

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Mecánico Automotriz*

PROYECTO TÉCNICO:

**“ANÁLISIS DE VUELCO DE LA ESTRUCTURA DE UN BUS DE
DOS PISOS DE SERVICIO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS
INTERPROVINCIAL”**

AUTOR:

JIMMY RICARDO BRITO MOROCHO

TUTOR:

ING. MARCO ESTEBAN AMAYA PINOS, MSc.

CUENCA – ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Jimmy Ricardo Brito Morocho con documento de identificación N° 0106478456, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE VUELCO DE LA ESTRUCTURA DE UN BUS DE DOS PISOS DE SERVICIO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS INTERPROVINCIAL”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En la aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, septiembre del 2020



Jimmy Ricardo Brito Morocho

C.I. 0106478456

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE VUELCO DE LA ESTRUCTURA DE UN BUS DE DOS PISOS DE SERVICIO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS INTERPROVINCIAL”**, realizado por Jimmy Ricardo Brito Morocho, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulado por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, septiembre del 2020



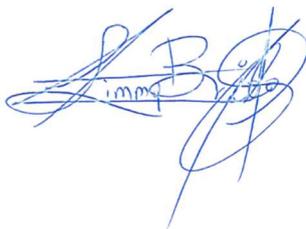
Ing. Marco Estaban Amaya Pinos, MSc.

C.I. 0102263480

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Jimmy Ricardo Brito Morocho con documento de identificación N° 0106478456, autor del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE VUELCO DE LA ESTRUCTURA DE UN BUS DE DOS PISOS DE SERVICIO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS INTERPROVINCIAL”**, certifico que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de mi exclusiva responsabilidad y autoría

Cuenca, septiembre del 2020



Jimmy Ricardo Brito Morocho

C.I. 0106478456

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, por darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener unos de mis anhelos más deseados.

A mis padres, Sonia y Jimmy, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí enseñándome que con trabajo y honestidad se pueden lograr los objetivos. Ha sido un orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mi hermana y sobrino, Camila & Lían, por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo brindado.

A mis Tíos, Jorge & Carmen, por su apoyo que brindaron al largo de estos años.

A mi familia y a todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito, en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

A mis amigos y compañeros de la universidad con los que he compartido buenos y malos momentos.

Jimmy Ricardo Brito Morocho

Agradecimiento

Por el esfuerzo, dedicación, paciencia, por su confianza y por todo lo que me han dado a lo largo de mi carrera universitaria y de mi vida, agradezco a mis padres, Sonia y Jimmy.

Por el

En absoluto a mi toda familia por apoyarme en aquellos momentos de necesidad, a todos ellos por llenar mi vida de grandes momentos que hemos compartido.

Gracias Ingeniero Marco Amaya, por creer en mí y haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi tesis, por todo el apoyo y las facilidades que me fueron otorgados. Por darme la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

Y por supuesto a mi querida Universidad, por permitirme concluir con una etapa de mi vida.

Muchas gracias a todos.

Jimmy Ricardo Brito Morocho

“Odié cada minuto de entrenamiento, pero me dije: 'no pares, sufre ahora y vive el resto de tu vida como un campeón” **Muhammad Ali**

Resumen

En el presente trabajo de fin de grado se realiza el análisis de un ensayo de volcamiento lateral de una estructura que corresponde a un autobús de dos pisos, empleado para el sistema de transporte interprovincial conforme a lo que dicta el Reglamento 66 vigente de la Comisión Económica de las Naciones Unidas (UNECE), y el servicio ecuatoriano de normalización (INEN), el cual está encargado de regular la homologación de las estructuras de autobuses empleados en el transporte de pasajeros en el Ecuador.

Para el ensayo de volcamiento efectuado se emplea el método de elementos finitos (MEF), mediante el software ANSYS, con la finalidad de conocer si el autobús cumple la reglamentación y que ninguna parte de la superestructura debe invadir el espacio de supervivencia al alcanzar la deformación máxima durante una colisión.

Para corroborar los resultados obtenidos en la simulación por el método de elemento finitos, se realizará un ensayo de impacto por caída libre para verificar la metodología aplicada.

Abstract

In this end-of-degree work, the analysis of a lateral overturning test of a structure that corresponds to a double-decker bus, used for the interprovincial transport system in accordance with the provisions of Regulation 66 of the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), and the Ecuadorian Standardization service (INEN), which is responsible for regulating the approval of bus structures used for passenger transport in Ecuador.

The finite element method (FEM) is used for the rollover test carried out, using ANSYS software, in order to determine whether the bus complies with regulations and that no part of the superstructure should invade the survival space when maximum deformation is reached during a collision.

To corroborate the results obtained in the simulation by the finite element method, a free-fall impact test will be carried out to verify the methodology applied.

ÍNDICE

Declaratoria de Responsabilidad.....	I
Cesión de Derechos de Autor.....	II
Certificación.....	III
Dedicatoria.....	II
Agradecimiento.....	III
Resumen.....	IV
Abstract.....	V
1. Introducción.....	1
2. Problema.....	1
3. Objetivos.....	2
3.1 Objetivo General.....	2
3.2 Objetivos Específicos.....	2
4. Estado del Arte.....	1
4.1 Trabajos Previos.....	1
4.2 Historia del Bus de Dos Pisos.....	1
4.3 Estructura.....	5
4.4 Características de los Autobuses de Dos Pisos.....	7
4.4.1 Dimensiones de los autobuses de dos pisos.....	7
4.4.2 Distribución de Asientos.....	9

4.5	Vuelco.....	10
4.6	Accidentes	12
5.	Marco Metodológico	15
5.1	NTE 1323: Vehículos Automotores. Carrocerías de buses	15
5.1.1	Disposiciones Generales	15
5.1.2	Requisitos.....	16
5.1.3	Rotulado.....	17
5.1.4	Ensayos	18
5.2	NTE 1668: Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovinciales.	18
5.2.1	Clasificación	19
5.2.2	Requisitos.....	19
5.2.3	Dimensiones Externas del Vehículo	20
5.3	RTE 043: Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Interprovincial e Intraprovinciales.....	22
5.3.1	Especificaciones de la Carrocería	22
5.4	Reglamento N° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa	22
5.4.1	Campo de Aplicación.....	23
5.4.2	Espacio de Supervivencia	23
5.4.3	Centro de Gravedad	24

5.5 Condiciones para la Simulación de Vuelco de la Superestructura del Autobús de Dos Pisos	25
5.6 Modelado de la Superestructura del Autobús.....	25
5.7 Modelado del Espacio de Supervivencia.....	26
5.8 Valores del Modelo Matemático	27
5.9 Calculo de la Velocidad Angular para en Ensayo de Vuelco.....	29
5.10 Análisis de Volcamiento de la Estructura del Autobús de Dos Pisos Mediante el Método de Elementos Finitos.....	31
5.11 Aplicación del Método de Elementos Finitos	31
5.11.1 Funciones de Forma.....	32
5.11.1.1 Tipos de Funciones de Forma.....	32
5.12 Características de los Materiales	33
5.13. Procedimiento y proceso de ensayo	34
5.14. Simulación por Ordenador del Ensayo de Vuelco de un Autobús de Dos Pisos ...	35
6. Resultados	37
6.1 Energías	37
6.2 Espacio de Supervivencia.....	38
6.3 Velocidad.....	40
6.4 Aceleración.....	41
6.5 Ensayo de Validación	42
6.5.1 Diseño de Probetas	42

6.5.2 Construcción.....	42
6.5.3 Aplicación de Ensayo Mediante Maquina de Impacto por Caída Libre	43
6.5.4 Aplicación de Ensayo Mediante Simulación Computacional	46
7. Conclusiones	48
8. Recomendaciones.....	50
9. Referencias Bibliográficas	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Primeros Autobuses de Dos Pisos Impulsados por Caballos	2
Figura 2. Autobús de dos pisos de Londres Transporte NS AEC.....	2
Figura 3. Bus Routemaster en circulación por las calles de Londres	3
Figura 4. Neoplan Skyliner 8x2 de la Flota Barrios en Chile	4
Figura 5. Gemini Thamco DD en chasis Scania K-112TL	4
Figura 6. Marcopolo GV 1800 DD en chasis Scania K-112TL 6x2.....	5
Figura 7. Chasis Mercedes Benz OC 500 1836-30	6
Figura 8. Superestructura de un autobús de un piso con motor posterior.....	6
Figura 9. Dimensiones del autobús de dos pisos de chasis 6x2.....	8
Figura 10. Dimensiones del autobús de dos pisos de chasis 8x2.....	9
Figura 11. Distribución de los asientos en un autobús de dos pisos.....	9
Figura 12. Modelo simplificado de un autobús de dos pisos en un giro estable, donde los neumáticos y suspensión llevan un plano de balanceo	11
Figura 13. Evolución estadística de accidentes en el Ecuador.....	13
Figura 14. Principales causas probables de fallecidos en accidentes de tránsito.....	14
Figura 15. Estadística de siniestros de autobuses 2019.	14
Figura 16. Longitud del Voladizo Delantero (A) y Posterior (B).....	21
Figura 17. Se indica tres figuras a), b) y c) donde se indican las especificaciones del espacio de supervivencia.....	24
Figura 18. Modelado de la Estructura del Autobús de Dos Pisos.....	26
Figura 19. Dimensiones en mm del Espacio de Supervivencia para el Modelo de Autobús de Dos Pisos.....	26

Figura 20. Modelado 3D del espacio de supervivencia dentro de los habitáculos del autobús.	27
Figura 21. Ubicación del centro de gravedad en la estructura del autobús.	27
Figura 22. Ubicación del Centro de Gravedad en la estructura del Autobús	28
Figura 23. Especificación del ensayo de Vuelco de un Vehículo en la Plataforma en Posición Inicial.	29
Figura 24. Radio de Giro del Autobús en la Plataforma de Basculamiento.	30
Figura 25. Nodos y Elementos de una Malla	31
Figura 26. Autobús con el Mallado Aplicado.	32
Figura 27. Tipos de nodos en un elemento.	33
Figura 28. Campo de visión recomendado durante un ensayo de volcamiento	34
Figura 29. Secuencia de ensayo de vuelco del autobús de dos pisos.	35
Figura 30. Autobús en Posición de Primer Contacto	36
Figura 31. Deformación máxima del autobús durante el ensayo de volcamiento.	36
Figura 32. Energías de la Simulación en el Ensayo de Vuelco del Autobús.	38
Figura 33. Invasión de la Estructura al Espacio de Supervivencia en la Deformación Máxima del Autobús.	39
Figura 34. Desplazamiento del Espacio de Supervivencia en la Planta Baja Alta durante el Volcamiento.	39
Figura 35. Desplazamiento del Espacio de Supervivencia en la Planta Alta durante el Volcamiento.	40
Figura 36. Comportamiento de la velocidad durante el Ensayo del Vuelco del Autobús.	41
Figura 37. Variación de la aceleración en el impacto de la superestructura del Autobús	41
Figura 38. Modelo de la Probeta para Ensayo de Homologación.	42
Figura 39. Probeta Construida para Aplicación del Ensayo de Impacto	43

Figura 40. Banco de Ensayos por Impacto Mediante Caída Libre	43
Figura 41. Diagrama de Cuerpo Libre del Ensayo de Impacto.....	45
Figura 42. Deformación de la Probeta por Impacto.....	45
Figura 43. Deformación de la Prometa Mediante Simulación por Ordenador.	46
Figura 44. Deformación Máxima de la Probeta de Ensayo.	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dimensiones del Autobús de dos pisos con chasis 6x2.	8
Tabla 2: Dimensiones del Autobús de dos pisos con chasis 8x2.	8
Tabla 3: Cargas vivas de Diseño.	17
Tabla 4: Clasificación de los vehículos de transporte público de pasajeros.	19
Tabla 5: Clasificación de los vehículos de transporte público de pasajeros.	19
Tabla 6: Largo total de vehículos de transporte público de pasajeros.	20
Tabla 7: Altura total máxima de los vehículos.	21
Tabla 8: Voladizo delantero y posterior.	21
Tabla 9: Ficha Técnica de la Estructura del Autobús.	28
Tabla 10: Propiedades Mecánicas y Composición Química del acero AISI 30.	33
Tabla 11: Centros de Gravedad.	37
Tabla 12: Deformación de las Probetas.	46

1. Introducción

El presente trabajo de fin de grado está orientado a realizar un análisis de la estructura de la carrocería de un autobús de dos pisos, mediante el anexo 9 del Reglamento N° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, aplicando el método de elementos finitos para el análisis.

Debido a que en los últimos años la modernización del parque automotor de las unidades de transporte de pasajeros interprovincial ha llevado a la importación de unidades de dos pisos, y considerando que estas son propensas a volcamiento debido a la altura que posee sumado a la aplicación de un movimiento brusco, razón por la cual, es importante realizar un análisis del espacio de supervivencia en cuanto a la estructura, teniendo como finalidad salvaguardar la vida de los pasajeros durante una colisión o volcamiento.

En el país la homologación de las unidades de transporte terrestre está enfocados a aspectos generales siendo necesario un análisis profundo con respecto a la seguridad activa y pasiva del vehículo frente a un accidente.

2. Problema

La altura aproximada de un bus convencional es de 3,5 a 3,8 metros de altura, mientras que la altura de un bus de dos pisos puede alcanzar los 4,1 metros de altura, este sobredimensionamiento con respecto a la altura trae un efecto físico, que es el aumento del centro de gravedad, es decir, que el punto medio en el cual el vehículo tiende a volcarse es más alto que el de un bus convencional.

Al momento de diseñar un autobús hay que cuidar la estabilidad, por lo que hay que buscar que el centro de gravedad este lo más próximo al suelo, en donde existe la gran controversia con respecto a la seguridad o no que ofrecen los buses de dos pisos.

Estos autobuses son propensos a colisionar o volcarse al momento que el operador de la

unidad de transporte realice una maniobra brusca, perdiendo el control del vehículo que ocasiona un accidente.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

- Analizar el vuelco de la estructura de un bus de dos pisos de servicio de transporte de pasajeros interprovincial

3.2 Objetivos Específicos

- Conocer el estado del arte mediante información bibliografía acerca de la estructura buses de unos y dos pisos para el servicio interprovincial.
- Analizar la normativa y reglamentación técnica ecuatoriana e internacional para conocer los requerimientos de los buses de transporte de pasajeros
- Determinar las condiciones para la simulación de vuelco de la superestructura del bus de dos pisos
- Aplicar el método de elementos finitos para determinar las deformaciones de la estructura de un bus de dos pisos de transporte de pasajeros interprovincial durante el volcamiento.
- Analizar los resultados obtenidos mediante la validación con un ensayo de deformación.

4. Estado del Arte

4.1 Trabajos Previos

El contenido de esta investigación corresponde al análisis estructural de un autobús de dos pisos durante un vuelco, para esto es conveniente partir de una serie de trabajos o estudios previos para entender la magnitud del problema que tiene durante un volcamiento, estos se mencionan a continuación.

