



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL DE LA CARROCERÍA DE
AUTOBUSES DE TRANSPORTE DE PASAJEROS INTERPROVINCIAL ENTRE
LOS AÑOS 2000 HASTA EL AÑO 2020

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

AUTORES: EDGAR ANDRÉS AGILA AGILA

PABLO ANDRÉS SANDOVAL ATRE

TUTOR: ING. MARCO ESTEBAN AMAYA PINOS, MSc.

Cuenca - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Edgar Andrés Agila Agila con documento de identificación N° 1724804768 y Pablo Andrés Sandoval Atre con documento de identificación N° 0106682610; manifestamos que:

Somos autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 08 de diciembre del 2022

Atentamente,



Edgar Andrés Agila Agila

1724804768



Pablo Andrés Sandoval Atre

0106682610

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Edgar Andrés Agila Agila con documento de identificación N° 1724804768 y Pablo Andrés Sandoval Atre con documento de identificación N° 0106682610, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis de la resistencia estructural de la carrocería de autobuses de transporte de pasajeros interprovincial entre los años 2000 hasta el año 2020”, el cual 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 concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 08 de diciembre del 2022

Atentamente,



Edgar Andrés Agila Agila

1724804768



Pablo Andrés Sandoval Atre

0106682610

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marco Esteban Amaya Pinos con documento de identificación N° 0102263480, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL DE LA CARROCERÍA DE AUTOBUSES DE TRANSPORTE DE PASAJEROS INTERPROVINCIAL ENTRE LOS AÑOS 2000 HASTA EL AÑO 2020 realizado por Edgar Andrés Agila Agila con documento de identificación N° 1724804768 y por Pablo Andrés Sandoval Atre con documento de identificación N° 0106682610, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 08 de diciembre del 2022

Atentamente,



Ing. Marco Esteban Amaya Pinos, MSc.

0102263480

DEDICATORIA

Nuestro trabajo de titulación va dedicado principalmente a Dios, por guiarnos por el camino del bien y llenarnos de sabiduría en este largo camino de estudio, y no hacer que desmayemos en los momentos más difíciles que atravesamos en nuestra carrera universitaria.

A nuestros padres, quienes han sido nuestras fuerzas y voluntad para poder culminar nuestros estudios, ya que ellos siempre estuvieron hay para apoyaron a pesar de las adversidades que se les presento.

Edgar Andrés Agila Agila

Pablo Andrés Sandoval Atre

AGRADECIMIENTO

Agradecemos primeramente a Dios por llenarnos de bendiciones en la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres por apoyarnos en todo momento y por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestro Ing. Marcó Esteban Amaya Pinos profesor de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, por haber compartido sus conocimientos para la realización de nuestro trabajo de titulación, la cual nos ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.

Edgar Andrés Agila Agila

Pablo Andrés Sandoval Atre

RESUMEN

En el presente trabajo de fin de grado se realiza un análisis de la resistencia estructural de la carrocería de autobuses transporte de pasajeros interprovinciales entre los años 2000 hasta el año 2020 , conforme a la normativa y reglamentación técnica que dicta el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) la cual se encarga de regular desde los materiales utilizados para la construcción de la estructura, hasta la seguridad que debe brindar a los pasajeros del autobús que entran en circulación al país ya sea de fabricación nacional o importado, con la finalidad de salvaguardar la vida de los operadores y pasajeros ante cualquier siniestro.

Para lo cual se realizó un análisis estructural mediante un volcamiento regulado por la Comisión Económica de las Naciones Unidas de Europa (UNECE), aplicando el Reglamento 66, donde menciona que la estructura en ningún momento puede ingresar al espacio de supervivencia durante una colisión, efectuando los ensayo a dos buses del mismo modelo, pero con distinta fecha de fabricación para comprobar la seguridad ante siniestros.

Palabras Claves: *Autobús, Estructura, Elementos Finitos, Volcamiento, Espacio de Supervivencia, Normativa. .*

ABSTRACT

In this final degree work, an analysis of the structural resistance of the bodywork of interprovincial passenger transport buses between the years 2000 and 2020 is carried out, according to the norms and technical regulations dictated by the Ecuadorian Standardization Service (INEN) which is responsible for regulating from the materials used for the construction of the structure, to the safety it must provide to the passengers of the bus that enters into circulation in the country, whether it is of national or imported manufacture, in order to safeguard the lives of operators and passengers in the event of any accident.

For this purpose, a structural analysis was carried out by means of a rollover regulated by the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), applying Regulation 66, which mentions that the structure may not enter the survival space at any time during a collision, testing two buses of the same model, but with different dates of manufacture to verify safety in the event of accidents.

Keywords: Bus, Structure, Finite Elements, Overturning, Survival Space, Regulations.

ÍNDICE

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
1. Introducción	13
2. Problema	13
2.1 Antecedentes.....	13
2.2 Importancia y Alcance.....	14
2.3 Delimitación	14
3. Objetivos	15
3.1 Objetivo General	15
3.2 Objetivos Específicos	15
4. Estado del Arte	15
4.1 Trabajos Previos	15
4.2 Evolución del Autobús	16
4.3 Estructura de Autobuses	17
4.4 Vida Útil de los Autobuses	18
4.5 Volcamiento.....	19
4.6 Accidentes	20
5. Marco Metodológico	24
5.1 RTE INEN 034: Elementos Mínimos de Seguridad en Vehículos Automotores.....	24
5.1.1 Disposiciones Generales.....	24
5.2 NTE 1323: Vehículos Automotores. Carrocerías de buses	26
5.2.1 Disposiciones Generales	26
5.2.2 Requisitos.....	28
5.2.3 Ensayos	29
5.3 NTE 1668: Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovinciales.....	29
5.3.1 Clasificación	29
5.3.2 Requisitos.....	30
5.3.3 Dimensiones Externas del Vehículo	31
5.4 RTE 043: Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Interprovincial e Intraprovinciales.....	32
5.4.1 Especificaciones de la Carrocería.....	33
5.5 NTE INEN 2415: Tubos de Acero al Carbono Soldados para Aplicaciones Estructurales y usos Generales.....	33

5.5.1 Referencias y Normativas.....	33
5.6 Reglamento N° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa	34
5.6.1 Campo de Aplicación.....	35
5.6.2 Espacio de Supervivencia.....	35
5.7 Condiciones para las Simulaciones de Volcamiento.....	37
5.8 Comparación de Modelos.....	37
5.9 Modelado de la Superestructura del Autobús.....	38
5.10 Modelado del Espacio de Supervivencia.....	39
5.11 Valores del Modelo Matemático	40
5.12 Materiales	42
5.13 Cálculo de la Velocidad Angular para en Ensayo de Vuelco.....	43
5.14 Análisis de Volcamientos de Mediante el Método de Elementos Finitos	46
5.15 Aplicación del Método de Elementos Finitos	46
5.16. Procedimiento y proceso de ensayo	47
5.17. Simulación de Volcamiento por Computadora	48
6. Resultados	50
6.1 Análisis de Volcamiento.....	50
6.1.1 Esfuerzos y Energías.....	50
6.2.2 Espacio de Supervivencia.....	53
7. Conclusiones	55
8. Recomendaciones.....	1
9. Referencias Bibliográficas	2

