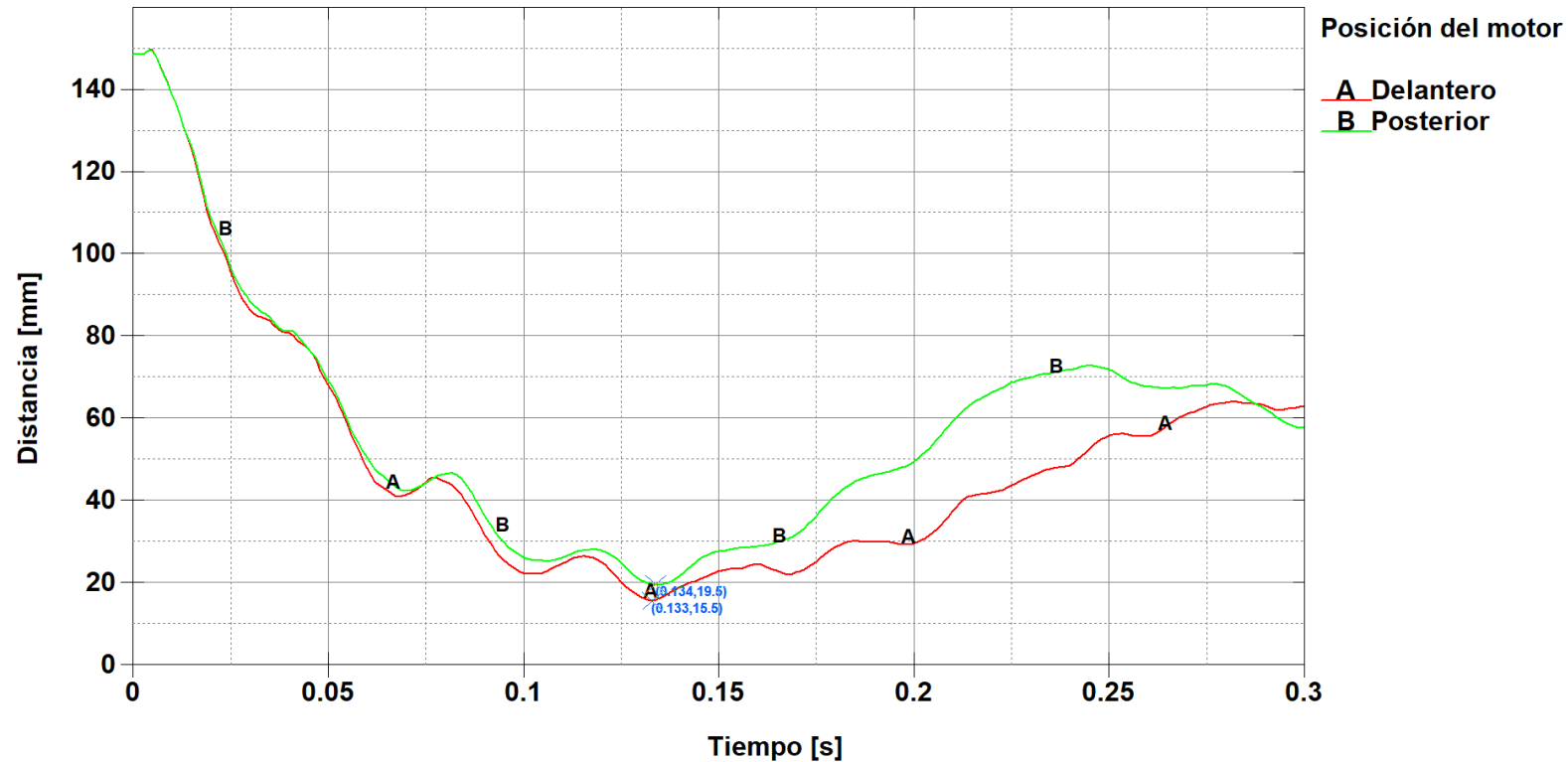


Figura 53: Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 4.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 4 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 137 ms, con una distancia de referencia de 9.2 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 20.6 mm a los 135 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor delantero, ya que entre los dos existe una diferencia aproximada de 11.4 mm que representa el 7.6 % de la distancia inicial.

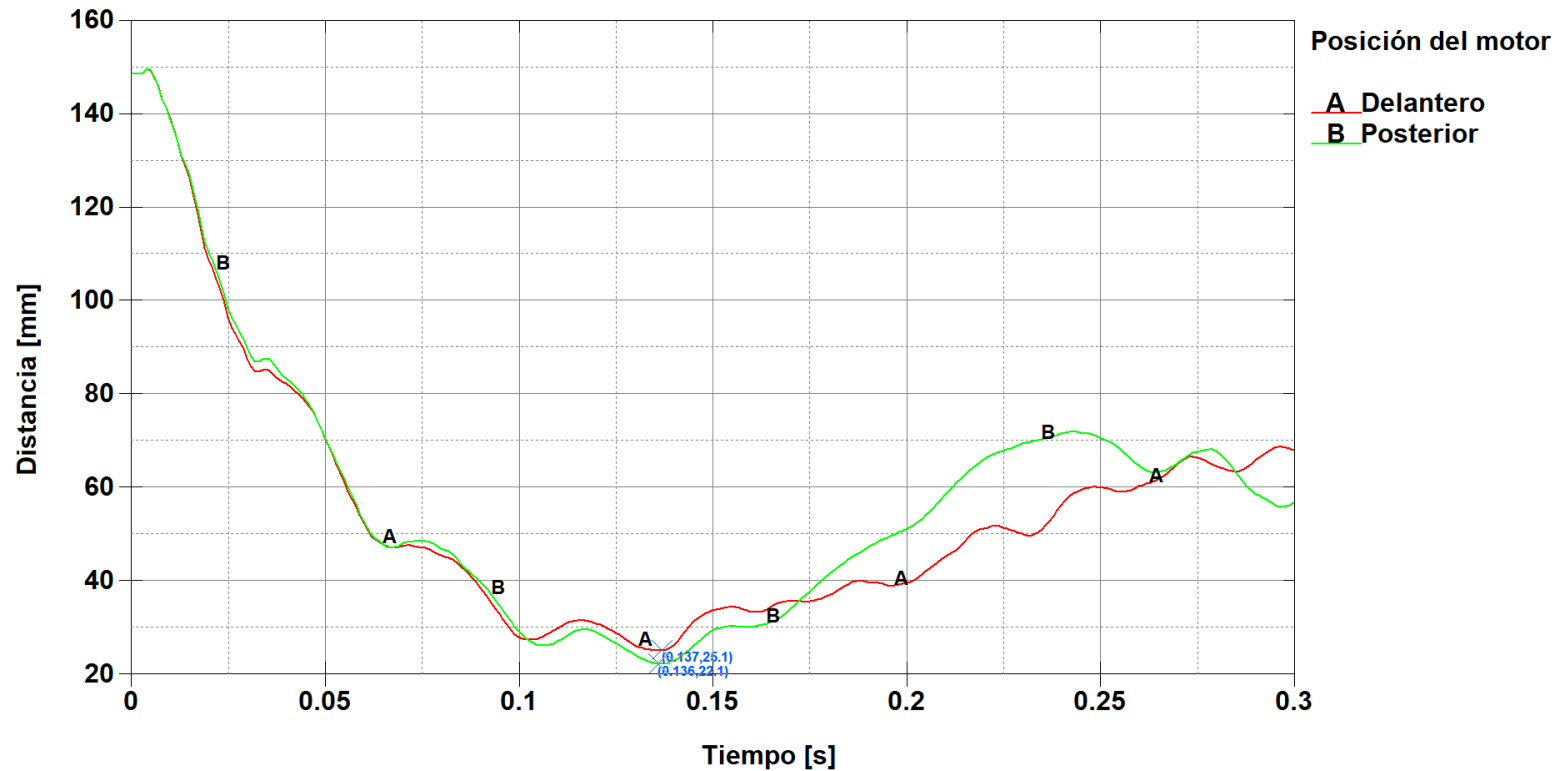
## Pórtico 5 - esquina inferior



**Figura 54:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 5.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 5 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 133 ms, con una distancia de referencia de 15.5 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 19.5 mm a los 134 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor delantero, ya que entre los dos existe una diferencia aproximada de 4 mm que representa el 2.6 % de la distancia inicial.

## Pórtico 6 - esquina inferior

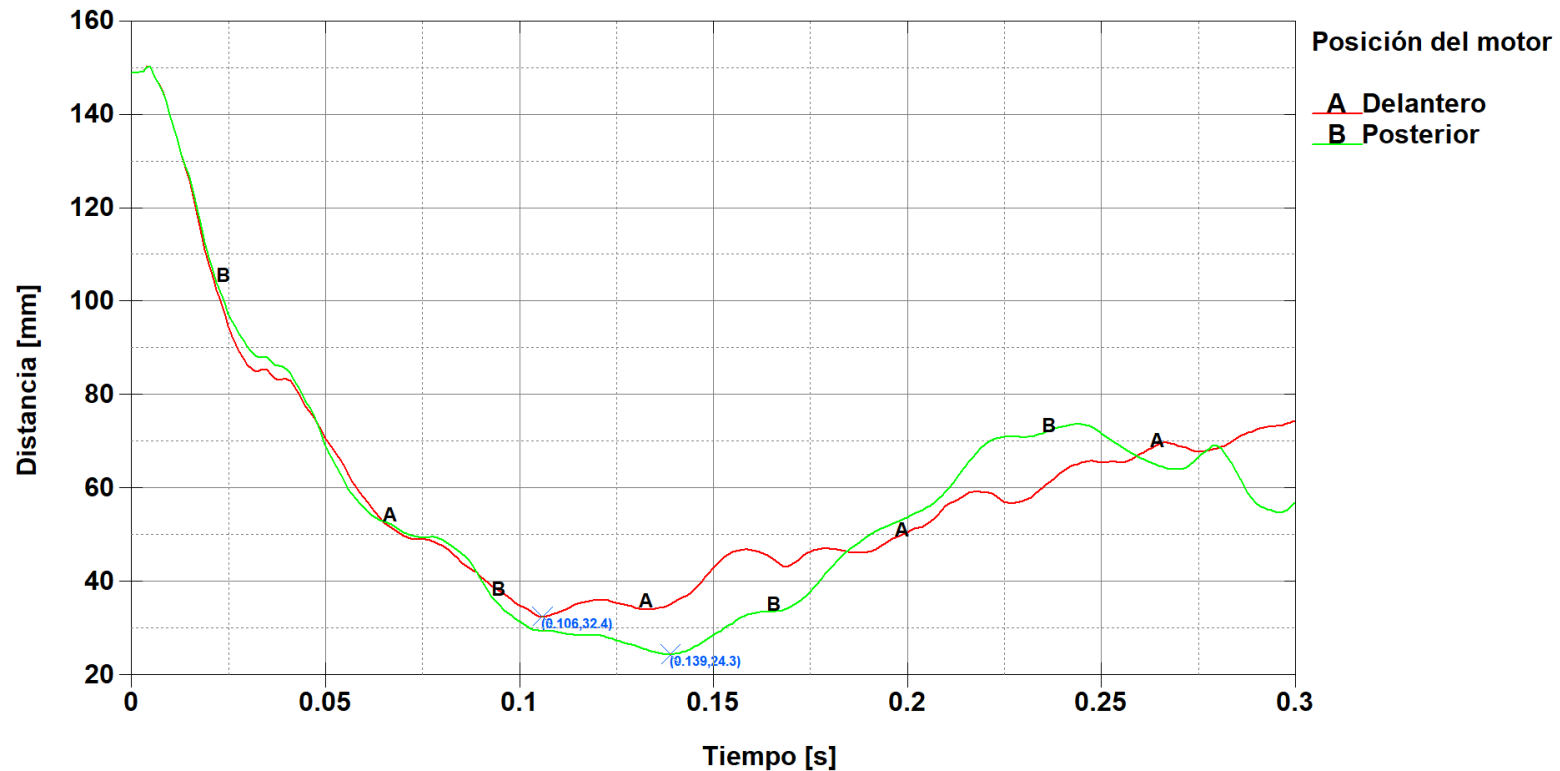


**Figura 55:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 6.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 6 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 137 ms, con una distancia de referencia de 25.1 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 22.1 mm a los 136 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor posterior, entre los dos existe una diferencia aproximada de 3 mm que representa el 2 % de la distancia inicial.



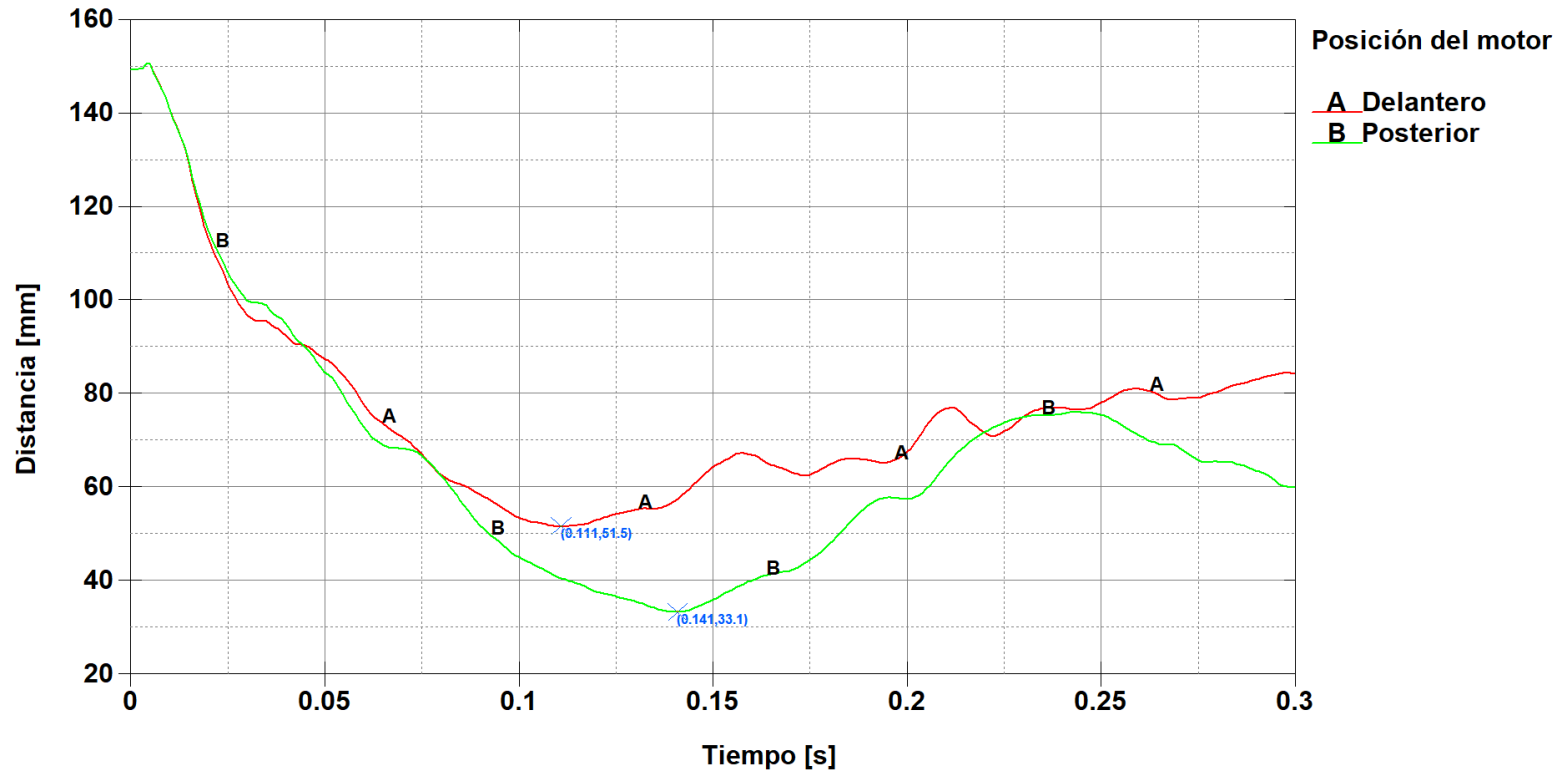
### Pórtico 7 - esquina inferior



**Figura 56:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 7.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 7 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 106 ms, con una distancia de referencia de 32.4 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 24.3 mm a los 139 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor posterior, ya que entre los dos existe una diferencia aproximada de 8.1 mm que representa el 5.4 % de la distancia inicial.

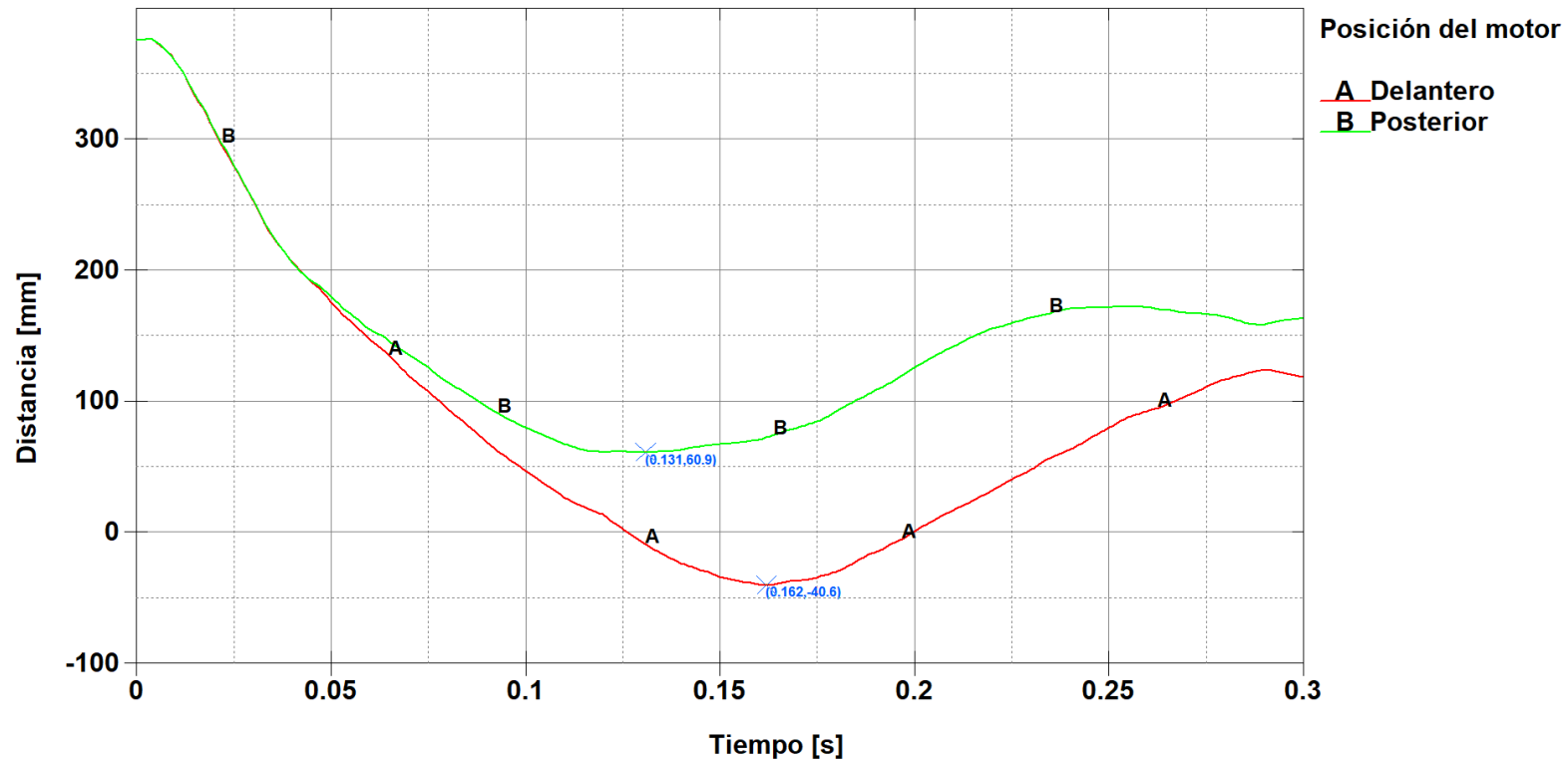
### Pórtico 8 - esquina inferior



**Figura 57:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 8.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 8 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 111 ms, con una distancia de referencia de 51.5 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 33.1 mm a los 141 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor posterior, ya que entre los dos existe una diferencia aproximada de 18.4 mm que representa el 12.2 % de la distancia inicial.

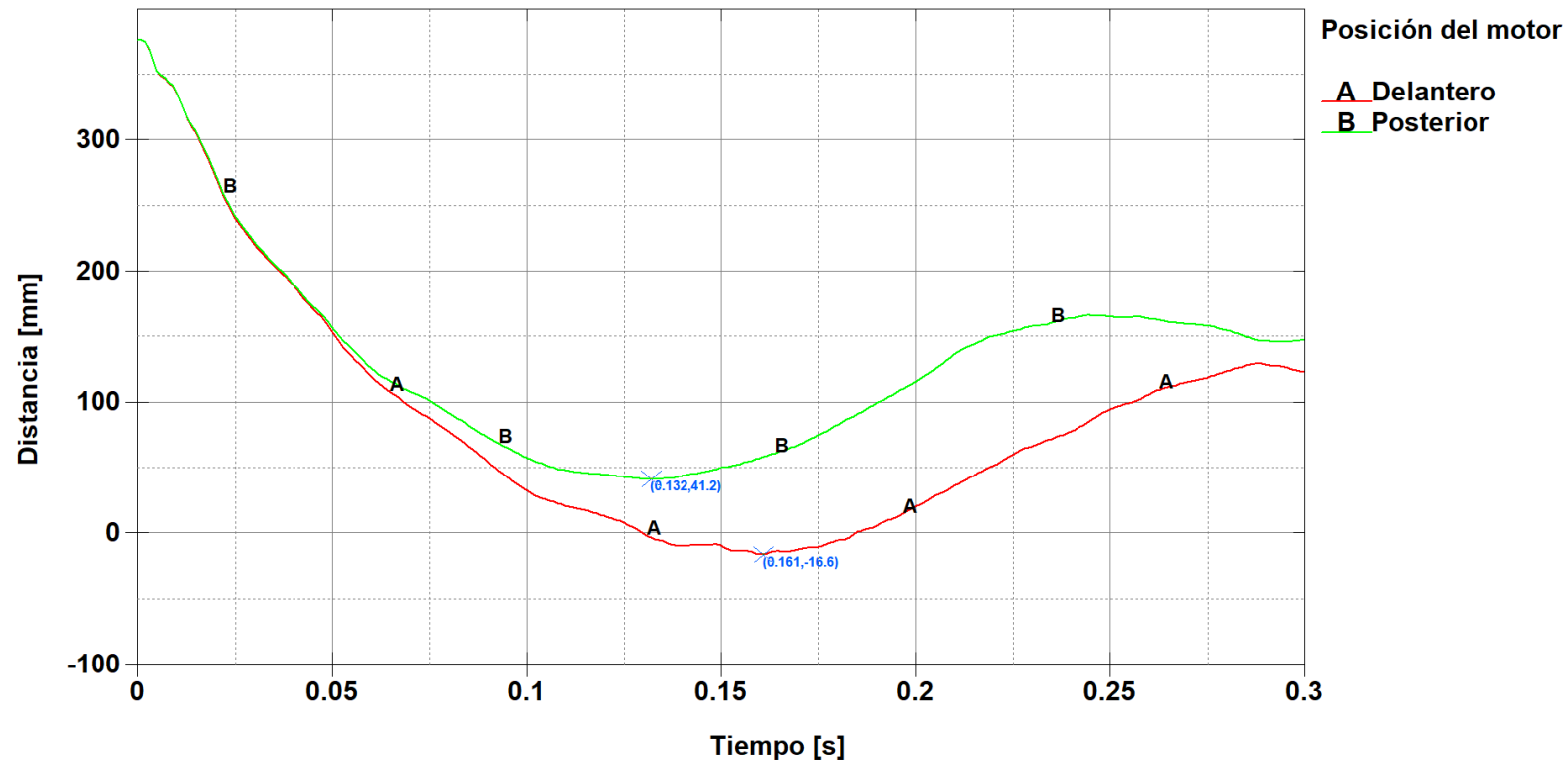
## Pórtico 2 - esquina superior



**Figura 58:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 2.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 2 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 162 ms, con una distancia de referencia de 40.6 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 60.9 mm a los 131 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor delantero, ya que entre los dos existe una diferencia aproximada de 101.5 mm que representa el 27 % de la distancia inicial.

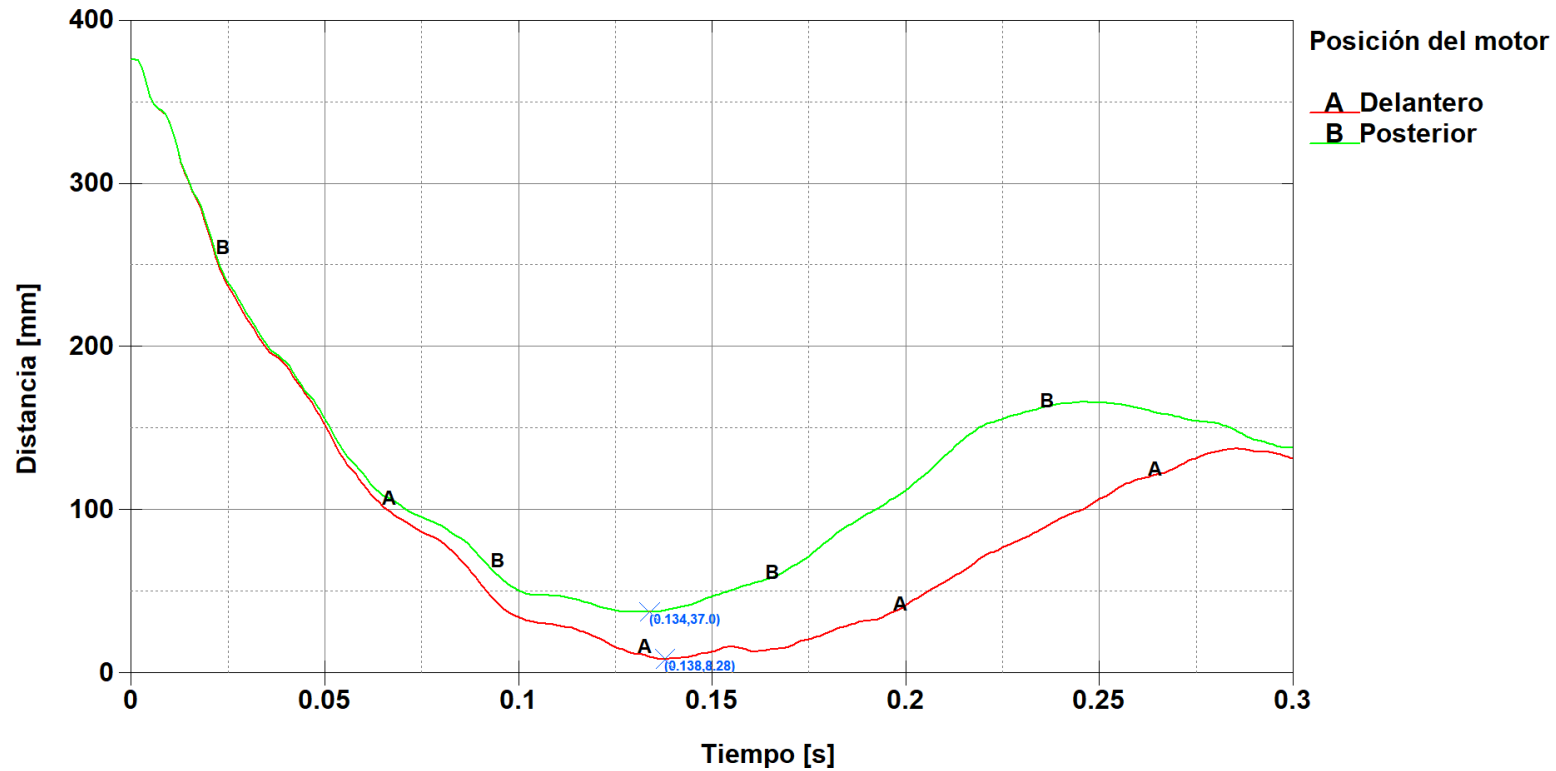
### Pórtico 3 - esquina superior



**Figura 59:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 3.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 3 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 161 ms, con una distancia de referencia de 16.6 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 41.2 mm a los 132 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor delantero, ya que entre los dos existe una diferencia aproximada de 57.8 mm que representa el 15.37 % de la distancia inicial.