- Comparativa de modelos de simulación de vuelco de autobuses según los procedimientos del reglamento 66.
- Análisis mediante simulación computacional del ensayo de vuelco en superestructura para autobuses.
- Optimización de las superestructuras de autobuses y autocares sometidos a vuelco lateral.
- Simulación de un ensayo de vuelco de un autobús mediante MEF.

4.2 Historia del Bus de Dos Pisos

La necesidad para transportar personas de una manera rentable, segura y de gran capacidad fundamenta la creación de un sistema de transporte que cumpla con estas características mencionadas; iniciando con la construcción de los primeros autobuses de dos pisos, carruajes impulsados por caballos que eran capaces de desplazar un grupo de personas (Autonocion, 2016).

Los autobuses de dos pisos en sus inicios no fueron de los sistemas de transporte más famosos, pasaron cerca de 5 años, donde John Greenwood en el año de 1852, realizó varias modificaciones introduciendo un autobús de dos pisos de mayor tamaño con una capacidad de 42 personas, tirado por tres caballos, como se observa en la figura 1 (Rita, 2015).



Figura 1. Primeros Autobuses de Dos Pisos Impulsados por Caballos

Fuente: www.inglesenlacultural.com.ar

Estas unidades de transporte comenzaron a ser novedosas por las incorporaciones del motor de combustión interna y el fácil acceso para los pasajeros.

El desarrollo urbano de Londres permitió que el autobús de dos pisos tenga mayor aceptación que el tranvía o el tren, debido a la libertad que poseía el bus para adaptarse a los cambios permanentes de crecimiento de la ciudad, provocando un aumento de su popularidad llegando a ser el sistema de transporte más importante. Estas unidades de modelo NS, como se observa en la figura 2, permaneció en producción hasta el año de 1937 (Warhurst, 2012).



Figura 2. Autobús de dos pisos de Londres Transporte NS AEC

Fuente: www.inglesenlacultural.com.ar

En el año de 1954 fue manufacturado el autobús Routemaster desarrollado por la empresa AEC (Associated Equipment Company), para la época fue sofisticado por los avances tecnológicos que tenía al poseer una carrocería compacta, suspensión delantera, dirección asistida, transmisión automática y frenos hidráulicos (Routemaster Association, 2016).



Figura 3. Bus Routemaster en circulación por las calles de Londres

Fuente: www.inglesenlacultural.com.ar

En América Latina los primeros autobuses de dos pisos fueron destinados para el transporte urbano, llegaron a Rio de Janeiro la capital brasileña, las unidades fueron importadas desde Inglaterra por Guy Motors compañía fundada por Sydney S. Guy, empresa fundamental en el desarrollo de la industria automotriz británica, la cual fue encargada de realizar la exportación de las primeras unidades de doble piso hacia Brasil (Castro & Guimarães Lima, 2013).

La segunda ciudad en América Latina en optar por unidades de transporte de doble piso fue Santiago, la capital y ciudad más grande de Chile en el año de 1985, con la introducción de unidades Neoplan Skyliner con motor Mercedes Benz V-10 (Chile Fan Bus, 2017).



Figura 4. Neoplan Skyliner 8x2 de la Flota Barrios en Chile

Fuente: www.chilebuses.cl

En el año de 1985 comienza la industria carrocera en Brasil con la empresa Thamer Comercio de Ônibus LTDA, desarrollando varios modelos de carrocerías, en el que sobresalió el autobús de dos pisos Gemini Thamco, lanzado en el año de 1989 como se observa en la figura 5, que fue presentado en la VI feria de transporte de Brasil (Lexicar Brasil, 2016).



Figura 5. Gemini Thamco DD en chasis Scania K-112TL

Fuente: www.onibusparaibanos.com

Dentro de toda la industria carrocera brasileña existe una empresa que pudo logra producir autobuses de dos pisos de manera comercial, en el año de 1995 Marcopolo S.A. al lanzar la quinta generación de sus carrocerías denominadas Marcopolo GV 1800 DD, estas se caracterizan por poseer longitud de 13,2 metros y posteriormente alcanzó 14 metros, la cual dependía de la configuración del chasis; con respecto a la altura máxima de 4 metros.



Figura 6. Marcopolo GV 1800 DD en chasis Scania K-112TL 6x2.

Fuente: www.diariodotransporte.com.br

En el año 2000, Marcopolo lanzó al mercado su sexta generación de buses con el modelo G6 1800 DD, al mismo tiempo Busscar S.A. en el año 2001 fabricó autobuses de dos pisos, iniciando la competencia con el modelo Panorámico DD, de esta manera esta empresa sería la competencia hasta mediados del año 2012 donde se declaró en quiebra (Chile Fan Bus, 2016).

El desarrollo de autobuses de dos pisos por empresas brasileñas líderes en el mercado y al mismo tiempo en el desarrollo automotriz, ha permitido que, en diferentes países de Latino América emprendan en el desarrollo de carrocerías de autobuses de dos pisos.

4.3 Estructura

La estructura de los autobuses de dos pisos en la mayoría de los casos de estas unidades de transporte está compuesta de dos partes: el chasis y la superestructura.

- **Chasis:** es la estructura que se encuentra en la parte inferior del vehículo y la misma que se encarga de soportar la superestructura del autobús y el conjunto de los sistemas mecánicos, tiene una configuración en escalera, que está compuesta por secciones paralelas tipo C (Bosch, 2005).



Figura 7. Chasis Mercedes Benz OC 500 1836-30

Fuente: www.mercedes-benz-bus.com

- **Superestructura:** es la estructura superior del vehículo, donde se encuentran los habitáculos de los pasajeros y el conductor, es la encargada de dar la rigidez y absorber la mayor parte de la energía en un impacto, generalmente sabe estar formada por perfiles de sección rectangular, los mismo que se encuentran colocados en planos perpendiculares al eje longitudinal del autobús, tomando en cuenta que estos se hallan unidos entre sí por otros perfiles (Galbarro, 2016).

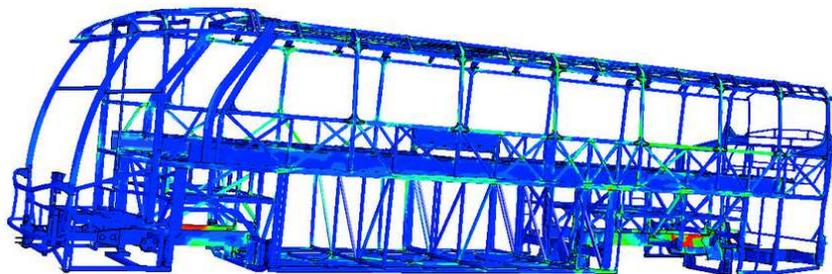


Figura 8. Superestructura de un autobús de un piso con motor posterior.

Fuente: www.dieciochoruedas.blogspot.com

Considerando la unión entre el chasis y la superestructura, el chasis se puede clasificar en tres, aunque en la actualidad se refleja una predisposición en los fabricantes a unificar en un solo conjunto (Galbarro, 2016).

- **Mixto:** En este tipo se coloca la superestructura encima mediante diferentes tipos de uniones, en estas estructuras el chasis es el único que aporta rigidez al conjunto

(Teórica Educacion Vial, 2017).

- **Semi integral:** En esta estructura las dos partes que conforman el vehículo dan rigidez al conjunto, por lo que el chasis es más pequeño que en el caso anterior (MAN Truck & Bus, 2018b).
- **Integral:** En este tipo de estructura, no existe una distinción entre el chasis y la superestructura, sino que ambas partes es considerada una pieza única, con esta configuración se puede conseguir que el vehículo sea más bajo que los anteriores (MAN Truck & Bus, 2018a).

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

4.4 Características de los Autobuses de Dos Pisos

Los autobuses de dos pisos tienen características que permiten diferenciarse de los convencionales como en las dimensiones y configuraciones del chasis.

4.4.1 Dimensiones de los autobuses de dos pisos

La longitud comprendida de los autobuses de dos pisos es entre 14 y 15 metros dependiendo de la configuración del chasis, y su altura máxima es de 4.10 metros (Buses y Camiones del Peru, 2013).

- **Autobús de dos pisos con chasis 6x2:** Tiene 6 ruedas de contacto, de las cuales 2 ruedas dan tracción al vehículo como se observa en la en la figura 9, el bastidor tiene piso bajo en la sección delantera, hasta el eje trasero, las dimensiones del autobús se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.: Dimensiones del Autobús de dos pisos con chasis 6x2.

Dimensión	
Largo	14.0 m
Altura	4.10 m
Ancho	2.60 m
Altura Planta Baja	1.70 m
Altura Planta Alta	1.90 m

Fuente: Comil Omnibus S.A

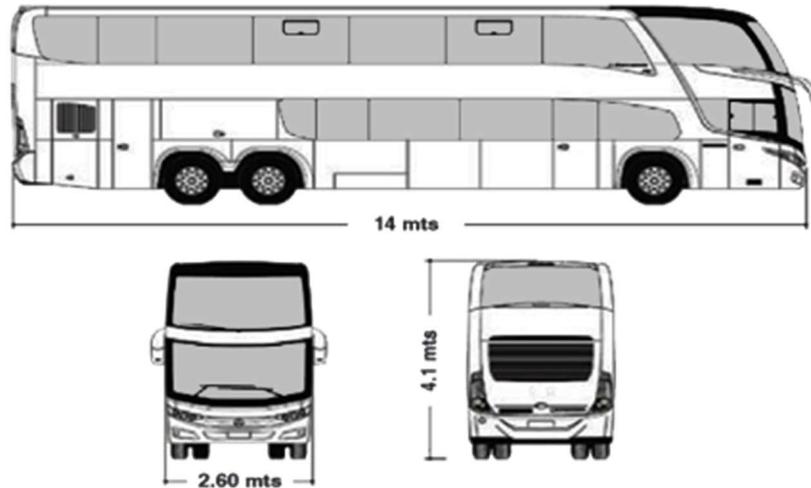


Figura 9. Dimensiones del autobús de dos pisos de chasis 6x2.

Fuente: www.transvectio.com.mx

- **Autobús de dos pisos con chasis 8x2:** Tiene 8 ruedas de contacto, de las cuales 2 ruedas dan tracción al vehículo como se observa en la en la figura 10, el bastidor tiene piso bajo en la sección delantera, hasta el eje trasero, las dimensiones del autobús se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Dimensiones del Autobús de dos pisos con chasis 8x2.

Dimensión	
Largo	15.0 m
Altura	4.10 m
Ancho	2.60 m
Altura Planta Baja	1.70 m
Altura Planta Alta	1.90 m

Fuente: Comil Omnibus S.A

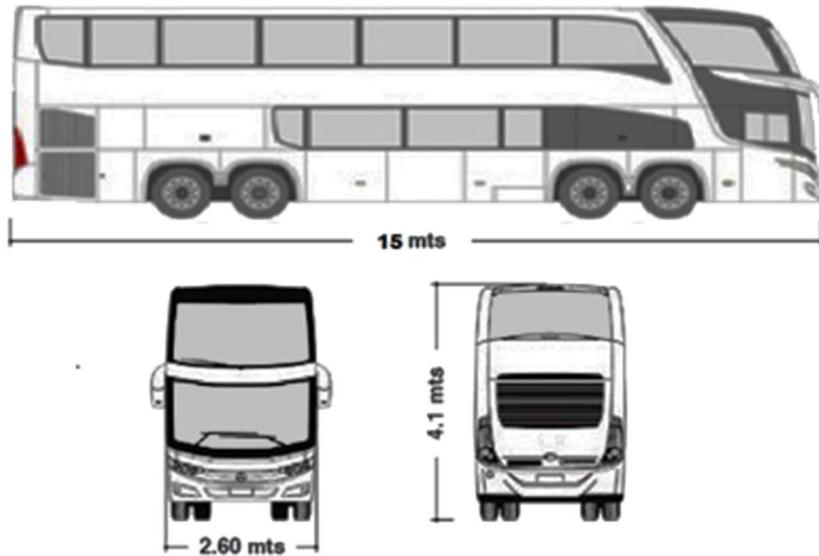


Figura 10. Dimensiones del autobús de dos pisos de chasis 8x2.

Fuente: www.transvectio.com.mx

4.4.2 Distribución de Asientos

El número de pasajeros sentados puede variar de 28 a 68 personas como se observa en la figura 11, según el modelo de chasis, modelo y longitud del asiento, aparte de esto se debe tomar en cuenta la reglamentación técnica del país donde va a ser introducido el autobús. (COMIL Ônibus S.A, n.d.)

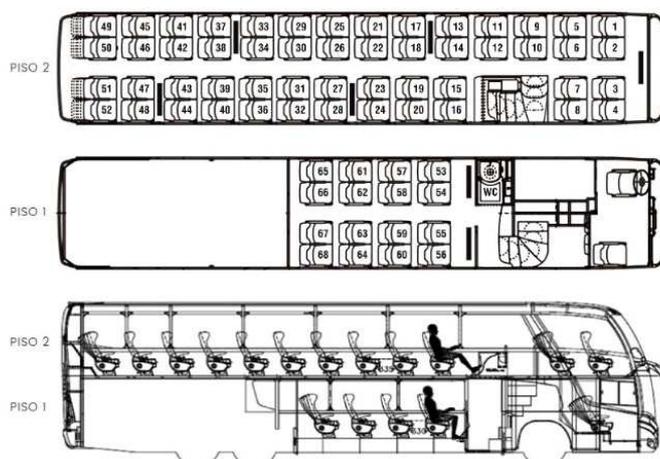


Figura 11. Distribución de los asientos en un autobús de dos pisos.

Fuente: www.transvectio.com.m

4.5 Vuelco

El vuelco de cualquier vehículo se suele definir como una rotación superior a 90° con respecto al eje longitudinal (X), al transversal (Y) o a una combinación de giros con una trayectoria compleja, dentro de las acciones que producen el vuelco lo habitual es que sean generadas por fuerzas laterales, debido a la aparición de un momento en torno al centro de gravedad del vehículo, que al llegar al punto de inestabilidad produce el vuelco (Luque & Alvarez, 2007).

Las características geométricas que tienen los autobuses de dos pisos, frente al comportamiento durante un volcamiento, esto en comparación con otros vehículos, este tipo accidente se considera muy peligroso para este tipo de vehículos. El volcamiento se produce al sobrepasar el valor máximo del umbral de vuelco que viene expresado como la aceleración lateral máxima, debido a la contribución de la aceleración experimentada en una circulación en curva y a la inclinación transversal de la calzada denominada ángulo de peralte (Rivera García, 2016).

La aceleración en vehículo puede verse afectada por el balanceo de la masa suspendida con respecto a su centro de balanceo como se muestra en la figura 12, provocando un giro que altera la posición del centro de gravedad del vehículo (Donaire Sánchez, 2016).