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Entreprise Generale des Omnibus", autocar de la Monnaie al Jardin du Roi.	16
Figura 2. Primer Vehículo a Motor Diésel de 40 HP y Capacidad de 20 Pasajeros.	17
Figura 3. Estructura de un Autobús.....	18
Figura 4. Volcamiento Lateral de Autobús tras Pérdida de Control.....	20
Figura 5. Mapa de Accidentes de Tránsito Ocurridos en el Ecuador en el 2022 en el periodo Enero-Julio.....	21
Figura 6. Siniestros por Tipo de Vehículo en el Periodo de Enero a Julio de 2022.....	22
Figura 7. Mapa de Accidentes de Tránsito de Autobuses en el Ecuador en el 2022 en el periodo Enero-Julio	24
Figura 8. Se indica tres figuras a), b) y c) donde se indican las especificaciones del espacio de supervivencia.....	36
Figura 10. Comparación de los autobuses A) Bus del año 2000 y B) Bus del Año 2020 .	38
Figura 11. Modelado de las Estructuras: a) Autobús del año 2000 b) Autobús del año 2020.	39
Figura 12. Dimensiones en mm del Espacio de Supervivencia.....	39
Figura 13. Modelado del espacio de supervivencia dentro del a) autobús del año 2000 y b) autobús del año 2020.	40
Figura 14. Ubicación del Centro de Gravedad en el Autobús de Estructura del año 2000.	41
Figura 15. Ubicación del Centro de Gravedad en el Autobús de Estructura del año 2020.	41
Figura 16. Especificación del ensayo de Vuelco de un Vehículo en la Plataforma en Posición Inicial.....	44
Figura 17. Radio de Giro del Autobús en la Plataforma de Basculamiento.	45
Figura 18. Aplicación de Mallado al Autobús en el Último Contacto antes de Impactar.....	47
Figura 19. Campo de visión Recomendado de la Cámara Exterior.	48
Figura 20. Secuencia de Ensayo de vuelco del Autobús.....	49
Figura 21. Autobús en Posición de Primer Contacto	49
Figura 22. Esfuerzo de Von Misses (MPa) por Volcamiento del Autobús del año 2000. .	50
Figura 23. Energías Generadas en el Volcamiento del Autobús del Año 2000.....	51
Figura 24. Esfuerzo de Von Misses (MPa) por Volcamiento del Autobús del Año 2020.	52
Figura 25. Energías Generadas en el Volcamiento del Autobús del Año 2022.....	53
Figura 26. Desplazamiento del Espacio de Supervivencia en el Volcamiento en el Autobús del Año 2000.....	54
Figura 27. Desplazamiento del Espacio de Supervivencia en el Volcamiento en el Autobús del año 2020.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vida Útil de Prestación de Servicio de Transporte Terrestre Público y Comercial dispuesto en la Normativa Vigente.....	19
Tabla 2: Indicadores Tránsito a la Baja.....	20
Tabla 3: Cargas vivas de Diseño.....	28
Tabla 4: Clasificación de los vehículos de transporte público de pasajeros.....	30
Tabla 5: Clasificación de los vehículos de transporte público de pasajeros.....	30
Tabla 6: Largo total de vehículos de transporte público de pasajeros.....	31
Tabla 7: Altura total máxima de los vehículos.....	32
Tabla 8: Voladizo delantero y posterior.....	32
Tabla 10. Perfiles Estructurales presentes en la Carrocería del Autobús.....	42
Tabla 11. Propiedades Mecánicas y Químicas del Acero ASTM 500.....	43

1. Introducción

La presente investigación se enfoca en estudiar el diseño estructural de las carrocerías de autobuses interprovinciales antiguos en comparación con las actuales, ya que estas deben ser capaces de soportar las deformaciones producto de los esfuerzos generados por el funcionamiento o en el caso de una colisión precautelar la integridad física de los pasajeros evitando que la estructura invada el espacio de supervivencia, por esto es necesario evaluar el diseño estructural para corroborar que seguridad ofrecen, además, es importante indicar que la presente normativa vigente establece que la vida útil de un autobús es de 20 años, sin embargo, en el país se sigue utilizando unidades obsoletas en rutas intraprovinciales o intracantoniales por lo menos durante 5 años, ya que no existe un adecuado control en este sector, por lo cual es indispensable evaluar la resistencia estructural de los diseños antiguos que han superado los 10 años de vida útil y tener bases para poder dar de baja estas carrocerías una vez que cumplan su ciclo de vida.

2. Problema

2.1 Antecedentes

Los autobuses interprovinciales se utilizan tanto para distancias cortas como largas, por lo que es importante comprender su resistencia estructural y su capacidad para resistir un accidente. En Ecuador en el primer semestre hubo 10592 accidentes de tránsito, resultando en 9019 heridos y 1056 muertos, dicho esto, representa una estadística asombrosa y no se reduce significativamente comparada con otros años, de los cuales 567 son accidentes en los cuales están involucrado los autobuses, las consecuencias son nefastas con 585 heridos y 92 fallecidos, para lo cual el diseño de la estructura de la carrocería de un autobús es importante para salvaguardar la vida de los ocupantes.

Sin embargo, para mejorar la seguridad, aún no se ha determinado el cambio en la 13

resistencia estructural y el grado de mejora en la seguridad de los pasajeros, si bien la estructura de la carrocería se basa en normas de ingeniería de seguridad establecidas como la NTE INEN 1668 y la NTE INEN 1323:2009, es importante comprender su evolución para que el modelo pueda optimizarse para un diseño más seguro.

2.2 Importancia y Alcance

La presente investigación se enfoca en estudiar el diseño estructural de las carrocerías de autobuses interprovinciales antiguos en comparación con las actuales, ya que estas deben ser capaces de soportar las deformaciones producto de los esfuerzos generados por el funcionamiento o en el caso de una colisión precautelar la integridad física de los pasajeros evitando que la estructura invada el espacio de supervivencia, por esto es necesario evaluar el diseño estructural para corroborar que seguridad ofrecen, además la presente normativa vigente se establece que la vida útil de un autobús es de 20 años, sin embargo, en el país se sigue utilizando unidades obsoletas en rutas intraprovinciales o intracantonales por lo menos durante 5 años, ya que no existe un adecuado control en este sector, por lo cual es indispensable evaluar la resistencia estructural de los diseños antiguos que han superado los 10 años de vida útil y tener bases para poder dar de baja estas carrocerías una vez que cumplan su ciclo de vida.