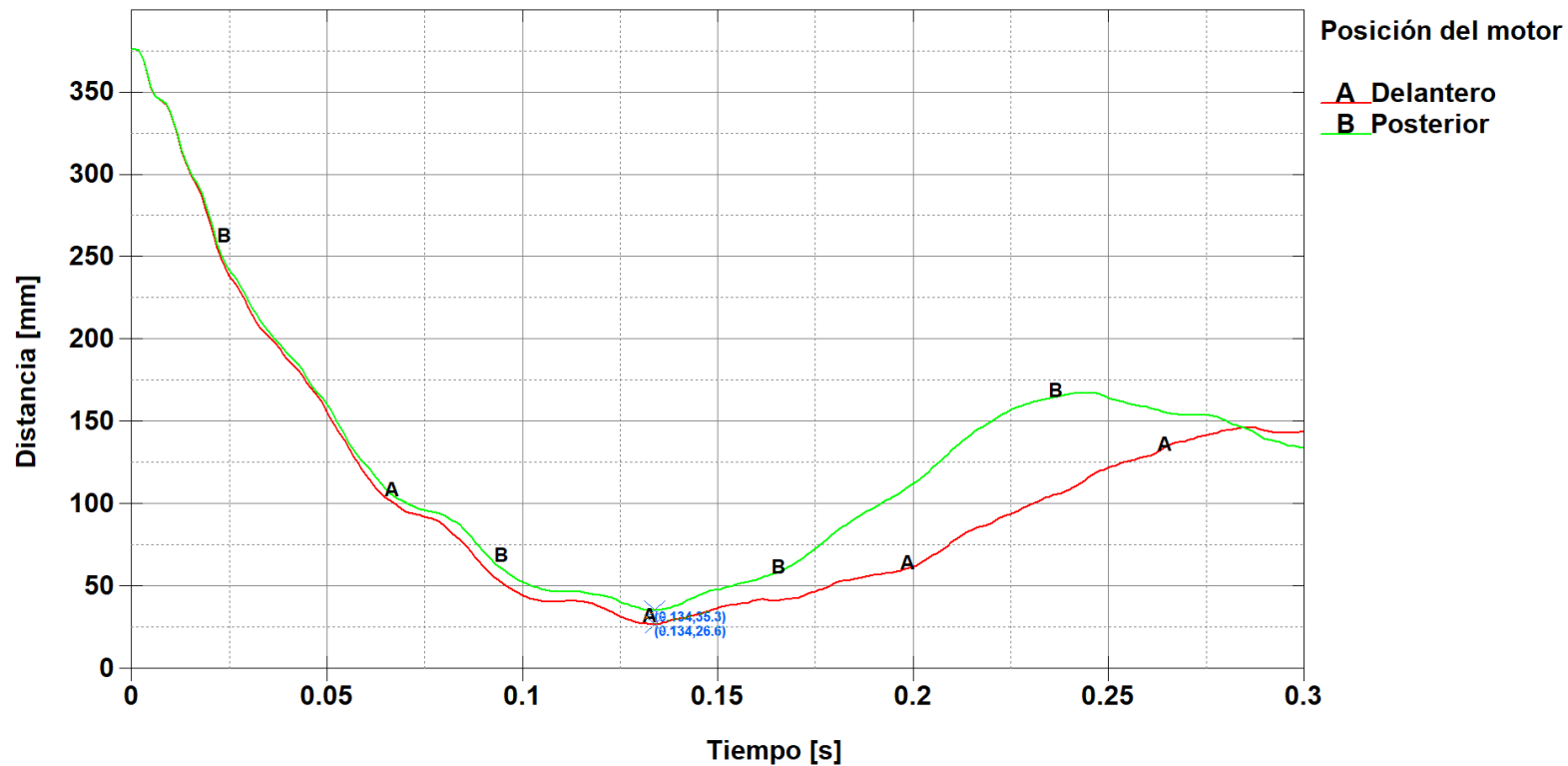
### Pórtico 4 - esquina superior



**Figura 60:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 4.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 4 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 138 ms, con una distancia de referencia de 8.3 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 37 mm a los 134 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor delantero, ya que entre los dos existe una diferencia aproximada de 28.7 mm que representa el 7.6 % de la distancia inicial.

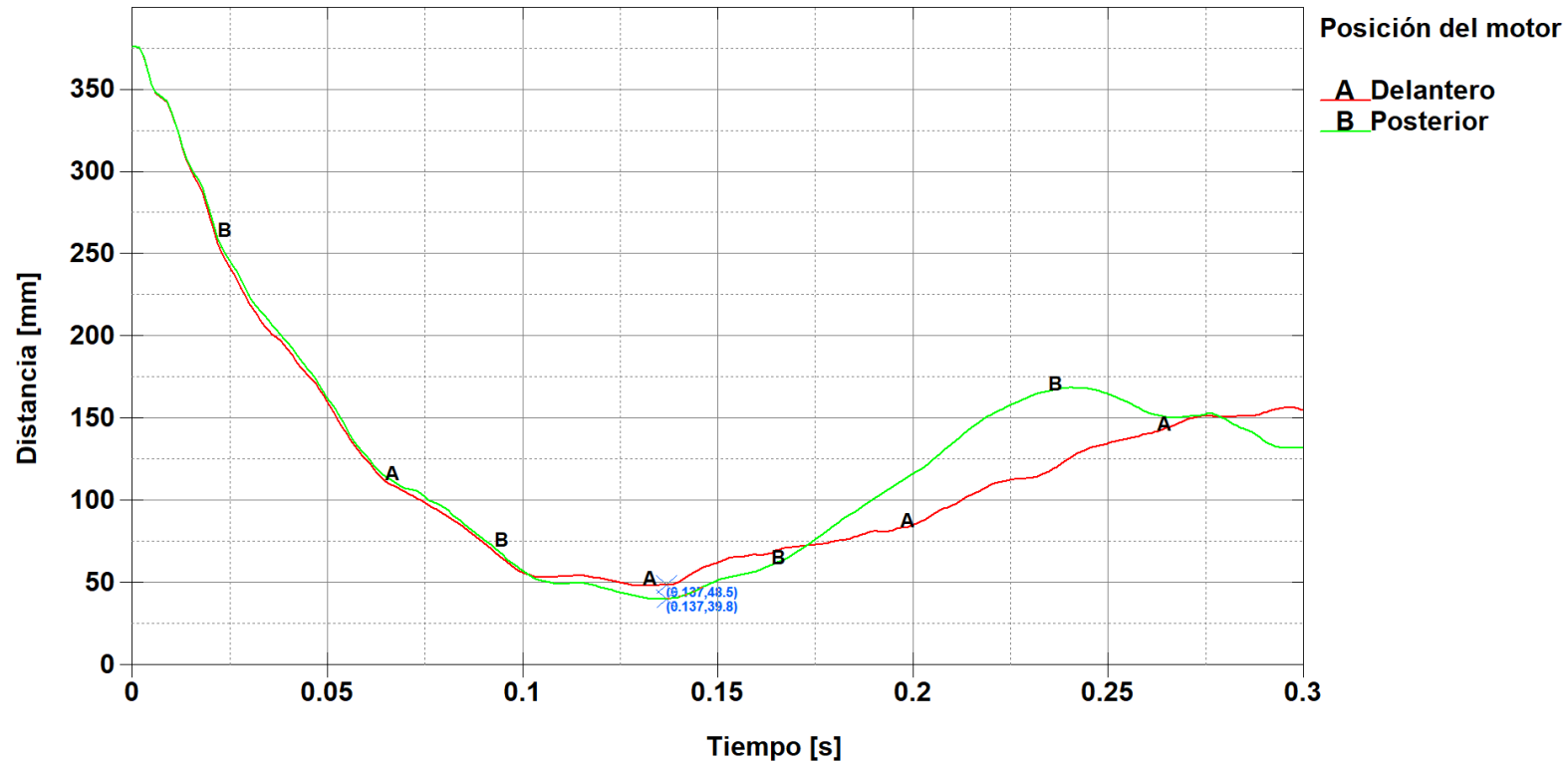
## Pórtico 5 - esquina superior



**Figura 61:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 5.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 5 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 134 ms, con una distancia de referencia de 26.6 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 35.3 mm a los 134 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor delantero, ya que entre los dos existe una diferencia aproximada de 8.7 mm que representa el 2.3 % de la distancia inicial.

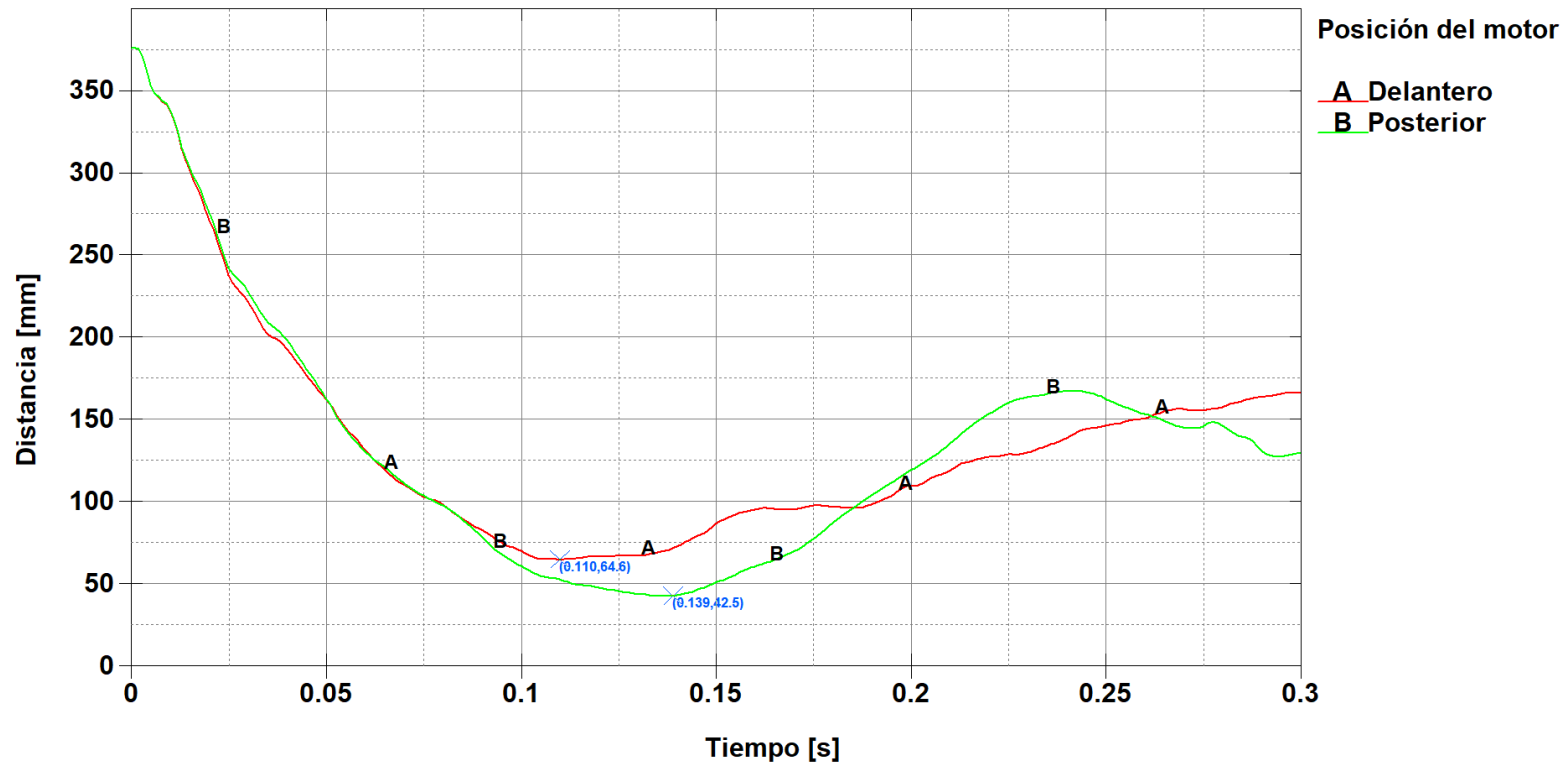
## Pórtico 6 - esquina superior



**Figura 62:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 6.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 6 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 137 ms, con una distancia de referencia de 48.5 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 39.8 mm a los 137 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor posterior, ya que entre los dos existe una diferencia aproximada de 8.7 mm que representa el 2.3 % de la distancia inicial.

## Pórtico 7 - esquina superior

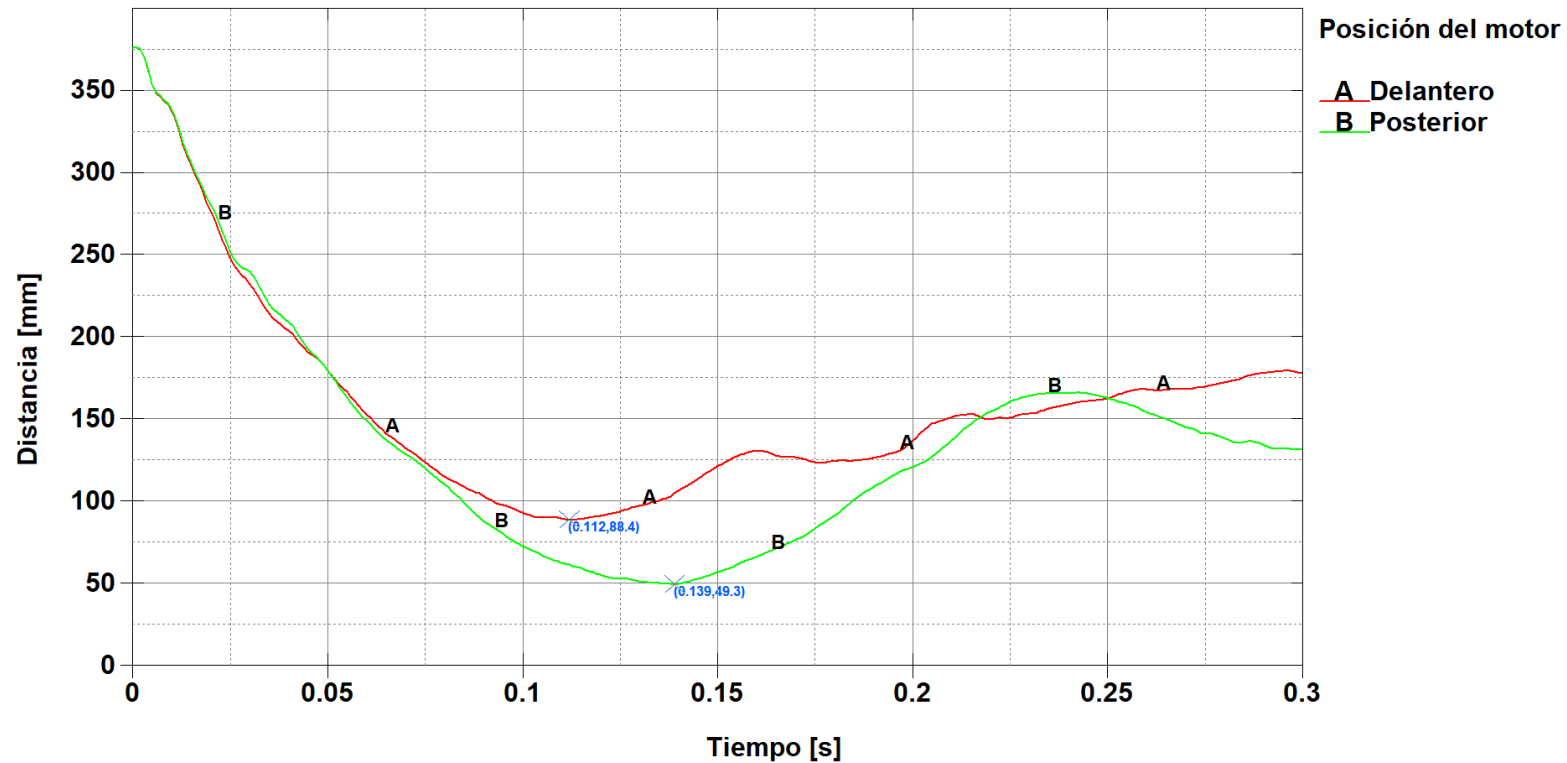


**Figura 63:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 7.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 7 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 110 ms, con una distancia de referencia de 64.6 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 42.5 mm a los 139 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor posterior, ya que entre los dos existe una diferencia aproximada de 22.1 mm que representa el 5.8 % de la distancia inicial.



## Pórtico 8 - esquina superior



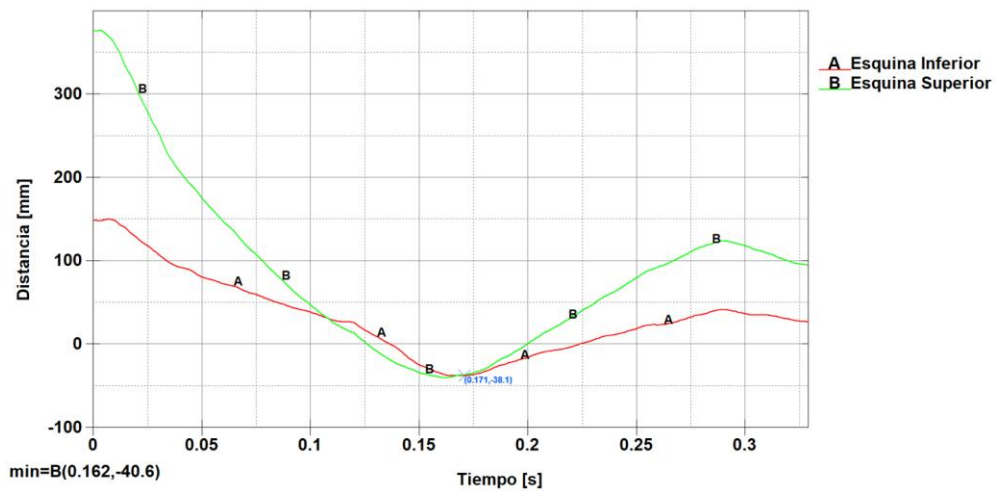
**Figura 64:** Distancia del espacio de supervivencia con respecto al pórtico 8.

La gráfica describe la distancia entre el espacio de supervivencia y el pórtico 8 a través del tiempo. El momento crítico de deformación en el modelo con motor delantero se presenta a los 112 ms, con una distancia de referencia de 88.4 mm, mientras que, en el modelo con motor posterior una distancia de 49.3 mm a los 139 ms. La posición del motor en este caso afecta más al modelo con motor posterior, ya que entre los dos modelos existe una diferencia aproximada de 39.1 mm que representa el 10.4 % de la distancia inicial.

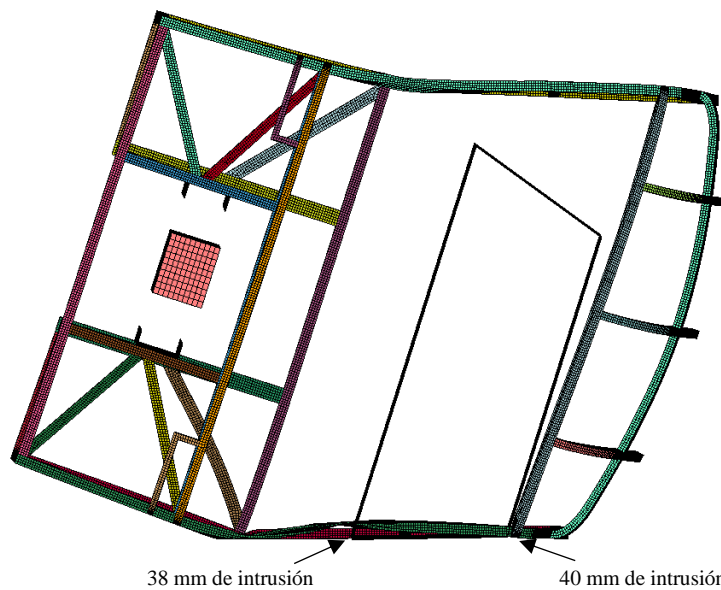
### 3.1.1.2. Análisis de secciones críticas

#### Análisis de sección crítica en el modelo con motor delantero

La distancia del pórtico 2 con respecto al espacio de supervivencia fue la más baja que se identificó, esto indica que los elementos estructurales presentes en la sección 1 soportaron la mayor cantidad de esfuerzos, sin embargo, varios de ellos se encuentran fuera del espacio de supervivencia. Se realizó un análisis en el pórtico 2 y se determinó que el momento crítico se presentó entre los 160 y 175 ms, en los que existió una intrusión de aproximadamente 40.6 mm en la esquina superior y 38.1 mm en la esquina inferior.



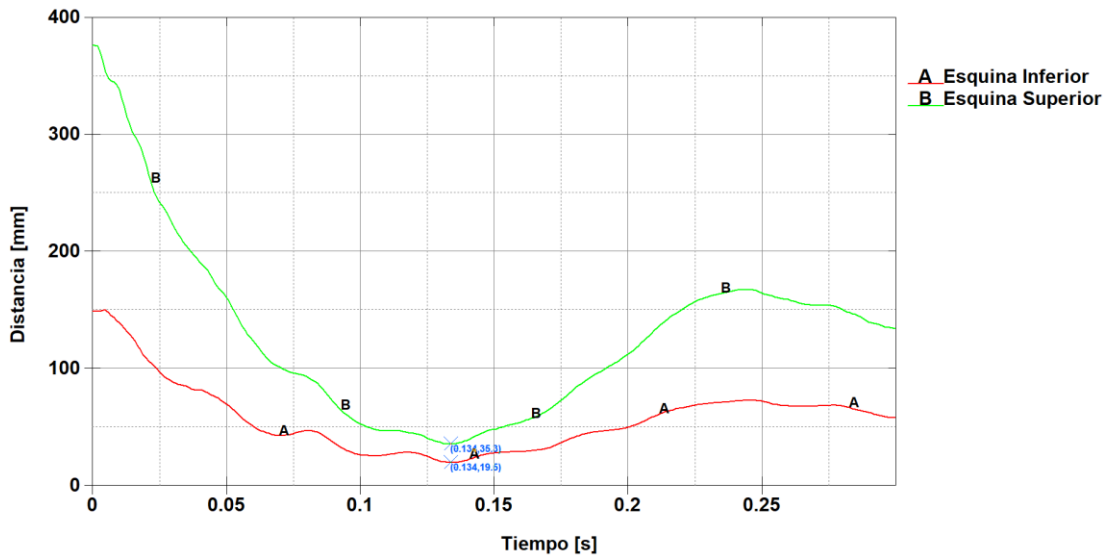
**Figura 65:** Distancia del pórtico 2 con respecto a las esquinas del espacio de supervivencia en el modelo con motor delantero.



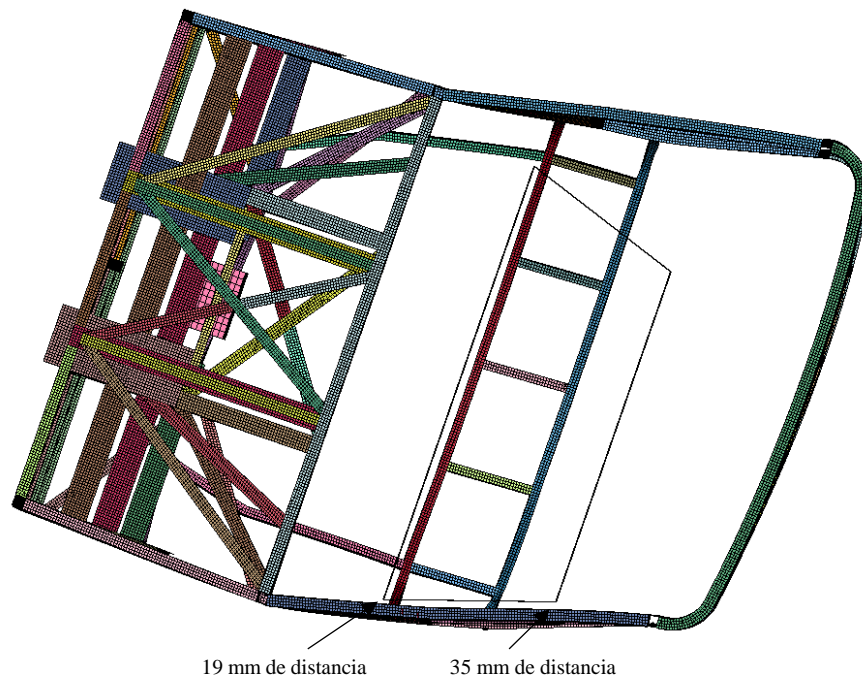
**Figura 66:** Intrusión del pórtico 2 del modelo con motor delantero

### Análisis de sección crítica en el modelo con motor posterior

Las distancias de los pórticos 4 y 5 con respecto al espacio de supervivencia fueron las más bajas que se identificaron, esto indica que los elementos estructurales presentes en la sección 4 soportaron la mayor cantidad de esfuerzos. Se realizó el análisis en el pórtico 5 y se determinó que el momento crítico se presentó a los 134 ms, en los que existió una distancia de aproximadamente 35.3 mm en la esquina superior y 19.5 mm en la esquina inferior.



**Figura 67:** Distancia del pórtico 5 con respecto a las esquinas del espacio de supervivencia en el modelo con motor posterior.