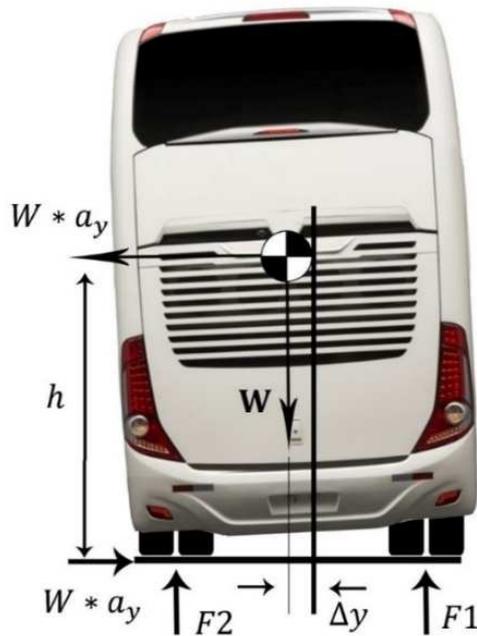


Figura 12. Modelo simplificado de un autobús de dos pisos en un giro estable, donde los neumáticos y suspensión llevan un plano de balanceo

Fuente: Autor

Donde:

a_y = aceleración lateral (m/s^2).

F_i = carga lateral en neumáticos (N).

h = altura del centro de gravedad (mm).

T = ancho de vía (mm).

W = peso del vehículo (N).

Δ_y = desplazamiento lateral del centro de gravedad (m).

ϕ = altura del centro de gravedad (mm).

La ecuación para el momento de balanceo con respecto a un punto fijo en el centro de la trazada es la siguiente:

$$W \cdot h \cdot a_y = (F_2 - F_1) \cdot \frac{T}{2} - W \cdot \Delta_y \quad (1)$$

Existen dos momentos que afectan de manera negativa al vuelco de un vehículo:

- **Momento debido a la fuerza lateral:** Esta se da por la aparición de una aceleración lateral actuado sobre el centro de gravedad (Donaire Sánchez, 2016).

$$W \cdot h \cdot a_y \quad (2)$$

- **Momento debido al peso del vehículo;** este momento se da al balancear la estructura y al aparecer un ángulo de balanceo. El centro de gravedad es desplazado desde su posición de equilibrio con respecto al punto de balanceo de la calzada (Donaire Sánchez, 2016).

$$W \cdot \Delta_y \quad (3)$$

Estos dos momentos desestabilizadores están contrarrestado por un momento estabilizador:

- **Momento debido a la transferencia de carga vertical en los neumáticos.** Su valor máximo coincide con el punto de inicio de vuelco que es de $W \cdot \Delta_y$, cuando todo el peso del autobús está apoyado sobre el lado interior (Donaire Sánchez, 2016).

$$(F_2 - F_1) \cdot \frac{T}{2} \quad (4)$$

La ecuación 4 relaciona los tres momentos indicados en las ecuaciones (1)(2)(3), debido al peso del vehículo que afecta en gran medida, es por esta razón que se debe tener en cuenta la suspensión. La rigidez del vehículo al balanceo se puede dividir en:

- **Rigidez de la suspensión:** “es la rigidez que proporciona todo el sistema de suspensión entre los ejes y la masa suspendida”(Donaire Sánchez, 2016).
- **Rigidez de los neumáticos:** es la rigidez propia del neumático como elemento elástico debido a los materiales utilizados en su manufacturación (Donaire Sánchez, 2016).

4.6 Accidentes

Unos de los problemas más graves del transporte terrestre son los accidentes de tránsito y las consecuencias para las personas, representan un grave problema social y económico, es una de las mayores preocupaciones en la sociedad y ha sido reconocido por la organización mundial

de la salud como un problema de solución prioritaria a nivel nacional y regional (Federación Iberoamericana de Asociaciones de Víctimas contra la violencia vial, 2015).

La evolución en el Ecuador los accidentes de tránsito como se observa en la figura 13, es la sexta causa de mortalidad de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en su gran mayoría son sucesos fatales relacionados al factor humano, principalmente a la irresponsabilidad de algunos conductores con un 96%, mientras que los accidentes por fallas mecánicas llegan apenas a un 4%.

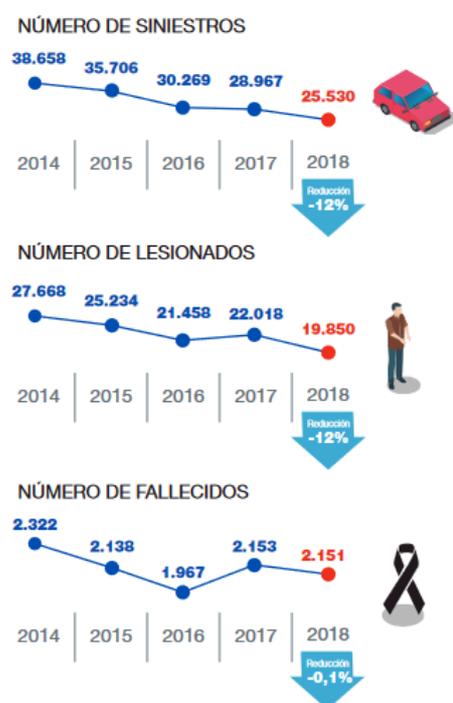


Figura 13. Evolución estadística de accidentes en el Ecuador.

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito

La Agencia Nacional de Tránsito (ANT) ha señalado como las principales causas de los accidentes de tránsito al exceso de velocidad, seguido del irrespeto a las señales de tránsito, la imprudencia, la impericia y embriaguez como se muestra en la figura 14; desafortunadamente la conducta irracional de los usuarios que ocupan las vías lleva a tener un alto grado de siniestralidad en el país (Bravo & Ortiz, 2014).

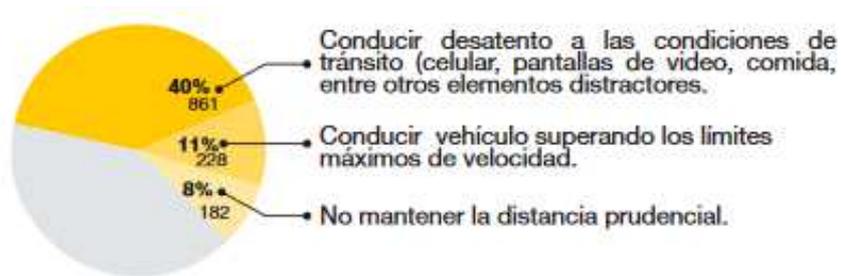


Figura 14. Principales causas probables de fallecidos en accidentes de tránsito.

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito

En los accidentes ocasionados en el Ecuador, los conductores con licencia tipo B no profesional están involucrados en un 67 % de los siniestros que se reportan en el territorio ecuatoriano de acuerdo con un estudio de accidentes de tránsito, 2007 -2016 de la Comunidad Andina de Naciones.

De esta manera los buses, el tema de estudio de este proyecto, están involucrados en un 4% de los accidentes, en la figura 15 se muestra la estadística de los siniestros de los autobuses, donde no se mide por el número de accidentes comparado con otros vehículos, si no por la tasa de mortalidad que ocasionan los mismos al momento de sufrir un siniestro (Comunidad andina, 2017).



Figura 15. Estadística de siniestros de autobuses 2019.

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito

5. Marco Metodológico

5.1 NTE 1323: Vehículos Automotores. Carrocerías de buses

La presente norma establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades. Teniendo en cuenta, que esta es aplicada a todas las carrocerías de buses, ya sean importados o de construcción nacional, incluyendo a las que son parte de los chasis carrozados importados y carrocerías autoportantes (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2009, p.2).

5.1.1 Disposiciones Generales

La normativa establece las consideraciones de diseño, especificaciones técnicas del chasis, estabilidad, confort, mantenimiento, seguridad, métodos de anclaje y montaje y generalidades de la superestructura. A continuación, se indican los aspectos que considera la normativa (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2009).

Chasis:

- 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 los ejes.
- Relación peso/potencia.

Estabilidad:

- Distribución de la masa.
- Altura del centro de gravedad
- Dimensiones de la carrocería
- Rigidez de la suspensión

- Capacidad de inclinación (rolido).

Confort:

- Aislamiento acústico y térmico.
- Ventilación.
- Hermeticidad
- Ergonomía

Mantenimiento:

- Accesibilidad a los elementos del vehículo.

Seguridad:

- Seguridad activa y pasiva.

Método de anclaje y montaje:

- Disposiciones y recomendaciones del fabricante del chasis de acuerdo con el manual de carrozado.

Estructura:

- Materiales metálicos y no metálicos
- Uniones y juntas
- Tratamientos de materiales
- Geometría
- Resistencia estructural

5.1.2 Requisitos

La carrocería debe resistir una carga estática sobre el techo equivalente al cincuenta por ciento (50%) del peso máximo admisible sobre el chasis, distribuido uniformemente a lo largo del mismo, sin experimentar deformaciones en ningún punto que superen los setenta milímetros (70mm); en la tabla 3 se muestra las cargas vivas que deben tener en consideración las empresas

que manufactura autobuses.

Durante el ensayo de resistencia de la estructura de la carrocería o una vez finalizado el mismo, esta debe resistir para que el espacio de supervivencia no resulte invadido como se indica en la reglamentación 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.

Tabla 3: *Cargas vivas de Diseño.*

Tipo de Servicio	Masa de un ocupante (kg)	Masa mínima de equipaje de mano	Masa mínima de equipaje a transportarse en bodegas	Espacio necesario por pasajero de pie (m ²)
Urbano	70	-	-	0,16
Urbano (Escolar e institucional)	70	-	-	Sin pasajeros de pie
Interurbano (Intraprovinciales)	70	5	100 x Vol.	0,16
Larga distancia (Interprovincial y turismo)	70	5	100 x Vol.	Sin pasajeros de pie

Fuente: NTE INEN 1323

5.1.3 Rotulado

Las carrocerías nacionales o de importación debe disponer de una placa inalterable de identificación con fines de rastreo, de fácil acceso, visible, legible y debe disponer de al menos la siguiente información:

- Nombre de la empresa fabricante de la carrocería.
- Numero de certificado de evaluación de la conformidad de la estructura (NCE).
- Capacidad de pasajeros
- Fecha de fabricación (de finalización) (MM/AAAA).
- Numero de producción (seis dígitos alfanuméricos).
- Numero de chasis (VIN).
- País de origen de la carrocería.

- Tamaño mínimo de la placa: 148,5 mm de largo x 105 mm de ancho.

5.1.4 Ensayos

Los métodos de ensayo de resistencia de la estructura se ensayan por cualquier método contemplado en el numeral 6 del documento de “optimización de la estructura de un autobús para el cumplimiento de normas antivuelco ECE-R66”, de la comisión económica de las naciones unidas para Europa (CEPE/ONU). El reglamento recoge los siguientes tipos de ensayo para realizar la homologación:

- Ensayo de vuelco como método básico de homologación.
- Ensayo de vuelco utilizando secciones de la carrocería como método de homologación equivalente.
- Ensayo de carga cuasi estática de secciones de la carrocería como método de homologación equivalente.
- Calculo cuasi estático basado en el ensayo de componentes como método de homologación equivalente.
- Simulación de un vuelco de un vehículo como método de homologación equivalente.

5.2 NTE 1668: Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovinciales.

Esta norma técnica ecuatoriana establece los requisitos que deben cumplir los vehículos automotores diseñado para el transporte de pasajeros compuesto por un chasis y una carrocería acondicionada para el transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovinciales de manufacturación nacional y extranjera, con el propósito de salvaguardar la vida y seguridad de las personas que viajan en las unidades de transporte.

5.2.1 Clasificación

En la presenta normativa técnica ecuatoriana los vehículos automotores de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovinciales, se clasifican según lo indicado en la tabla 4 y 5, las cuales indican la cantidad de ocupantes y la capacidad máxima permitida.

Tabla 4: *Clasificación de los vehículos de transporte público de pasajeros.*

Denominación	Numero de ocupantes incluido el conductor
Minibús	Desde 27 hasta 35 ocupantes
Bus	A partir de 36 ocupantes

Fuente: NTE INEN 1668

Tabla 5: *Clasificación de los vehículos de transporte público de pasajeros.*

Según el tipo de vehículo	Numero de ejes	PBV promedio de un chasis	Capacidad de pasajeros
Minibús	2 ejes	10000 kg	Máximo 35
Bus	2 ejes	10000 kg	Máximo 35
	Mas de 2 ejes	24 000 kg	Máximo 53

Fuente: NTE INEN 1668

5.2.2 Requisitos

Chasis: “el diseño del bastidor deber ser para el transporte de pasajeros, con las modificaciones, aditamentos o extensiones que estén permitidas en el manual de carrozado y que sea autorizado por el fabricante” (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2016, p.6).

Capacidad del bastidor: “debe disponer de una capacidad mínima 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” (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2016, p.6).

Carrocería: los materiales de la superestructura del vehículo deben ser los perfiles y tubería estructural protegida de la corrosión, que cumplan con NTE INEN 2415 y la NTE INEN 1623; garantizando la solidez, resistencia y seguridad, acatando los requerimientos técnicos ecuatorianos que permiten que estén unidades circulen por las vías del país (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2016, p.6).

Uniones chasis – carrocería: “las uniones entre el chasis y la carrocería se realizarán siguiendo exclusivamente las recomendaciones del fabricante del chasis, indicadas en el manual de fabricación y montaje de carrocerías”(Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2016, p.7).

5.2.3 Dimensiones Externas del Vehículo

Los vehículos M3 deben cumplir los requisitos mencionados en este apéndice de acuerdo a su aplicación en el transporte de pasajeros.

a) Largo total del vehículo

Los autobuses de acuerdo con el ámbito de transporte de pasajeros que vaya a ser aplicado deben tener una longitud máxima como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6: *Largo total de vehículos de transporte público de pasajeros.*

Tipo de vehículo	Numero de ejes	Largo total mm
Bus	De dos ejes	10250 a 13300
Bus	De tres ejes o mas	10250 a 15000
Minibús	De dos ejes	Máximo 10000

Fuente: NTE INEN 1668

b) Ancho total del vehículo: “la carrocería no debe sobresalir en más de 75 mm a cada lado respecto a la trocha del vehículo, el ancho del vehículo debe medir entre 2.5 y 2.6 metros medidos desde la parte más saliente de la estructura”(Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2016, p. 10).

c) **Altura total del vehículo:** “La medición de la altura total del autobús como se muestra en la tabla 7 debe realizarse entre la calzada y el techo de la carrocería sin tomas de la ventilación superior”(Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2016, p. 10)

Tabla 7: *Altura total máxima de los vehículos.*

Tipo de vehículo	Altura total máxima
Bus	4100 mm
Minibús	3000 mm sin escotilla 3300 con escotilla

Fuente: NTE INEN 1668

d) Voladizo delantero y posterior

Es la longitud entre el plano vertical que pasa por los centros de las ruedas con respecto a los extremos del autobús como se muestra en la figura 16 (Luque et al., 2008).