2.3 Delimitación

El presente proyecto, se llevará a cabo en la Provincia del Azuay, que está ubicada al sur del Ecuador, en la región interandina o sierra, principalmente sobre la Hoya de Paute en el Noreste y la Hoya de Jubones en el Suroccidente., la cual tiene una altitud de 2500 m.s.n.m, con una superficie de 7.701 Km² y una población de 506.090 habitantes.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

- Analizar la resistencia estructural de la carrocería de autobuses transporte de pasajeros interprovinciales entre los años 2000 hasta el año 2020.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el estudio del arte mediante la revisión bibliográfica científica para soportar las variables del estudio acerca de la validación y diseños de las carrocerías de los autobuses.
- Determinar las condiciones de simulación de volcamiento de la estructura de los autobuses.
- Validar el comportamiento de la estructura de los autobuses durante un ensayo de volcamiento computacional mediante el método de elementos finitos.
- Analizar los resultados obtenidos de las simulaciones efectuadas por el método de elementos finitos.

4. Estado del Arte

4.1 Trabajos Previos

El contenido de esta investigación corresponde al análisis de la resistencia estructural de la carrocería de autobuses transporte de pasajeros interprovinciales entre los años 2000 hasta el año 2020, 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 Evolución del Autobús

En 1826, Stanisław Brody fue pionero en el transporte público para los clientes de los baños públicos. A partir de aquí empezaron a aparecer las primeras empresas de transporte público. Enterprise Générale des Omnibus, ver figura 1, fue la primera empresa de autobuses fundada en París en 1828 por Stanislaw Braudy. Un año después, comenzaron a operar los primeros servicios de transporte público en Londres y Nueva York. En 1895 apareció el primer autobús motorizado desarrollado por Karl Benz. El 11 de junio de 1906 se inauguró la primera ruta de autobús motorizado de Francia, con una longitud total de 5,8 km (Hello Auto, 2018).



Figura 1. "Entreprise Generale des Omnibus", autocar de la Monnaie al Jardin du Roi.

Fuente: Reprodart. (2018).

En 1901, el motor Diésel fue reemplazado por los hermanos Mack, quienes fueron los primeros en integrar dicho motor en un autobús como se muestra en la figura 2, otra gran innovación se produjo después de la Segunda Guerra Mundial, cuando los autobuses

superaron 16

con éxito a los tranvías en la mayoría de las ciudades de España, Francia, Gran Bretaña y Estados Unidos. En 1951, Mercedes-Benz combinó por primera vez un motor con un motor más avanzado. La carrocería puede aprovechar mejor el interior del coche (Funreactor, 2011).

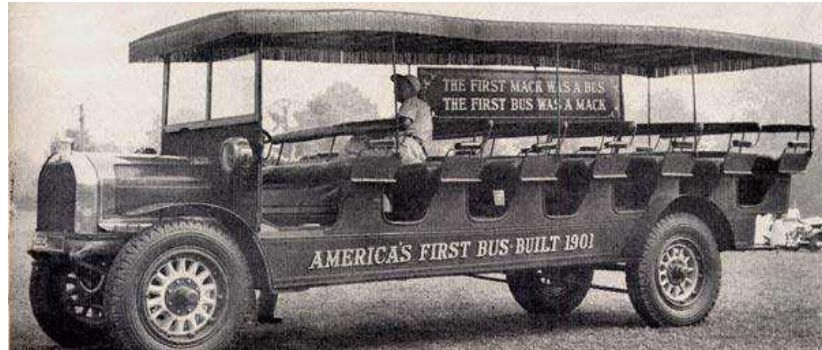


Figura 2. Primer Vehículo a Motor Diésel de 40 HP y Capacidad de 20 Pasajeros.

Fuente: Retro Buses, 2010.

Hoy en día, los motores Diésel siguen siendo muy populares, sin embargo, el campo está lleno de innovación y otras formas de energía como el gas natural, la electricidad e incluso el hidrógeno están comenzando a ser utilizadas e investigadas (Plymovent, 2019).

4.3 Estructura de Autobuses

El diseño de cada tipo de autobús de pasajeros depende de la disposición del motor, la posición del maletero, las puertas y los requisitos de comodidad de los pasajeros, debido a los diferentes requisitos de los clientes, la tecnología de producción de cada tipo de vehículo de pasajeros es diferente, y las diferencias entre regiones son muy grandes, por lo que pueden ser compactos, híbridos y de chasis con una configuración de motor posterior o delantero (Nashipoezda, 2014).

La estructura del autobús consta de dos partes, el cuerpo estructural y el chasis, como se muestra en la figura 3, a la cual se le transmiten cargas para lo cual en conjunto deben tener la suficiente rigidez para salvaguardar la vida de los pasajeros en todo momento.

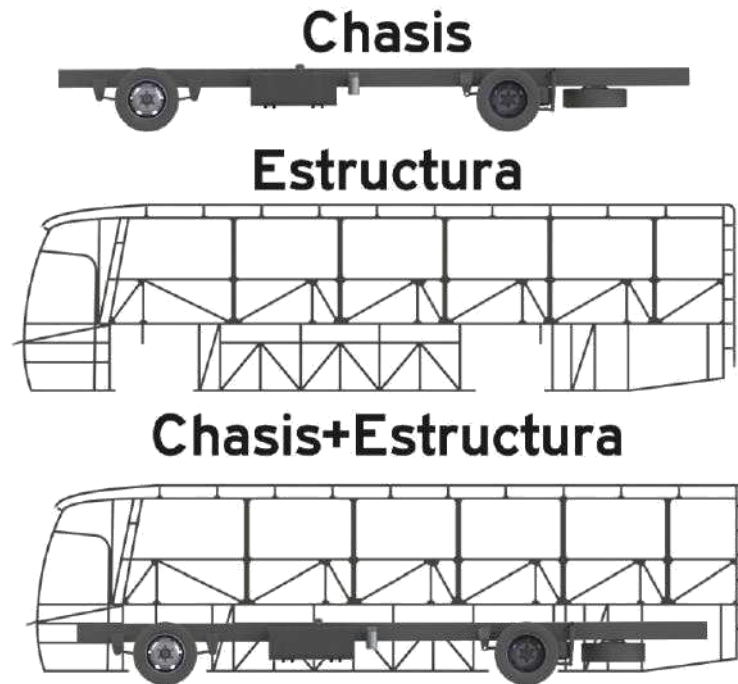


Figura 3. Estructura de un Autobús.

Fuente: Autores.