**Figura 68:** Deformación de la sección 4 del modelo con motor posterior

### 3.1.1.3. Análisis de la posición de los pórticos en el momento crítico

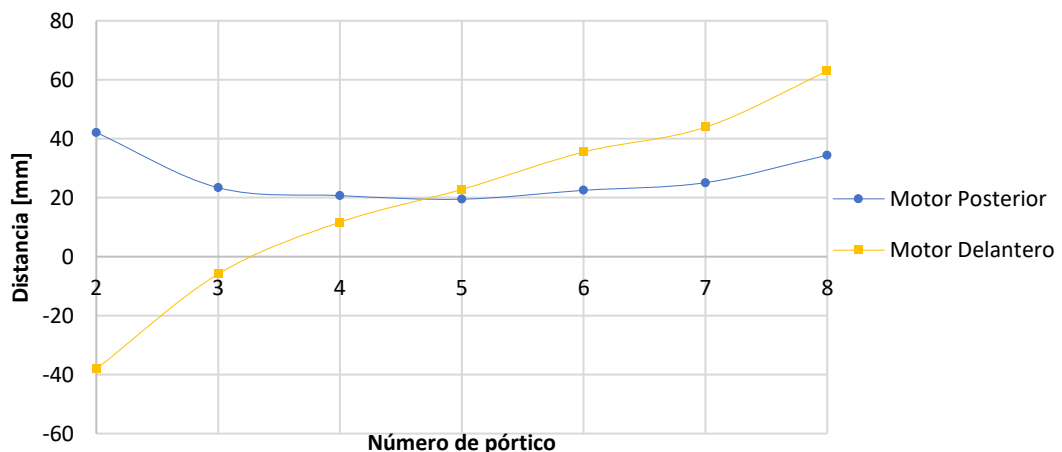
En el modelo con motor delantero la máxima intrusión se presentó a los 171 ms en el pórtico 2 con respecto a la esquina inferior del espacio de supervivencia. En el modelo con motor posterior la distancia mínima se presentó a los 134 ms en el pórtico 5 con respecto a la esquina inferior del espacio de supervivencia. En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos.

**Tabla 28:** Distancia de los pórticos con respecto al espacio de supervivencia a los 171 ms en el modelo con motor delantero

Pórtico	Distancia
1	--
2	-38.1 mm
3	-5.9 mm
4	11.7 mm
5	22.8 mm
6	35.5 mm
7	43.9 mm
8	62.9 mm
9	--

**Tabla 29:** Distancia de los pórticos con respecto al espacio de supervivencia a los 134 ms en el modelo con motor posterior

Pórtico	Distancia
1	--
2	42.1 mm
3	23.4 mm
4	20.7 mm
5	19.5 mm
6	22.5 mm
7	25.1 mm
8	34.4 mm
9	--



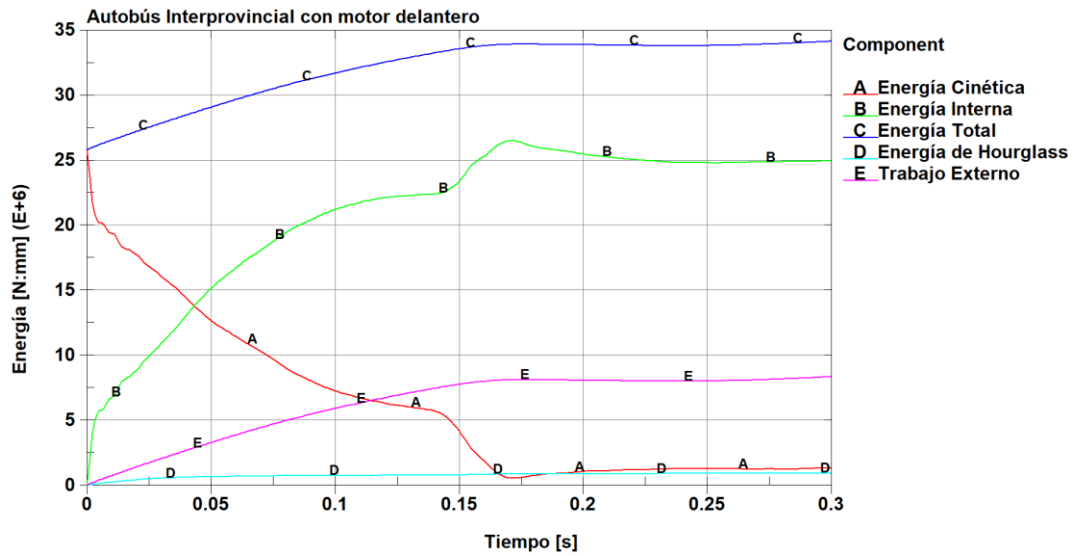
**Figura 69:** Distancia de la superestructura y el espacio de supervivencia en el momento crítico de deformación

Los resultados obtenidos indican que el vehículo con motor delantero, tiende a concentrar la mayor parte de la energía del impacto sobre las secciones delanteras, como resultado los elementos estructurales de esta zona sufren altas deformaciones. Esto sucede debido a que las secciones frontales poseen menor resistencia en un evento de vuelco, ya que naturalmente es la parte principal que se opone al viento y no es posible reforzar estas secciones, caso contrario, afectaría el campo visual del conductor. En contraste, en el modelo con motor posterior la energía del impacto se concentró sobre la parte media del vehículo, debido a la influencia de la masa del motor que modifica la posición del centro de gravedad (como se indica en la tabla 21), por este hecho, todos los pórticos absorbieron la energía de forma simultánea.

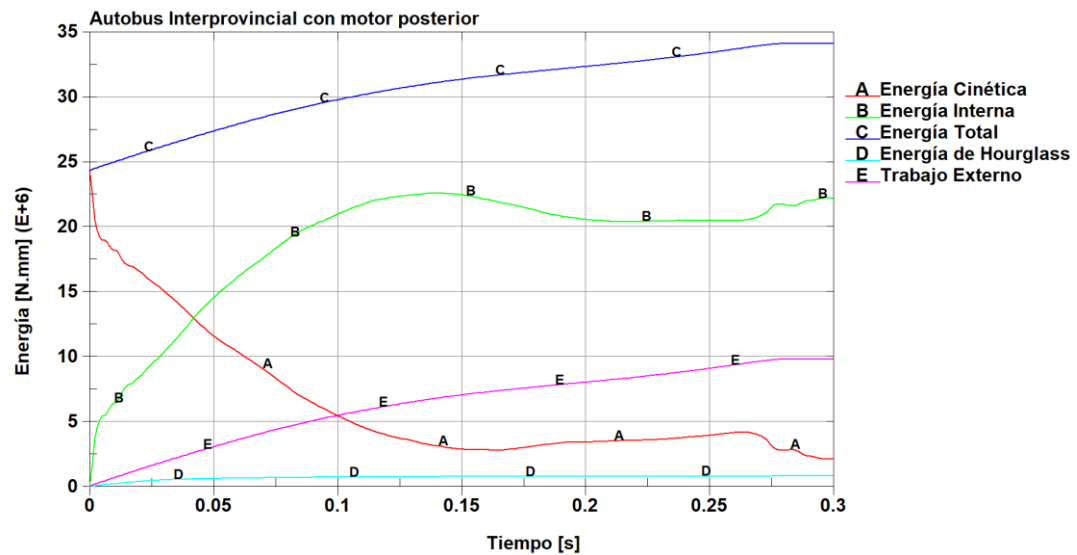
### **3.1.2. Análisis de energías**

Las energías en la simulación del ensayo de vuelco son un indicador para obtener resultados confiables, por este motivo se procedió al análisis de estos resultados. Como se describió en el capítulo anterior, la energía potencial  $E_p$  que el vehículo tiene en la posición de equilibrio inestable se transformó en energía cinética  $E_c$ , esta última se manifestó mediante la velocidad angular y alcanzó su valor máximo justo antes de que la estructura se impacte con el suelo. A continuación, esta energía cinética fue absorbida por la estructura mientras se deformó y se convirtió en energía interna. Mientras se desarrolló este proceso, paralelamente se produjo el trabajo externo o inercial que se origina como producto de la gravedad. Al finalizar la simulación de vuelco, la curva de la energía interna alcanzó su valor más alto y se volvió estable, mientras que la energía cinética fue absorbida completamente por la estructura. [3]

La energía interna de deformación (curva B) describe el comportamiento de la superestructura, se observó que desde el inicio de la simulación este valor fue en aumento, significa que la estructura fue sometida a deformación y en efecto, estaba absorbiendo la energía proveniente del impacto, a medida que pasó el tiempo y luego del punto crítico de deformación, la curva empezó a decrecer, este fenómeno conocido como recuperación elástica se produce porque el material de la estructura no supera el límite elástico, es decir, libera la energía almacenada y deshace la deformación para mantener su forma original, no obstante, ciertos elementos estructurales que llegaron a la zona plástica no tienen la capacidad de recuperar su forma original.



**Figura 70:** Balance de energías del modelo con motor delantero



**Figura 71:** Balance de energías del modelo con motor posterior

Como se especifica en el literal 3.6 del anexo 9 del ECE R66 [2], los componentes energéticos no físicos (Hourglass y amortiguamiento interno) no excederán el 5% de la energía total. Estos valores permanecieron por debajo del límite recomendado en todo momento a lo largo de la simulación, de forma que el análisis es válido con las condiciones que fueron establecidas.

**Tabla 30:** Valores y porcentajes de energías al final de la simulación

Energía	Motor delantero	Porcentaje	Motor posterior	Porcentaje
Hourglass y amortiguamiento interno	907 J	2.66 %	827 J	2.42 %
Total	34100 J	100 %	34100 J	100 %

### 3.1.2.1. Análisis de energía interna

Al analizar la energía interna producida en cada uno de los pórticos, se evidenció que los delanteros 1,2 y el posterior 9 obtuvieron los valores más altos. En el modelo con motor delantero el pórtico 2 presentó una pendiente marcada, esto debido a que absorbió una gran cantidad de energía en un corto periodo de tiempo. En el modelo con motor posterior el pórtico 9 fue el que más energía del impacto absorbió, sin embargo, se evidencia en las tablas 26 y 27 que la distancia entre los pórticos y el espacio de supervivencia afectó principalmente a la parte central de vehículo en estudio y los elementos estructurales no llegaron a invadir dicho espacio.

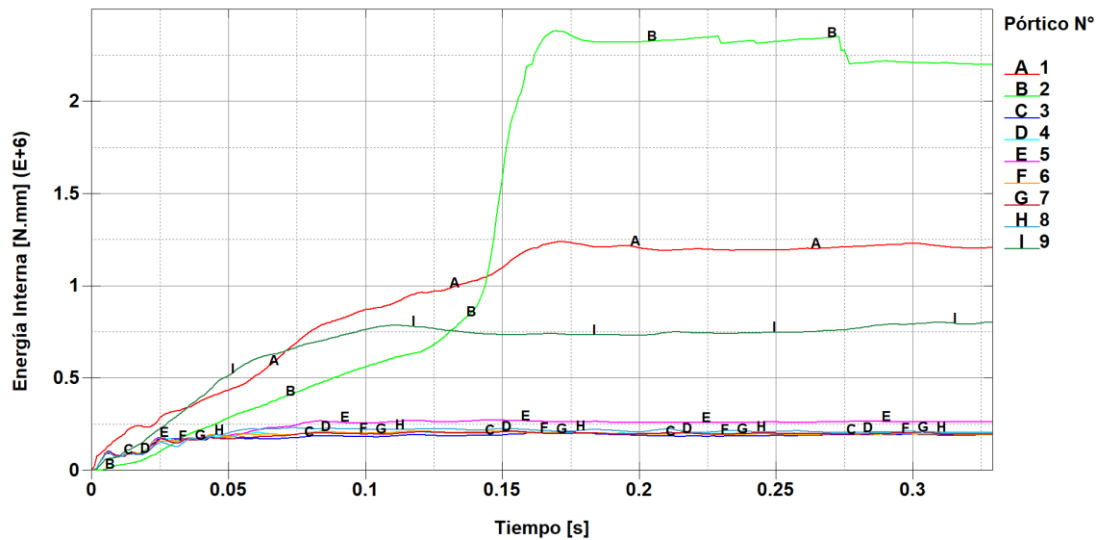


Figura 72: Energía interna en los pórticos del modelo con motor delantero

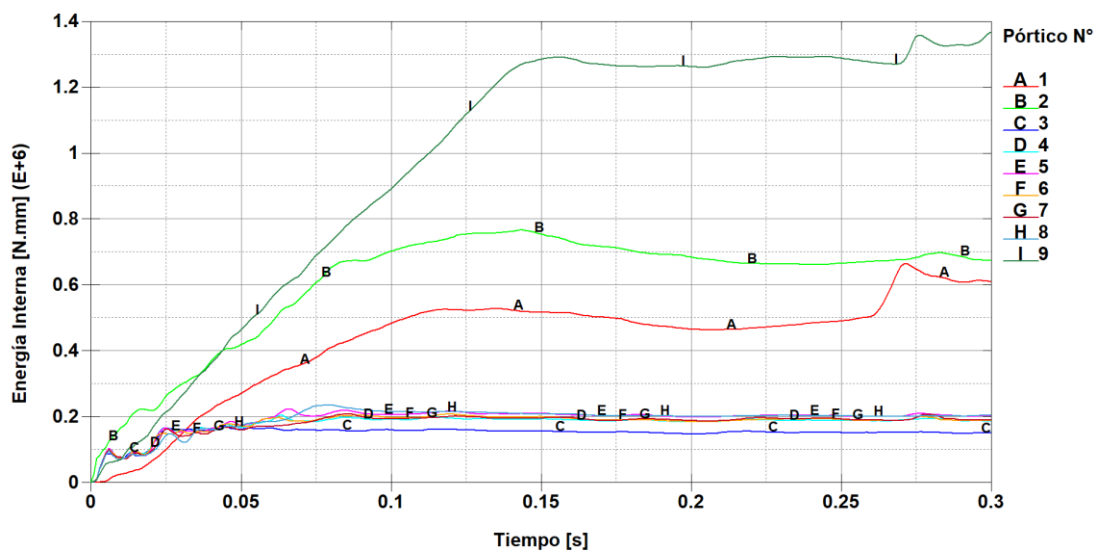


Figura 73: Energía interna en los pórticos del modelo con motor posterior

### **3.2.Verificación de hipótesis**

Luego de analizar la resistencia de la superestructura, en el modelo con motor delantero se observó un efecto “látigo” en el que los pórticos delanteros presentan mayor intrusión que los pórticos posteriores, esto debido a que las secciones frontales absorben la mayor cantidad de energía del impacto. Este efecto se puede observar en las gráficas de energía interna, en donde se aprecia el aumento drástico de dicha energía en el modelo con motor delantero en comparación modelo con motor posterior.

El modelo con motor posterior presentó una resistencia considerablemente uniforme a lo largo de todas sus secciones estructurales, debido a que la energía del impacto fue distribuida en los pórticos de la sección media del vehículo, por ello y a pesar de la deformación del pórtico 9, el espacio de supervivencia no resultó invadido en la simulación. En contraste, en el modelo con motor delantero se observó la intrusión de elementos estructurales, una diferencia considerable tanto en la esquina superior como inferior del espacio de supervivencia, comprensiblemente por la posición del motor.



## CAPITULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Al ejecutar la validación del ensayo de tracción físico por medio de simulación, los datos que se obtuvieron indicaron un error de aproximadamente el 0.85 %, los mismos que se encuentra dentro del límite recomendado, de forma que las condiciones y características expuestas en este trabajo fueron válidas para ejecutar la simulación por ordenador del ensayo de vuelco de un vehículo completo para las diferentes ubicaciones del motor.
- Al analizar los requisitos de seguridad expuestos en el literal 5.1 del ECE R66 mediante esta experimentación se observó que en el modelo con motor delantero existió intrusión del espacio de supervivencia, caso contrario, en el modelo con motor posterior no existió invasión de dicho espacio.
- En la simulación por ordenador del ensayo de vuelco de vehículo completo realizada a la superestructura de autobús de servicio interprovincial de acuerdo a la ubicación del motor delantera o posterior, al colocar el motor en la parte delantera del vehículo, se presume que la intrusión de la superestructura con respecto a la zona de supervivencia tiende a ser mayor en las secciones delanteras. Al colocar el motor en la parte posterior del vehículo se observó que la distancia de la superestructura con respecto a la zona de supervivencia tiende a ser equilibrada entre las secciones delantera y posterior.
- La metodología formulada para el análisis de la superestructura de autobuses interprovinciales permitió comprobar que la ubicación del motor influye sobre la resistencia de la superestructura a tal punto de afectar el espacio de supervivencia, por ende, tomando en cuenta los requisitos técnicos descritos por reglamentos internacionales (ECE R66) y reglamentos nacionales (NTE INEN 1668 y NTE INEN 1323) el modelo con motor posterior podría adaptarse correctamente a las exigencias de estos reglamentos, considerando como evidencia el análisis de energía interna realizado en cada uno de los pórticos

(Fig. 72 y 73) y la distancia de la superestructura y el espacio de supervivencia en el momento crítico de deformación (Fig. 69).

#### **4.2.Recomendaciones**

Los componentes del chasis podrían variar considerablemente el posicionamiento del centro de gravedad y en consecuencia disminuir o aumentar la resistencia de la superestructura. Se sugiere analizar la influencia de estos elementos en adición a la posición del motor considerada en esta investigación, ya que no se tomaron en cuenta debido a la limitada cantidad de información disponible (presencia de otros componentes como el eje de transmisión, tanque de combustible, etc.).

En base a este análisis, se podría sugerir que se considere el montaje de las superestructuras de autobús interprovincial sobre chasis con motor posterior, sin embargo, se debería complementar esta investigación realizando el estudio de otros factores como:

- Distribución del peso: Presencia de cuatro neumáticos en el eje trasero.
- Maniobrabilidad: Distribución de carga en los ejes delantero y posterior.

Investigar si existen otros factores que puedan influir considerablemente sobre la resistencia del autobús interprovincial, específicamente los requisitos descritos en NTE INEN 1668 como altura de vehículo, ancho de vehículo, capacidad de pasajeros, etc.

## 5. Referencias Bibliográficas

- [1] K. Elitok, M. Guler, & B. Bayram, “An Investigation on the RollOver Crashworthiness of an Intercity Coach, Influence of Seat Structure and Passenger Weight,” *9th International LS-DYNA Users Conference*, Turquía, 2006, pp. 11-34.
- [2] *Uniform technical prescriptions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure*, Economic Commission for Europe of the United Nations, UN/ECE Regulation No. 66, 1<sup>st</sup> Rev., 2015.
- [3] S. Wicaksono, R. Faisal, S. Mihradi & S. Prifiharni, “Finite Element Analysis of Bus Rollover Test in Accordance with UN ECE R66 Standard,” *Journal of Engineering and Technological Sciences*, Indonesia, 2017, pp. 799-810. DOI: 10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.6.7.
- [4] M. Guler, K. Elitok, B. Bayram & U. Stelzmann, “The influence of seat structure and passenger weight on the rollover crashworthiness of an intercity coach,” *International Journal of Crashworthiness*, Turquía, 2007, pp. 567-580. DOI: 10.1080/13588260701485297.
- [5] J. Gere, *Mecánica de Materiales*. 6<sup>th</sup> ed. Ed. Thomson, 2006.
- [6] R. Hibbeler, *Mecánica de Materiales*. 8<sup>th</sup> ed. México: Ed. Pearson Educación, 2011.
- [7] M. Cervera y E. Blanco, *Resistencia de materiales*. Barcelona: CIMNE, 2015.
- [8] R. Mott, *Resistencia de Materiales*. 5<sup>th</sup> ed. México: Ed. Pearson Educación, 2009.
- [9] “Resistencia de los materiales”. [En línea]. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/materiales/resistencia-materiales.html> [Último acceso: marzo 2021].
- [10] W. Segui, *Diseño de estructuras de acero con LRFD*. 2<sup>nd</sup> ed. México: Ed. International Thomson, 1999.

- [11] “Tipos de aceros en las carrocerías y su reparabilidad”. [En línea]. Disponible en: <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/tipos-de-aceros-en-las-carrocerias>, Agt. 16, 2012 [Último acceso: marzo 2021].
- [12] “A36 Carbon Steel”. [En línea]. Disponible en: [https://www.alro.com/divsteel/metals\\_gridpt.aspx?gp=0030](https://www.alro.com/divsteel/metals_gridpt.aspx?gp=0030) [Último acceso: marzo 2021].
- [13] “A500 Carbon Steel Structural Tubing”. [En línea]. Disponible en: <https://www.tottentubes.com/astm-a500-specification-information> [Último acceso: marzo 2021].
- [14] “Principales usos y propiedades del acero estructural”. [En línea]. Disponible en: <https://www.termiser.com/principales-usos-propiedades-del-acero-estructural/>, Sept. 5, 2017 [Último acceso: marzo 2021].
- [15] “Acero estructural y sus características”. [En línea]. Disponible en: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/caractersticas-del-acero-estructural>. 2018 [Último acceso: marzo 2021].
- [16] Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 109:2009, *Ensayos de Tracción para Materiales Metálicos a Temperatura Ambiente*, 1<sup>st</sup> Ed.
- [17] “Passenger service vehicles”. [En línea]. Disponible en: <https://www.nzta.govt.nz/commercial-driving/taxis-shuttles-buses-and-other-passenger-services/passenger-service-vehicles/> [Último acceso: marzo 2021].
- [18] Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656, *Clasificación Vehicular*, 1<sup>st</sup> Rev., 2016.
- [19] Directiva 2001/85/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de noviembre, 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.
- [20] Reglamento General para la Aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, Dcto. No. 1738, 2009. [En línea].

Disponible en: [http://www.vertic.org/media/National%20Legislation/Ecuador/EC\\_Reglamento\\_Ley\\_Organica\\_Transporte.pdf](http://www.vertic.org/media/National%20Legislation/Ecuador/EC_Reglamento_Ley_Organica_Transporte.pdf)

- [21] “Tipo de carrocerías”. [En línea]. Disponible en: <http://ortizalvarosua12.blogspot.com/2012/10/tipo-de-carrocerias.html>, Oct. 21, 2012 [Último acceso: marzo 2021].
- [22] D. Plaza, “Seguridad activa y pasiva: diferencias y elementos que la conforman”. [En línea]. Disponible en: <https://www.motor.es/que-es/seguridad-activa-pasiva>. [Último acceso: marzo 2021].
- [23] “¿Reparar o sustituir paneles de autobuses?”. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistacolectibondi.com.ar/2018/05/28/reparar-o-sustituir-paneles-de-autobuses/>, May. 28, 2018 [Último acceso: marzo 2021].
- [24] J. Cepeda, “Análisis del comportamiento mecánico del sistema estructural del autobús Feline para la empresa carrocera Miral buses,” Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Esc. Pol. Del Ejército, Sangolquí, 2006.
- [25] L. González, “Investigación del cumplimiento de las normas INEN 1323 y 2205 en buses urbanos y su incidencia en los accidentes de tránsito en la ciudad de Quito,” Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz, Univ. Tecn. Equinoccial, Quito, 2016.
- [26] *Body Mounting Manual Bus Chassis Model AK8JRSA*, Hino Motors Ltd., Tokyo, Japón, 2010.
- [27] “Low-floor bus”. [En línea]. Disponible en: [https://tractors.fandom.com/wiki/Low-floor\\_bus](https://tractors.fandom.com/wiki/Low-floor_bus). [Último acceso: marzo 2021].
- [28] Ficha Técnica Mercedes Benz O500U 1826/59, 2020. [En línea]. Disponible en: [https://www2.mercedesbenz.com.ar/fichatecnica/Uploads/producto\\_62.pdf](https://www2.mercedesbenz.com.ar/fichatecnica/Uploads/producto_62.pdf)
- [29] Ficha Técnica Mercedes Benz O500RS 1836/30, 2020. [En línea]. Disponible en: [https://www2.mercedesbenz.com.ar/fichatecnica/Uploads/producto\\_69.pdf](https://www2.mercedesbenz.com.ar/fichatecnica/Uploads/producto_69.pdf)
- [30] G. Liu & S. Quek, “Computational modelling,” in *The Finite Element Method, A practical course*, Oxford, Elsevier Science, 2003, pp. 1-11.

- [31] O. Zienkiewicz, R. Taylor & D. Fox, “Geometrically Nonlinear Problems: Finite Deformation,” en *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics*, Oxford, Elsevier, 2014, p. 147–177.
- [32] S. Wu & L. Gu, “Framework of explicit finite element method for nonlinear transient dynamics,” en *Introduction to the Explicit Finite Element Method for Nonlinear Transient Dynamics*, John Wiley & Sons, 2012, pp. 11-35.
- [33] H. Di Rado, “Simulación numérica de problemas con no linealidad física y geométrica. Análisis de consolidación de suelos no saturados,” Tesis presentada como requerimiento para acceder al grado académico de Doctor, Univ. Nac. del Nordeste, Resistencia, 2006.
- [34] “Nonlinear finite elements/Lagrangian and Eulerian descriptions”. [En línea]. Disponible en: [https://en.wikiversity.org/wiki/Nonlinear\\_finite\\_elements/Lagrangian\\_and\\_Eulerian\\_descriptions](https://en.wikiversity.org/wiki/Nonlinear_finite_elements/Lagrangian_and_Eulerian_descriptions), May. 2, 2020 [Último acceso: marzo 2021].
- [35] E. Carrera, M. Cenefra, E. Zappino & M. Petrolo, “Typical FE Governing Equations and Procedures,” in *Finite element analysis of structures through unified formulation*, Wiley, 2014, pp. 45-49.
- [36] G. Liu & S. Quek, “Fundamentals for Finite Element Method,” in *The Finite Element Method. A practical course*, Oxford, Elsevier Science, 2003, pp. 35-66.
- [37] R. López, “Estudio, análisis y valoración de impacto de la implementación del código implícito Virtual Performance Solution dentro del departamento de cálculo del Centro Técnico de SEAT Martorell,” Master tesis, Esc. Sup. d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa, Univ. Pol. De Catalunya, Barcelona, 2010.
- [38] F. Nunes. “Aplicaciones de crashworthiness utilizando LS-DYNA”. [En línea]. Disponible en: <https://www.esss.co/es/blog/aplicaciones-de-crashworthiness-utilizando-ls-dyna/>, Agt. 14, 2009 [Último acceso: marzo 2021].
- [39] D. Chandrakant, *Introductory Finite Element Method*, 1<sup>st</sup> ed. CRC Press, 2017.

- [40] Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323:2009, *Vehículos Automotores. Carrocerías de Buses. Requisitos*, 1<sup>st</sup> Ed.
- [41] D. Montalvo. (2015). “COINAV S.A. en su laboratorio confluyen simulación con biotecnología”. *Revista Lideres*. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/coinav-s-laboratorio-confluyen-simulacion.html> [Último acceso: marzo 2021].
- [42] Registro Oficial Suplemento 26, *Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad*, Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2007.
- [43] Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 043:2011, *Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intraregional, Interprovincial e Intraprovincial*, 1<sup>st</sup> Rev.
- [44] “Listado de empresas fabricantes de carrocerías al 05-02-2021”. [En línea]. Disponible en: <https://ant.gob.ec/index.php/ley-de-transparencia/ley-de-transparencia2020/file/7705-listado-de-empresas-fabricantes-de-carrocerias-al-05-02-2021?start=200,2021> [Último acceso: marzo 2021].
- [45] Directrices para montaje de superestructuras y equipos en chasis para autobuses y plataformas, Mercedes Benz do Brasil S.A., 04/99 Ed.
- [46] Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1668, *Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial. Requisitos*, 1<sup>st</sup> Rev., 2015.
- [47] L. Liang & N. Le, “Analysis of bus rollover protection under legislated standards using LS-DYNA software simulation techniques,” *International Journal of Automotive Technology*, Taiwan, 2009, pp. 495-506.
- [48] L. Carrasco, “Estudio de la influencia del proceso de soldadura del acero HSLA ASTM A500 Gr C utilizado en carrocerías de buses en sus propiedades mecánicas,” Trabajo de titulación previa a la obtención del grado académico de Magíster en Mecánica Mención Diseño, Univ. Tec. de Ambato, Ecuador, 2020.