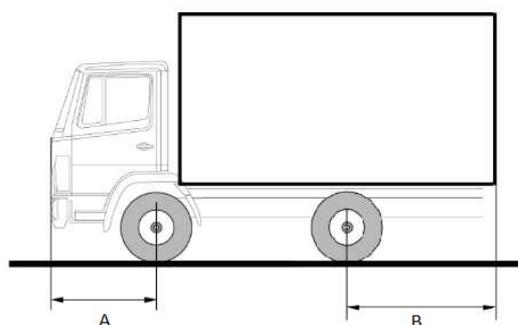


Figura 16. Longitud del Voladizo Delantero (A) y Posterior (B).

Fuente: Ingeniería del Automóvil: Sistemas y Movimiento Dinámico.

En la tabla 8 se muestran las longitudes en mm que deben tener los voladizos en el caso de los autobuses.

Tabla 8: *Voladizo delantero y posterior.*

Tipo de vehículo	Voladizo delantero mm	Voladizo Posterior
Bus	2000 a 2900	66% de la distancia entre ejes
Minibús	800 a 1100	66% de la distancia entre ejes

Fuente: NTE INEN 1668

5.3 RTE 043: Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Interprovincial e Intraprovinciales

El presente reglamento técnico ecuatoriano establece los requisitos que deben cumplir los vehículos de transporte de pasajeros público de pasajeros interprovincial e intraprovinciales con la finalidad de proteger la vida y la seguridad de las personas, el ambiente y la propiedad, y prevenir practicas engañosas que puedan inducir al error en los fabricantes y usuarios finales (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2014, p. 2).

5.3.1 Especificaciones de la Carrocería

Los materiales de la carrocería del autobús deben ser perfiles estructurales protegidos contra la corrosión y cumplir la Norma Técnica Ecuatoriana 2664, que establece los requisitos que deben cumplir los fabricantes de carrocerías metálicas para vehículos de transporte de pasajeros.

Cualquiera que sea el material usado para la manufacturación de la carrocería del vehículo, los componentes deben presentar solida fijación entre si a través de soldadura, remaches o tornillos con la finalidad de evitar ruidos y evitar vibraciones del vehículo cuando se encuentre en movimiento, además de garantizar a través de los refuerzos necesarios para soportar en los puntos de concentración de cargas o esfuerzo al que puedan estar sometidos(Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2014, p.8).

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

La Reglamentación Europea para autobuses es generada a nivel técnico fundamentalmente para la aplicación en cualquier país que se adscriba al reglamento, existiendo actualmente un grupo de estudio para transformar esta reglamentación en reglamentos mundiales (Donaire Sánchez, 2016).

La reglamentación 66, define que la superestructura del autobús tendrá la resistencia suficiente para asegurar que, durante y después de un vuelco, ninguna parte desplazada del vehículo invada el espacio de supervivencia y ninguna parte del espacio de supervivencia sobresalga de la estructura deformada.

Esta reglamentación es aplicada a los vehículos que pertenecen a las categorías M2 y M3, aquellos destinados al transporte de pasajeros y su equipaje.

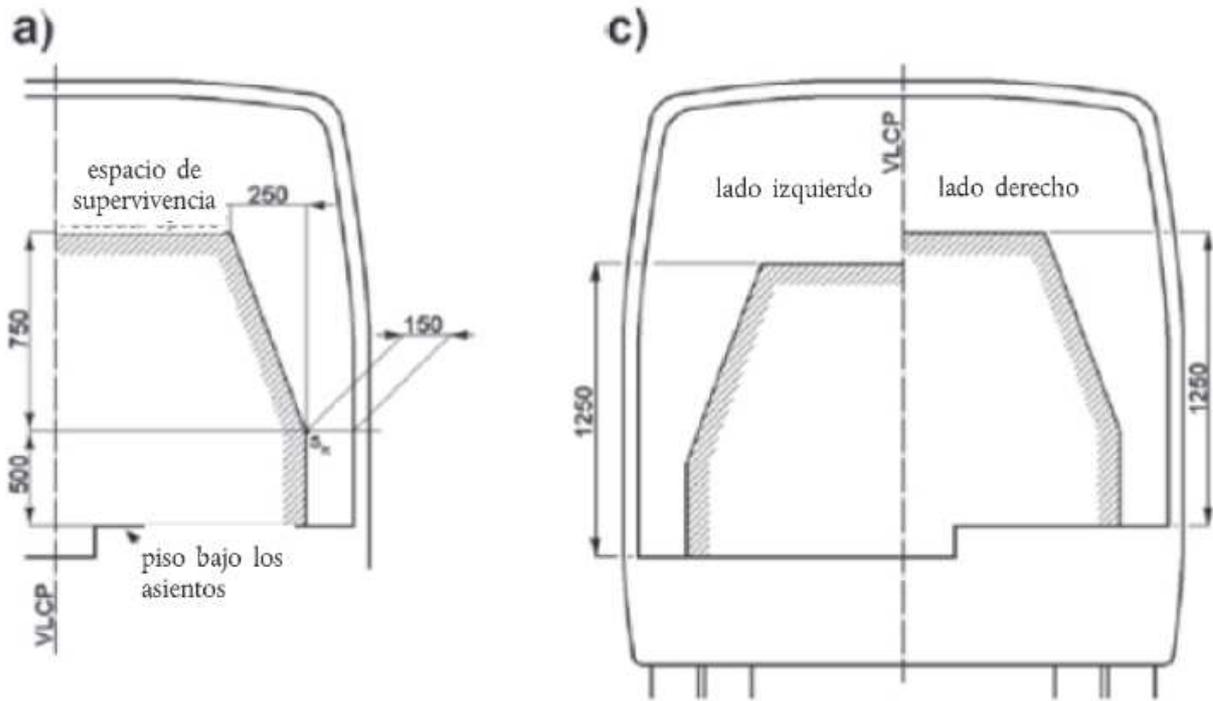
5.4.1 Campo de Aplicación

“El presente Reglamento se aplica a los vehículos de un solo piso, rígidos o articulados, pertenecientes a la categoría M2 o M3, a la clase II o III o a la clase B, para más de 16 viajeros”(Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2015, p.1).

“A petición del fabricante, el presente Reglamento también podrá aplicarse a cualquier otro vehículo perteneciente a la categoría M2 o M3 que no se incluya en el apartado anterior”(Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2015, p.1).

5.4.2 Espacio de Supervivencia

El espacio de supervivencia es un volumen que está presente en el compartimiento de pasajeros desplazado en línea recta el plano vertical y transversal indicado en la figura 16, de manera que pase por los puntos S_R , que están situados en el respaldo de cada asiento, 500 mm por encima del piso, situado abajo del asiento y a 150 mm de la superficie interior de la pared lateral, desde el inicio hasta el final. Estas condiciones tienen como finalidad de salvaguardar la vida de los pasajeros al momento que un autobús sufre un vuelco y que ninguna parte de la estructura invada el espacio de supervivencia del pasajero.



b) disposición longitudinal

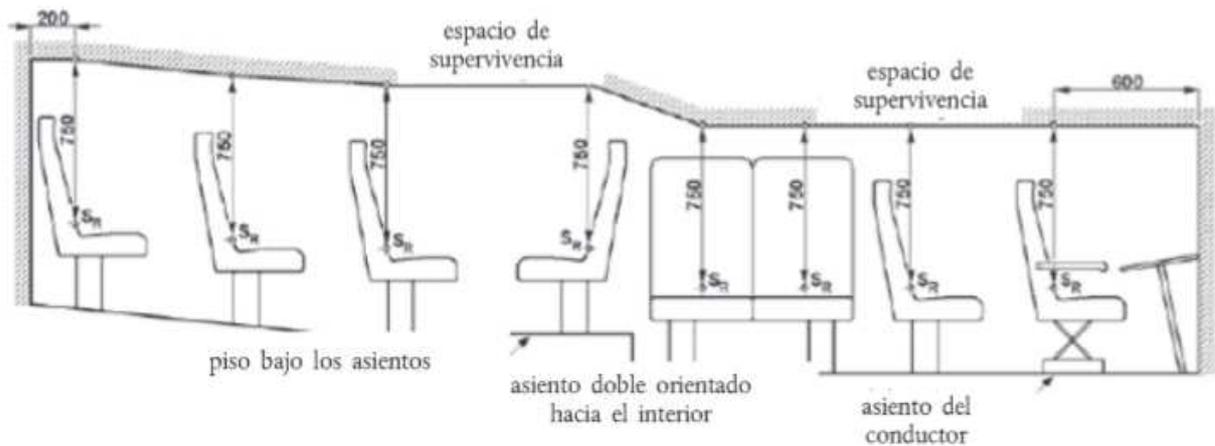


Figura 17. Se indica tres figuras a), b) y c) donde se indican las especificaciones del espacio de supervivencia

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

5.4.3 Centro de Gravedad

Un autobús debe tener buena estabilidad de marcha cuando se mantiene sobre su trayectoria a pesar de las fuerzas perturbadoras que tienden a desviarlo, el vehículo reacciona de forma que intenta mantenerse sobre la trayectoria impuesta por el sistema de dirección, esta

característica conocida como seguridad activa, determinada por el comportamiento dinámico del vehículo; siendo este uno de los temas de mayor estudio en los últimos años por los fabricantes de autobuses (J. M. Alonso Pérez, 2010).

La energía de referencia y la energía total que absorbe la superestructura del autobús durante el ensayo de vuelco depende directamente de la posición del centro de gravedad, por lo tanto, su determinación debe ser lo más precisa posible para evitar fallos técnicos al momento de realizar el ensayo.(Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2015)

5.5 Condiciones para la Simulación de Vuelco de la Superestructura del Autobús de Dos Pisos

El estudio del ensayo de vuelco de la estructura global de un autobús de dos pisos se llevará a cabo fundamentado en el Reglamento N° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas de, cumpliendo los parámetros de homologación para autobuses.

Para someter a un autobús a un ensayo de vuelco, no es necesario que esté completamente terminado o listo para funcionar, siempre que cumpla las características básicas y el comportamiento de la superestructura no se vea afectado.

5.6 Modelado de la Superestructura del Autobús

El tipo del autobús de dos pisos para el ensayo se basa en modelos existentes en el mercado ecuatoriano como se observa en la figura 18, existen varios aspectos que se deben considerar en el modelado de la estructura del autobús, las formas geométricas, uniones, dimensiones de los perfiles, etc., esto con la finalidad de evitar errores al momento de efectuar la simulación los cuales pueden afectar a los resultados, por lo tanto, es necesario realizar pre proceso de una manera adecuada.



Figura 18. Modelado de la Estructura del Autobús de Dos Pisos.

Fuente: Autor

5.7 Modelado del Espacio de Supervivencia

El espacio de supervivencia debe presentar características geométricas mencionadas en la reglamentación N° 66 de la comisión económica de las naciones unidas para Europa (UNECE); dentro de la carrocería del autobús se debe considerar las dimensiones vehículo para diseñar, como se muestra en la figura 19.

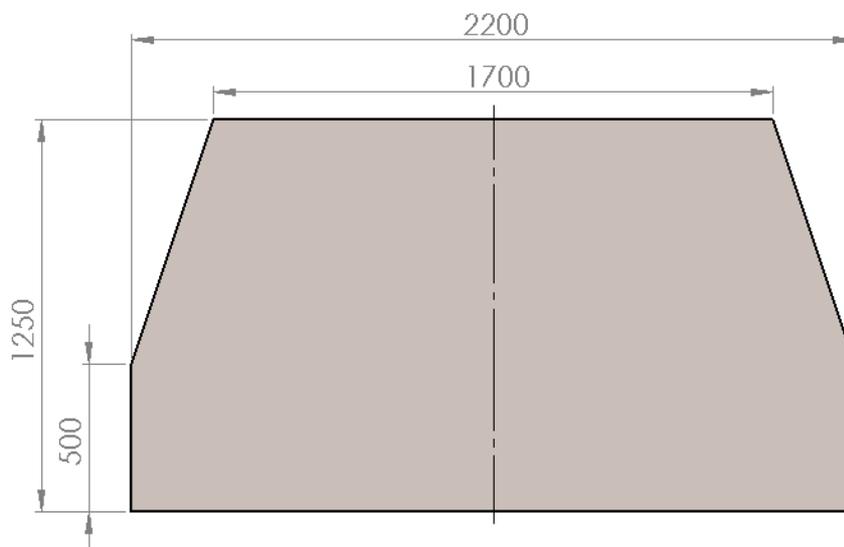


Figura 19. Dimensiones en mm del Espacio de Supervivencia para el Modelo de Autobús de Dos Pisos

Fuente: Autor

El modelado de los espacios de supervivencia debe estar ubicado y recorrer todo el

habitáculo de pasajeros para realizar la simulación por ordenador del ensayo de vuelco, como se observa en la figura 20.



Figura 20. Modelado 3D del espacio de supervivencia dentro de los habitáculos del autobús.

Fuente: Autor

El autobús debe garantizar que, tras el ensayo de vuelco, ninguna parte de la superestructura del vehículo se introduzca en el espacio de supervivencia y viceversa.

5.8 Valores del Modelo Matemático

En el anexo 9, literal 1.3 de la reglamentación menciona que se debe cumplir con la información necesaria para realizar el ensayo, donde la masa, centro de gravedad como se observa en la figura 21 y los momentos de inercia de la estructura del autobús deben estar previamente obtenidos.



Figura 21. Ubicación del centro de gravedad en la estructura del autobús.

Fuente: Autor

El Reglamento N° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas dispone encontrar la altura en metros del centro de gravedad del vehículo, estos valores sirven para encontrar la energía total que absorbe la superestructura durante el volcamiento.

Los valores de la masa, momentos de inercia y centro de gravedad de la estructura del autobús se muestran en la tabla 9, estos valores son obtenidos mediante el software utilizado.

Tabla 9: Ficha Técnica de la Estructura del Autobús.

Parámetro	Valor
Masa de la Superestructura	3632.73 Kg
Posición Longitudinal del CDG	6.78 m
Posición Transversal del CDG	1.30 m
Altura Transversal del CDG	1.48 m
Ixx	$7.30179 \times 10^7 \text{ mm}^4$
Ixy	-7221.14 mm^4
Ixz	48267.2 mm^4
Iyy	$7.09992 \times 10^7 \text{ mm}^4$
Iyz	$-1.68985 \times 10^6 \text{ mm}^4$
Izz	$7.86809 \times 10^6 \text{ mm}^4$
I11	$7.3018 \times 10^7 \text{ mm}^4$
I22	$7.10443 \times 10^7 \text{ mm}^4$
I33	$7.82286 \times 10^6 \text{ mm}^4$

Fuente: Autor

El centro de gravedad de la estructura del autobús debe estar de manera clara la ubicación, como se muestra en la figura 22.