4.4 Vida Útil de los Autobuses

La Agencia Nacional de Transporte, Transito y Seguridad Vial (ANT) ha establecido que la vida útil de los autobuses interprovinciales es de 20 años, mediante una resolución de la ANT tiene por objeto compensar las pérdidas económicas en el transporte provocadas por la pandemia, debido a la emergencia sanitaria provocada por el COVID-19, desde febrero de 2020, por las restricciones de la cuarentena obligatoria y la movilización nacional, los complejos vehiculares no han podido operar y no reciben ingresos por concepto de transporte, en la tabla 1 de detalla la vida útil de los autobuses aplicados en diversos ámbitos del transporte(Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador, 2021).

Tabla 1. Vida Útil de Prestación de Servicio de Transporte Terrestre Público y Comercial dispuesto en la Normativa Vigente.

Modalidad de Transporte	Clases de Vehículo	Tipo de Vehículo	Vida Operativa Promedio (Años)
Escolar e Institucional	Autobús	Bus, Minibús o Microbús	20
	Furgoneta	Furgoneta de Pasajeros	15
Intraprovincial	Autobús	Bus, Minibús o Bus Tipo Costa	
		Bus	20
Interprovincial	Autobús	Bus Tipo Costa	20
		Minibús super ejecutivo	10
Intracantonal, Urbano y Rural	Autobús	Bus o Minibús	20
		Articulado - Biarticulado	25
		Utilitarios 4x4, 4x2 camioneta doble o simple	15
Turismo	Furgoneta, Van o Miniván	Furgoneta, Van o Miniván	15
		Microbús	15
	Autobús	Minibús	15
		Bus	15

Fuente: Resolución No. 082-DIR-2015-ANT, 2015.

4.5 Volcamiento

Los volcamientos son accidentes de tránsito sencillo o simple en el que únicamente está implicado un vehículo, como se muestran en la figura 4, es un accidente poco frecuente pero que pueden llegar a ser mortales. Se define el vuelco cuando el vehículo realiza una rotación superior a 90° o combinación de giros con una trayectoria compleja. Este tipo de colisión se

puede producir por fuerzas laterales de circulación como puede ser trayectorias curvas o también por otros agentes tales como el viento o una colisión con otro vehículo (Peritos de Accidentes, 2016).



Figura 4. Volcamiento Lateral de Autobús tras Pérdida de Control.

Fuente: La Tercera, 2019.

4.6 Accidentes

Los accidentes de tránsito son la segunda causa de muerte en el país, con un promedio de 33 muertes por cada 100,000 habitantes por año, Ecuador tiene una de las tasas de mortalidad más altas de América Latina. Este año, sin embargo, el país experimentó una caída sin precedentes en las tasas de accidentes en la tabla 2 se detallan indicadores (Ministerio de Gobierno, 2020).

Tabla 2: *Indicadores Tránsito a la Baja.*

Indicador	Porcentaje
Accidentabilidad	10,70 %
Mortalidad	-14,00 %
Morbilidad	-11,86 %

Fuente: Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial de Ecuador.

Según la agencia nacional de tránsito del Ecuador en el periodo de enero hasta Julio del

presente año, ha existido 10592 accidentes de tránsito, de los cuales 9019 han resultado con lesiones, mientras que 1056 han fallecidos en las vías del país, en el figura 5 se muestra que los lugares de en los cuales en algún momento de este periodo se registró algún tipo de accidente, considerando las vías estatales 20, 25, 40 y 49, son las que registran un mayor número de accidentes en lo que en el primer semestre del año (Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador(ANT), 2022).

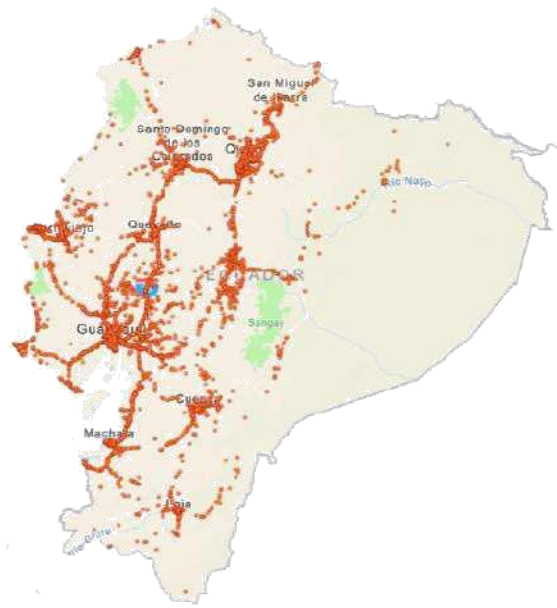


Figura 5. Mapa de Accidentes de Tránsito Ocurridos en el Ecuador en el 2022 en el periodo Enero-Julio.

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito, 2022.

Los accidentes de tránsito de acuerdo con el tipo de vehículo durante el 2022 se muestran en la figura 6 donde los autobuses representan el 5,35% de los mismos, generando 567 siniestro con un saldo de 92 personas fallecidas y 585 heridas, de los cuales el 99.65% corresponde a vehículos de servicio de transporte público y el 0.35% a particular.

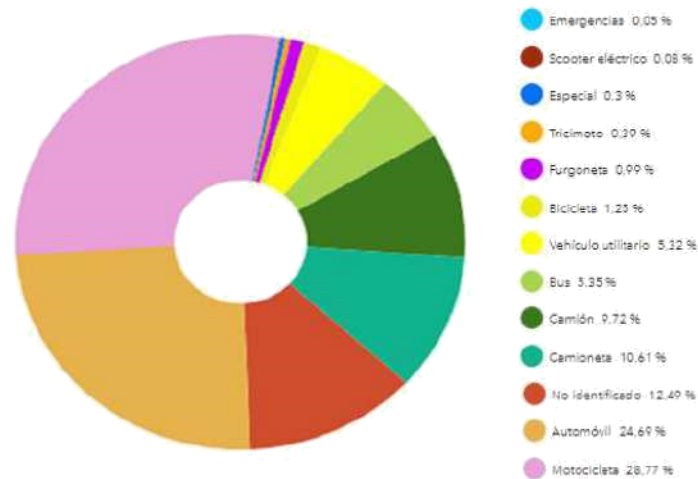


Figura 6. Siniestros por Tipo de Vehículo en el Periodo de Enero a Julio de 2022.

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito, 2022.