- [49] L. López, “Análisis de la estructura del chasis Hino AK8JRSA y su incidencia en el comportamiento mecánico general del bus interprovincial en la industria metálica cepeda (IMCE),” Trabajo de titulación previa a la obtención del grado académico de Ingeniero Mecánico, Univ. Tec. de Ambato, Ecuador, 2015.
- [50] “JIS G3113 Grade SAPH440”. [En línea]. Disponible en: <https://matmatch.com/es/materials/minfm37133-jis-g3113-grade-saph440> [Último acceso: Junio 2021].
- [51] “SAE-ASTM Grade G4000 (F10008) Grey Cast Iron”. [En línea]. Disponible en: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/SAE-ASTM-Grade-G4000-F10008-Grey-Cast-Iron> [Último acceso: Mayo 2021].
- [52] C. Arroba, “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 LsDyna y su incidencia en el espacio de supervivencia,” Trabajo de investigación previo a la obtención del grado académico de Magíster en Diseño Mecánico, Univ. Tec. de Ambato, Ecuador, 2013.
- [53] M. El-Reedy, *Construction Management and Design of Industrial Concrete and Steel Structures*. Cairo: CRC Press, 2011, p. 117.
- [54] Marcopolo S.A., Certificación Internacional. *Revista Marcopolo*, vol. 22, 2017, pp. 40-45. [En línea]. Disponible en: [https://issuu.com/onibusmarcopolo/docs/viajante\\_esp\\_ed22](https://issuu.com/onibusmarcopolo/docs/viajante_esp_ed22)
- [55] B. Atacusí, “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,” Trabajo de titulación previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención Diseño, Univ. Tec. de Ambato, Ecuador, 2020.
- [56] Último acceso: Julio 2022. LS-DYNA Support. Consistent units. [En línea]. Disponible en: <https://www.dynasupport.com/howtos/general/consistent-units>



## 6. ANEXOS

### Anexo 1. Extracto de las normas aplicadas



Quito – Ecuador

NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA

**NTE INEN 1668**

Primera revisión  
2015-03

**VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS  
INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL.  
REQUISITOS**

INTRAREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL PUBLIC TRANSPORT VEHICLES.  
REQUIREMENTS

---

Correspondencia:

DESCRIPTORES: Bus interprovincial, bus intraprovincial, minibús, transporte de pasajeros, carrocerías metálicas  
ICS: 43.020

30  
Páginas

## ÍNDICE

	Página
1. Objeto .....	1
2. Campo de aplicación .....	1
3. Referencias normativas .....	1
4. Definiciones .....	2
5. Requisitos .....	4
ANEXO A Método de ensayo para los requisitos dimensionales .....	25
ANEXO B Ensayo de aceleración en plano .....	27
ANEXO C Ensayo de arrancabilidad en pendiente .....	28
APÉNDICE Z Bibliografía .....	30

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	<b>VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL REQUISITOS</b>	NTE INEN 1668:2015 Primera revisión 2015-03
---	--	--

### 1. OBJETO

Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial.

### 2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma 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.

### 3. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos, en su totalidad o en parte, son referidos y son indispensables para su aplicación. Para referencias fechadas, solamente aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición del documento de referencia (incluyendo cualquier enmienda):

NTE INEN 960 *Vehículos automotores. Determinación de la potencia neta del motor*

NTE INEN 1155 *Vehículos automotores. Dispositivos para mantener o mejorar la visibilidad*

NTE INEN 1323 *Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos*

NTE INEN 1623 *Perfiles abiertos de acero conformados en frío para uso estructural. Requisitos e inspección*

NTE INEN 1669 *Vidrios de seguridad para automotores. Requisitos*

NTE INEN 2096 *Neumáticos. Definición y clasificación*

NTE INEN 2099 *Neumáticos. Neumáticos tipo II y tipo III. Requisitos*

NTE INEN 2202 *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre*

NTE INEN 2204 *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina*

NTE INEN 2207 *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diésel*

NTE INEN 2415 *Tubos de acero al carbono soldados para aplicaciones estructurales y usos generales. Requisitos*

NTE INEN 2656 *Clasificación vehicular*

NTE INEN 2675 *Cinturones de seguridad. Requisitos e inspección*

NTE INEN 2704 *Vehículos automotores. Anclajes del cinturón de seguridad para vehículos*

NTE INEN 2708 *Vehículos automotores. Asientos de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros. Resistencia de los asientos y de sus anclajes. Requisitos y método de ensayo*

NTE INEN 2712 *Vehículos automotores. Limitador de velocidad. Requisitos y método de ensayo*

NTE INEN ISO 612 *Vehículos automotores. Dimensiones de vehículos automotores y vehículos remolcados. Términos y definiciones*

NTE INEN ISO 3779 *Vehículos automotores. Número de identificación del vehículo (VIN). Contenido y estructura*

NTE INEN-ISO 3833 *Vehículos automotores. Tipos. Términos y definiciones*

ISO 3795, *Vehículos automotores, y tractores y maquinaria para agricultura y forestal. Determinación del comportamiento frente al fuego de los materiales interiores*

#### 4. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en las NTE INEN 960, NTE INEN 1155, NTE INEN 1323, NTE INEN 1669, NTE INEN 2096, NTE INEN 2204, NTE INEN 2207, NTE INEN 2656, NTE INEN-ISO 3779, NTE INEN-ISO 612, NTE INEN-ISO 3833 y en la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial y su reglamento general de aplicación, y las que a continuación se detallan:

**4.1 Abatible.** Que puede girar alrededor de un eje.

**4.2 Altura del estribo.** Dimensión vertical medida entre la calzada hasta el primer peldaño de las gradas.

**4.3 Altura de un vehículo.** Dimensión vertical total de un vehículo, desde la superficie de la calzada hasta la parte superior del mismo.

**4.4 Ancho de vehículo.** Dimensión transversal de un vehículo en su parte más extensa.

**4.5 Ángulo de aproximación (ángulo de acometida).** Ángulo formado entre el plano horizontal y la línea que se forma entre el centro del punto de contacto del radio perpendicular del neumático delantero a la calzada y el punto más bajo de la parte delantera del vehículo.

**4.6 Ángulo de salida (ángulo de acometida).** Ángulo formado entre el plano horizontal y la línea que se forma entre el centro del punto de contacto del radio perpendicular del neumático posterior (último) a la calzada y el punto más bajo de la parte posterior del vehículo.

**4.7 Acceso de pasajeros.** Es el área comprendida desde el marco de la puerta hasta el compartimiento de pasajeros.

**4.8 Apoyacabezas.** Dispositivo cuyo objetivo es limitar el desplazamiento de la cabeza del pasajero hacia la parte trasera en relación con su torso, con el fin de reducir el peligro de un perjuicio a las vértebras cervicales en caso de accidente.

**4.9 Asiento.** Estructura anclada a la carrocería del vehículo, que incluye la tapicería y los elementos de fijación, destinados a ser utilizados en un vehículo y diseñado ergonómicamente para la comodidad del pasajero.

**4.10 Asiento individual.** Diseñado y construido para el alojamiento de un pasajero sentado.

**4.11 Asiento doble.** Diseñado y construido para el alojamiento de dos pasajeros sentados.

**4.12 Asiento plegable.** Asiento auxiliar destinado al uso ocasional y que normalmente esta plegado.

- 4.13 Arrancabilidad.** Capacidad motriz de un vehículo para iniciar la marcha.
- 4.14 Estructura auto portante.** Cuando su estructura forma parte esencial del bastidor como: marcos, techo, suelo, etc.
- 4.15 Bastidor.** Conjunto armazón del vehículo. Soporte de los grupos funcionales y de la carga a transportar.
- 4.16 Bus.** Vehículo automotor diseñado para el transporte de pasajeros compuesto por un chasis y una carrocería acondicionada para el transporte de pasajeros con una capacidad de hasta 90 pasajeros, incluido el conductor.
- 4.17 Minibús.** Vehículo automotor diseñado para el transporte de pasajeros compuesto por un chasis y una carrocería acondicionada para el transporte de pasajeros con una capacidad de hasta 60 pasajeros, incluido el conductor.
- 4.18 Bus intrarregional.** Diseñado y equipado para viajes dentro de una misma región.
- 4.19 Bus intraprovincial.** Diseñado y equipado para viajes dentro de una misma provincia.
- 4.20 Bus interprovincial.** Diseñado y equipado para viajes entre provincias.
- 4.21 Capacidad neta de pasajeros.** Número máximo admisible de ocupantes.
- 4.22 Ciclo de funcionamiento del motor.** Principio bajo el cual el motor transforma la energía química del combustible en energía mecánica.
- 4.23 Compartimiento de pasajeros.** Espacio destinado a los pasajeros, excluido cualquier espacio ocupado por instalaciones fijas.
- 4.24 Conductor.** Toda persona mayor de edad que reúne los requisitos legales para conducir el tipo de vehículo a motor.
- 4.25 Contrahuella.** Plano vertical del peldaño.
- 4.26 Corredor central.** Espacio libre o área útil del vehículo excluyendo las áreas de entrada y salida, cobranza, conductor y asientos de pasajeros.
- 4.27 Dirección asistida.** Que tiene un sistema que facilita el movimiento de giro de las ruedas.
- 4.28 Diseño original.** Comprende los planos, normas técnicas de fabricación y demás documentos técnicos en los cuales se sustentan los requisitos del diseño de origen del vehículo.
- 4.29 Escotilla.** Abertura en la parte superior de la carrocería para efectos de ventilación y salida de emergencia.
- 4.30 Estribo.** Escalón para subir o bajar de un vehículo.
- 4.31 Fabricante del vehículo.** Persona natural o jurídica responsable de la fabricación del vehículo bajo los requisitos del diseño original.
- 4.32 Freno auxiliar.** Facilita al conductor reducir la velocidad del vehículo de forma gradual, cumpliendo la función de asistir al freno de servicio.
- 4.33 Freno de parqueo.** Permite que un vehículo se mantenga detenido por medios mecánicos, incluso en una calzada en pendiente y sobretodo sin la presencia del conductor.
- 4.34 Freno de servicio.** Facilita al conductor reducir la velocidad del vehículo de forma gradual, durante su funcionamiento normal o detenerlo.

- 4.35 Grada.** Elemento de la carrocería formado por una serie de peldaños diseñado para el ingreso y salida de pasajeros.
- 4.36 Importador del vehículo.** Persona natural o jurídica responsable de la importación de vehículos para utilización propia o para comercializar.
- 4.37 Huella.** Plano horizontal del peldaño.
- 4.38 Longitud de un vehículo.** La distancia total entre los puntos extremos del vehículo en el eje longitudinal (incluido los parachoques).
- 4.39 Mampara.** Panel vertical de separación.
- 4.40 Pasajero.** Persona que hace uso del servicio de transporte público o privado.
- 4.41 Peatón.** Es la persona natural que circula a pie por sus propios medios o las personas con discapacidad que transiten con ayuda de artefactos especiales manejados por ellos o por terceros.
- 4.42 Peldaño.** Cada una de las partes de un tramo de grada que sirve para apoyar el pie al subir o bajar de ella.
- 4.43 Piso.** La parte de la carrocería en la que reposan los pies de los pasajeros sentados y los del conductor, así como los soportes de los asientos.
- 4.44 Salidas de emergencia.** Ventanas laterales, puertas o cualquier otro medio de fácil y rápido desprendimiento o apertura desde el interior del vehículo, a ser usados en circunstancias excepcionales para salida de los ocupantes en casos de peligro.
- 4.45 Servicio.** Resultado generado por actividades en la interrelación entre el proveedor y el cliente y por actividades internas del proveedor, con el fin de responder a las necesidades del cliente.
- 4.46 Ancho máximo del chasis.** Dimensión exterior entre las ruedas posteriores.
- 4.47 Vista secundaria.** Visión libre de obstáculos.
- 4.48 Vista total.** Visión libre de obstáculos con excepción del parante central del parabrisas y los parantes del frente del vehículo.

## 5. REQUISITOS

### 5.1 Arrancabilidad en pendiente

Los vehículos de transporte interprovincial, intraprovincial e intrarregional deben cumplir con el ensayo de arrancabilidad establecido en el Anexo C.

### 5.2 Capacidad de aceleración en plano

El tren motriz debe tener la potencia, torque y relación de transmisión necesarias que le permita alcanzar una velocidad mínima de 40 km/h, partiendo de una condición de reposo y en una superficie plana, en un lapso de 22,5 s a Peso Bruto Vehicular (PBV). El ensayo debe realizarse de acuerdo al Anexo B.

### 5.3 Niveles de emisión

Los niveles máximos permitidos de emisión de gases deben cumplir con lo establecido en las NTE INEN 2204, NTE INEN 2207 y según el método establecido en la NTE INEN 2202.

#### 5.4 Sistemas de escape

El vehículo no debe tener alteraciones con respecto a lo especificado por el fabricante en el manual de fabricación y montaje de carrocerías, su diseño debe ser de una sola salida sin la apertura de orificios u otros ramales de la tubería de escape, no debe disponer de cambios de dirección bruscos, evitando de esta manera incrementar la contrapresión en el escape del motor. La salida debe estar ubicada en la parte posterior o lateral izquierda inferior fuera de la carrocería.

#### 5.5 Chasis

El diseño del bastidor debe ser para transporte de pasajeros, con las modificaciones, aditamentos o extensiones que estén permitidas en el manual de fabricación y montaje de carrocerías que sean autorizados por el fabricante. El manual de fabricación y montaje de carrocerías debe estar en idioma español.

En los buses el motor debe estar ubicado en la parte frontal avanzada o en la parte posterior del vehículo. En los minibuses el motor puede estar ubicado sobre el eje delantero, frontal avanzado o en la parte posterior.

##### 5.5.1 Capacidad del bastidor

Debe disponer de una capacidad máxima de pasajeros, de conformidad con lo establecido en la Ley Orgánica de Tránsito de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial y su Reglamento de aplicación.

##### 5.5.2 Dirección

El vehículo debe tener un sistema de dirección asistida, la cual no debe ser modificada del diseño original del fabricante.

##### 5.5.3 Frenos

Los sistemas de frenos para servicio y parqueo deben respetar los diseños originales del fabricante y serán independientes entre sí y estarán compuestos por los siguientes subsistemas:

- Frenos de servicio. Para bus y minibús deben ser neumáticos o hidroneumáticos.
- Freno de parqueo. Debe ser de activación independiente al de servicio. Para bus debe ser neumático y para minibús puede ser neumático o mecánico.
- Tanto minibús como bus deben contar con un sistema de frenos auxiliar.

##### 5.5.4 Suspensión

La suspensión no debe ser modificada del diseño original del fabricante y debe ser adecuada para el transporte de pasajeros.

##### 5.5.5 Neumáticos

Los neumáticos deben cumplir con lo establecido en la NTE INEN 2099.

#### 5.6 Carrocería

Los materiales de la estructura del vehículo deben ser perfiles y tubería estructural protegido contra la corrosión que cumplan con NTE INEN 2415 y la NTE INEN 1623.

Las carrocerías de minibuses y buses de transporte mencionados en esta norma deben cumplir con los requisitos establecidos en la NTE INEN 1323.

Se puede construir el conjunto chasis-carrocería por una estructura autoportante. Dicha estructura debe garantizar características de solidez, resistencia y seguridad, obediendo siempre los requisitos de esta norma.

### 5.6.1 Sistema eléctrico

Los cables y los aparatos eléctricos deben resistir las condiciones de temperatura y de humedad a las que están expuestos, además los cables deben estar aislados. En el compartimiento del motor se prestará particular atención a su resistencia a la temperatura ambiente, a los vapores y al aceite.

Ningún cable o circuito eléctrico podrá ser utilizado para conducir una corriente de intensidad superior a la de diseño, evaluando además su forma de montaje y la temperatura ambiente máxima.

Todo circuito eléctrico que alimente algún aparato distinto del motor de arranque, el circuito de encendido, las bujías de precalentamiento, el dispositivo de apagado del motor, el circuito de carga y la batería, deben estar protegidos por un fusible o su equivalente. Sin embargo, circuitos que alimenten aparatos de bajo consumo pueden protegerse por un fusible común o su equivalente siempre que su intensidad nominal no pase de 16 A.

Se debe garantizar que todos los componentes en cualquier circuito estén diseñados para el voltaje con el cual van a trabajar, y considerar que el fusible o su equivalente son los elementos que menos intensidad deben resistir dentro del circuito.

Todos los cables deben estar protegidos y fijados sólidamente de tal forma que no puedan ser dañados por corte, abrasión o rozamiento.

Cuando la tensión exceda los 100 voltios RMS en uno o varios circuitos eléctricos del vehículo, un cortacircuitos de mando manual que permita desconectar todos estos circuitos del circuito principal de alimentación eléctrica debe actuar sobre cualquier polo, de un circuito que no esté conectado a tierra; este cortacircuitos no podrá desconectar el o los circuitos de alimentación de las luces exteriores obligatorias del vehículo, y estará situado en el interior del vehículo en lugar accesible para el conductor.

Deberán existir, por lo menos, dos circuitos de alumbrado interior de manera que el fallo de uno no afecte al funcionamiento del otro. Puede considerarse como uno de estos circuitos, el circuito independiente que suministra energía al alumbrado permanente de la entrada y la salida.

La instalación eléctrica de la carrocería debe atender las indicaciones del fabricante del chasis.

Todo cable eléctrico que pase por un orificio debe tener fijación que impida su movimiento y el orificio debe tener la protección adecuada para impedir que el cable no sufra daños por cortaduras o desgaste.

### 5.6.2 Baterías

El compartimiento para baterías debe estar separado de los compartimientos de pasajeros, conductor y equipaje, y debe estar ventilado desde el exterior.

Todas las baterías deben estar sólidamente fijadas y fácilmente accesibles para su mantenimiento.

### 5.6.3 Uniones chasis-carrocería

Las uniones entre el chasis y la carrocería se realizarán siguiendo exclusivamente las recomendaciones del fabricante del chasis, indicadas en su manual de fabricación y montaje de carrocerías.

### 5.6.4 Dimensiones externas del vehículo

#### a) Largo total del vehículo

El largo total del vehículo debe cumplir lo establecido en la tabla 1.



**TABLA 1. Largo total del vehículo**

Tipo de vehículo	Número de ejes	Largo total mm
Bus	De dos ejes	10 250 a 13 300
Bus	De tres ejes o más	10 250 a 15 000
Minibús	De dos ejes	Máximo 10 000

## b) Ancho total del vehículo

La carrocería del bus y minibús no debe sobresalir en más de 75 mm a cada lado con respecto al ancho máximo del chasis, el ancho máximo del vehículo debe ser 2600 mm medidos en las partes más salientes de la estructura.

## c) Altura total del vehículo

La altura total máxima de los vehículos referidos en esta norma técnica se encuentra en la tabla 2.

**TABLA 2. Altura total máxima**

Tipo de vehículo	Altura total máxima
Bus	3800 mm
Minibús	3300 mm

La medición de la altura total del vehículo debe realizarse entre la calzada y el techo de la carrocería, sin tomas de ventilación superior.

## d) Voladizo delantero y posterior

Los voladizos delantero y posterior deben cumplir lo establecido en la tabla 3.

**TABLA 3. Voladizo delantero y posterior**

Tipo de vehículo	Voladizo delantero mm	Voladizo posterior máximo
Bus	2000 a 2900	66% de la distancia entre ejes
Minibús	800 a 2400	66% de la distancia entre ejes

El voladizo delantero se mide entre el eje delantero y el extremo final de la carrocería frontal.

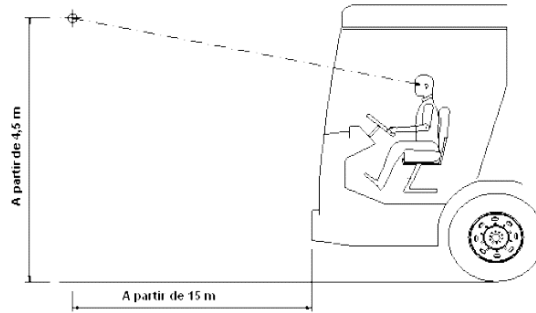
El voladizo posterior se mide entre el eje trasero y el extremo final de la carrocería posterior.

**5.6.5 Visibilidad del conductor**

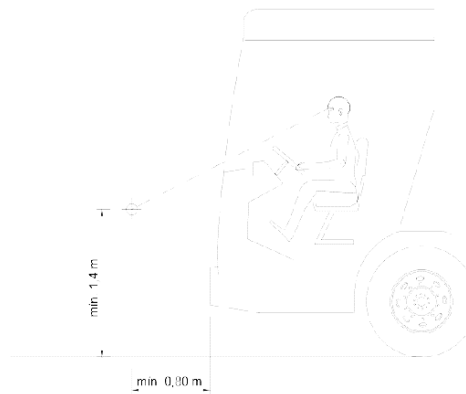
Los ángulos de visibilidad se deben medir con el asiento en la posición de operación del conductor.

El puesto del conductor debe tener las siguientes zonas de visibilidad directa:

- Zona de visibilidad frontal superior: debe permitir identificar un objeto situado a 15 m delante del vehículo y a 4,5 m de la calzada (ver figura 1).

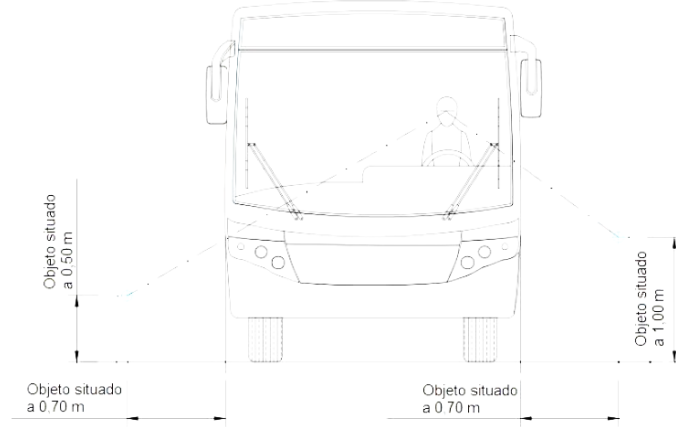
**FIGURA 1. Visibilidad frontal superior del conductor**

- Zona de visibilidad frontal inferior: debe permitir identificar un objeto situado a 0,8 m delante del vehículo y a 1,4 m de la calzada (ver figura 2).

**FIGURA 2. Visibilidad frontal inferior del conductor**

- Zona de visibilidad lateral izquierda: debe permitir observar un objeto situado a 0,7 m al lado izquierdo del vehículo y a 1 m de la calzada, medido a la ubicación paralela del conductor (ver figura 3).

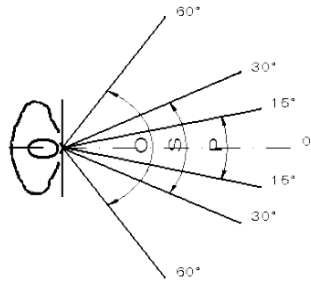
**FIGURA 3. Visibilidad lateral izquierda y derecha del conductor**



- Zona de visibilidad lateral derecha debe permitir observar un objeto situado a 0,7 m al lado derecho del vehículo y a 0,5 m de la calzada (ver figura 3).
- Zona de visibilidad frontal horizontal. De acuerdo con la figura 4.

La totalidad de la zona de visibilidad (campo visual) del parabrisas y la zona comprendida en la vista secundaria debe estar libre de todo obstáculo que impida la visibilidad del conductor. El único obstáculo que se permite en la zona de visibilidad es el parante central del parabrisas y los parantes del frente del vehículo.

**FIGURA 4. Zona de visibilidad frontal horizontal**



En caso de no cumplir con cualquiera de las zonas de visibilidad, estas se deben garantizar por medio de espejos o cualquier otro dispositivo.

**5.6.6 Ventanas**

Todos los vidrios de las ventanas y parabrisas deben ser de seguridad para uso automotriz, con un espesor mínimo de 4 mm y que cumplan los requisitos establecidos en la NTE INEN 1669.

Todas las ventanas deben estar provistas de cortinas.

## a) Ventanas del conductor

Con posibilidad de observar la parte baja en el exterior lateral izquierdo. La ventana debe abrirse por lo menos en un 30% de su ancho, el marco de la ventana debe estar sujeto a la carrocería.

## b) Ventanas de los usuarios

Pueden ser individuales o dobles (panorámicas), fijas o corredizas; (la parte corrediza tendrá una manilla o tirador y la apertura de la ventana debe ser entre el 30% y el 60% del área total de la ventana), deslizantes y con cierre hermético. Todos los vidrios de las ventanas deben ser de seguridad para uso automotriz, con un espesor mínimo de 4mm y que cumplan los requisitos establecidos en la NTE INEN 1669 vigente.

El marco de la ventana debe estar sujeto sobre la estructura de la carrocería.

La altura máxima debe ser 1000 mm.

**5.6.7 Parachoques frontal y posterior**

Los parachoques frontal y posterior no deben sobresalir de la carrocería en más de 300 mm y debe contar con elementos de sujeción que aseguren la absorción de impactos. La parte delantera inferior del parachoques delantero estará a una altura máxima de 500 mm desde la calzada y, la parte posterior inferior del parachoques posterior estará a una altura máxima de 600 mm desde la calzada.

Se prohíbe el uso de elementos de defensa adicionales (tumbaburros, aumentos a parachoques originales, ganchos o bolas portaremolques no removibles que sobresalgan de la carrocería).

**5.6.8 Puertas de ingreso y salida**

El accionamiento de las puertas debe efectuarse desde el puesto del conductor, a través de sistemas mecánicos y/o servomecánicos (hidráulicos, neumáticos, eléctricos, etc.).

## a) Puertas de ingreso y salida de pasajeros

Las puertas de ingreso y salida de uso de pasajeros deben estar en el lado derecho del vehículo.

El acceso a las puertas debe ser libre y no estar bloqueado por asientos, ni asideros intermedios. Se permite el uso de un asiento retráctil para el acompañante que no afecte al tránsito de los usuarios. El asiento debe estar ubicado en el sentido de la marcha del vehículo.

Cuando el vehículo esté en movimiento, las puertas no deben abrirse desde el interior del vehículo. De igual manera cuando el vehículo se encuentre detenido y al menos una puerta esté abierta, el vehículo no podrá moverse. En situaciones de emergencia, las puertas serán abiertas de forma manual desde el exterior o el interior del vehículo.

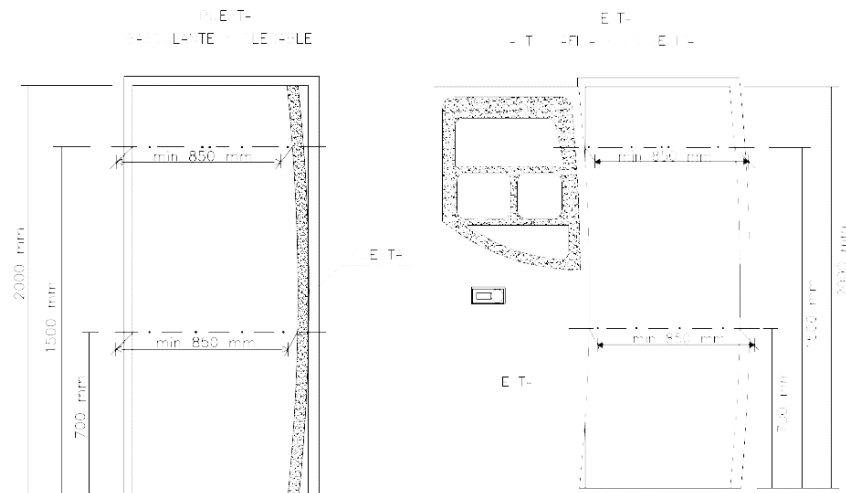
Las dimensiones de la puerta deben cumplir lo establecido en la tabla 6.