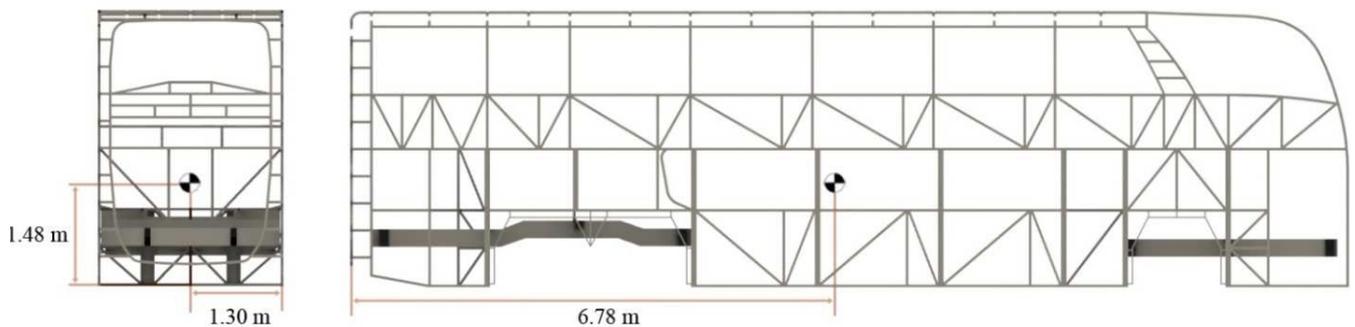


Figura 22. Ubicación del Centro de Gravedad en la estructura del Autobús

Fuente: Autor

5.9 Calculo de la Velocidad Angular para en Ensayo de Vuelco

La velocidad angular, uno de los componentes de mayor importancia dentro de la simulación del ensayo de vuelco por ordenador, esta define la velocidad de giro con respecto a la plataforma basculante y la superficie de impacto.

El valor de la energía de referencia (E_R), 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 inestable al inicio del ensayo del vuelco como se muestra en la figura 23.

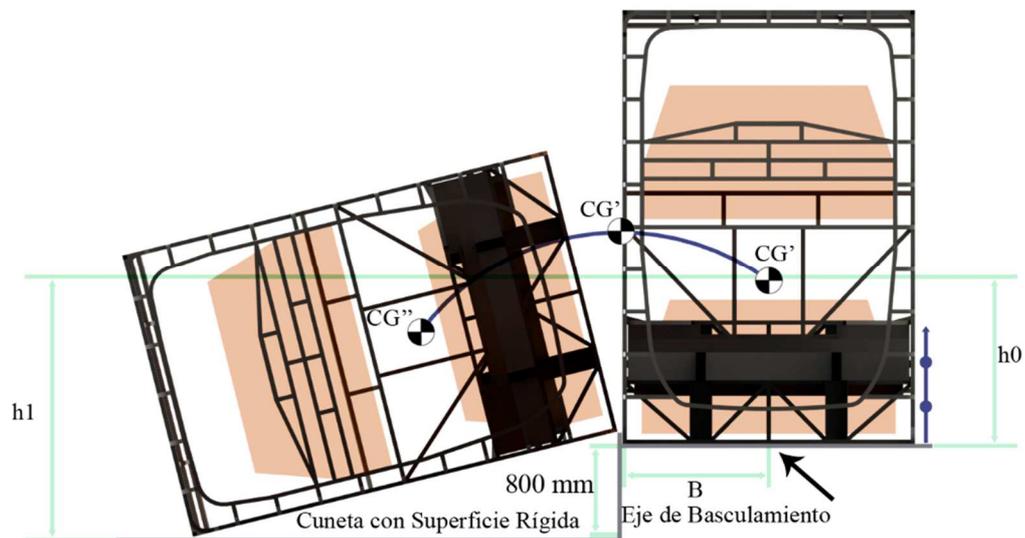


Figura 23. Especificación del ensayo de Vuelco de un Vehículo en la Plataforma en Posición Inicial.

Fuente: Autor

$$E_R = M \cdot g \cdot h_1 \quad (5)$$

Donde

M = la masa en orden de marcha del tipo de vehículo, sino está equipado con dispositivos de retención (Kg).

g = constante gravitacional (m/s^2).

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

Para calcular la velocidad angular se igualan las ecuaciones de energía de referencia (5) y la de energía cinética de rotación de un cuerpo rígido.

$$E_R = E_{C_{Rotacional}} \quad (6)$$

$$m \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 \quad (7)$$

Para encontrar la velocidad angular (ω) se despeja de la igualdad (7). La inercia rotacional (8) de un cuerpo (I), gira alrededor de un eje describiendo un radio como se muestra en la figura 24.

$$I = m \cdot r^2 \quad (8)$$

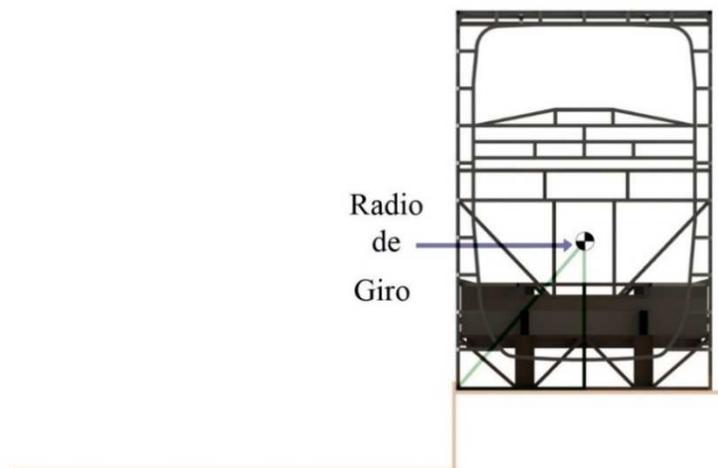


Figura 24. Radio de Giro del Autobús en la Plataforma de Basculamiento.

Fuente: Autor

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g \cdot h_1}{m \cdot r^2}} \quad (9)$$

Se remplazan las incógnitas (9) por los valores correspondientes para obtener la velocidad

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot 3632.7 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 2.28 \text{ m}}{(3632.7 \times 1.9699^2) \text{ kg} \cdot \text{m}^2}} = 3.3953 \text{ rad/s}^2 \quad (10)$$

5.10 Análisis de Volcamiento de la Estructura del Autobús de Dos Pisos Mediante el Método de Elementos Finitos

Para la simulación por ordenador del ensayo de vuelco de la estructura de un autobús de dos pisos, se aplica el anexo 9 de la reglamentación N° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas, mediante el método de elementos finitos con Ansys.

5.11 Aplicación del Método de Elementos Finitos

El método de elementos finitos es una herramienta es aplicada al diagnóstico y resolución de problemas estructurales , en la que, mediante las deformaciones, el desplazamiento y las tensiones, nos permite evaluar en diversas condiciones las mismas a la que puede estar sometida la estructura del autobús en la vida real (Mirlisenna, 2016).

Los elementos finitos se encuentran conectados entre sí por puntos denominados nodos, de tal forma que al conjunto de todos estos elementos se designa con el nombre de malla como lo podemos apreciar en la figura 26, que debido a las subdivisiones de la geometría, las ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento físico no se resolverán de una manera aproximada por este método numérico (Mirlisenna, 2016).

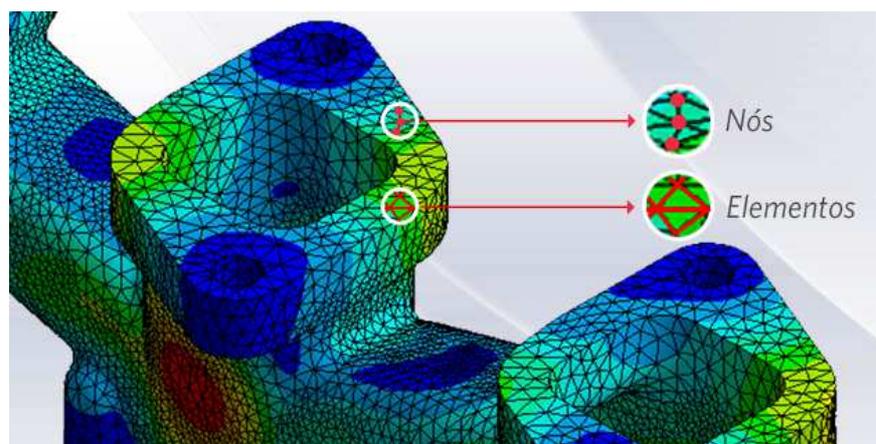


Figura 25. Nodos y Elementos de una Malla

Fuente: Guiseppe Mirlisenna,

La exactitud de los métodos de elementos finitos depende de la cantidad de nodos y elementos, entre los cuales dependen del tamaño y de los tipos de componentes de la malla como se observa en la figura 26, por lo tanto, cuanto menor sea el tamaño y mayor el número de elementos en una malla, más precisos serán los resultados del análisis (Zienkiewicz & Taylor, 1995).

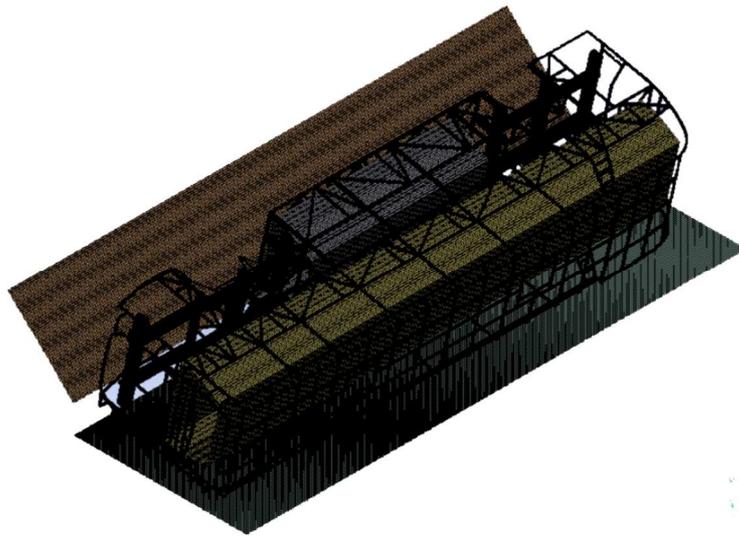


Figura 26. Autobús con el Mallado Aplicado.

Fuente: Autor

5.11.1 Funciones de Forma

La interpolación es un elemento clave de la aplicación del método de elementos finitos, pues a partir de las funciones de forma o interpolación, se consigue reducir el problema a la determinación de los corrimientos de los nodos, para obtener valores suficientemente aproximados de cualquier punto del elemento, en función del desplazamiento de nodos (Eduardo Frías Valero, 2004).

5.11.1.1 Tipos de Funciones de Forma

En la aplicación de MEF, se puede identificar tres tipos de nodos: primarios, secundarios e intermedios.

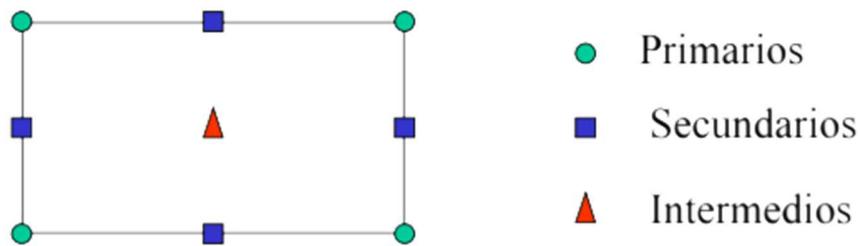


Figura 27. Tipos de nodos en un elemento.

Fuente: Eduardo Frías Valero

Las funciones de forma se agrupan en dos grupos principales en función del tipo de nodo (Eduardo Frías Valero, 2004):

- Serendípicas: Existen solamente nodos de frontera (primarios y secundarios).
- Lagrangianas: Incluyen nodos intermedios

5.12 Características de los Materiales

La normativa ecuatoriana para la construcción de carrocerías de autobuses para el transporte de pasajeros establece que los perfiles estructurales deben ser protegidos contra la corrosión cumpliendo la NTE INEN 1323 y la NTE INEN 2483.

El material empleado en la superestructura del autobús de dos pisos es el acero ASTM A36, el cual da a conocer las propiedades de este material que se muestra en la tabla 10; donde los elementos que componen la superestructura del autobús tienen una sección rectangular tubular, con diferentes medidas según la función que deben cumplir.

Tabla 10: *Propiedades Mecánicas y Composición Química del acero ASTM A36.*

Composición Química	Mínimo	Máximo	Unidad
C(Carbón)	0.25	0.29	%
Fe (Hierro)	93.20	96.0	%
Mn (Manganeso)	0.60	1.20	%
P (Fosforo)		0.04	%
Si (Silicio)		0.05	%
Propiedades Mecánicas	Mínimo	Máximo	Unidad
Módulo de Young	200.0	215.0	GPa
Densidad	7.85	7.85	g/cm ³

Módulo de Flexión	200.0	215.0	GPa
Módulo de Corte	79.00	86.00	GPa
Módulo de Comprensibilidad	158.0	175.0	GPa
Ratio de Poisson	0.285	0.295	-----
Limite Elástico	250.0	310.0	MPa
Resistencia a la Tracción	505.0	600.0	MPa
Módulo de Ruptura	505	600	MPa
Elongación (Resistencia a la Flexión)	26	47	% Deformación
Dureza Vickers	108	173	HV
Resistencia a la Fatiga a 107 Ciclos	203	293	MPa

Fuente: Sumitec

5.13. Procedimiento y proceso de ensayo

El ensayo de vuelco de un autobús es un proceso muy rápido y dinámico con etapas diferenciadas, por lo que se debería tener en cuenta a la hora de planificar en ensayo. El autobús basculara sin balancearse y sin efectos dinámicos hasta que alcance el equilibrio inestable y comience el vuelco, como se indica en la figura 28. La velocidad bascular de la plataforma no debe superar los 5° por segundo(Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2015).

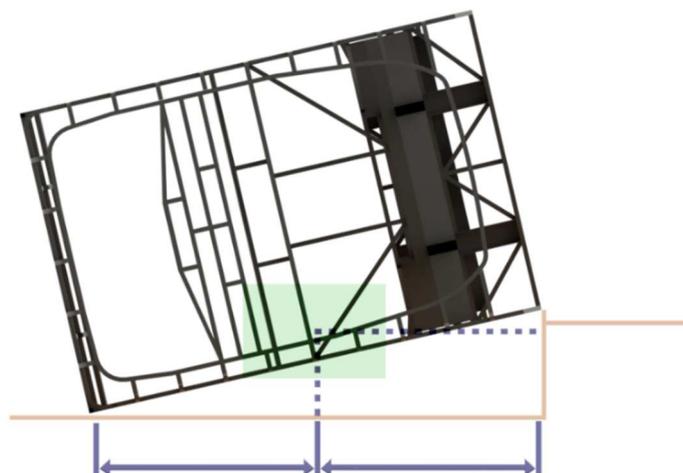


Figura 28. Campo de visión recomendado durante un ensayo de volcamiento

Fuente: Autor

5.14. Simulación por Ordenador del Ensayo de Vuelco de un Autobús de Dos Pisos

El ensayo de vuelco por ordenador es mediante el anexo 9 del reglamento N° 66 de la comisión económica de las naciones unidas para Europa.