En la figura 7 se indica los puntos en los cuales en algún momento del periodo del 2022 hubo un accidente de tránsito en el que estuvo involucrado algún autobús, siendo Guayas la provincia que más accidentes ha tenido con 200, le sigue Pichincha con 124 y Santo Domingo de los Tsáchilas con 34, mientras que el resto de las provincias están por debajo de los 25 siniestros, en lo que se han dado por varios tipos de siniestros (Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador(ANT), 2022):

- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1. Arrollamientos | 7. Estrellamientos |
| 2. Atropellos | 8. Pérdida de Carril |
| 3. Caída de Pasajero | 9. Pérdida de Pista |
| 4. Choque Lateral | 10. Rozamientos |
| 5. Choque Frontal | 11. Volcamiento |
| 6. Choque Posterior | 12. Otros |

En los siniestros donde han estado involucrado autobuses, como se muestra en la figura 7 existen varias causas probables que han sido peritadas por la autoridad correspondiente a continuación se detalla (Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador(ANT), 2022):

1. Adelantar o rebasar a otro vehículo en movimiento en zonas o sitios peligrosos tales como curvas, puentes, túneles, pendientes, etc.
2. Bajar o subir a pasajeros desde el vehículo en movimiento sin tomar precauciones.
3. Caso Fortuito o fuerza mayor (Explosión de neumático, Inundación, Caída de Puente, presencia intempestiva).
4. Condiciones Ambientales y/o atmosféricas.
5. Conducir bajo la influencia del alcohol, sustancias estupefacientes o psicotrópicas y/o medicamentos.
6. Conducir desatento a las condiciones de tránsito (celular, pantallas de Video, comida, maquillaje o cualquier otro elemento).
7. Conducir el vehículo superando los límites máximos de velocidad.
8. Daños mecánicos previsibles.
9. Dejar o recoger pasajeros en lugares no permitidos.
10. Conductor que detenga o estacione el vehículo en sitios o zonas que entrañen peligro tales como zona de seguridad, curvas, puentes, túneles, pendientes.
11. Malas condiciones de la vía y/o configuración (iluminación y diseño).
12. No ceder el derecho de vía o preferencia de paso a vehículos.
13. No ceder el derecho de vía o preferencia de paso al peatón
14. No guardar la distancia mínima de seguridad entre vehículos.

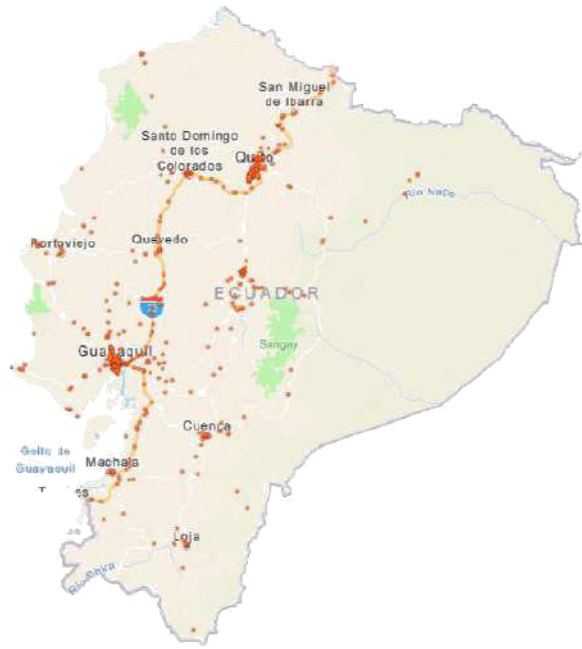


Figura 7. Mapa de Accidentes de Tránsito de Autobuses en el Ecuador en el 2022 en el periodo Enero-Julio.

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito, 2022.

5. Marco Metodológico

5.1 RTE INEN 034: Elementos Mínimos de Seguridad en Vehículos Automotores

El presente reglamento técnico establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los vehículos automotores que circulen en el territorio ecuatoriano, con la finalidad de proteger la vida e integridad de las personas; así como el fomentar mejores prácticas al conductor, pasajero y peatón. Este reglamento técnico ecuatoriano se aplica a todo vehículo que va a ingresar al parque automotor ecuatoriano, sean importados, ensamblados o fabricados en el país, que deben contener los elementos mínimos de seguridad obligatorios. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016).

5.1.1 Disposiciones Generales

Para efectos de entendimiento del presente reglamento se adoptan las definiciones contempladas en las Normas Técnicas mencionadas en el presente reglamento y las que a

continuación se detallan (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016):

1. **Asiento plegable:** Es un asiento auxiliar destinado al uso ocasional y que normalmente este plegado.
2. **Cinturones de seguridad autotensables:** Son los dispositivos de retención personal consistentes en una banda de gran resistencia sujeta en dos o tres puntos al montante de la carrocería que son regulados de forma automática, que tienen como objetivo amortiguar la desaceleración ante una frenada brusca o impacto.
3. **Cinturones de seguridad tensables:** Son los dispositivos de retención personal consistentes en una banda de gran resistencia sujeta en dos o tres puntos al montante de la carrocería que son regulados de forma automática o manual, que tiene como objetivo amortiguar la desaceleración ante una frenada brusca o impacto.
4. **Chasis:** Armazón del vehículo que comprende el bastidor, ruedas, transmisión, con o sin motor, excluida la carrocería y todos los accesorios necesarios para acomodar al conductor, pasajeros o carga.
5. **Chasis compacto o autoportante:** Su estructura metálica está construida por la unión de elementos de chapa de diferentes formas y espesores, en la cual la chapa externa del vehículo soporta algo o toda la carga estructural del vehículo.
6. **Importador:** Persona natural o jurídica responsable de la importación de vehículos para utilización propia o para comercializar.
7. **Plazas:** Posiciones de pasajeros en un vehículo.
8. **Protección para impacto lateral:** Sistema o elemento de seguridad que minimiza los daños ocasionados a los ocupantes en caso de impacto lateral.
9. **Protección para impacto frontal:** Sistema o elemento de seguridad que minimiza los daños ocasionados a los ocupantes en caso de impacto frontal.
10. **Proveedor:** Toda persona natural o jurídica de carácter público o privado que

desarrolle actividades de producción, fabricación, importación, construcción, distribución, alquiler o comercialización de bienes, así como prestación de servicios a consumidores, por las que se cobre precio o tarifa. Esta definición incluye a quienes adquieran bienes o servicios para integrarlos a procesos de producción o transformación, así como a quienes presten servicios públicos por delegación o concesión.

11. **Sistema de asistencia en el frenado (ABS):** Función del sistema de frenado que ante un bloqueo de las ruedas libera presión de frenado en la(s) rueda(s) bloqueadas permitiéndoles rodar evitándose la pérdida de control en el frenado.
12. **Vehículo Base:** Todo tipo de vehículo que se utiliza en la fase inicial del proceso de homologación.

5.2 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).

5.2.1 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

5.2.2 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 (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2009).

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: Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2016). NTE INEN 1668: Vehículos de transporte público de pasajeros intraregional, interprovincial e intraprovincial. *Inen, Primera re*, 30.

5.2.3 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 (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2009):

- 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.

5.3 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.

5.3.1 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: Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2016). NTE INEN 1668: Vehículos de transporte público de pasajeros intraregional, interprovincial e intraprovincial. *Inen, Primera re*, 30.

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: Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2016). NTE INEN 1668: Vehículos de transporte público de pasajeros intraregional, interprovincial e intraprovincial. *Inen, Primera re*, 30.

5.3.2 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).

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).