**TABLA 6. Dimensiones de las puertas de ingreso y salida de pasajeros**

Tipo de vehículo	Ancho libre mínimo mm	Altura mínima desde el estribo mm
Bus	850	2000
Minibús	850	2000

NOTA: El ancho libre debe ser medido a una altura entre 700 y 1500 mm.

FIGURA 5. Dimensiones de las puertas para bus y minibús



## b) Materiales

La estructura de las puertas debe ser de acero o aluminio. De utilizarse vidrios, estos deben cumplir la NTE INEN 1669.

## c) Posición de las puertas de ingreso y salida de pasajeros

La puerta de entrada y salida de pasajeros debe ubicarse en el lado derecho del vehículo delante del eje delantero; en el minibús con motor sobre el eje delantero se ubicará entre ejes. En el caso del servicio de transporte intraprovincial, los buses y minibuses pueden disponer de una segunda puerta, esta se ubicará entre ejes o en el voladizo posterior.

## d) Puerta de ingreso del conductor

Los vehículos de transporte público de pasajeros interprovincial deben tener una puerta de ingreso solo para el conductor, la misma que debe estar colocada en la parte izquierda junto a la posición del conductor con un ancho mínimo de 550 mm, que sea fácil de abrir desde el interior y desde el exterior del vehículo cuando este se encuentre parado. No obstante, este requisito no debe interpretarse como excluyente de la posibilidad de bloquear la puerta desde el exterior, con la condición de que pueda abrirse siempre desde el interior usando un sistema normal de apertura. Esta puerta podrá utilizarse como salida de emergencia.

## 5.6.9 Salidas de emergencia

De las ventanas para los usuarios, al menos dos por cada lateral deben funcionar como salidas de emergencia, las mismas no deben ser contiguas y deben tener un dispositivo que permita destruir o desprender fácilmente las ventanas y expulsarlas hacia afuera del vehículo desde su perfil. Dicho dispositivo debe permanecer sujeto a la carrocería, aún luego de haber sido usado. Las ventanas de emergencia, una vez accionado su mecanismo de funcionamiento (de vidrios destruibles, expulsable, basculante) deben ofrecer una superficie mínima de  $0,4 \text{ m}^2$ , en esta superficie será posible inscribirse un rectángulo de 500 mm x 700 mm.

El número mínimo de salida de emergencia debe estar de acuerdo a lo indicado en la NTE INEN 1323 vigente.

#### 5.6.10 Ventilación

##### a) Ventilación con escotillas

Para efectos de ventilación, el vehículo debe contar con escotillas, para bus debe disponer de mínimo dos ubicadas distantes una de otra, al menos 2000 mm, y mínimo una para minibús. Las escotillas deben ser de tapa hermética con abertura superior parcial y con un área total mínima de  $0,35 \text{ m}^2$ . Las escotillas deben tener un dispositivo de salida de emergencia. En caso de emergencia estas no deben bloquear la vía de salida de escape.

##### b) Ventilación delantera

Todos los vehículos mencionados en esta norma deben disponer de un sistema que evite la condensación (empañado) en los parabrisas.

#### 5.6.11 Portaequipajes

Los vehículos descritos en esta norma deben disponer de compartimientos cerrados independiente de la cabina de los pasajeros, con acceso por la parte externa del vehículo, para el transporte de equipaje de los pasajeros.

El volumen mínimo de los portaequipajes será el que resulte de considerar un coeficiente de ocupación promedio igual a una décima de metro cúbico ( $0,1 \text{ m}^3$ ) por pasajero sentado.

Los portaequipajes deben ser herméticos y de características constructivas que impidan la entrada de polvo, agua y gases provenientes de la combustión. Las puertas de acceso deben también estar equipadas con dispositivos de seguridad que eviten su apertura accidental durante la marcha del vehículo.

Los elementos auxiliares del vehículo como rueda de emergencia, herramientas, etc., deben colocarse por separado del equipaje de los pasajeros. Si eventualmente estos componentes estuvieran en el interior del portaequipajes, este debe portar un panel divisorio que impida el contacto con el equipaje.

Se prohíbe la instalación de parrillas en la parte superior de la carrocería.

#### 5.6.12 Dimensiones interiores

##### a) Altura interna del vehículo

La altura mínima en el corredor central medido en el eje central longitudinal del vehículo debe ser 1900 mm para bus y minibús.

##### b) Altura piso – borde inferior de la ventana

La altura mínima desde el piso al borde inferior de la ventana debe ser de 700 mm.

#### 5.7 Distribución interna

##### 5.7.1 Áreas interiores

##### a) Ingreso y salida de pasajeros

La estructura de soporte de los peldaños tiene que conformar una caja indeformable. Las cajas de los peldaños de las puertas de ingreso y salida no presentarán características específicas en cuanto a su forma y dimensiones, lo mismo ocurrirá con los estribos y los escalones. Estos, además de ser resistentes y de tener superficies antideslizantes, deben obedecer a formas y

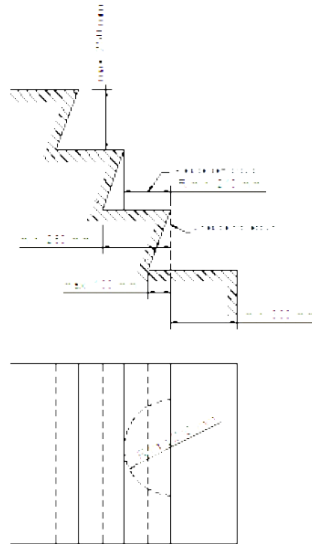
dimensiones que admitan, en su superficie horizontal, la inscripción de un semicírculo de radio mínimo de 210 mm y perpendicular a la dirección de ingreso y salida. La proyección del borde del peldaño superior sobre la superficie del inferior no podrá invadir el área de dicho semicírculo (ver figura 6).

La huella en el primer peldaño debe permitir la inscripción de un semicírculo de radio mínimo de 300 mm y perpendicular a la dirección de ingreso y salida. Para el escalón retráctil, la huella debe ser mínimo de 210 mm, el escalón retráctil debe tener esquinas redondeadas de radio de 50 mm como mínimo.

La contrahuella de los peldaños interiores debe tener una altura máxima de 250 mm.

La altura máxima medida desde el nivel de la calzada hasta la parte superior del peldaño inferior debe ser de 450 mm. Se permite adicionalmente el uso de un escalón retráctil por debajo de esta altura. Si la altura máxima medida desde el nivel de la calzada hasta el peldaño inferior es superior a 450 mm e inferior a 500 mm, el uso de escalón retráctil por debajo de esta altura es obligatorio. El escalón retráctil debe activarse conjuntamente con la puerta, y no se cerrará cuando un pasajero se encuentre sobre el escalón.

**FIGURA 6. Dimensiones de los peldaños**

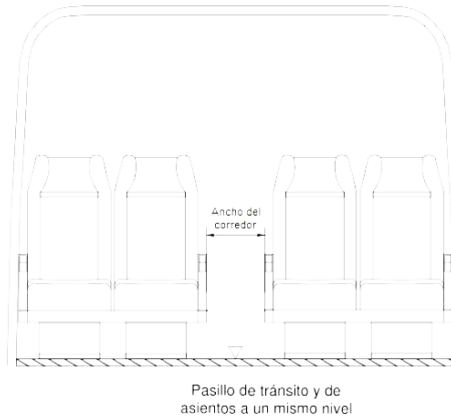


b) Área de circulación de pasajeros

El material de recubrimiento de la superficie de las áreas de circulación y de entrada y salida de pasajeros debe ser antideslizante y resistente al tráfico.

Las áreas de ingreso y salida de pasajeros constará de mínimo un asidero interior anclado firmemente en la carrocería (tipo pasamano).

El piso del habitáculo de pasajeros debe estar a un mismo nivel que el pasillo de tránsito. Para el caso de vehículos con motor posterior, se permite un desnivel en la última fila y debe cumplir con los requisitos de asientos para pasajeros (ver figura 7).

**FIGURA 7. Pasillo de tránsito**

c) Área de conducción

c.1) Panel de conducción

El panel de instrumentos debe estar ubicado en la parte frontal izquierda del interior del vehículo donde el tablero de instrumentos se encuentra en el campo de visión del conductor, a una distancia de aproximadamente 700 mm, en el que los instrumentos o indicadores de alerta deben estar dentro de un ángulo horizontal de visión de 30°.

Los instrumentos de control y mando, velocímetro, odómetro, manómetro doble de presión de los frenos (no aplica en caso de sistema hidráulico), indicador de combustible, y presión de aceite del motor, termómetro para indicar la temperatura del agua del sistema de refrigeración, tacómetro, mandos neumáticos o eléctricos para puertas, luces de alarma de insuficiencias de cada sistema.

c.2) Asiento del conductor

El asiento del conductor debe ser de tipo ergonómico, regulable en los planos vertical y horizontal (longitudinal), deberá estar ubicado frente al panel de conducción. No debe tener asientos al lado izquierdo.

El asiento debe tener 450 mm de ancho mínimo, profundidad mínima de 450 mm y la altura del espaldar mínima debe ser de 500 mm.

Los recorridos de ajuste del asiento deben ser verticales entre 400 mm y 550 mm; horizontales con una carrera mínima de 120 mm. La inclinación del espaldar debe estar entre 90° y 110° con respecto a la parte horizontal del asiento. Todos estos ajustes deben ser fácilmente realizables por un conductor de peso medio de 70 kg y los mandos de ajuste deben estar al alcance de sus brazos. La base del asiento debe estar firmemente anclada a la estructura del piso de la carrocería. Para el minibus con motor sobre el eje delantero se excluye el recorrido vertical.

Los asientos para el conductor principal y el alterno deben tener apoyacabezas y cinturones de seguridad autotensables de 3 puntos que cumplan con lo establecido en la NTE INEN 2675.

Los asientos de conductor y conductor alterno deben cumplir lo establecido en la NTE INEN 2704.

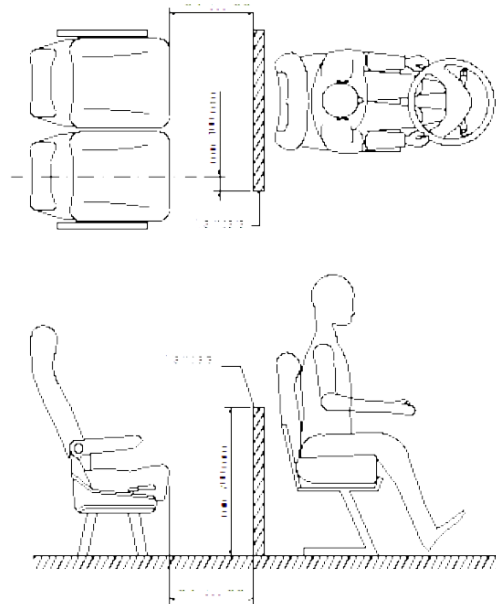


## d) Mamparas

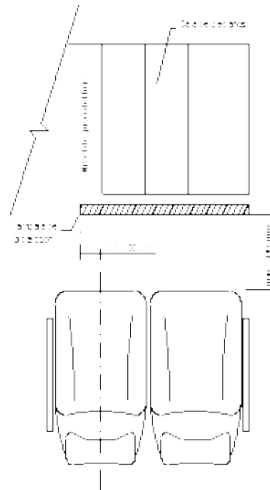
Se instalará una mampara en las zonas en que un viajero sentado pueda ser proyectado hacia adelante, hacia una caja de escalera o hacia el asiento del conductor como consecuencia de una fuerte desaceleración. Para los vehículos de transporte intraprovincial deben colocarse mamparas de protección para los pasajeros ubicados delante de los asientos situados detrás del asiento del conductor y delante de los asientos ubicados inmediatamente después de las cajas de peldaños. En la mampara ubicada en las proximidades de las gradas deben colocarse pasamanos. Las mamparas deben tener las siguientes dimensiones mínimas:

- Distancia mínima de los asientos a la mampara: 300 mm (ver figuras 8 y 9).
- La protección debe tener una altura mínima de 700 mm por encima del piso sobre el cual reposan los pies del viajero y se extenderá hacia el interior del vehículo a partir de la pared, como mínimo 100 mm en dirección al pasillo del eje longitudinal de cualquier asiento en el cual un viajero esté expuesto a este riesgo, o hasta la contrahuella del primer escalón si esta distancia es más corta.

**FIGURA 8. Disposición de la mampara detrás del conductor**



**FIGURA 9. Disposición de la mampara detrás de la caja de peldaños (puerta posterior de vehículos intraprovinciales)**



e) Cabina del conductor

Los vehículos de transporte interprovincial e intrarregional deben tener una división entre el habitáculo del conductor y de los pasajeros, la misma que estará constituida de una parte superior con vidrio de seguridad que cumpla con la NTE INEN 1669, la parte inferior podrá estar constituida de material sólido hasta una altura mínima de 700 mm, con puerta de acceso al habitáculo de pasajeros (ver figura 10).

No se permite la utilización de cortinas, películas polarizadas u otro material similar en la división entre el habitáculo del conductor y los pasajeros.

Los vehículos que posean cabina de conducción independiente de la zona de pasajeros pueden tener máximo un asiento para acompañante y se prohíbe la instalación de literas.

En ningún caso, la altura entre el borde superior del asiento del conductor o acompañantes, en su posición normal de trabajo, a ningún punto del techo de la cabina, podrá ser menor a 900 mm.

FIGURA 10. Cabina del conductor

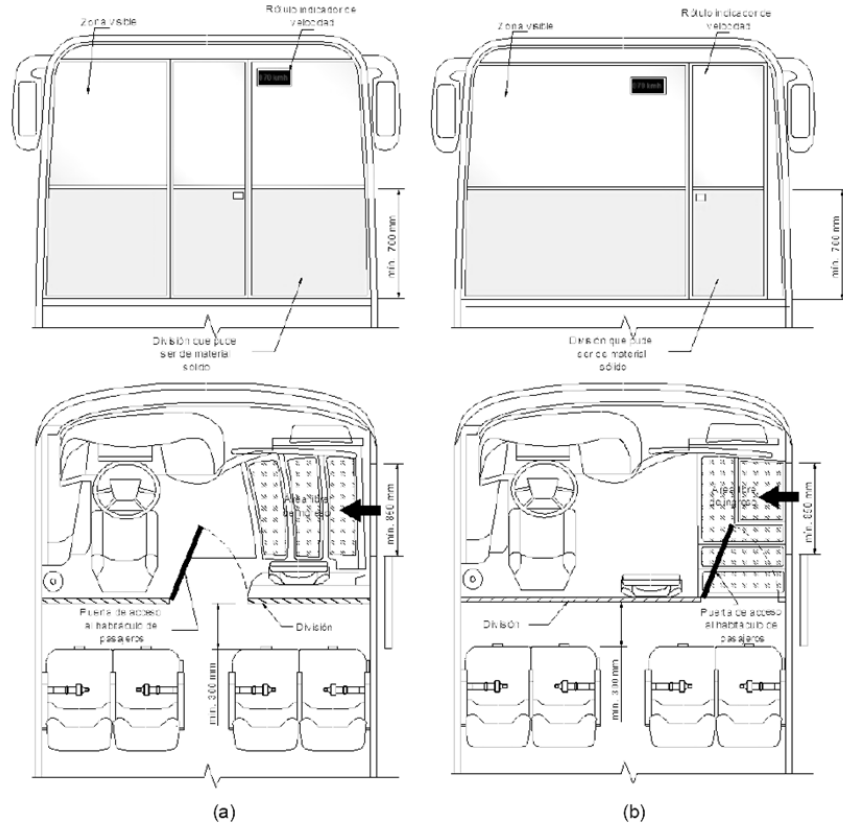
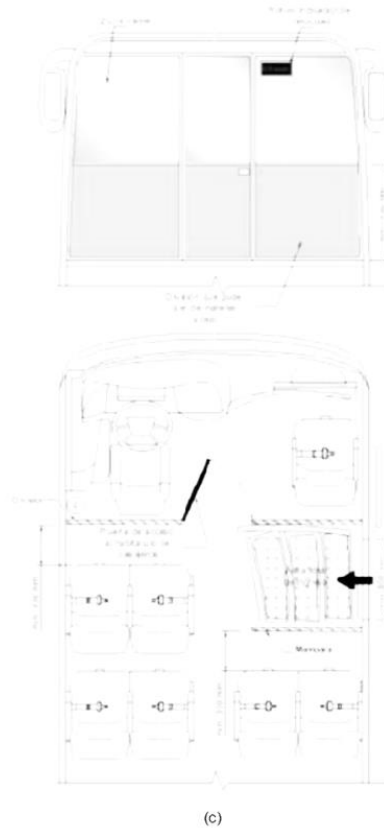


FIGURA 10. Continuación



Leyenda

- (a) Disposición para vehículos con motor posterior
- (b) Disposición para vehículos con motor frontal avanzado
- (c) Disposición para motor sobre eje delantero

## f) Asientos para pasajeros

Deben ser fijos a la carrocería y estar dispuestos según el eje longitudinal del vehículo en el sentido de marcha o viceversa, de tal forma que se proporcione la mayor seguridad y confort a los pasajeros, respetando los diseños de los fabricantes del vehículo o chasis para la distribución de las cargas a los ejes del vehículo.

Los asientos de los pasajeros y sus anclajes deben cumplir con lo establecido en la NTE INEN 2708.

Deben disponer de al menos un apoyabrazos individual abatible, ubicado en el extremo del asiento adjunto al corredor central. El apoyacabezas del asiento puede ser integral al asiento.

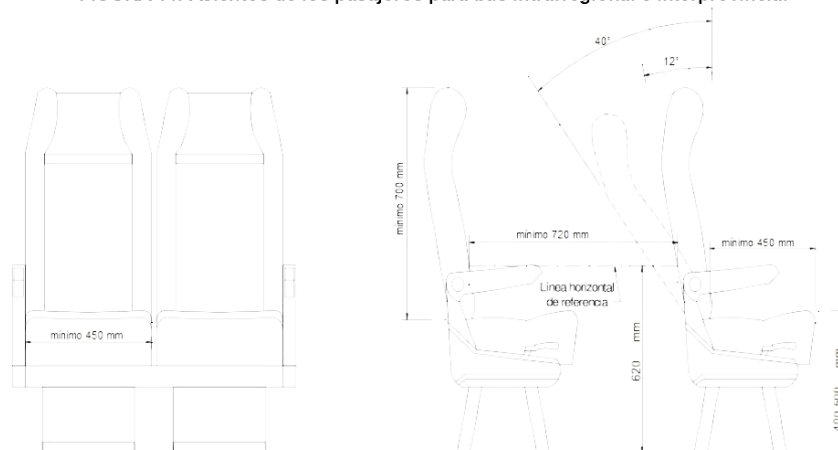
Deben disponer de cinturones de seguridad mínimo de dos puntos. En el caso de que contengan asideros y/o accesorios en la parte posterior de los espaldares, se debe utilizar cinturones de

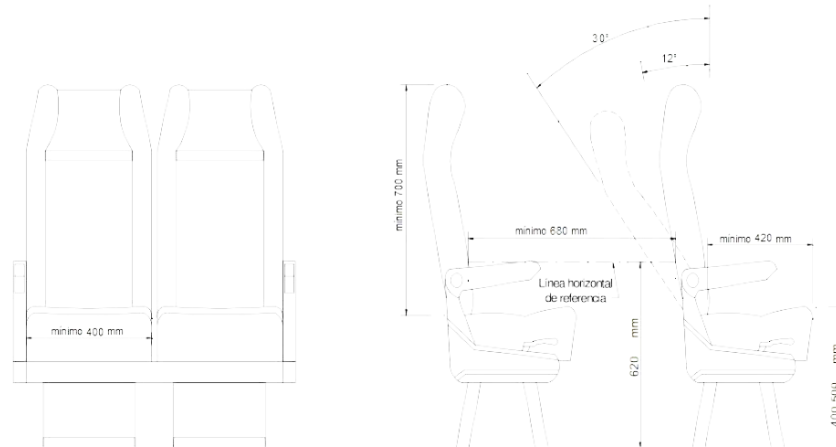
seguridad de tres puntos. Los cinturones de seguridad deben cumplir con la NTE INEN 2675 y NTE INEN 2704.

Los vehículos poseerán dos hileras de hasta dos asientos individuales, la última fila dispondrá de máximo 5 asientos, de las siguientes dimensiones:

- Profundidad mínima: 420 mm para buses intraprovinciales y 450 mm para buses intrarregionales e interprovinciales;
- Ancho libre mínimo del asiento: 400 mm para intraprovincial y 450 mm para intrarregional e interprovincial;
- Altura desde el piso a la base del asiento entre 400 mm y 500 mm;
- Distancia entre asientos medidas a una altura de 620 mm desde el piso con los asientos en posición normal, debe ser para bus interprovincial e intrarregional mínimo de 720 mm y para bus intraprovincial mínimo de 680 mm (ver figuras 11 y 12);
- Posiciones de reclinación mínima: dos, con un ángulo mínimo de  $12^\circ$  y  $30^\circ \pm 2^\circ$  para intraprovincial, y  $12^\circ$  y  $40^\circ \pm 2^\circ$  para interprovincial e intrarregional;
- Altura total del respaldo del asiento incluido el apoyacabezas: mínima 700 mm.

**FIGURA 11. Asientos de los pasajeros para bus intrarregional e interprovincial**



**FIGURA 12. Asientos de los pasajeros para bus intraprovincial**

Los asientos no deben tener aristas o protuberancias de ninguna índole que puedan lastimar o golpear a los pasajeros.

Los materiales de los asientos deben ser de tipo blando, acolchados y tapizados.

Los asientos de los vehículos interprovinciales e intrarregionales deben estar dotados de apoyapiés, los asientos deben estar identificados a través de números ordinales y/o letras, excluyéndose las del conductor y acompañante, numerándose por filas a partir del asiento ubicado detrás del conductor junto a la ventana.

El número correspondiente y la identificación de cada asiento deben estar colocados en la parte superior del respaldo de los asientos, en los apoyabrazos o para mejor visibilidad, sobre las ventanillas o en los portapaquetes superiores.

En la parte posterior de los respaldos pueden estar colocadas mesas individuales y abatibles, porta revistas, que no excedan el ancho del respectivo respaldo.

g) Corredor central

Debe tener un ancho mínimo entre las partes exteriores más salientes de los asientos de 300 mm para vehículos interprovinciales e intrarregionales y 350 mm para vehículos intraprovinciales.

h) Asideros

En el ingreso y salida debe estar ubicado mínimo un asidero de una longitud suficiente y de fácil acceso para los pasajeros. Este asidero al cerrar la puerta debe quedar en la parte interior del bus. Además, los vehículos que presten el servicio interprovincial e intrarregional deben disponer de asideros en el pasillo.

Los vehículos intraprovinciales deberán contar con una red de asideros firmemente anclados a la carrocería. Los mismos no deberán obstaculizar la libre circulación de los pasajeros por las zonas de tránsito.

El material de los asideros debe ser del tipo estructural resistente a la corrosión, de fácil agarre, puede tener un recubrimiento de material lavable.

i) Porta paquetes

Los vehículos referidos en esta norma deben estar dotados en su interior en forma de estantes, en correspondencia con ambos paneles laterales del vehículo destinados a la colocación de paquetes pequeños y livianos.

La profundidad máxima del mismo estará medida horizontalmente y en sentido perpendicular al panel lateral de la carrocería, desde dicho panel y hasta el borde más saliente del porta paquetes, debe tener como máximo 800 mm.

Los porta paquetes deben estar dotados de bordes o inclinación hacia el interior del mismo, que evite la caída de paquetes durante la marcha normal del vehículo.

La altura de los porta paquetes, medida desde el piso de fijación de los asientos hasta su parte más baja, no debe ser menor a 1500 mm.

Los porta paquetes podrán disponer de iluminación individual para los pasajeros.

j) Visualización de puerta posterior

Los vehículos intraprovinciales con una puerta en la parte posterior deben disponer de un espejo convexo o una cámara que permita visualizar, desde la ubicación del conductor, la salida completa de los pasajeros.

k) Aviso de parada

Los vehículos intraprovinciales con puerta de salida de pasajeros en la parte posterior deben disponer de al menos dos dispositivos de aviso de parada. Estos deben estar ubicados adyacentes a la puerta a una altura de 1400 mm  $\pm$  70 mm desde el piso.

## 5.8 Detalles exteriores

### 5.8.1 Iluminación

El vehículo debe contar con los equipos y dispositivos de iluminación interior y exterior que se establecen en la NTE INEN 1155.

### 5.8.2 Rótulo con el destino de viaje

El vehículo debe disponer de un rótulo de destino de viaje, el mismo que puede ser mecánico o electrónico, debe ser iluminado, con dimensiones mínimas de 600 mm de largo y 200 mm de alto. El rótulo se ubicará en la parte superior o inferior del lado derecho sobre el parabrisas frontal, de tal forma que no afecte a la visibilidad del conductor.

### 5.8.3 Avisador acústico

Se debe mantener el dispositivo original. No se admite bocinas de aire.

### 5.8.4 Rótulos de prohibición

Los rótulos deben ser de 120 mm de ancho y 180 mm de alto, en material adhesivo con fondo blanco, símbolo negro y orla diagonal de prohibición en rojo y estarán ubicados de tal forma que sean visibles para los pasajeros. De ser el caso, las instrucciones deben estar en idioma español.