El autobús se encuentra situado en la plataforma basculante al inicio de la simulación hasta perder la estabilidad, produciendo un movimiento angular hasta estrellarse en la base de la plataforma como se observa en la figura 29, la secuencia de vuelco que siguen los autobuses hasta impactarse sobre el suelo.

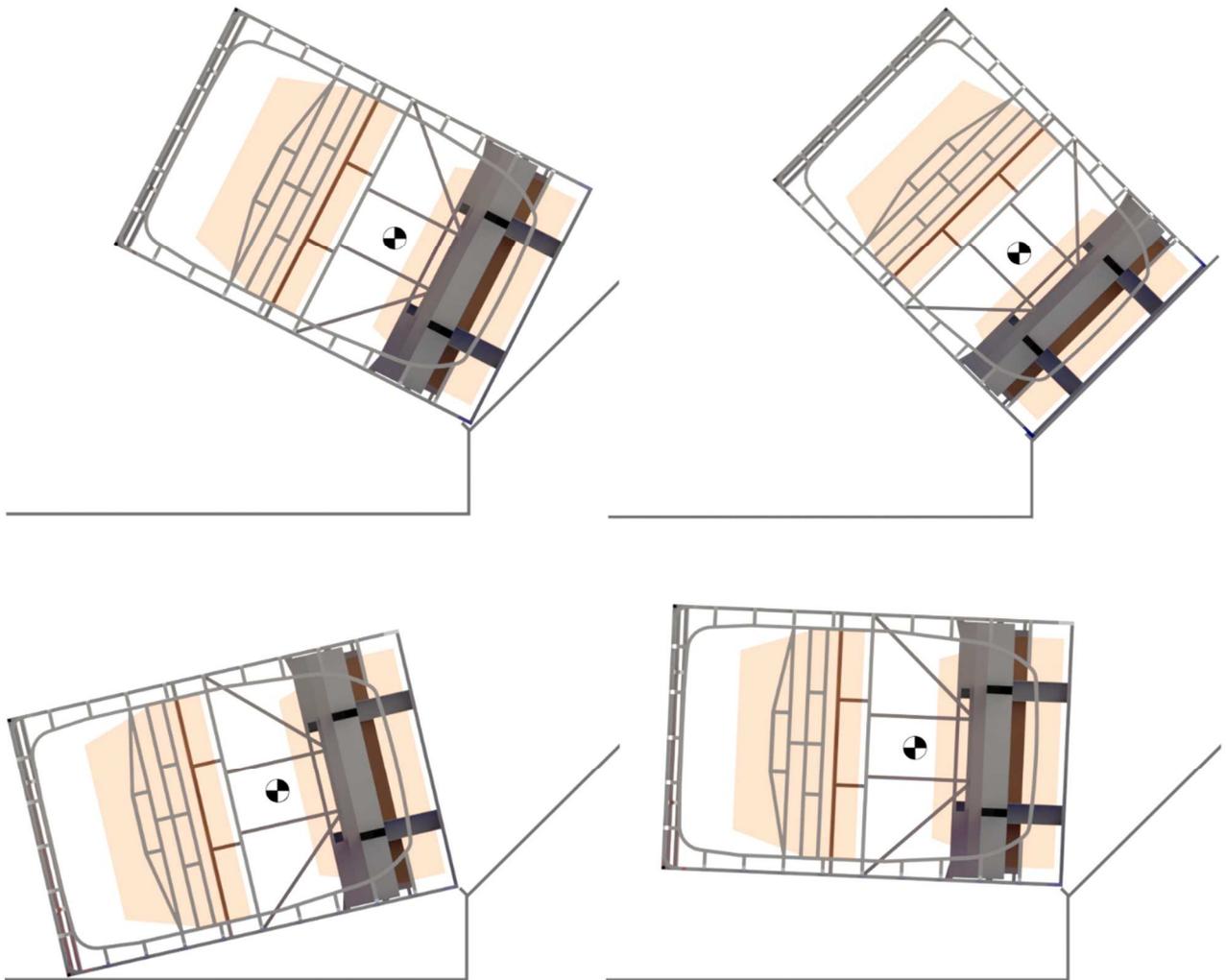


Figura 29. Secuencia de ensayo de vuelco del autobús de dos pisos.

Fuente: Autor

La posición del autobús para comenzar la simulación es en el punto de primer contacto con el suelo como se muestra en la figura 30, de manera que se cumple lo mencionado en el literal 3.1 y 3.4 donde indica que la simulación terminara hasta que alcance la deformación máxima de acuerdo anexo 9 de la reglamentación 66.



Figura 30. Autobús en Posición de Primer Contacto

Fuente: Autor

La aplicación del ensayo de vuelco de la estructura del autobús de dos pisos mediante el método de elementos finitos funcionara hasta que la estructura alcance la deformación máxima al impactarse con el suelo como se muestra en la figura 31.

La deformación máxima de la estructura al impactarse con el suelo alcanza en el instante $t=0.621$ segundos

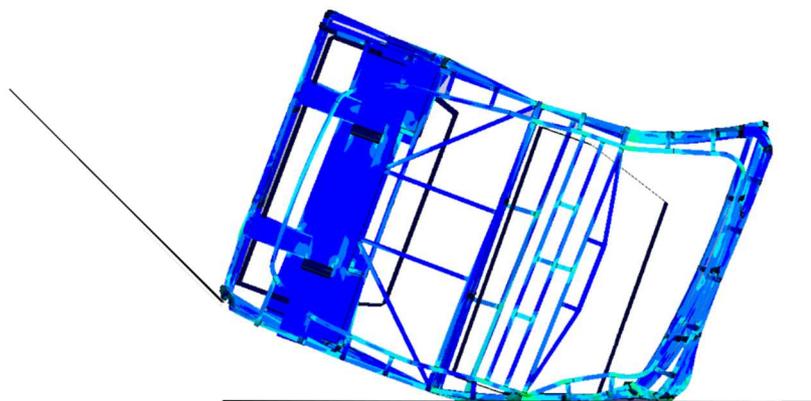


Figura 31. Deformación máxima del autobús durante el ensayo de volcamiento.

Fuente: Autor

6. Resultados

Los resultados obtenidos se muestran uno a continuación del otro, correspondiente a la simulación por ordenador del ensayo de vuelco dinámico del autobús de dos pisos.

6.1 Energías

En cuanto a las energías se expone la energía total, interna, cinética y Hourglass; en donde la obtención de la altura de los centros de gravedad durante el volcamiento, como se muestra en la tabla 11, se utiliza para encontrar Δh , la misma que es una variable de la ecuación de la energía total (E_T) que absorberá la superestructura del autobús en el ensayo de volcamiento.

Tabla 11: Centros de Gravedad

Alturas de los centros de Gravedad	
En el punto de inestabilidad (H)	2284.8 mm
En el punto de contacto (HC)	632 mm

Fuente: Autor

$$E_T = 0.75 \cdot M \cdot g \cdot \Delta h \quad (11)$$

$$E_T = 0.75 \cdot 3.63273 \text{ T} \cdot 9810 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2} \cdot (2284.8 \text{ mm} - 632 \text{ mm}) \rightarrow 44175725.9 \text{ J} \quad (12)$$

$$E_T = 4.42 \times 10^7 \text{ J} \quad (13)$$

En la figura 32 se observa que la energía total máxima absorbida por el autobús es de $4.56 \times 10^7 \text{ J}$, donde el valor es alto debido a las grandes dimensiones y a que el centro de gravedad es alto.

La energía cinemática corresponde a la energía de impacto del autobús con respecto al suelo, la misma que es elevada debido a la masa de la estructura, al pasar de un momento de reposo al movimiento, hasta lograr alcanza la deformación máxima de la estructura del autobús.

La energía de Hourglass es un instrumento de medición cuyo fundamento se basa en la

energía potencial de la gravedad, de acuerdo con el anexo 9 de la reglamentación N° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas, esta energía no excederá en ningún momento del 5% de la energía total.

El valor máximo de la energía de Hourglass, figura 32, durante el ensayo de volcamiento es de $0.0966 \times 10^7 J$, que representa el 2% de la energía total, de acuerdo con el anexo 9 de la reglamentación 66, para que la simulación sea aceptada este valor no deberá exceder en ningún momento el 5%, por lo cual, este es un indicador que el ensayo realizado es correcto.

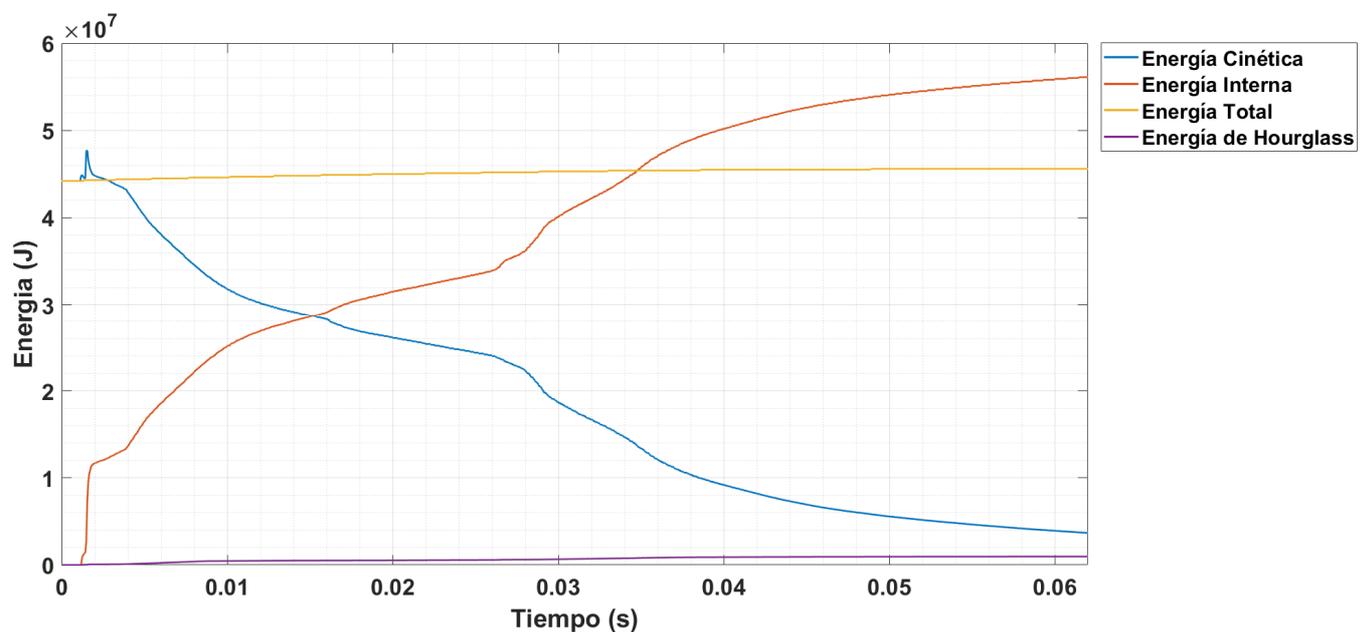


Figura 32. Energías de la Simulación en el Ensayo de Vuelco del Autobús.

Fuente: Autor

Existe un error de 3.22% en la comparación de la energía total calculada y la obtenida mediante la simulación, debido a que el centro de gravedad no es exacto lo que demuestra que los valores obtenidos tienen coherencia con los resultados de la simulación computacional.

6.2 Espacio de Supervivencia

La estructura al momento de alcanzar la deformación máxima durante el ensayo como se observa en la figura 33, no cumple la reglamentación 66, donde menciona que durante el

volcamiento en ningún momento debe invadir el espacio de supervivencia o viceversa, la segunda planta del autobús que contiene la mayor parte de pasajeros, sufre deformaciones críticas, que ponen en peligro la integridad de los pasajeros durante un accidente de tránsito.

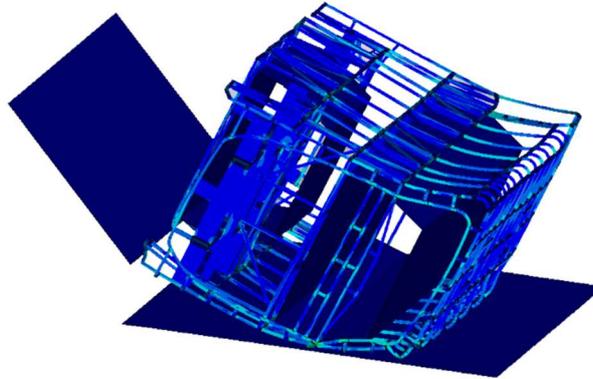


Figura 33. Invasión de la Estructura al Espacio de Supervivencia en la Deformación Máxima del Autobús.

Fuente: Autor

El desplazamiento del espacio de supervivencia, figura 34, en la planta baja de la estructura cumple con la reglamentación 66, la cual indica que ningún elemento debe ingresar al espacio de supervivencia; dando como resultado que la estructura en la parte inferior es lo suficientemente rígida para soportar una colisión por vuelco.

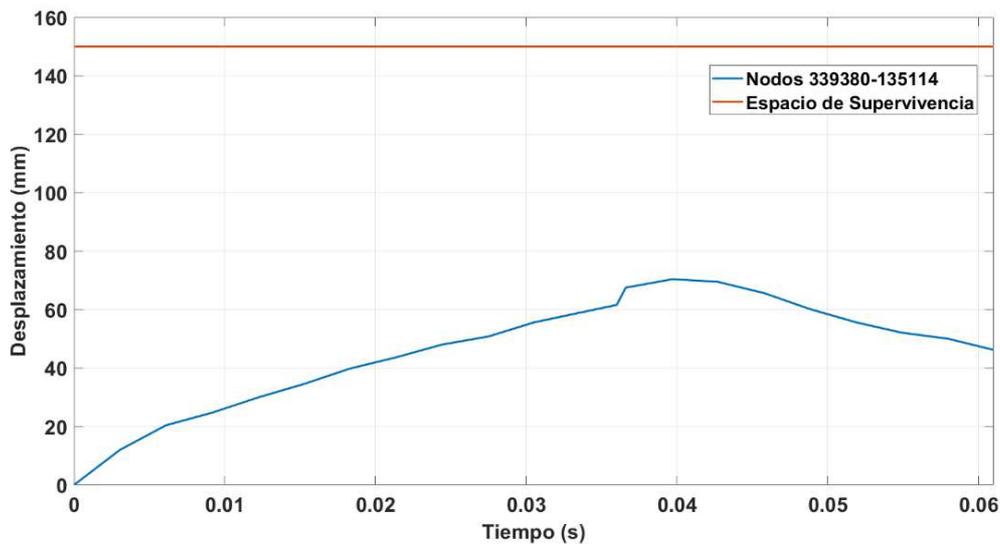


Figura 34. Desplazamiento del Espacio de Supervivencia en la Planta Baja Alta durante el Volcamiento.

Fuente: Autor

El espacio de supervivencia en la plata alta es invadido por la estructura en 48 mm, esto al alcanzar la deformación máxima durante el ensayo, figura 35; motivo por el cual esta unidad de transporte para pasajeros no puede ser homologada y no podría entrar en procesos de producción.