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 estas unidades circulen por las vías del país (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2016).

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).

5.3.3 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: Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2016). NTE INEN 1668: Vehículos de transporte público de pasajeros intraregional, interprovincial e intraprovincial. *Inen, Primera re*, 30.

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).

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).

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: Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2016). NTE INEN 1668: Vehículos de transporte público de pasajeros intraregional, interprovincial e intraprovincial. *Inen, Primera re.* 30.

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).

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: Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2016). NTE INEN 1668: Vehículos de transporte público de pasajeros intraregional, interprovincial e intraprovincial. *Inen, Primera re.* 30.

5.4 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 prácticas engañosas que puedan inducir al error en los fabricantes y usuarios finales

(Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2014).

5.4.1 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).

5.5 NTE INEN 2415: Tubos de Acero al Carbono Soldados para Aplicaciones Estructurales y usos Generales.

Esta norma específica los requisitos que deben cumplir las tuberías de acero al carbono, tanto negras como galvanizadas, conformadas en frío, soldadas (con costura), redondas, cuadradas, rectangulares o de secciones especiales para uso estructural y general. Esta norma se aplica a tuberías con una circunferencia máxima de 2235 mm y un espesor de pared máximo de 22 mm. Los siguientes documentos, en su totalidad o en parte, son necesarios para la aplicación de este documento.

5.5.1 Referencias y Normativas

Para las referencias de fecha, solo se aplica la versión mencionada. Para referencias sin fecha, se aplica la edición más reciente (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016).

1. **ISO 6892-1:** Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at room temperature.
2. **NTE INEN-ISO 2859-1:** Procedimiento de muestreo para inspección por atributos – Parte 1: Programas de muestreo clasificados por el nivel aceptable de calidad (AQL) para inspección lote a lote.
3. **NTE INEN 133:** Ensayo de abocardado para tubos de acero de sección circular.
4. **NTE INEN 950:** Recubrimientos metálicos. Determinación de la adherencia. Método de ensayo.
5. **NTE INEN 1172:** Recubrimiento de zinc por inmersión sobre materiales ferrosos. Determinación de la masa depositada por unidad de superficie. Método gravimétrico.
6. **ASTM A780:** Standard Practice for Repair of Damaged and Uncoated Areas of Hot-Dip Galvanized Coatings.

5.6 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 (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2015).

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

5.6.1 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).

“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).

5.6.2 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 8, 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 (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2015).

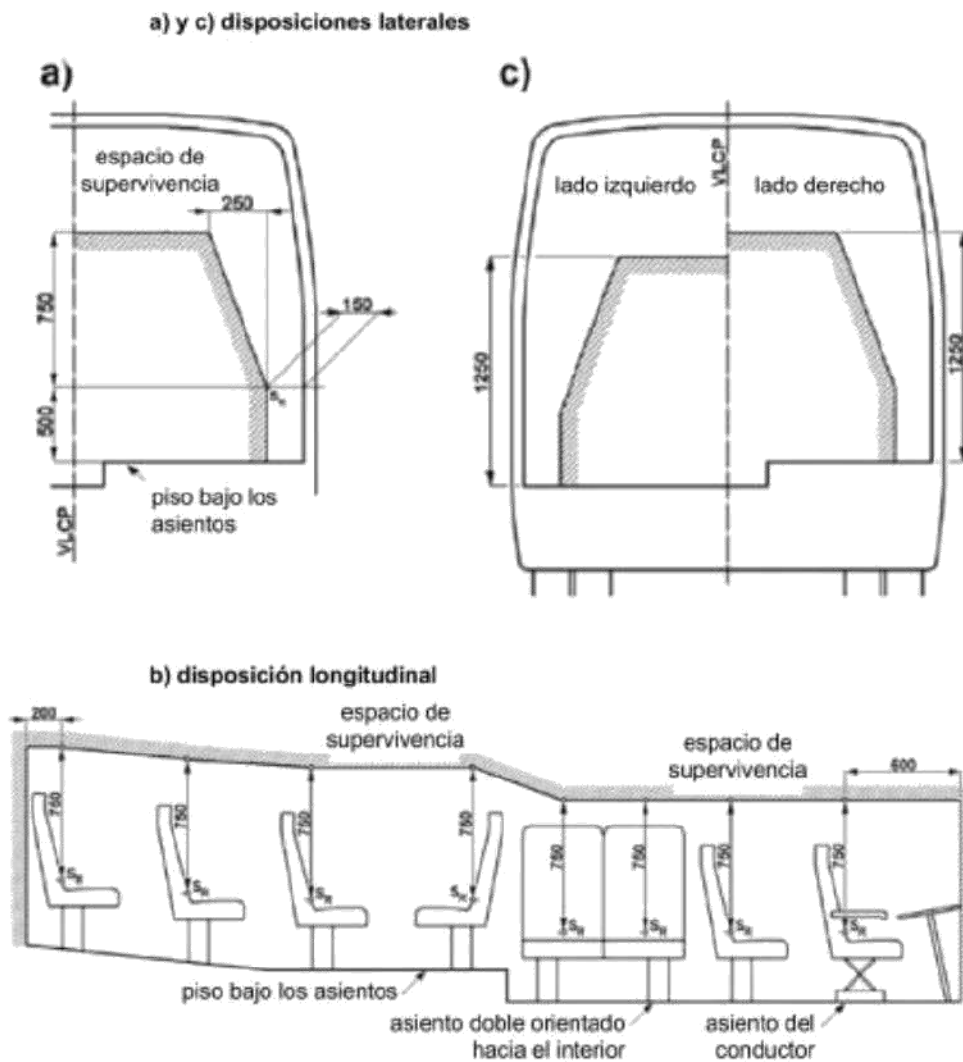


Figura 8. Se indica tres figuras a), b) y c) donde se indican las especificaciones del espacio de supervivencia.

Fuente: Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU). (2018.). Reglamento No 66 - Prescripciones técnicas 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.

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).

5.7 Condiciones para las Simulaciones de Volcamiento

Las pruebas de volcamiento estructurales de los autobuses se llevarán a cabo de acuerdo con el Reglamento 66 de la CEPE, utilizando los parámetros de certificación del autobús, donde el vehículo no necesariamente debe estar terminado o completamente operativa, siempre y cuando se cumplan las características básicas y el comportamiento de la superestructura no se vea afectado por elementos faltantes (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2015).

Los dos buses utilizados están sujetos a las mismas condiciones de vuelco, excepto por la velocidad angular, que está definida por el peso de la estructura del bus, ambas simulaciones son ejecutadas hasta alcanzar la deformación máxima de acuerdo a la reglamentación.

5.8 Comparación de Modelos

Los autobuses año tras año van evolucionando en varios aspectos como son los materiales, la iluminación, la suavidad de las formas, comodidad y confort visual, creando el ambiente ideal para el viajero, además de proporcionar calidad, seguridad y sofisticación junto con la eficiencia operativa y la durabilidad del autobús.