**APÉNDICE Z****BIBLIOGRAFÍA**

NTC 4901-2:2010, *Vehículos para el transporte urbano masivo de pasajeros. Parte 2: Métodos de ensayo*

NTC 5206:2009, *Vehículos para el transporte terrestre público colectivo y especial de pasajeros. Requisitos y métodos de ensayo*

PRTE INEN 043:2014, *Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial*

49 CFR 571 – *Federal Motor Vehicle Safety Standards Section 571.302, Flammability of interior materials. Octubre 2011*

Brasil, Resolução Nº 445, *Estabelece os requisitos de segurança para veículos de transporte público coletivo de passageiros e transporte de passageiros tipos micro-ônibus e ônibus, categoria M3 de fabricação nacional e importado. 08 de mayo de 2009*

Brasil, Resolução Nº 416, *Estabelece os requisitos de segurança para veículos de transporte de passageiros tipo micro-ônibus, categoria M2 de fabricação nacional e importado. 09 de agosto de 2012.*

*Reglamento General para la Aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, 25 de junio del 2013, Registro Oficial Nº 731, Ecuador*

LOTTTSV, *Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, Ecuador*

UNE 26358:1988, *Vehículos automóviles. Prueba de arrancabilidad en pendiente*

RTE INEN 043:2010, *Bus interprovincial e intraprovincial*



### INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

<b>Documento:</b> NTE INEN 1668 Primera revisión	<b>TÍTULO: VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL. REQUISITOS</b>	<b>Código:</b> 43.020
<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio:	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación por Consejo Directivo 1988-04-13 Oficialización con el Carácter de Obligatoria por Acuerdo Ministerial No. 222 de 1988-05-20 publicado en el Registro Oficial No. 948 de 1988-06-02  Fecha de iniciación del estudio: 2014-06-06	

Fechas de consulta pública: 2014-08-06 al 2014-10-04

Comité Técnico de: **Vehículos de carretera**

Fecha de iniciación: 2014-10-30

Fecha de aprobación: 2014-11-05

Integrantes del Comité:

**NOMBRES:**

**INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**

Ing. Alex Zapata (Presidente)	MIPRO
Sra. Silvia Santos	ALME
Ing. Patricia Cepeda Intriago	PATRICIO CEPEDA CIA LTDA.
Ing. Neris Zambonino	PATRICIO CEPEDA CIA. LTDA.
Ing. Geovanni Proaño	TEOJAMA COMERCIAL
Ing. Andrés Reyes	SUDACAM
Ing. Paúl Flores	MAVESA
Ing. Raúl Fernando Pico	MAVESA
Ing. Flavio Cotacachi	INSTITUCIÓN PRIVADA
Ing. Óscar Mayorga	AMBATOUR
Ing. Fabián Iza	AUSTRAL CIA LTDA.
Ing. Sebastián Cepeda	IMCE
Sr. David Garzón Paredes	ECUAYUTONG S.A.
Ing. Rainiero Reyna	ECUAYUTONG S.A.
Ing. Marcus Yuan	YUTONG S.A.
Sr. Fausto Sánchez	CARROCERÍAS ALVARADO
Tnlgo. Edgar Tubón	MEGABUSS
Ing. Fausto Lara	INEN – DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN
Dr. César Borja	INEN – DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN
Ing. Cristian Aingla	CCICEV
Ing. Edwin Morejón	VARMA S.A.
Ing. Piedad Aguilar	CANFAC
Ing. Johnny Altamirano	ECUABRASCO S.A.
Tnlgo. Víctor Hugo Cepeda	CEPEDA LTDA.
Ing. Juan Garzón	MIPRO
Ing. David Erazo (Secretario técnico)	INEN – DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

Otros trámites: Esta NTE INEN 1668:2015 (Primera revisión), reemplaza a la NTE INEN 1668:1988

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

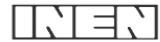
Oficializada como: Voluntaria

Por Resolución No. 15077 de 2015-02-24

Registro Oficial No. 458 de 2015-03-13

---

Servicio 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  
Dirección Ejecutiva: E-Mail: [direccion@normalizacion.gob.ec](mailto:direccion@normalizacion.gob.ec)  
Dirección de Normalización: E-Mail: [consultanormalizacion@normalizacion.gob.ec](mailto:consultanormalizacion@normalizacion.gob.ec)  
Dirección Zonal Guayas: E-Mail: [inenguayas@normalizacion.gob.ec](mailto:inenguayas@normalizacion.gob.ec)  
Dirección Zonal Azuay: E-Mail: [inencuenca@normalizacion.gob.ec](mailto:inencuenca@normalizacion.gob.ec)  
Dirección Zonal Chimborazo: E-Mail: [inenriobamba@normalizacion.gob.ec](mailto:inenriobamba@normalizacion.gob.ec)  
[URL:www.normalizacion.gob.ec](http://www.normalizacion.gob.ec)



# 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

---

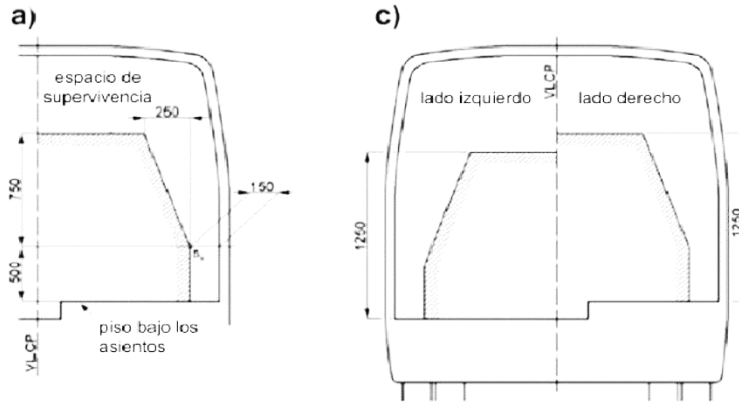
DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, buses, requisitos  
MC 01.01-401  
CDU: 629.11.011.6  
CIU: 3843  
ICS: 43.020.60

<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>
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Esta norma se aplica a todas las carrocerías de buses, sean importadas o de construcción nacional. (Ver nota 1).</p> <p>2.2 Esta norma incluye a las carrocerías que son parte de los chasis carrozados importados y carrocerías autoportantes</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p>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:</p> <p>3.1.1 <i>Carga de aceleración brusca (<math>A_b</math>)</i>. Corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo.</p> <p>3.1.2 <i>Carga de frenado (F)</i>. Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo.</p> <p>3.1.3 <i>Carga de giro (G)</i>. Corresponde a la fuerza producida por el giro de un vehículo.</p> <p>3.1.4 <i>Carga por Resistencia del Aire frontal (<math>R_{af}</math>)</i>. Corresponde a la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal.</p> <p>3.1.5 <i>Carga muerta (M)</i>. 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.</p> <p>3.1.6 <i>Carga viva (V)</i>. Corresponde a la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería.</p> <p>3.1.7 <i>Carrocería</i>. Conjunto de estructura, elementos de seguridad y confort que se adiciona al chasis de forma fija, para el transporte de personas.</p> <p>3.1.8 <i>Carrocería autoportante</i>. Aquella que en su diseño conforma el bastidor e incluye en su estructura los anclajes necesarios para el equipo mecánico y eléctrico.</p> <p>3.1.9 <i>Bastidor o chasis</i>. Constituye el soporte de todos los órganos principales del vehículo (motor, transmisión, suspensión sobre la que se apoya, dirección, ruedas, frenos).</p> <p>3.1.10 <i>Espacio de supervivencia</i>. 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 <math>S_R</math> de la figura 2 desde el punto <math>S_R</math> del último asiento exterior a través del punto <math>S_R</math> de cada asiento exterior intermedio hasta el punto <math>S_R</math> del primer asiento exterior del ocupante.</p> <p>NOTA 1.- La definición de buses de acuerdo a la NTE INEN ISO 3833 vigente.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <p>DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, buses, requisitos</p>		

**FIGURA 1. Vista transversal del espacio de supervivencia. (Ver nota 2)**

Especificación del espacio de supervivencia

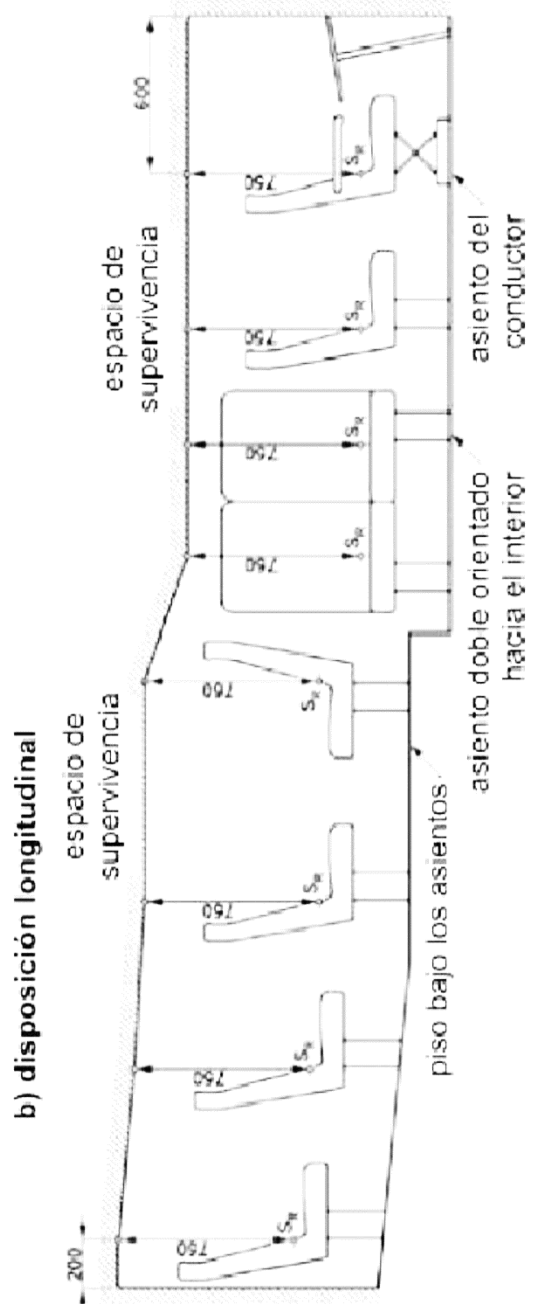
a) y c) disposiciones laterales



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.

(Continúa)

## 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	
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>

NOTA 5.- Tabla determinada al documento Norma 3.1-IC

(Continúa)



**5.1.1.3 Carga de frenado (F).** Se asume una desaceleración mayor o igual a  $4 \text{ m/s}^2$  (ver Nota 6).

**5.1.1.4 Carga de aceleración brusca (A<sub>v</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>a</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:

$$Raf = (1/2) \times (Cx) \times \rho \times Af \times V^2$$

Donde:

R<sub>a</sub> = Carga por resistencia Aerodinámica, en (N).

$\rho$  = Densidad del aire, en (kg/m<sup>3</sup>).

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)

**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>a</sub>

6: M + V + R<sub>a</sub>

7: M + V + A<sub>v</sub>

8: M + V + A<sub>v</sub> + R<sub>a</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>a</sub>

5: 1.2M + 0.5 V + 0.5F + 1.3R<sub>a</sub>

6: 1.2M + 1.5A<sub>v</sub> + 0.5V

7: 0.9M – 1.3R<sub>a</sub>

8: 0.9M + 1.3R<sub>a</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 (AISI).

**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 COMISION EUROPEA, Anexo 2, Ensayos de frenado y rendimiento de los dispositivos de frenado.

(Continúa)

**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)

## APENDICE Z

### Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

<p>Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 03:1989 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1155:2008</p> <p>Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1669:1990</p> <p>Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 3833:2008</p> <p>Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE 034:2008</p> <p>Reglamento a la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre.</p> <p>ASTM E 162 Standard Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Energy Source.</p> <p>AWS D1.2 Structural Welding Code- Aluminium.</p> <p>AWS D1.3 Structural Welding Code- Sheet Steel.</p> <p>AWS D1.6 Structural Welding Code- Stainless Steel.</p> <p>AWS D8.8M. Specification for Automotive weld quality-Arc Welding of Steel.</p> <p>AWS D8.14M/D8.14. Specification for automotive and light truck components weld quality aluminium arc welding.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>FMVSS 212. Federal Motors Vehicles Safety Standard 212. Windshield Mounting.</p> <p>ISO 3795. Road Vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry. Determination of burning behaviour of interior materials.</p> <p>Norma 3.1-IC: <i>Trazado</i>. 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.</p> <p>Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure</p> <p>Specification for Structural Steel Buildings. American Institute Steel Construction.</p> <p>North American Specification for the design of Cold Formed Steel-Structural Members. American Iron and Steel Institute.</p>	<p><i>Código de Dibujo Técnico Mecánico. Vehículos automotores. Dispositivos para mantener o mejorar la visibilidad. Primera Revisión.</i></p> <p><i>Vidrios de seguridad para automotores. Requisitos.</i></p> <p><i>Vehículos automotores. Tipos. Términos y definiciones. Primera Revisión.</i></p> <p><i>Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores.</i></p>
--	---

### 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		Fecha de aprobación: 2008-07-15
Integrantes del Subcomité Técnico:		
<b>NOMBRES:</b>	<b>INSTITUCIÓN REPRESENTADA:</b>	
Ing. Alexis Ortiz, (Presidente)	CIMEPI	
Ing. Christian Villacrés	IBIMCO	
Ing. Santiago Mena	CIMEPI	
Sr. Luis A. Mosquera T.	IMETAM C.A	
Sr. Pedro Santos	COOPERATIVA ARTESANAL DE PRODUCCIÓN DE CARROCERIAS METALICAS TUNGURAHUA-IMPEDSA. ARTESANOS	
Sr. Raúl Ruiz Dueñas	SIKA ECUATORIANA SA	
Sr. Johnny Lowndes	AUTEC S.A.	
Ing. Ángel Portilla	EPN-CCICEV	
Sr. Carlos Jácome	SERMAN	
Sr. Iván Paredes	CINAE	
Ing. Lenin Jimenez	I. MUNICIPIO DE LOJA- UMTTT-L	
Sr. Medardo Cepeda	CEPEDA CIA LTDA	
Sr. Ricardo Medina	AEADE	
Ing. James Casteline	METROVIA	
Arq. Vinicio Manzano	DIRECCIÓN NACIONAL DE TRÁNSITO	
Sr. Luis Patricio Pérez	METÁLICAS PAPER S	
Sr. Robert Velasco	ESPE	
Sr. Jorge Enrique Salgado.	LA CASA DEL PARABRISAS Y VIDRIERIA JS	
Sr. Carlos Laniano	ALUVID VENTANAS	
Sr. Raúl Morales	CHARLIE AUTOGLASS- CRISSETA	
Ing. Pedro Cabrera	UNIT-CUENCA	
Srte. Luis Palacios	DIRECCION NACIONAL DE TRANSITO Y TRANSPORTE TERRESTRE	
Sr. Jorge Ledesma	ATTE	
Sr. Bladimir Pico	PICOSA-CANFAC	
Ing. Luigi M. Lertora Velarde	CIMEG-COLEGIO DE ING. MEC. DEL GUAYAS	
Sr. Rubén Román	DINA-VOLKSWAGEN	
Sr. Francisco Borja	COVIAL	
Sr. Moisés Flores	FAIRIS C.A.	
Ing. Jorge Álvarez	CORPAIRE	
Sr. Vicente Chávez	CÁMARA DE TRANSPORTE – TRANSPORTES SAN CRISTOBAL	
Sr. Carlos Carchi	GLASSUIT LOJA	
Ing. Jorge Cevallos	D.N.T.	
Sr. Carlos Pillapa	CARROCERIAS PILLAPA	
Ing. José Sánchez López	STARMOTORS	

Ing. Marco Grijalva	GM OBB
Ing. Victor Paredes	MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
Ing. Elizabeth Guaman	CCICEV
Sr. Francisco Velasco	MOVIMIENTO JUSTICIA VIAL
Leda. Piedad Aguilar	CANFAC
Ing. Geovany Novillo A	ESPOCH- FACULTAD INGENIERIA MECANICA-
Sr. Clemente Ponce	AEADE
Sr. Victor Jimenez	COVIAL
Ing. Flavio Cotacachi	CONSEJO NACIONAL DE TRANSITO Y TRANSPORTE TERRESTRE
Ing. Patricio Lara	CCICEV
Sr. Marco Garcia	ATTE ASOCIACIÓN TRANSPORTE TURÍSTICO DEL ECUADOR
Ing. Pablo Viteri	NEOHYUNDAI
Ing. Alvaro Meza	CARROCERIAS PATRICIO CEPEDA
Srta. Myriam Salgado	LA CASA DEL PARABRISAS
Ing. Santiago Benavides	CIMEPI
Ing. John A. Quintana I.	CIMEG
Ing. Diego Dávila	ANETA
Dr. Freddy Sánchez	POLISAN
Ing. Santiago Vargas	YARMA S.A.
Ing. Carlos Landires	COLEGIO DE INGENIEROS MECANICOS DEL GUAYAS-CIMEG
Ing. Galo Espin	CRILAMIT S.A.
Ing. Angel Tierra	ESPOCH-FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Sr. Julio Llerena	CARROCERIAS JC LLERENA
Ing. Santiago Montero	SIKA
Ing. José Miranda	MIRAL
Ing. Santiago Moya	PICOSA
Sra. América Núñez	CARROCERIAS CUENCA
Ing. Antonio Chamorro	EMSAT
Sr. Marcelo Valencia r	DINA S.A.
Tlgo. Daniel Mosquera	IMETAM
Ing. Juan Revelo	ROOFTEC ECUADOR S.A.
Sr. Damián Llerena	CARROCERIAS JC LLERENA
Ing. Hugo Paredes, (Secretario Técnico)	INEN

Otros trámites: Esta NTE INEN 1323/2009 (Primera revisión), reemplaza a la NTE INEN 1323/1985.

♦ 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  
Direccion 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: [www.inen.gov.ec](http://www.inen.gov.ec)

## 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/wp29fdocrra.html>

### **Reglamento nº 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.

## INDICE

## 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 nº 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<sub>2</sub> o M<sub>3</sub>, 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<sub>2</sub> o M<sub>3</sub> 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).



- 2.7. Se entenderá por «homologación de un tipo de vehículo» el proceso oficial completo mediante el cual el tipo de vehículo se somete a control y a ensayo para demostrar que cumple todos los requisitos especificados en el presente Reglamento.
- 2.8. Se entenderá por «extensión de la homologación» el proceso oficial mediante el cual un tipo de vehículo modificado se homologa sobre la base de un tipo de vehículo previamente homologado, comparando los criterios de estructura, energía potencial y espacio residual.
- 2.9. Se entenderá por «vehículo articulado» el formado por dos o más secciones rígidas, articuladas entre sí, en el cual los compartimentos de viajeros de cada sección se intercomunican, de manera que los viajeros puedan desplazarse libremente por ellos; las secciones rígidas han de estar permanentemente conectadas y solo podrán separarse mediante una operación en la que se utilicen herramientas que normalmente solo se encuentren en un taller.
- 2.10. Se entenderá por «compartimento o compartimentos de viajeros» el espacio o espacios destinados a ser utilizados por los viajeros, salvo los ocupados por instalaciones fijas, como bares, cocinas o aseos.
- 2.11. Se entenderá por «compartimento del conductor» el espacio destinado al uso exclusivo del conductor, en el que se encuentren el asiento del conductor, el volante, los mandos, los instrumentos y otros dispositivos necesarios para conducir el vehículo.
- 2.12. Se entenderá por «dispositivo de retención» el dispositivo que, en caso de vuelco, mantenga unidos a su asiento a los viajeros, el conductor o los miembros del personal.
- 2.13. Se entenderá por «plano central longitudinal vertical» (VLCP), el plano vertical que atraviesa los puntos medios de la trayectoria del eje delantero y del eje trasero.
- 2.14. Se entenderá por «espacio de supervivencia» 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.
- 2.15. Se entenderá por «masa en orden de marcha» ( $M_0$ ) la masa del vehículo, sin ocupantes ni carga, pero con 75 kg de masa del conductor, la masa del combustible correspondiente al 90 % de la capacidad del depósito especificada por el fabricante y, en su caso, la masa del refrigerante, el lubricante, las herramientas y la rueda de repuesto.
- 2.16. Se entenderá por «masa total de los ocupantes» ( $M_{occ}$ ) la masa combinada de los viajeros y el personal que ocupe asientos equipados con dispositivos de retención.
- 2.17. Se entenderá por «masa total efectiva del vehículo» ( $M_0$ ) la masa en orden de marcha del vehículo ( $M_0$ ) combinada con la proporción ( $k = 0,5$ ) de la masa total de los ocupantes ( $M_{occ}$ ) que se considere que está firmemente sujeta al vehículo.
- 2.18. Se entenderá por «masa de cada ocupante» ( $M_{occ}$ ) la masa de un solo ocupante, cuyo valor es de 68 kg.
- 2.19. Se entenderá por «energía de referencia» ( $E_2$ ) la energía potencial del tipo de vehículo que se va a homologar, medida en relación con el nivel inferior horizontal de la cuneta en la posición inicial, inestable, del proceso de vuelco.
- 2.20. Se entenderá por «ensayo de vuelco de un vehículo completo» el ensayo realizado con un vehículo completo, a escala real, para probar la resistencia exigida de la superestructura.
- 2.21. Se entenderá por «banco de ensayo» el dispositivo técnico, compuesto por la plataforma de basculamiento, la cuneta y una superficie de cemento, utilizado en el ensayo de vuelco de un vehículo completo o de secciones de la carrocería.
- 2.22. Se entenderá por «plataforma de basculamiento» el plano rígido que puede rotar alrededor de un eje horizontal para hacer bascular a un vehículo completo o una sección de la carrocería.

- 2.23. Se entenderá por «carrocería» la estructura completa del vehículo en orden de marcha, incluidos todos los elementos estructurales que componen el compartimento o compartimentos de viajeros, el compartimento del conductor, el compartimento de equipajes y los espacios para las unidades y componentes mecánicos.
- 2.24. Se entenderá por «superestructura» los componentes de la carrocería que soportan la carga, con arreglo a la definición del fabricante, contienen las partes y elementos coherentes que contribuyen a la resistencia y la capacidad de absorción de energía de la carrocería y preservan el espacio de supervivencia en el ensayo de vuelco.
- 2.25. Se entenderá por «segmento» la sección estructural de la superestructura que forma una curva cerrada entre dos planos perpendiculares al plano central longitudinal vertical del vehículo. El segmento contiene un montante de ventana (o puerta) en cada lado del vehículo, así como elementos de la pared lateral, una sección de la estructura del techo y una sección de la estructura del piso y del falso piso.
- 2.26. Se entenderá por «sección de la carrocería» una unidad estructural que representa una parte de la superestructura a efectos del ensayo de homologación. Una sección de la carrocería contiene, al menos, dos segmentos unidos por elementos de conexión representativos (estructuras laterales, del techo y del falso piso).
- 2.27. Se entenderá por «sección original de la carrocería» una sección de la carrocería compuesta por dos o más segmentos que tengan exactamente la misma forma y posición relativa que presentan en el vehículo real. Los elementos de conexión entre los segmentos también estarán dispuestos exactamente igual a como lo están en el vehículo real.
- 2.28. Se entenderá por «sección artificial de la carrocería» una sección de la carrocería compuesta por dos o más segmentos, pero no colocados en la misma posición ni a la misma distancia unos de otros que en el vehículo real. Los elementos de conexión entre dichos segmentos no tendrán que ser idénticos a la estructura de la carrocería real, pero sí estructuralmente equivalentes.
- 2.29. Se entenderá por «parte rígida» una parte o elemento estructural que no presente una deformación ni una absorción de energía significativas durante el ensayo de vuelco.
- 2.30. Se entenderá por «zona plástica» una parte especial de la superestructura, limitada geoméricamente, en la cual, como resultado de fuerzas dinámicas de impacto:
- se concentren grandes deformaciones plásticas,
  - se produzca una distorsión esencial de la forma original (sección transversal, longitud u otra magnitud geométrica),
  - se produzca una pérdida de estabilidad, como consecuencia del pandeo local,
  - se absorba energía cinética debido a la deformación.
- 2.31. Se entenderá por «bisagra plástica» una zona plástica simple formada en un elemento tipo varilla (tubo sencillo, columna de ventana, etc.).
- 2.32. Se entenderá por «travesaño superior» la parte estructural longitudinal de la carrocería situada por encima de las ventanas laterales, que incluye la transición semicircular hacia la estructura del techo. En el ensayo de vuelco, el travesaño superior (en los autocares de dos pisos, el travesaño superior del piso superior) es el primero en golpear el suelo.
- 2.33. Se entenderá por «travesaño inferior» la parte estructural longitudinal de la carrocería situada por debajo de las ventanas laterales. En el ensayo de vuelco, el travesaño inferior (en los autocares de dos pisos, el travesaño inferior del piso superior) puede ser la segunda zona que entre en contacto con el suelo, tras la deformación inicial de la sección transversal del vehículo.
3. SOLICITUD DE HOMOLOGACIÓN
- 3.1. La solicitud de homologación de un tipo de vehículo con respecto a la resistencia de su superestructura la presentará el fabricante del vehículo o su representante debidamente acreditado al departamento administrativo.