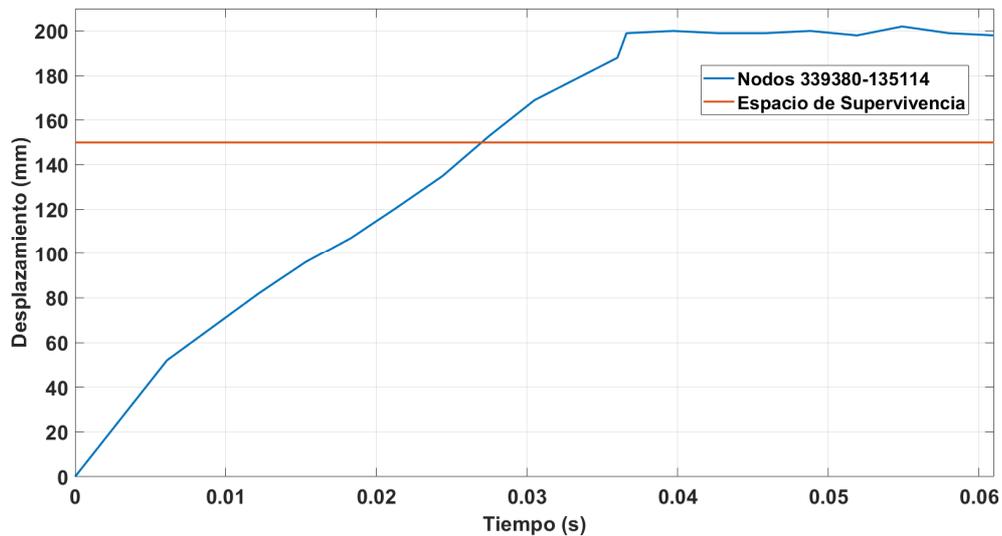


Figura 35. Desplazamiento del Espacio de Supervivencia en la Planta Alta durante el Volcamiento.

Fuente: Autor

6.3 Velocidad

En la figura 36, la velocidad a medida que el autobús impacta con el suelo disminuye de manera progresiva. Dando como resultado que la estructura se ha desplazado hasta impactar con el suelo y en donde la velocidad tiende a cero, sin embargo, el intervalo de mayor importancia es donde el autobús se impacta sobre la superficie, de manera que lo demás no tiene transcendencia puesto que lo único que interesa es el contacto de las dos superficies durante el ensayo de volcamiento.

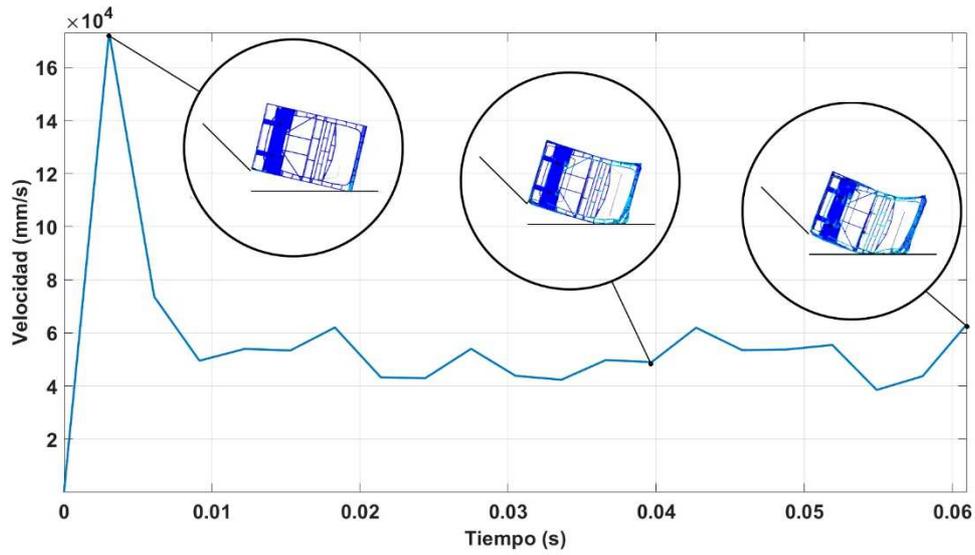


Figura 36. Comportamiento de la velocidad durante el Ensayo del Vuelco del Autobús.

Fuente: Autor

6.4 Aceleración

Se observa en la figura 37 que la aceleración presenta un pico alto, debido al impacto y a la deformación máxima del autobús, a medida que se desplaza con respecto al suelo, de la misma manera la aceleración disminuye hasta llegar a cero.

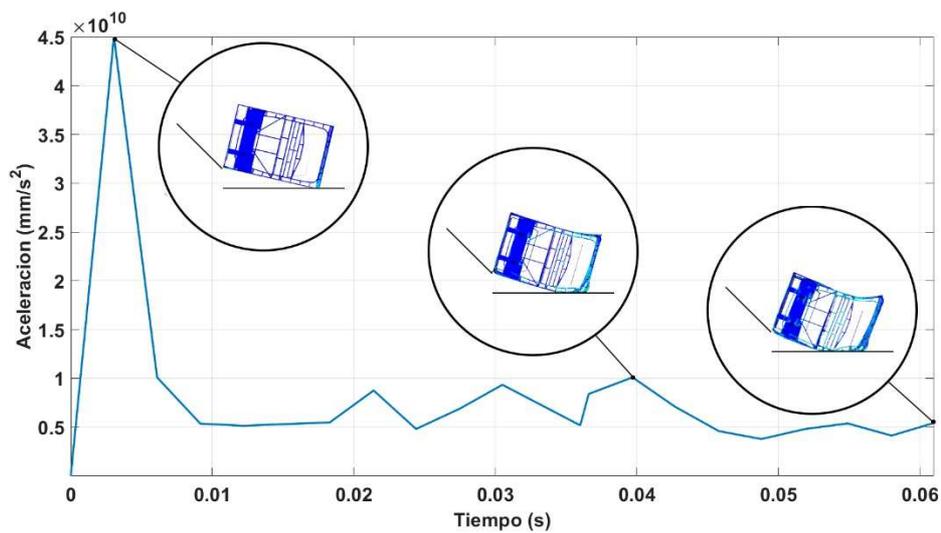


Figura 37. Variación de la aceleración en el impacto de la superestructura del Autobús

Fuente: Autor

6.5 Ensayo de Validación

La homologación está basada en una serie de 4 pruebas de impacto por caída libre que se llevan a cabo para corroborar los resultados de deformación obtenidos mediante la simulación computacional y la realización de pruebas en un banco de impacto por caída libre.

6.5.1 Diseño de Probetas

En el diseño de las probetas para el ensayo de impacto las medidas utilizadas para el ancho son de 600 mm y de alto 700 mm, como se observa en la figura 37.

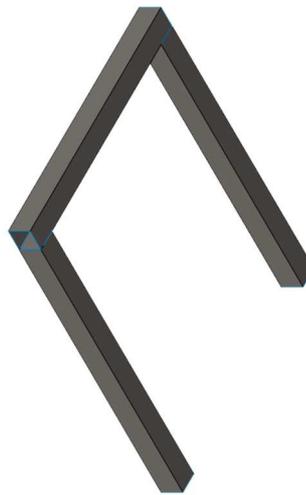


Figura 38. Modelo de la Probeta para Ensayo de Homologación.

Fuente: Autor

6.5.2 Construcción

La construcción de las probetas para el ensayo de impacto se da mediante los planos obtenidos del diseño previamente realizado, el material empleado en la manufactura de las probetas es el acero estructural, figura 39, las uniones de las probetas se efectúan mediante soldadora MIG (Gas metal arc welding) a 92 amperios con CO₂ al 100% y con un volumen de 12 litros/ minuto.



Figura 39. Probeta Construida para Aplicación del Ensayo de Impacto

Fuente: Autor

6.5.3 Aplicación de Ensayo Mediante Máquina de Impacto por Caída Libre

En la aplicación del ensayo se utilizan cuatro probetas, que son impactados por una masa de 23.5 kg que está a una altura de 1.20 metros, mediante una máquina adecuada para realizar pruebas de impacto por caída libre como se observa en la figura 40.



Figura 40. Banco de Ensayos por Impacto Mediante Caída Libre

Fuente: Autor

La sujeción de las probetas al banco para el ensayo de impacto por caída libre se efectúa con prensas manuales en las bases para mantenerlas en una posición fija, de esta forma se evita algún posible movimiento por el impacto.

El desplazamiento de la masa a impactar en la probeta durante el ensayo es igual a la velocidad promedio, multiplicado por el cambio en el tiempo como se muestra en la ecuación

$$\vec{s} = \vec{V}_p \cdot \Delta t \quad (14)$$

Donde

\vec{s} = Desplazamiento de la Masa (m).

\vec{V}_p = Velocidad Promedio (m/s).

Δt = Cambio en el Tiempo (t).

Por otro lado, la velocidad promedio va a ser igual a la suma de la velocidad inicial y final, dividido entre dos y que la variación del tiempo es la diferencia entre las velocidades y la aceleración al momento que la masa de impacto cambie de un estado de reposo a movimiento en caída libre.

$$\vec{s} = \frac{\vec{V}_F + \vec{V}_I}{2} \cdot \frac{\Delta \vec{V}}{\vec{a}} \quad (15)$$

La variación de la velocidad va a ser la diferencia entre la velocidad, donde la velocidad inicial es cero, como se muestra en la ecuación (16).

$$\vec{s} = \frac{\vec{V}_F - \vec{V}_I}{2} \cdot \frac{\vec{V}_F}{\vec{a}} \quad (16)$$

Se despeja la ecuación en función de la velocidad final (17) y al remplazar los valores, obtenemos la velocidad en m/s , que va a ser la velocidad, con lo cual la masa impactara en caída libre a la probeta en el ensayo, como podemos observar en la figura 40.

$$\vec{V}_F = \sqrt{19.62 \cdot 1.20} \text{ m/s} = 4.85 \text{ m/s} \quad (17)$$

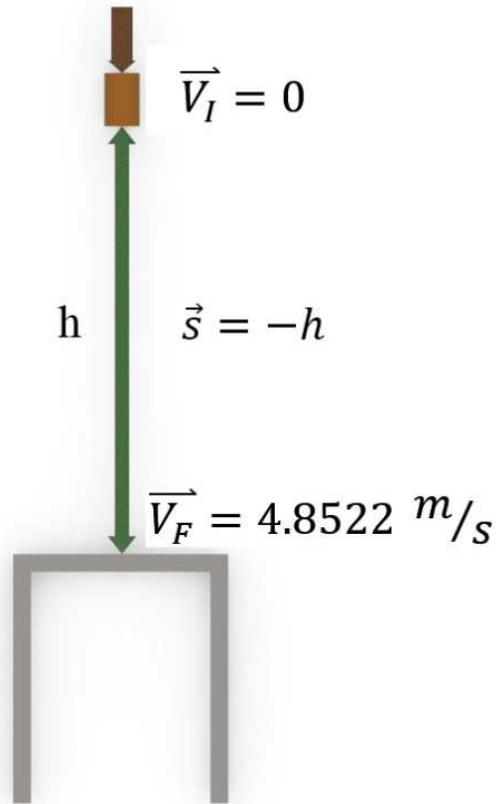


Figura 41. Diagrama de Cuerpo Libre del Ensayo de Impacto

Fuente: Autor

La deformación es en el centro de la estructura como se observa en la figura 42, donde la masa impacta directamente al centro de la estructura.



Figura 42. Deformación de la Probeta por Impacto

Fuente: Autor

La deformación de cada una de las probetas durante el ensayo de deformación se observa en la tabla 12.

Tabla 12: Deformación de las Probetas

Ensayo	Deformación
Probeta 1	14.84 mm
Probeta 2	15.12 mm
Probeta 3	13.94 mm
Probeta 4	15.08 mm

Fuente: Autor

6.5.4 Aplicación de Ensayo Mediante Simulación Computacional

En la simulación computacional se emplean las mismas condiciones aplicadas en el ensayo físico, esto con la finalidad de comparar los resultados obtenidos y evaluar si son válidos.

Como se observa en la figura 43 la deformación por el impacto en la probeta comienza a partir del instante $t = 0.31$ segundos, deformándose hasta alcanzar el punto máximo en $t = 0.36$ s, dando como resultado la deformación de la estructura en 15.125 mm.

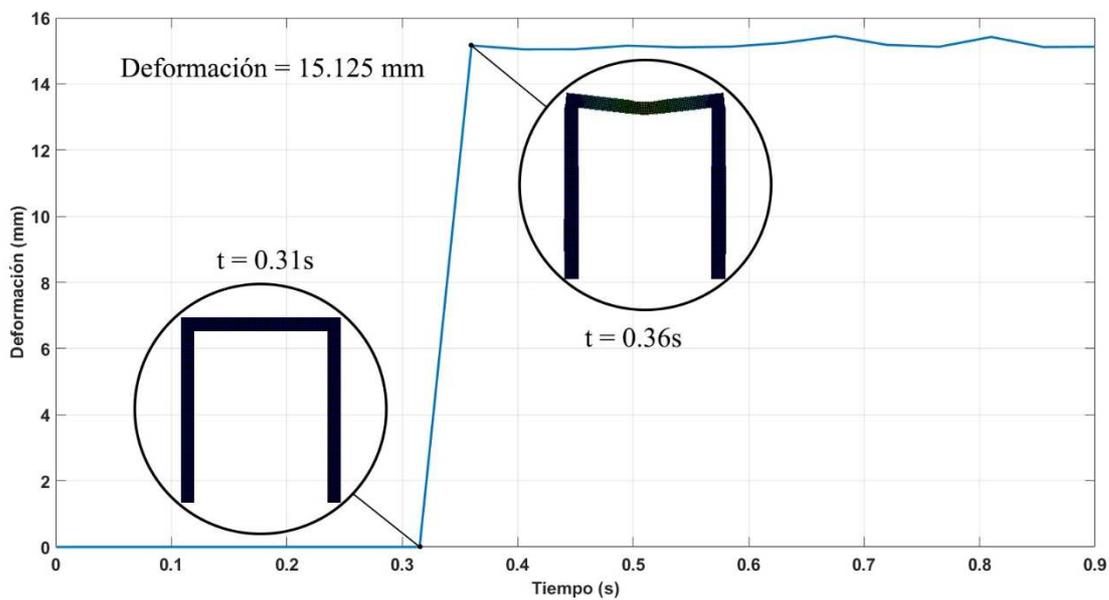


Figura 43. Deformación de la Prometa Mediante Simulación por Ordenador.

Fuente: Autor

En la figura 44 muestra la deformación de la probeta, por el impacto de la masa en caída libre, donde la deformación que llega es de 15.125 mm.



Figura 44. Deformación Máxima de la Probeta de Ensayo.