El autobús del año 2000, como se muestra en la figura 10 literal a), presenta el centro de gravedad en un punto más alto lo que es más propenso a un volcamiento al momento de desestabilizarse, considerando que la estructura de la carrocería es pesada por los materiales empleados en su construcción.

En la actualidad, los buses modernos como se muestra en la figura 10 literal b), han hecho grandes avances tecnológicos para estar seguros en caso de un accidente, considerando que la geometría y los materiales empleados en la estructura de la carrocería son livianos y resistentes.

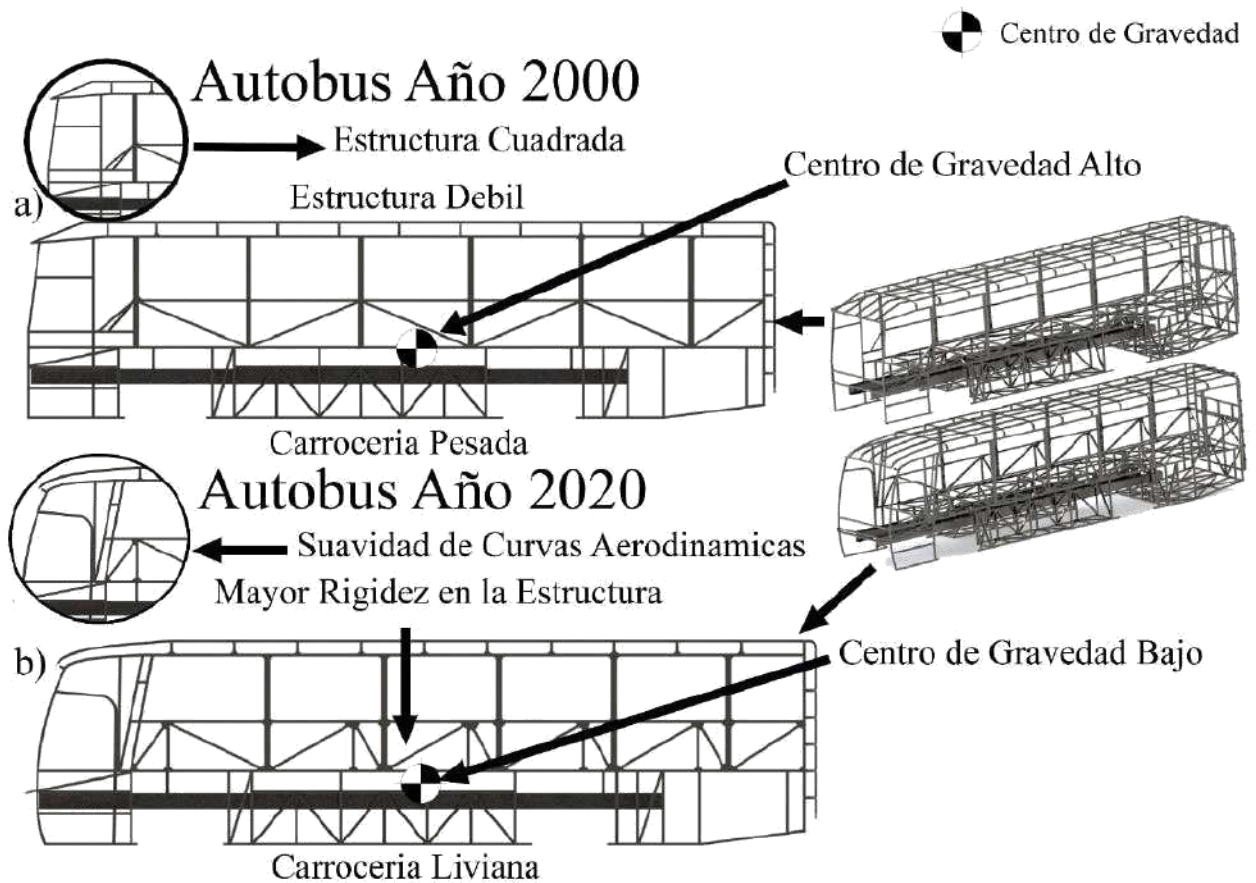


Figura 9. Comparación de los autobuses a) Bus del año 2000 y b) Bus del Año 2020.

Fuente: Autores.

5.9 Modelado de la Superestructura del Autobús

Los autobuses de una misma marca con 25 años de diferencia, como se muestra en la figura 11, teniendo en cuenta todos los factores que componen de la estructura, su forma, conexiones, dimensiones del perfil, etc.

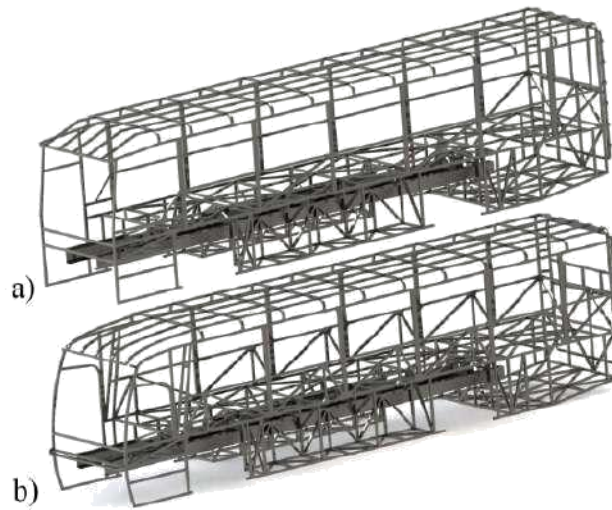


Figura 10. Modelado de las Estructuras: a) Autobús del año 2000 b) Autobús del año 2020.

Fuente: Autores.

5.10 Modelado del Espacio de Supervivencia

El espacio de supervivencia debe tener las características geométricas, figura 12, con respecto al autobús, las mismas que están establecidas en la Regulación No 66 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE).

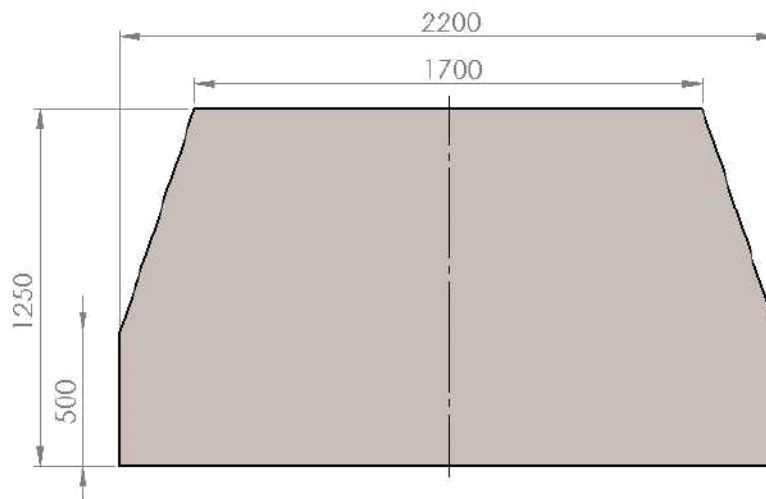


Figura 11. Dimensiones en mm del Espacio de Supervivencia.