- 3.2. Irá acompañada de los documentos mencionados a continuación, por triplicado, y de los datos siguientes:
- 3.2.1. los principales datos identificativos y parámetros del tipo de vehículo o grupo de tipos de vehículo:
- 3.2.1.1. los dibujos de la disposición general del tipo de vehículo, su carrocería y distribución interior, con las dimensiones principales; se indicará claramente qué asientos están equipados con dispositivos de retención para viajeros, así como las dimensiones precisas de su ubicación en el vehículo;
- 3.2.1.2. la masa en orden de marcha del vehículo y las cargas por eje correspondientes;
- 3.2.1.3. la posición exacta del centro de gravedad del vehículo sin carga, junto con el informe de medidas; para determinar la posición del centro de gravedad, se utilizarán los métodos de medición y cálculo descritos en el anexo 3;
- 3.2.1.4. la masa total efectiva del vehículo y las cargas por eje correspondientes;
- 3.2.1.5. la posición exacta del centro de gravedad de la masa total efectiva del vehículo, junto con el informe de medidas; para determinar la posición del centro de gravedad, se utilizarán los métodos de medición y cálculo descritos en el anexo 3;
- 3.2.2. la totalidad de los datos y la información necesarios para evaluar los criterios del peor caso en un grupo de tipos de vehículo:
- 3.2.2.1. el valor de la energía de referencia ( $E_N$ ), que es el resultado de multiplicar la masa del vehículo ( $M$ ) por la constante de gravedad ( $g$ ) y la altura ( $h_1$ ) del centro de gravedad, con el vehículo en posición de equilibrio inestable al inicio del ensayo de vuelco (véase la figura 3):

$$E_N = M \cdot g \cdot h_1 = M \cdot g \left[ 0,8 + \sqrt{h_0^2 + (B \pm t)^2} \right]$$

donde:

$M = M_k$ , la masa en orden de marcha del tipo de vehículo, si no está equipado con dispositivos de retención, o

$M_e$ , la masa total efectiva del vehículo, si está equipado con dispositivos de retención, y

$M_e = M_k + k \cdot M_{occ}$ , donde  $k = 0,5$  y  $M_{occ}$  es la masa total de los ocupantes de los asientos equipados con dispositivos de retención (véase el apartado 2.1.6)

$h_0$  = la altura (en metros) del centro de gravedad del vehículo para el valor de masa ( $M$ ) elegido

$t$  = la distancia perpendicular (en metros) del centro de gravedad del vehículo desde su plano central longitudinal vertical

$B$  = la distancia perpendicular (en metros) del plano central longitudinal vertical del vehículo al eje de rotación en el ensayo de vuelco

$g$  = la constante gravitacional

$h_1$  = la altura (en metros) del centro de gravedad del vehículo en su posición inicial, inestable, con respecto al plano inferior horizontal de la cuneta

- 3.2.2.2. los dibujos y la descripción detallada de la superestructura del tipo de vehículo o grupo de tipos de vehículo con arreglo al anexo 4;

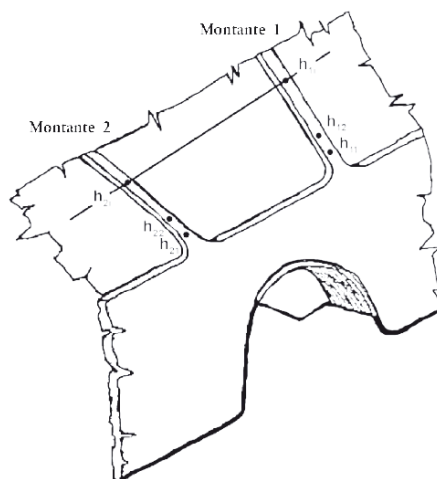
- 3.2.2.3. los dibujos detallados del espacio de supervivencia con arreglo al apartado 5.2 para cada tipo de vehículo que se vaya a homologar;
- 3.2.3. otra documentación, parámetros y datos detallados, dependiendo del método de ensayo de homologación elegido por el fabricante, con arreglo a lo descrito en los anexos 5, 6, 7, 8 y 9;
- 3.2.4. en el caso de un vehículo articulado, toda esta información se facilitará por separado para cada sección del tipo de vehículo, excepto por lo que se refiere al apartado 3.2.1.1, que hace referencia al vehículo completo.
- 3.3. Previa petición del servicio técnico, se presentará un vehículo completo (o un vehículo correspondiente a cada tipo de vehículo, si la homologación se solicita para un grupo de tipos de vehículo) para comprobar su masa en orden de marcha, las cargas por eje, la posición del centro de gravedad y cualquier otro dato o información pertinente para la resistencia de la superestructura.
- 3.4. Dependiendo del método de ensayo de homologación elegido por el fabricante, se presentarán al servicio técnico, previa petición de este, muestras adecuadas. La disposición y el número de muestras se acordarán con el servicio técnico. Cuando las muestras hayan sido sometidas a ensayo anteriormente, se presentarán los informes correspondientes.
4. HOMOLOGACIÓN
- 4.1. Si el tipo de vehículo o el grupo de tipos de vehículo presentados para homologación con arreglo al presente Reglamento cumplen los requisitos de la sección 5, se les concederá la homologación.
- 4.2. Se asignará un número de homologación a cada tipo de vehículo homologado. Los dos primeros dígitos (actualmente 02, que corresponden a la serie 02 de modificaciones) indicarán la serie de modificaciones que incluya los cambios técnicos importantes más recientes introducidos en el Reglamento en el momento en que se expidió la homologación. La misma Parte contratante no deberá asignar el mismo número a otro tipo de vehículo.
- 4.3. La homologación, o la denegación o extensión de la homologación, de un tipo de vehículo con arreglo al presente Reglamento se comunicará a las Partes en el Acuerdo que apliquen el presente Reglamento por medio de un impreso de comunicación (véase el anexo 1) y de los dibujos y diagramas facilitados por el solicitante de la homologación en el formato acordado entre el fabricante y el servicio técnico. Los documentos en papel deberán poder doblarse en formato A4 (210 mm × 297 mm).
- 4.4. Se colocará una marca de homologación internacional, de manera visible y en un lugar fácilmente accesible especificado en el formulario de homologación, en cada vehículo que se ajuste a un tipo de vehículo homologado con arreglo al presente Reglamento, que consistirá en:
  - 4.4.1. un círculo con la letra mayúscula «E» en su interior, seguido del número distintivo del país que haya concedido la homologación <sup>(1)</sup>;

(<sup>1</sup>) 1 para Alemania, 2 para Francia, 3 para Italia, 4 para los Países Bajos, 5 para Suecia, 6 para Bélgica, 7 para Hungría, 8 para Chequia, 9 para España, 10 para Serbia, 11 para el Reino Unido, 12 para Austria, 13 para Luxemburgo, 14 para Suiza, 15 (sin asignar), 16 para Noruega, 17 para Finlandia, 18 para Dinamarca, 19 para Rumanía, 20 para Polonia, 21 para Portugal, 22 para Rusia, 23 para Grecia, 24 para Irlanda, 25 para Croacia, 26 para Eslovenia, 27 para Eslovaquia, 28 para Belarús, 29 para Estonia, 30 (sin asignar), 31 para Bosnia y Herzegovina, 32 para Letonia, 33 (sin asignar), 34 para Bulgaria, 35 (sin asignar), 36 para Lituania, 37 para Turquía, 38 (sin asignar), 39 para Azerbaián, 40 para la Antigua República Yugoslava de Macedonia, 41 (sin asignar), 42 para la Comunidad Europea (sus Estados miembros conceden las homologaciones utilizando su símbolo CEPE respectivo), 43 para Japón, 44 (sin asignar), 45 para Australia, 46 para Ucrania, 47 para Sudáfrica, 48 para Nueva Zelanda, 49 para Chipre, 50 para Malta, 51 para la República de Corea, 52 para Malasia, 53 para Tailandia, 54 y 55 (sin asignar), 56 para Montenegro y 58 para Túnez. Se asignarán números consecutivos a otros países en el orden cronológico en el que ratifiquen el Acuerdo sobre la adopción de prescripciones técnicas uniformes aplicables a los vehículos de ruedas y los equipos y piezas que puedan montarse o utilizarse en estos, y sobre las condiciones de reconocimiento recíproco de las homologaciones concedidas conforme a dichas prescripciones, o se adhieran a dicho Acuerdo, y el Secretario General de las Naciones Unidas comunicará los números así asignados a las Partes en el Acuerdo.

- 4.4.2. el número del presente Reglamento, seguido de la letra «R», un guión y el número de homologación a la derecha del círculo establecido en el apartado 4.4.1.
- 4.5. La marca de homologación deberá ser claramente legible e indeleble.
- 4.6. La marca de homologación se situará en la placa de datos del vehículo colocada por el fabricante, o cerca de la misma.
- 4.7. En el anexo 2 del presente Reglamento figura un ejemplo de marca de homologación.
5. ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS GENERALES
- 5.1. Requisitos
- La superestructura del vehículo tendrá la resistencia suficiente como para garantizar que el espacio de supervivencia no resulte dañado durante el ensayo de vuelco del vehículo completo ni una vez finalizado este; es decir:
- 5.1.1. ninguna parte del vehículo que se encuentre fuera del espacio de supervivencia al inicio del ensayo (por ejemplo, montantes, anillas 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);
- 5.1.2. ninguna parte del espacio de supervivencia deberá sobresalir del contorno de la estructura deformada; el contorno de la estructura deformada se determinará secuencialmente, entre cada montante de ventana o puerta adyacente; el contorno entre dos montantes deformados será una superficie teórica, determinada por líneas rectas, que conecte los puntos del contorno interior de los montantes que se encontraban a la misma altura sobre el nivel del piso antes del ensayo de vuelco (véase la figura 1).

Figura 1

## Especificación del contorno de la estructura deformada



- 5.2. Espacio de supervivencia
- El envoltorio 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 2a) y 2c) y desplazándolo por la longitud del vehículo [véase la figura 2b)], como se describe a continuación:

- 5.2.1. el punto  $S_R$  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;
- 5.2.2. cuando los dos lados del vehículo no sean simétricos con respecto a la disposición del piso y, por tanto, la altura de los puntos  $S_R$  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 2c)];
- 5.2.3. la posición más atrasada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado 200 mm por detrás del punto  $S_R$  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  $S_R$ ;

la posición más adelantada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado 600 mm por delante del punto  $S_R$  del asiento más adelantado (ya sea de viajero, conductor o miembro del personal) del vehículo, colocado en su posición más adelantada;

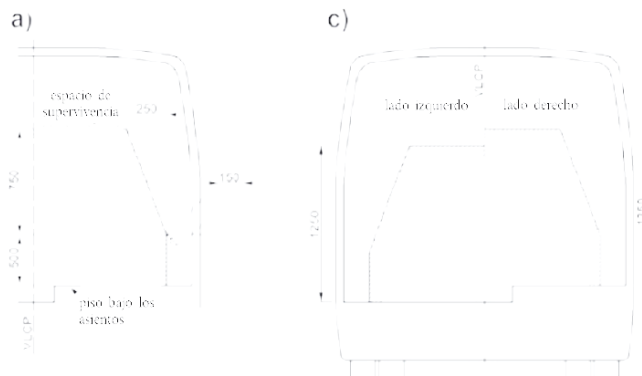
si el asiento más adelantado y el más atrasado en los dos lados del vehículo no se encuentran en los mismos planos transversales, la longitud del espacio de supervivencia en cada lado será diferente;

- 5.2.4. 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  $S_R$  situados a ambos lados del vehículo, el plano transversal vertical definido: detrás del punto  $S_R$  del asiento más atrasado y delante del punto  $S_R$  del asiento más adelantado las líneas rectas son horizontales;
- 5.2.5. 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.

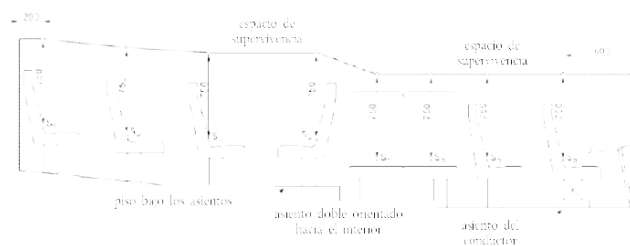
Figura 2

## Especificación del espacio de supervivencia

a) y c) disposiciones laterales



## b) disposición longitudinal



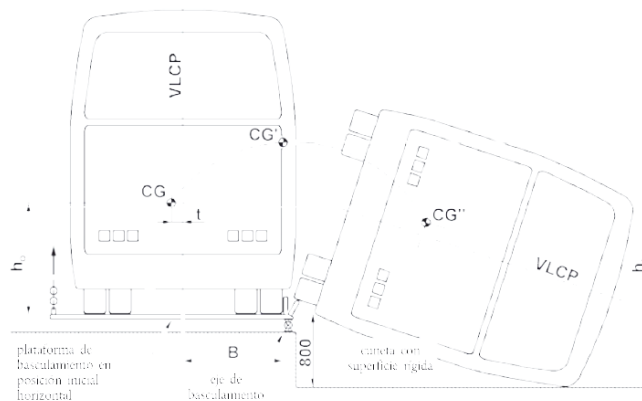
## 5.3. Especificación del ensayo de vuelco de un vehículo completo como método básico de homologación

El ensayo de vuelco es un ensayo de basculamiento lateral (véase la figura 3) que se desarrolla como sigue:

- 5.3.1. 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;
- 5.3.2. 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 el apartado 3.2.2.1 y la figura 3);
- 5.3.3. el vehículo cae de lado en una cuneta con superficie de cemento, horizontal, seca y lisa, cuya profundidad nominal es de 800 mm;
- 5.3.4. en el anexo 5 figuran las especificaciones técnicas detalladas del ensayo de vuelco de un vehículo completo como ensayo básico de homologación.

Figura 3

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



- 5.4. 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:
- 5.4.1. ensayo de vuelco de secciones de la carrocería representativas del vehículo completo, de conformidad con las especificaciones del anexo 6;
- 5.4.2. ensayos de carga cuasiestática de secciones de la carrocería, de conformidad con las especificaciones del anexo 7;
- 5.4.3. cálculos cuasiestáticos basados en los resultados de ensayos de componentes, de conformidad con las especificaciones del anexo 8;
- 5.4.4. simulación por ordenador (mediante cálculos dinámicos) del ensayo básico de vuelco de un vehículo completo, de conformidad con las especificaciones del anexo 9;
- 5.4.5. 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.
- 5.5. Ensayo de vehículos articulados  
En el caso de un vehículo articulado, cada una de sus secciones rígidas cumplirá los requisitos generales especificados en el apartado 5.1. Cada sección rígida de un vehículo articulado podrá someterse a ensayo por separado o en combinación, con arreglo a lo descrito en el anexo 5, punto 2.3, o en el anexo 3, punto 2.6.7.
- 5.6. Dirección del ensayo de vuelco  
El ensayo de vuelco se llevará a cabo en el lado del vehículo que sea más peligroso con respecto al espacio de supervivencia. La decisión la tomará el servicio técnico basándose en la propuesta del fabricante y teniendo en cuenta, como mínimo, los elementos siguientes:
- 5.6.1. la excentricidad lateral del centro de gravedad y su efecto sobre la energía de referencia en la posición inicial, inestable, del vehículo (véase el apartado 3.2.2.1);
- 5.6.2. la asimetría del espacio de supervivencia (véase el apartado 5.2.2);
- 5.6.3. las características de construcción diferentes y asimétricas de los dos lados del vehículo y el soporte que proporcionan los tabiques o habitáculos internos (por ejemplo, el ropero, el aseo o la cocina). El lado con menos soporte será el elegido como dirección del ensayo de vuelco.
6. MODIFICACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN DE UN TIPO DE VEHICULO
- 6.1. Toda modificación de un tipo de vehículo homologado deberá notificarse al departamento administrativo que concedió la homologación. A continuación, dicho departamento podrá:
- 6.1.1. admitir que no es probable que las modificaciones introducidas tengan un efecto apreciable y que, en cualquier caso, el tipo de vehículo modificado sigue cumpliendo los requisitos del presente Reglamento y forma parte del mismo grupo de tipos de vehículo que el tipo de vehículo homologado;
- 6.1.2. exigir un nuevo informe de ensayo al servicio técnico responsable de llevar a cabo los ensayos, para demostrar que el nuevo tipo de vehículo cumple los requisitos del presente Reglamento y forma parte del mismo grupo de tipos de vehículo que el tipo de vehículo homologado, o
- 6.1.3. denegar la extensión de la homologación y exigir que se lleve a cabo un nuevo procedimiento de homologación.



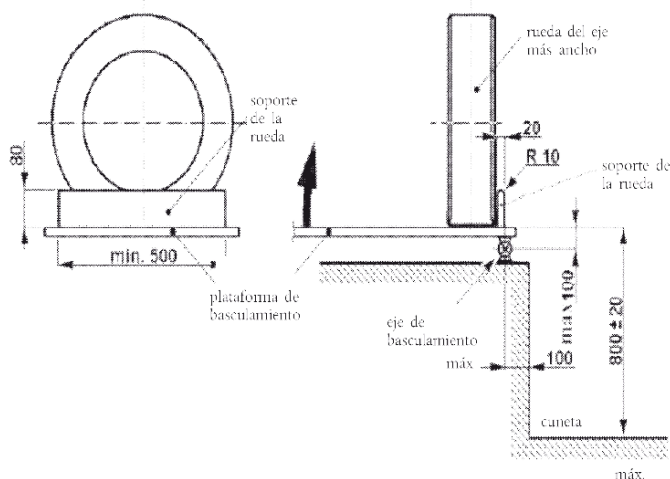
## ANEXO 5

## 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  $S_{00} = 20$  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



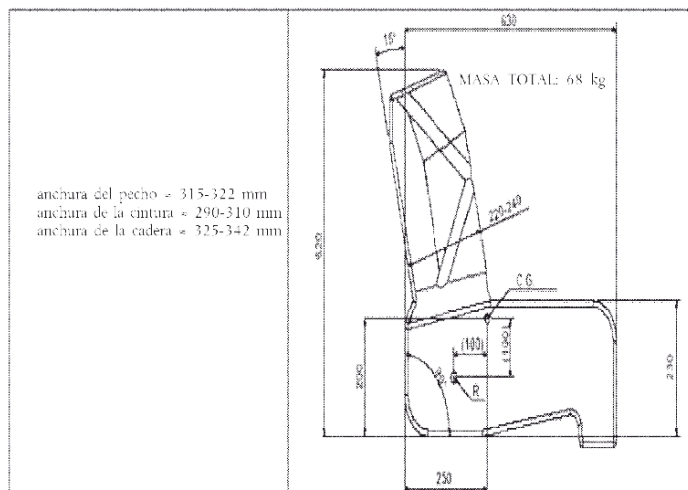
- 1.4. Los soportes de las ruedas se aplicarán a las ruedas cercanas al eje de rotación para evitar que el vehículo se deslice hacia los lados al bascular. Las características principales de los soportes de las ruedas (véase la figura A5.1) serán las siguientes:
  - 1.4.1. dimensiones del soporte de 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. (isto 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 ( $M_{mi}$ ) 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, galíbos 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

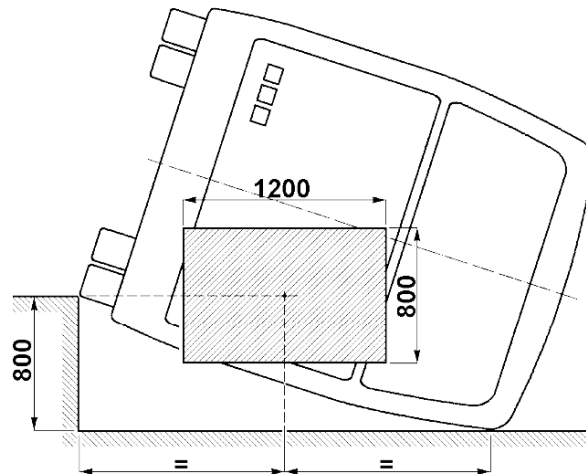
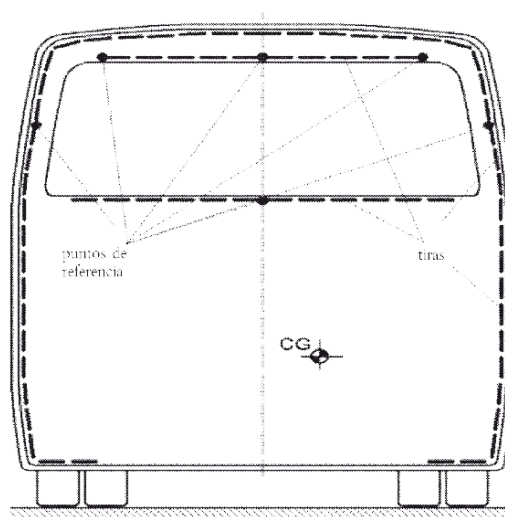


Figura A5.3b

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.

## Apéndice

**Determinación del movimiento vertical del centro de gravedad durante el vuelco**

El movimiento vertical ( $\Delta h$ ) del centro de gravedad en relación con el ensayo de vuelco podrá determinarse mediante el método gráfico que figura a continuación:

1. utilizando dibujos a escala de la sección transversal del vehículo, se determina la altura inicial ( $h_1$ ) del centro de gravedad (posición 1) por encima del plano inferior de la cuneta correspondiente al vehículo situado en su punto de equilibrio inestable sobre la plataforma de basculamiento (véase la figura A7.A1.1);
2. partiendo del supuesto de que la sección transversal del vehículo gira alrededor del borde de los soportes de la rueda (punto A de la figura A7.A1.1), se dibuja la sección transversal del vehículo con el travesaño superior solo tocando el plano inferior de la cuneta (véase la figura A7.A1.2); en esta posición, se determina la altura ( $h_2$ ) del centro de gravedad (posición 2) relativa al plano inferior de la cuneta.

Figura A7.A1.1

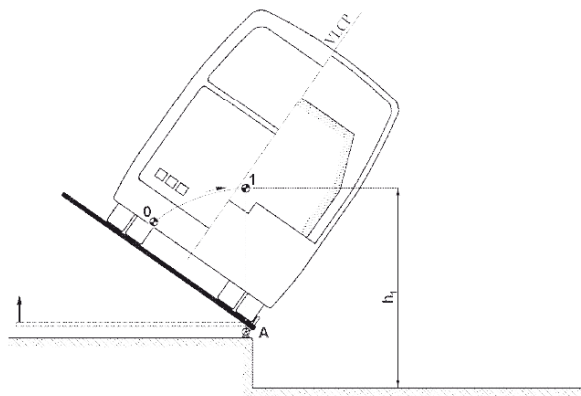
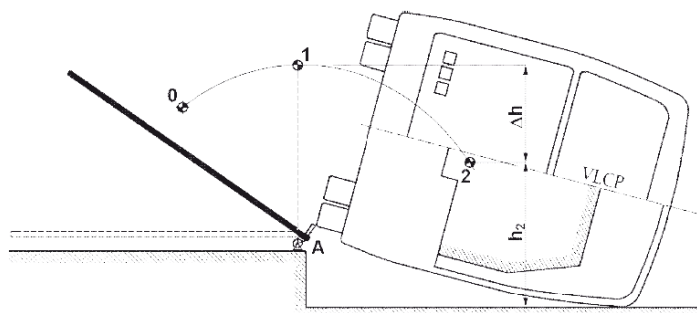


Figura A7.A1.2

**Determinación del movimiento vertical del centro de gravedad del vehículo**

3. El movimiento vertical del centro de gravedad ( $\Delta h$ ) es:

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

4. Si se somete a ensayo más de una sección de la carrocería y cada sección tiene una forma deformada final diferente, se determinará el movimiento vertical del centro de gravedad ( $\Delta h_i$ ) para cada una de las secciones y se tomará el valor medio combinado ( $\Delta h$ ) como:

$$\Delta h = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \Delta h_i$$

donde:

$\Delta h_i$  = el movimiento vertical del centro de gravedad de la sección de la carrocería  $i$ -ésima

$k$  = el número de secciones de la carrocería sometidas a ensayo.

## ANEXO 9

**SIMULACIÓN POR ORDENADOR DEL ENSAYO DE VUELCO DE UN VEHÍCULO COMPLETO COMO MÉTODO DE HOMOLOGACIÓN EQUIVALENTE**

## 1. Datos e información adicionales

Para demostrar que la superestructura cumple los requisitos de los apartados 5.1.1 y 5.1.2 del presente Reglamento, puede utilizarse un método de simulación informática homologado por el servicio técnico.

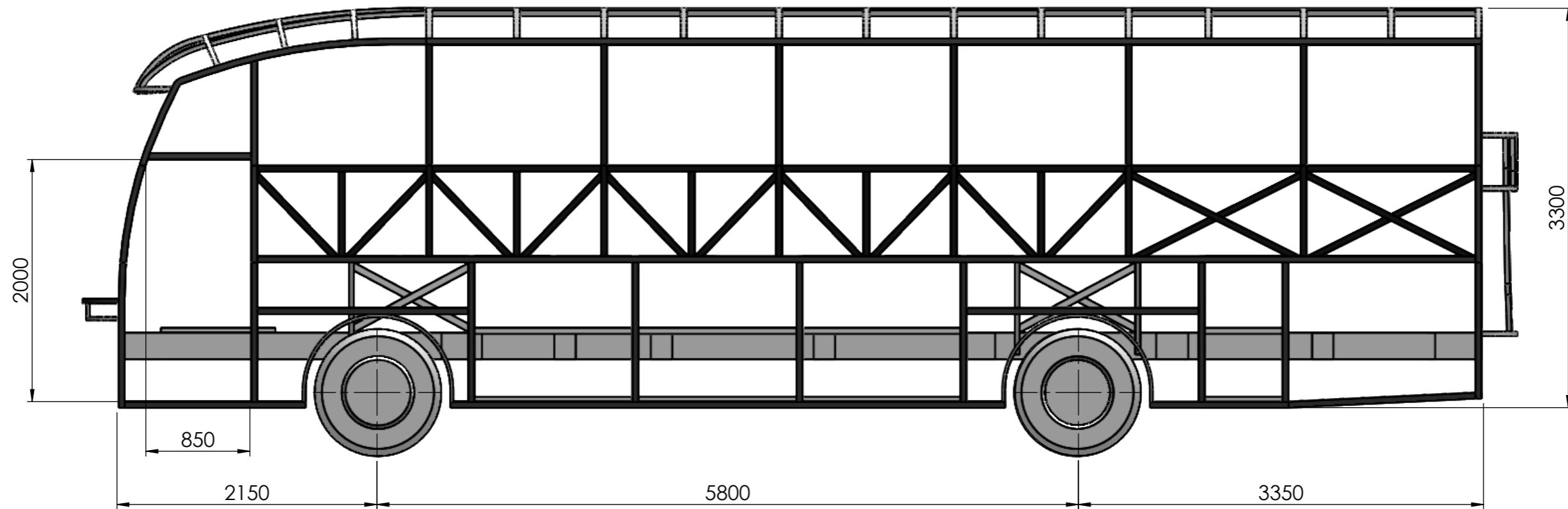
Si el fabricante opta por este método de ensayo, además de los datos y los dibujos enumerados en el apartado 3.2 del presente Reglamento, se facilitará al servicio técnico la información siguiente:

- 1.1. una descripción de la simulación aplicada y el método de cálculo que se ha utilizado, así como la identificación clara y precisa del software de análisis, que incluya, como mínimo, el nombre del fabricante, la marca comercial, la versión utilizada y los datos de contacto del desarrollador;
  - 1.2. los modelos de material y los datos de alimentación utilizados;
  - 1.3. los valores de las masas, el centro de gravedad y los momentos de inercia definidos que se han utilizado en el modelo matemático.
2. El modelo matemático
- Se utilizará un modelo que permita describir el comportamiento físico real del proceso de vuelco de conformidad con el anexo 5. Dicho modelo, y los supuestos prescritos, estarán configurados de manera que el cálculo ofrezca resultados conservadores. Se establecerá el modelo a partir de las siguientes consideraciones:
- 2.1. el servicio técnico podrá exigir que se realicen ensayos de la estructura del vehículo real para demostrar la validez del modelo matemático y verificar los supuestos establecidos en el modelo;
  - 2.2. la masa total y la posición del centro de gravedad utilizados en el modelo matemático deberán ser idénticas a las del vehículo que se quiere homologar;
  - 2.3. la distribución de la masa en el modelo matemático corresponderá al vehículo que se quiere homologar; los momentos de inercia utilizados en el modelo matemático se calcularán sobre la base de dicha distribución de la masa.
3. Requisitos del algoritmo y el programa de simulación, así como del equipo informático
- 3.1. Se especificarán la posición del vehículo en equilibrio inestable en el punto de vuelco y la posición al primer contacto con el suelo. El programa de simulación podrá empezar en la posición de equilibrio inestable y, a más tardar, en el punto de primer contacto con el suelo.
  - 3.2. Las condiciones iniciales en el punto de primer contacto con el suelo se establecerán utilizando el cambio de energía potencial desde la posición de equilibrio inestable.
  - 3.3. El programa de simulación funcionará, como mínimo, hasta que se alcance la máxima deformación.
  - 3.4. El programa de simulación generará una solución estable en la que el resultado sea independiente del incremento temporal.
  - 3.5. Se utilizará un programa de simulación que permita calcular los componentes energéticos para el equilibrio de la energía en cada incremento temporal.
  - 3.6. Los componentes energéticos no físicos introducidos mediante el proceso de modelación matemática (por ejemplo, «reloj de arena» y amortiguamiento interno) no excederán en ningún momento del 5 % de la energía total.
  - 3.7. El coeficiente de fricción utilizado en el contacto con el suelo se validará con resultados de ensayos físicos, o el cálculo demostrará que el coeficiente de fricción elegido genera resultados conservadores.
  - 3.8. En el modelo matemático se tendrán en cuenta todos los posibles contactos físicos entre las partes del vehículo.
4. Evaluación de la simulación
- 4.1. Cuando se cumplan los requisitos establecidos para el programa de simulación, la simulación de los cambios en la geometría de la estructura interior y la comparación con la forma geométrica del espacio de supervivencia podrán evaluarse con arreglo a los apartados 5.1 y 5.2 del presente Reglamento.
  - 4.2. Si no se invade el espacio de supervivencia durante la simulación del vuelco, se concederá la homologación.
  - 4.3. Si se invade el espacio de supervivencia durante la simulación del vuelco, se denegará la homologación.