Fuente: Autor

Al obtener los datos de la deformación por de impacto se procede al cálculo del error máximo admisible (18) para corroborar los valores obtenidos en la simulación computacional, la ecuación utilizada es la siguiente:

$$Error = \frac{Valor_{Aproximado} - Valor_{Exacto}}{Valor_{Exacto}} * 100 \quad (18)$$

$$Error = \frac{15.125 - 14.745}{15.125} * 100 \rightarrow 2.51\% \quad (19)$$

El error en el ensayo obtenido es de 2.51 %, este valor depende directamente del número de ensayos que se practiquen, a mayor número el error disminuirá, lo que demuestra que los resultados obtenidos mediante el ordenador reflejan resultados validos en comparación a la vida real. Al tener la confianza de que los resultados obtenidos en el ensayo de vuelco del autobús mediante el anexo 9 del reglamento 66 son válidos.

7. Conclusiones

Los objetivos planteados en el trabajo de la tesis fueron cumplidos satisfactoriamente, se desarrolló y aplicó el anexo 9 de la reglamentación 66 de la UNECE, para realizar la simulación por ordenador del ensayo de vuelco de un autobús de dos pisos.

La normativa técnica ecuatoriana a partir del reglamento 1323, especifica las medidas y requerimientos que deben cumplir los autobuses para ser homologados y circular en el país, permite que los autobuses de dos pisos puedan ingresar al país para el servicio de transporte interprovincial de pasajeros, perteneciendo a la clasificación vehicular M3, de acuerdo con la NTE INEN 2656.

El reglamento 66 de la UNECE, en el ámbito de aplicación menciona que solamente se aplica a vehículos de un solo piso, rígidos o articulados, pertenecientes a la categoría M2 o M3, donde a partir de esta clasificación los autobuses de dos pisos de acuerdo con la NTE INEN 1323 y 2656 pertenecen a la categoría M3.

El ensayo de vuelco de un autobús de dos pisos puede aplicarse mediante la reglamentación 66, ya que estos vehículos al pertenecer a la categoría M3, de acuerdo con la normativa técnica ecuatoriana; el campo de aplicación de esta reglamentación se aplica a los vehículos de un solo piso, rígidos o articulados, pertenecientes a la categoría M2 o M3 utilizado en el transporte de pasajeros.

Las condiciones para el ensayo de volcamiento se cumplen como menciona la reglamentación 66, al cumplir cada uno de los parámetros al momento de realizar la simulación computacional del ensayo de vuelco por el método de elementos finitos.

La simulación computacional del ensayo de vuelco del autobús permitió determinar que la estructura presenta una intromisión de los componentes estructurales dentro del espacio de

supervivencia del autobús durante una colisión.

Con respecto al valor de la energía total obtenido en la simulación y el calculado mediante las fórmulas sugeridas por el reglamento 66, existe un porcentaje de error, esto debido a que el centro de gravedad no es exacto, es importante indicar que este error se considera bajo por lo tanto los resultados son válidos.

La energía de Hourglass de acuerdo con el anexo 9 de la reglamentación 66 no debe sobrepasar en ninguno momento el 5% de la energía total, de manera que el valor máximo alcanzado durante la simulación es de 2%, indicando que el resultado de la simulación es válido.

El ensayo de validación permite verificar la confiabilidad de la técnica aplicada, los valores obtenidos de la deformación y el error máximo admisible de las simulaciones computacionales son resultados confiables, lo que le convierte en una solución rápida y económica con respecto a las prácticas que se producen en la vida real.

8. Recomendaciones

Se recomienda que la malla al momento de aplicar elementos finitos debe estar de acuerdo con el estudio a desarrollar, la misma que debe cumplir parámetros de calidad y estar optimizada para que los resultados sean lo más reales posibles.

En la sección de la elección de los materiales, se debe ingresar todos los valores necesarios, como la curva esfuerzo deformación y demás propiedades mecánicas que permita obtener los resultados confiables.

Se sugiere continuar con las investigaciones en vehículos, con la finalidad de analizar la seguridad tanto activa y pasiva que pueden presentar, por lo que este trabajo queda abierto para poder seguir centrándose en el estudio de los vehículos de transporte público de pasajeros, para evaluar y optimizar las condiciones de seguridad.

9. Referencias Bibliográficas

- Azom Materials. 2019. "AISI 1010 Carbon Steel (UNS G10100)." Retrieved May 15, 2020 (<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6539>).
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. 2016. "NTE INEN 1668: Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial." *Inen* Primera re:30.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. 2014. "RTE INEN 043: Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial." 40(14):1–33.
- RTE INEN 043. 1989. "Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial." (929):1–7.
- Pintado, Sergio. 2019. "Una Trampa Mortal: ¿por Qué Los Autobuses de Dos Pisos Son Tan Peligrosos? - Sputnik Mundo." *Sputnik News*. Retrieved May 4, 2020 (<https://mundo.sputniknews.com/seguridad/201912061089558726-una-trampa-mortal-por-que-los-autobuses-de-dos-pisos-son-tan-peligrosos/>).
- Bravo, Diego, and Sara Ortiz. 2014. "El 50% de Accidentes Es Por Impericia | El Comercio." Retrieved April 27, 2020 (<https://www.elcomercio.com/actualidad/seguridad/50-de-accidentes-impericia.html>).
- Mirlisenna, Guiseppa. 2016. "Método de Los Elementos Finitos." Retrieved April 24, 2020 (<https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>).
- Covered, Topics, and Chemical Composition. 2012. "AISI 1010 Carbon Steel (UNS G10100)." 1–5.
- Sectoriales, Canales. 2010. "Autobuses: ¿integrales, Basados En Chasis o Mixtos? -." Retrieved April 16, 2020 (<https://www.interempresas.net/Automocion/Articulos/41701-Autobuses-integrales-basados-en-chasis-o-mixtos.html>).
- Autocrash. 2016. "Conozca La Clasificación de Los Vehículos Pesados de Pasajeros." Retrieved April 16, 2020 (<https://www.revistaautocrash.com/conozca-la-clasificacion-los-vehiculos-pesados-pasajeros/>).
- Automoción. 2016. "Historia Del Autobús: Todo Lo Que Tienes Que Saber." Retrieved (<https://www.autonocion.com/historia-del-autobus/>).
- Trafico Vial S.A. 2008. *Certificado de Aptitud Profesional - Viajeros - Google Libros*. edited by E. EDITORIAL.

- Moreno, Pilar Ariza, and Andrés Sáez Pérez. 2004. *Método de Los Elementos Finitos.: Introducción a Ansys - Pilar Ariza Moreno, Andrés Sáez Pérez*. Primera Ed. edited by Universidad de Sevilla.
- Galbarro, Hermenegildo Rodríguez. 2016. “El Bastidor de Los Vehículos Automóviles.” Retrieved January 12, 2020 (<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html>).
- Teórica Educación Vial. 2017. “CARROCERÍA Y CHASIS DE UN VEHÍCULO.” Retrieved January 12, 2020 (<https://www.tutorica.com/material-complementario/seguridad-pasiva/chasis-y-carroceria>).
- COMIL Ônibus S.A. n.d. “Rodoviaros Invictus DD.” Retrieved January 12, 2020 (<https://www.comilonibus.com.br/site/veiculos/detalhe/linha-rodoviario/produto-campione-invictus-dd#/dados-tecnicos>).
- Anon. n.d. “Comil.”
- Anon. n.d. “Vissta Buss DD.” Retrieved January 12, 2020 (<https://busscar.net/vissta-buss-dd/>).
- Interempresas. 2010. “Autobuses.” Retrieved January 12, 2020 (<https://www.interempresas.net/Automocion/Articulos/41701-Autobuses-integrales-basados-en-chasis-o-mixtos.html>).
- Anon. n.d. “SUPERESTRUCTURA PARA VEHICULOS, SOBRE TODO PARA Vehículos” Retrieved January 12, 2020 (<https://patentados.com/2010/superestructura-para-vehiculos-sobre>).
- Anon. n.d. “Tipos de Carrocerías y Sus Principales Características.” Retrieved January 12, 2020 (<https://blog.reparacion-vehiculos.es/tipos-de-carrocerias-principales-caracteristicas>).
- Anon. n.d. “Tipos de Chasis o Carrocería, Un Componente Del Bastidor.” Retrieved January 12, 2020 (<https://www.carfax.es/comprar-coches-de-ocasion/tipos-de-chasis-carroceria>).
- Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador. 2019. “Estadísticas Sobre Siniestros de Tránsito.” Retrieved January 12, 2020 (<https://www.ant.gob.ec/index.php/estadisticas>).
- Federación Iberoamericana de Asociaciones de Víctimas contra la violencia vial. 2015. “II Conferencia Global de Alto Nivel Sobre Seguridad En El Tránsito.” Retrieved January 12, 2020 (<http://contralaviolenciavial.org/actualidad/2-conferencia-global-de-alto-nivel-sobre-seguridad-en-el-transito/gmx-niv44-con213.htm>).
- Moller, Rolf. 2006. *Transporte Urbano y Desarrollo Sostenible En América Latina*. edited by Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- MAN Truck & Bus. 2018. “Semi-Integral Design (Bus Bodywork).” Retrieved January 12, 2020 (<https://www.mantruckandbus.com/en/company/glossar/semi-integral-design-bus-bodywork.html>).

- MAN Truck & Bus. 2018. “Integral Design (Bus Bodywork).” Retrieved January 12, 2020 (<https://www.mantruckandbus.com/en/company/glossar/integral-design-bus-bodywork.html>).
- Amoviblesio. 2015. “Elementos: Estructura y Carrocería Del Automóvil.” Retrieved January 12, 2020 (<http://amoviblesio.blogspot.com/2015/12/estructura-y-carroceria-de-vehiculos.html>).
- Routemaster Association. 2016. “History of Vehicles Routemaster.” Retrieved January 12, 2020 (<http://routemaster.org.uk/pages/history>).
- Ribeiro, Carlos Alberto, and JC Barboza. 2013. “Especial de Domingo: Thamco Gemini, o Primeiro DD Rodoviário Do Brasil – Ônibus Paraibanos.” Retrieved January 11, 2020 (<https://onibusparaibanos.com/2013/07/28/especial-de-domingo-thamco-gemini-o-primeiro-dd-rodoviario-do-brasil/>).
- Parada Solicitada. 2012. “Parada Solicitada: THAMCO e Suas Origens.” Retrieved January 11, 2020 (<http://canalparadasolicitada.blogspot.com/2012/11/thamco-e-suas-origens.html>).
- TheDim, Maria Clara. 2014. “THAMCO | Lexicar Brasil.” Retrieved January 11, 2020 (<http://www.lexicarbrasil.com.br/thamco/>).
- Chile Fan Bus. 2017. “El Skyliner de Neoplan Cumplió 50 Años.” Retrieved January 11, 2020 (<https://www.fanbus.cl/2017/04/el-skyliner-de-neoplan-cumplio-50-anos.html>).
- Rita, Segura. 2015. *Double Deckers / Transportes y Turismo*. México D.F.
- Puzzle Passion. 2014. “Autobús de Dos Pisos.” Retrieved January 11, 2020 (<https://www.puzzlepassion.com/un-autobus-dos-pisos/>).
- Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE). 2015. “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.” (78):30–59.
- J. M. Alonso Pérez. 2010. *Técnicas Del Automóvil. Chasis*. Octava edición. edited by Carmen Lara Carmona. Madrid, España: Paraninfo.
- Miravete, Antonio. 2003. *Materiales Compuestos*. Tercera Ed. edited by Reverté S.A. Zaragoza.
- Luque Rodríguez, Pablo., and Daniel. Álvarez Mántaras. 2007. *Investigación de Accidentes de Tráfico. Manual de Reconstrucción*. edited by M. Martínez. La Coruña: Gesbiblo, S.L.
- Donaire Sánchez, Jesús. 2016. “Comparativa De Modelos De Simulación De Vuelco De Autobuses Según Los Procedimientos Del Reglamento 66.” 120.

- Buses y Camiones del Peru. 2013. "Buses Con Carrocerías de Dos Pisos: Diversas Opciones de Negocio." Retrieved January 6, 2020 (<http://www.busesycamiones.pe/ideas-negocio/573-buses-carrocerias-dos-pisos>).
- Chile Fan Bus. 2016. "La Carrocera Brasileira Busscar Puede Ser Vendida y Tras Ello Volver a Producir En 2017." Retrieved January 6, 2020 (<https://www.fanbus.cl/2016/11/la-carrocera-brasilera-busscar-puede.html>).
- Estadão. 2018. "A Evolução Do Ônibus Em 25 Fatos." Retrieved January 5, 2020 (<https://estradao.estadao.com.br/onibus/evolucao-do-onibus-em-25-fatos/>).
- Transa Transporte Coletivo. 2017. "Um Pouco Sobre a História Do Ônibus No Brasil." Retrieved January 5, 2020 (<https://www.transatransporte.com.br/5229-2/>).
- tutorica.com. 2017. "CARROCERÍA Y CHASIS DE UN VEHÍCULO." Retrieved January 4, 2020 (<https://www.tutorica.com/material-complementario/seguridad-pasiva/chasis-y-carroceria>).
- La Cultura. 2013. "La Historia de Los Míticos Red Buses." Retrieved January 4, 2020 (<http://inglesenlacultural.com.ar/la-historia-de-los-miticos-red-buses/>).
- Hibbeler, R. C., and José de la Cera Alonso. 2004. *Mecánica Vectorial Para Ingenieros: Dinámica*. Pearson/Educación.
- Llano, Constantino de. 1998. *Física*. Progreso.
- Giancoli, Douglas C., and Víctor. Campos Olguín. 2006. *Física: Principios Con Aplicaciones*. Pearson/Education.
- Wilson, Jerry D., and Anthony J. Buffa. 2003. *Fascia*. Pearson Education.
- León, María Elvira de Las Heras. 2014. *UF0471 - Conducción y Circulación de Vehículos de Transporte Urbano e Interurbano Por Las Vías Públicas*. Primera. edited by E. Elearning. Madrid, España.
- Antonio Manuel. 2003. *Ciudad, Transportes y Territorio*. Primera. edited by Zárata. Madrid, España.
- Ariza Moreno, Pilar., Andrés Sáez Pérez, and José. Domínguez Abascal. 1999. *Método de Los Elementos Finitos: Introducción a Ansys*. Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- Nelson Rodríguez. 2012. "ACCIDENTES DE TRANSITO INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO." Retrieved August 26, 2019 (http://nelsonrodriguezforense.mex.tl/308206_ACCIDENTES-DE-TRANSITO.html).
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. 2009. "NTE INEN 1323: Vehículos Automotores. Carrocerías De Buses. Requisitos."

Francisco Compañ Bombardó. 2015. *Atención e Información a Los Viajeros Del Autobús o Autocar - Francisco Compañ Bombardó* . edited by Editorail Elfarning S.L. Madrid, España.

Luque Rodríguez, Pablo., Daniel Álvarez Mántaras, and Carlos Vera. 2004. *Ingeniería Del Automóvil: Sistemas y Comportamiento Dinámico*. Thomson.

Aguilar, Humberto Reyes; Ricardo. 1965. "INTRODUCCION AL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS: APLICACIÓN A LA MECANICA DE SÓLIDOS."
111(479):1009-1