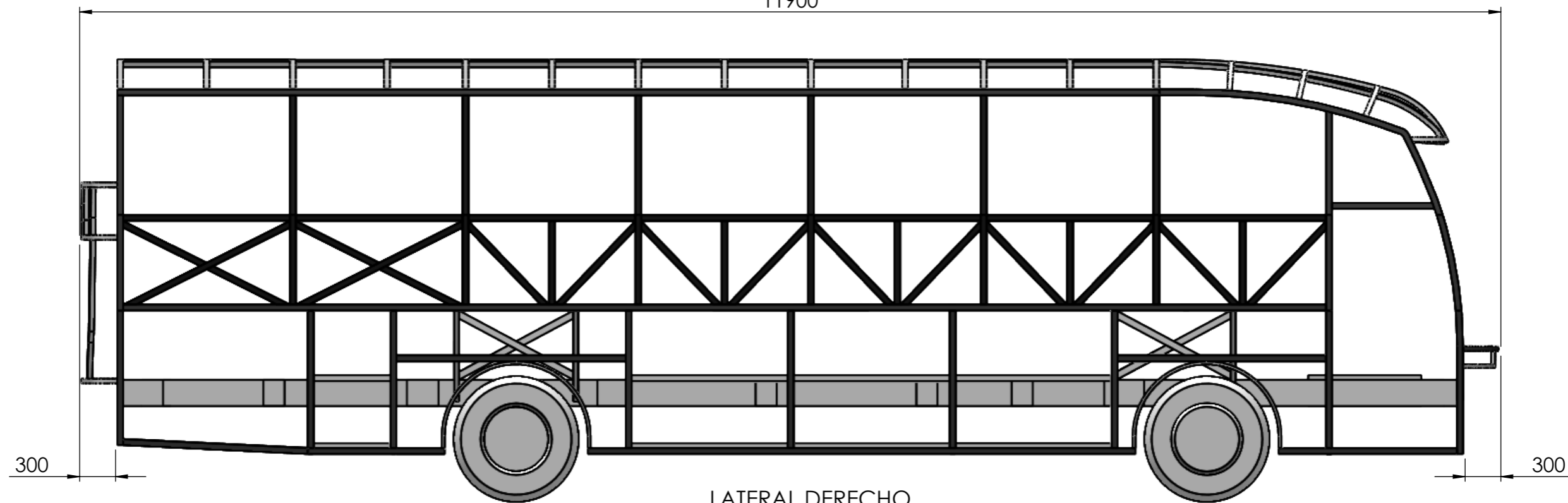


5. Documentación
  - 5.1. El informe sobre la simulación contendrá la información siguiente:
    - 5.1.1. la totalidad de los datos y la información enumerados en el punto 1 del presente anexo;
    - 5.1.2. una ilustración del modelo matemático de la superestructura;
    - 5.1.3. una declaración de los valores de ángulo, velocidad y velocidad angular en la posición de equilibrio inestable del vehículo y en la posición de primer contacto con el suelo;
    - 5.1.4. un cuadro del valor de la energía total y los valores de todos sus componentes (energía cinética, energía interna y energía de "reloj de arena"), a incrementos temporales de 1 ms que cubran, al menos, el periodo que va desde el primer contacto con el suelo hasta que se alcance la deformación máxima;
    - 5.1.5. el coeficiente supuesto de fricción del suelo;
    - 5.1.6. los gráficos o datos que muestren, de manera adecuada, que se cumplen los requisitos de los apartados 5.1.1 y 5.1.2 del presente Reglamento; este requisito podrá cumplirse facilitando un gráfico, en función del tiempo, de la distancia entre el contorno interior de la estructura deformada y los márgenes del espacio de supervivencia;
    - 5.1.7. una declaración de si se cumplen o no los requisitos de los apartados 5.1.1 y 5.1.2 del presente Reglamento;
    - 5.1.8. la totalidad de los datos y la información necesarios para identificar claramente el tipo de vehículo, su superestructura, el modelo matemático de la superestructura y el propio cálculo.
  - 5.2. Se recomienda que el informe también contenga gráficos de la estructura deformada en el momento en el que se alcance la máxima deformación, que ofrezcan una visión general de la superestructura y de las zonas de amplia deformación plástica.
  - 5.3. A petición del servicio técnico, se facilitará e incluirá en el informe más información.
-

**Anexo 2. Planos de las estructuras con motor delantero y posterior**

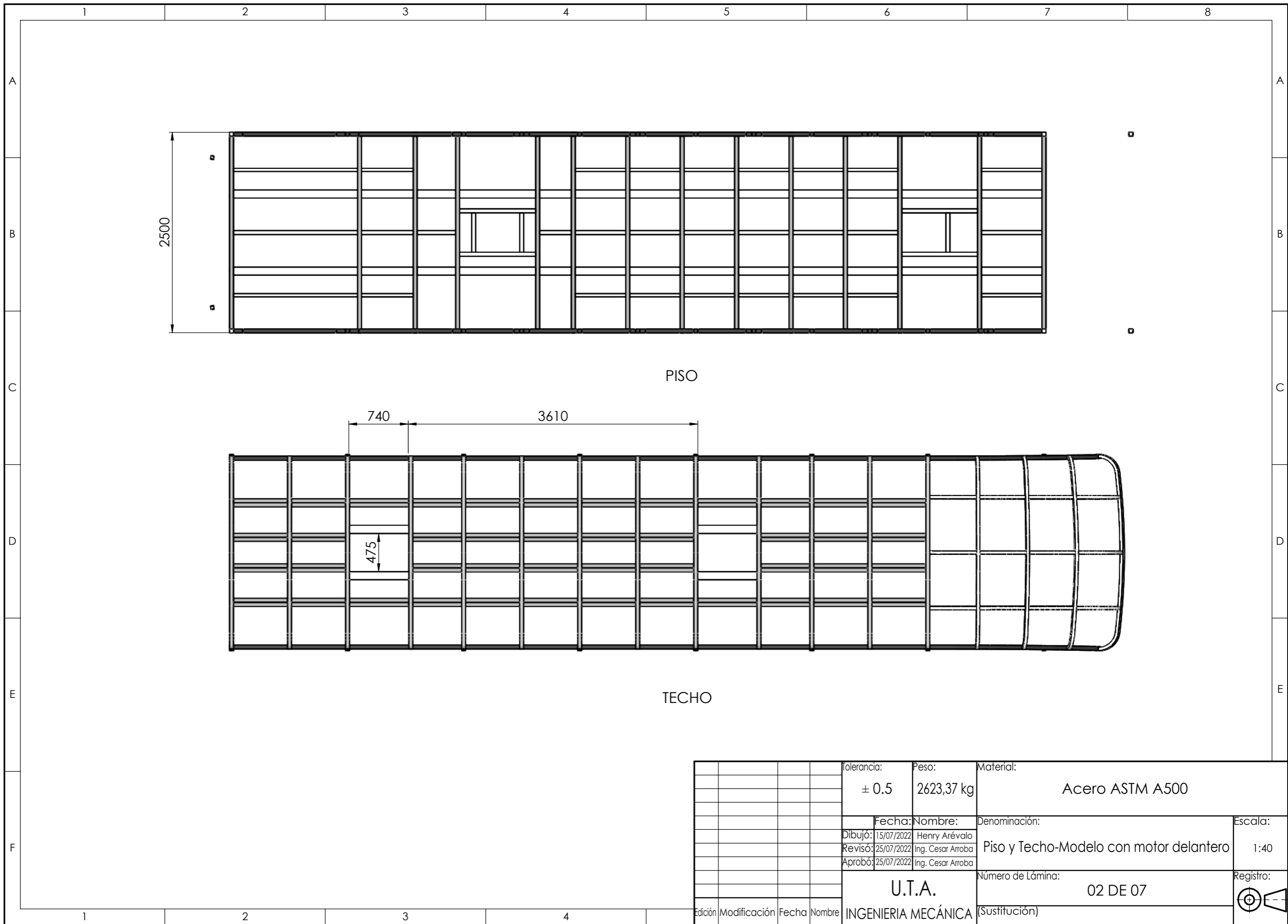


LATERAL IZQUIERDO  
11900



LATERAL DERECHO

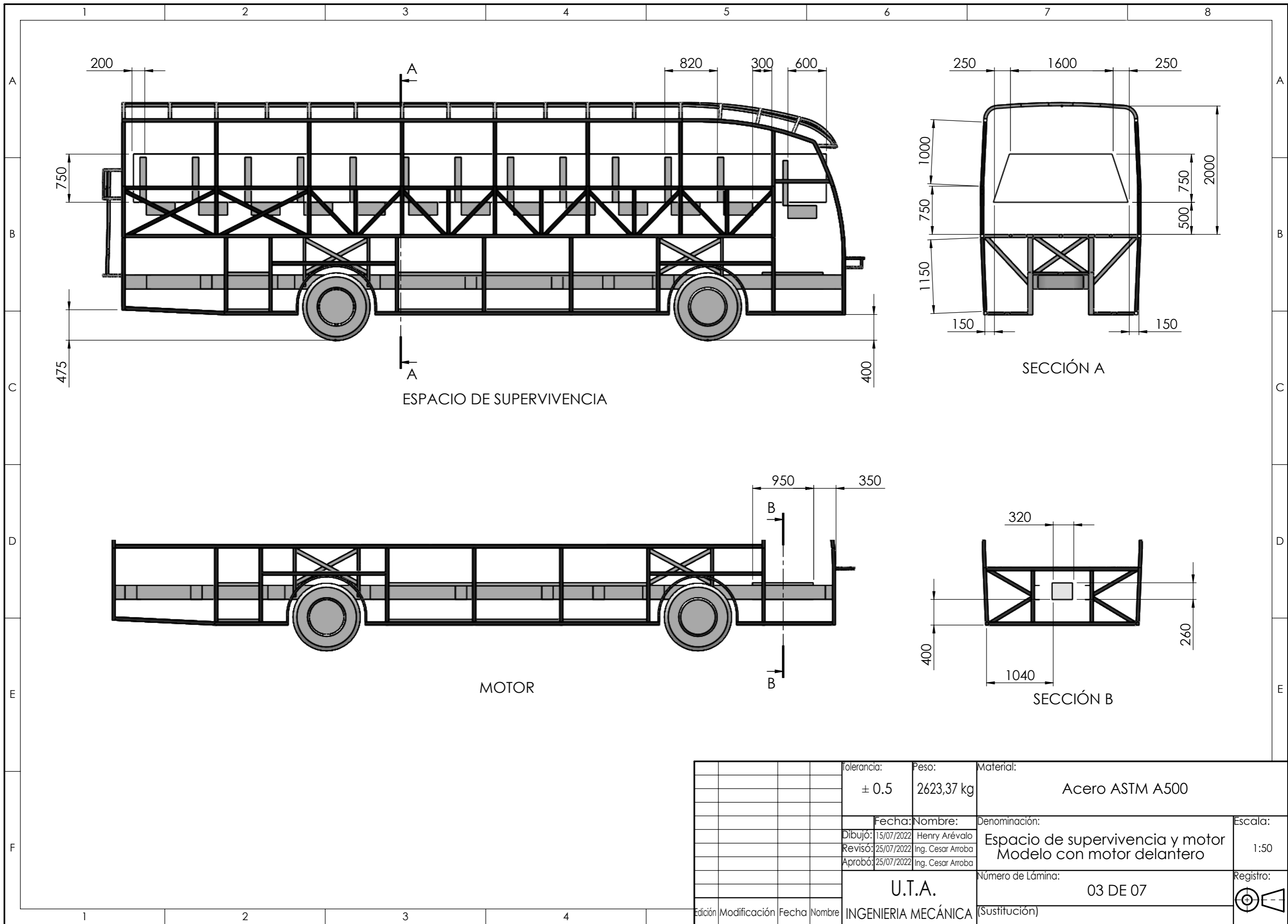
				Tolerancia: ± 0.5	Peso: 2623,37 kg	Material: Acero ASTM A500	
				Fecha: Dibujó: 15/07/2022	Nombre: Henry Arévalo	Denominación: Laterales -Modelo con motor delantero	Escala: 1:40
				Revisó: 25/07/2022	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó: 25/07/2022	Ing. Cesar Arroba		
				U.T.A.		Número de Lámina: 01 DE 07	Registro: ⊕
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERIA MECÁNICA		(Sustitución)	



PISO

TECHO

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				± 0.5	2623,37 kg	Acero ASTM A500	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 15/07/2022	Henry Arévalo	Piso y Techo-Modelo con motor delantero	1:40
				Revisó: 25/07/2022	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó: 25/07/2022	Ing. Cesar Arroba		
				U.T.A.		Número de Lámina:	Registro:
				INGENIERIA MECÁNICA		02 DE 07	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)			



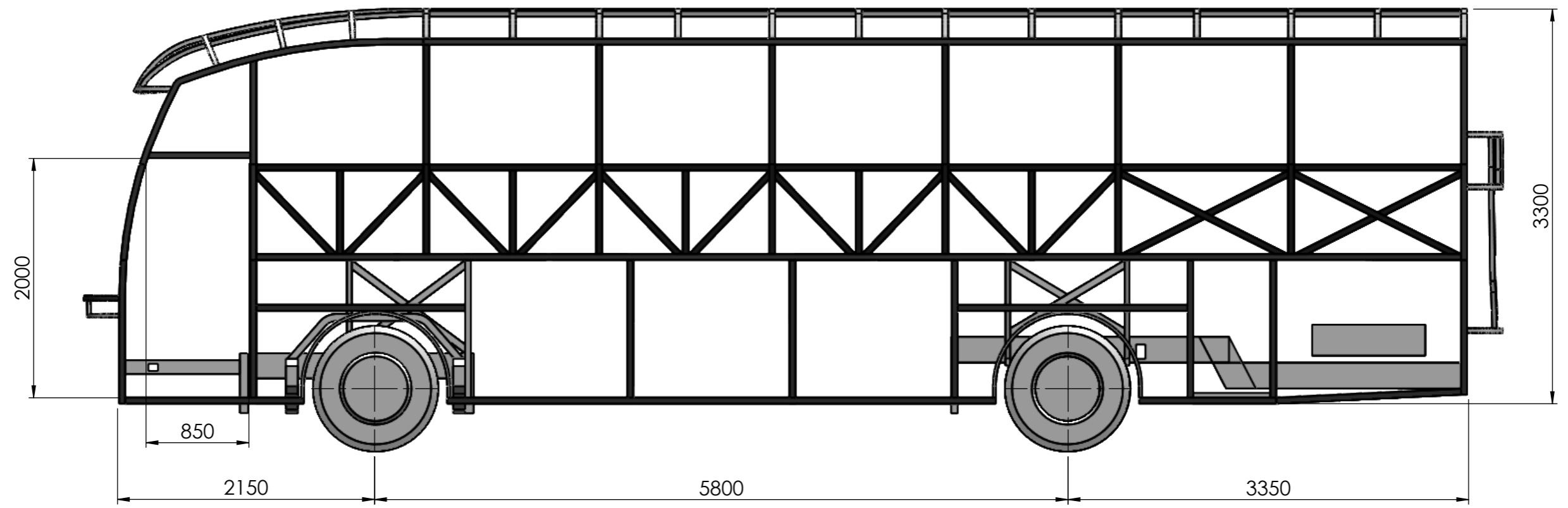
ESPCIO DE SUPERVIVENCIA

MOTOR

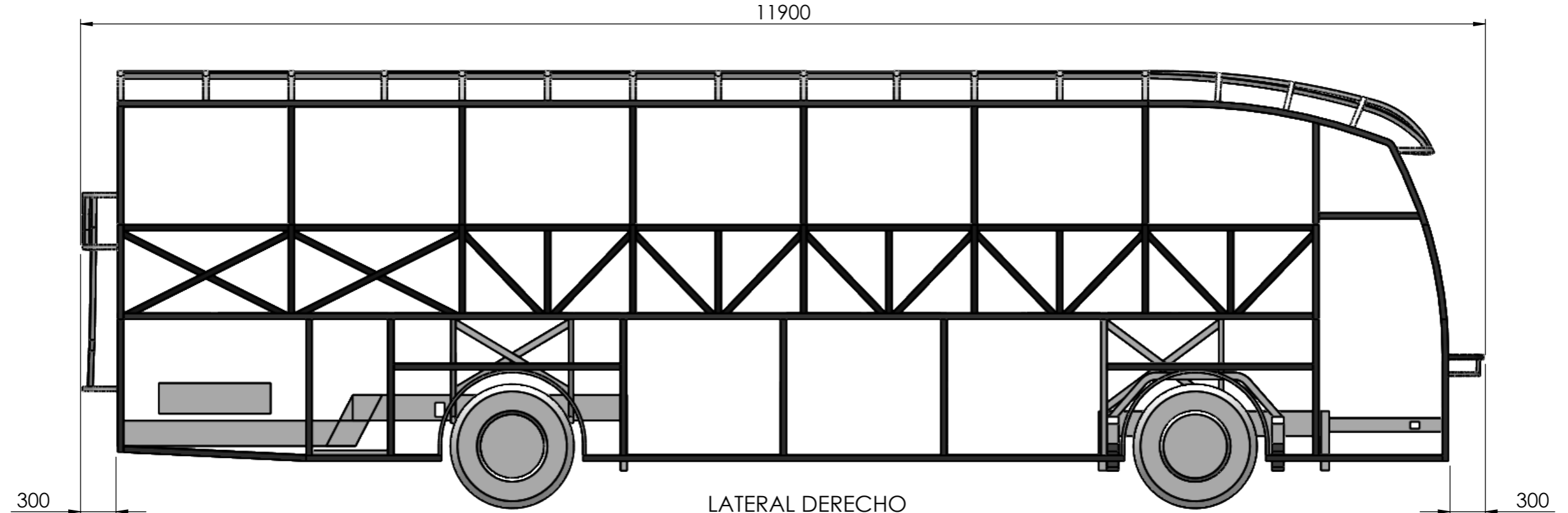
SECCIÓN A

SECCIÓN B

				Tolerancia: ± 0.5	Peso: 2623,37 kg	Material: Acero ASTM A500	
				Fecha: Dibujó: 15/07/2022 Revisó: 25/07/2022 Aprobó: 25/07/2022	Nombre: Henry Arévalo Ing. Cesar Arroba Ing. Cesar Arroba	Denominación: Espacio de supervivencia y motor Modelo con motor delantero	Escala: 1:50
				U.T.A.		Número de Lámina: 03 DE 07	Registro: 
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERIA MECÁNICA		(Sustitución)	

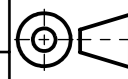


LATERAL IZQUIERDO

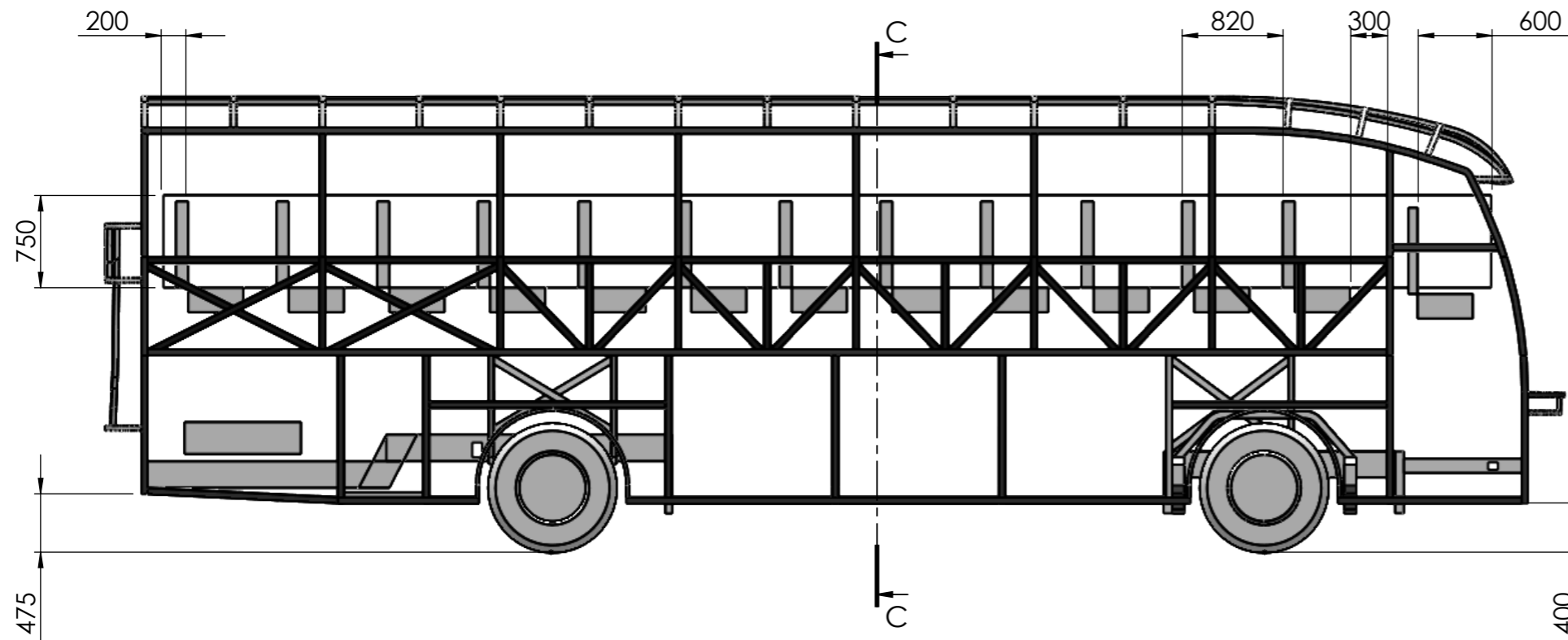


LATERAL DERECHO

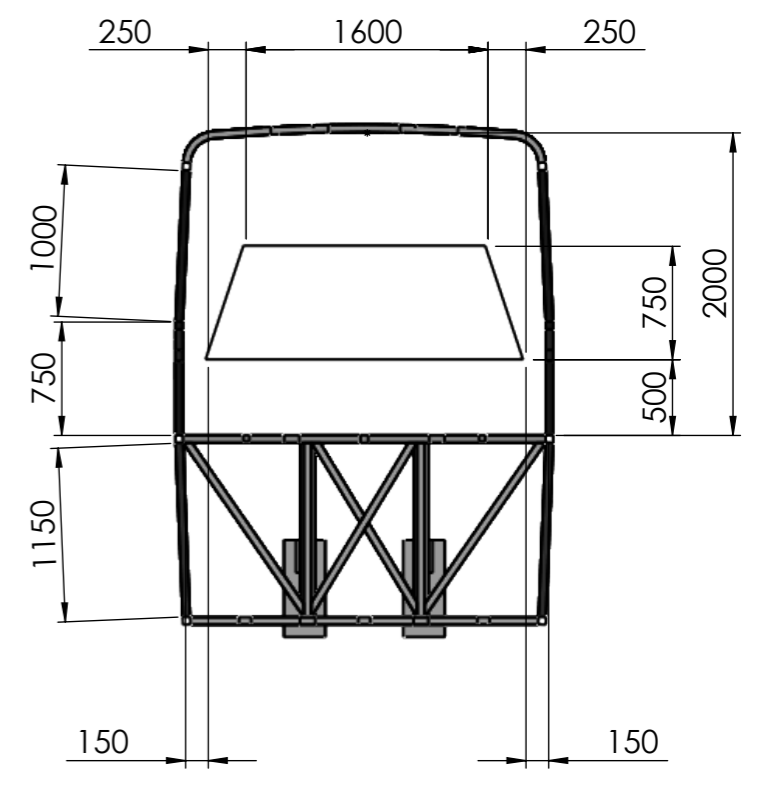
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				± 0.5	2629,36 kg	Acero ASTM A500	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	
				Dibujó: 15/07/2022	Henry Arévalo	Laterales - Modelo con motor posterior	
				Revisó: 25/07/2022	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó: 25/07/2022	Ing. Cesar Arroba		
				U.T.A.		Número de Lámina:	Registro:
				INGENIERIA MECÁNICA		04 DE 07	(Sustitución)
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



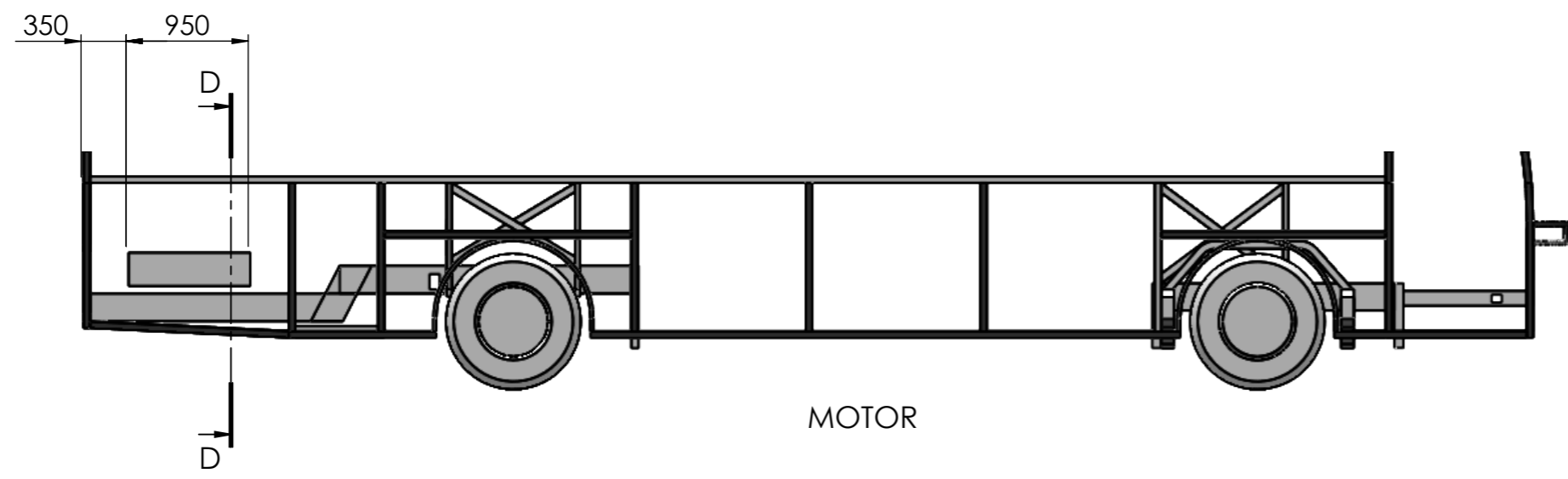




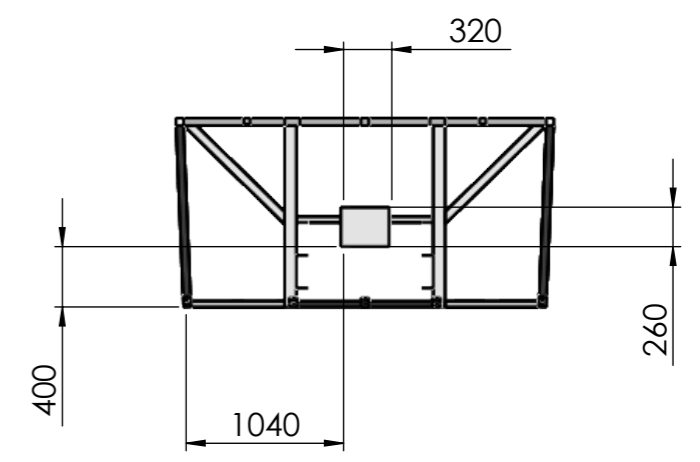
ESPACIO DE SUPERVIVENCIA



SECCIÓN C



MOTOR



SECCIÓN D

		Tolerancia:	Peso:	Material:	
		± 0.5	2629,36 kg	Acero ASTM A500	
		Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
		Dibujó: 15/07/2022	Henry Arévalo	Espacio de supervivencia y motor Modelo con motor posterior	1:50
		Revisó: 25/07/2022	Ing. Cesar Arroba		
		Aprobó: 25/07/2022	Ing. Cesar Arroba		
		U.T.A.		Número de Lámina:	Registro:
		INGENIERIA MECÁNICA		06 DE 07	(Sustitución)
Edición	Modificación	Fecha	Nombre		