Fuente: Autores.

La ubicación 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 13.

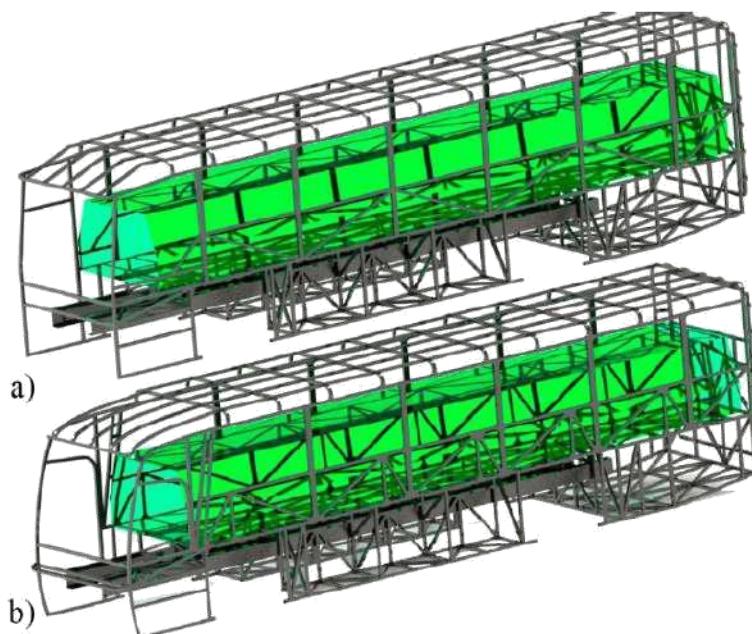


Figura 12. Modelado del espacio de supervivencia dentro del a) autobús del año 2000 y b) autobús del año 2020.

Fuente: Autores.

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 (Brito Morocho et al., 2022).

5.11 Valores del Modelo Matemático

En el anexo 9 del reglamento 66 menciona que se debe recopilar la información de la masa, centro de gravedad y momento de inercia de la estructura del autobús necesaria para realizar el ensayo de volcamiento como se muestra en las figuras 14 y15, y en las tablas 8 y 9.

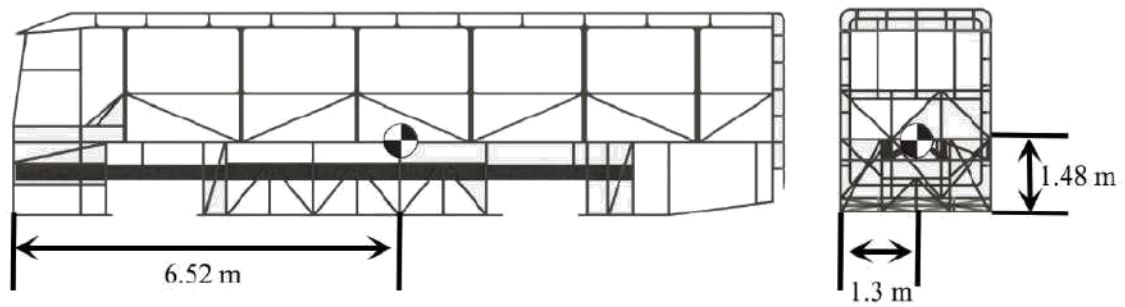


Figura 13. Ubicación del Centro de Gravedad en el Autobús de Estructura del año 2000.

Fuente: Autores.

Tabla 8: Ficha Técnica de la Estructura de un Autobús de 1995.

Parámetro	Valor
Masa de la Superestructura	5322.98 Kg
Posición Longitudinal del CDG	6.52 m
Posición Transversal del CDG	1.30 m
Altura Transversal del CDG	1.48
Ixx	$1.10624 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
Ixy	$-7.86158 \times 10^7 \text{ mm}^4$
Ixz	$3.57442 \times 10^8 \text{ mm}^4$
Iyy	$7.09992 \times 10^7 \text{ mm}^4$
Iyz	$6.01788 \times 10^7 \text{ mm}^4$
Izz	$8.25077 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
I11	$8.25111 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
I22	$8.03395 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
I33	$1.10605 \times 10^{10} \text{ mm}^4$

Fuente: Autores.

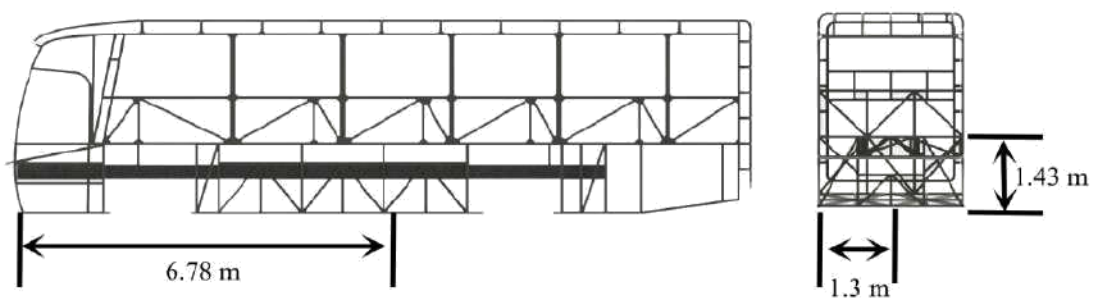


Figura 14. Ubicación del Centro de Gravedad en el Autobús de Estructura del año 2020.

Fuente: Autores.

Tabla 9: Ficha Técnica de la Estructura del Autobús del año 2020.

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	1.43 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: Autores.

5.12 Materiales

La carrocería del autobús consta de varios componentes, tabla 10, de acuerdo con la forma y sección especificada en el manual de carrozado del chasis, la finalidad es que soporten diversas cargas de diseño que actúan en la estructura del vehículo ya sea en movimiento, estático o en el caso de colisión.

Tabla 9. *Perfiles Estructurales presentes en la Carrocería del Autobús.*

Sección	Perfil (mm)	Material
Anclaje Chasis – Carrocería	Tubo 100 x 50 x 3	ASTM 500
Unión Piso Chasis	Tubo de 40 x 40 x 2	ASTM 500
Pórticos Estructurales	Tubo de 50 x 50 x 3	ASTM 500
Pórticos del Frente	Tubo de 50 x 50 x 2	ASTM 36
Refuerzos Techo	Tubo de 25 x 25 x 2	ASTM 36
Refuerzos	Tubo de 100 x 50 x 3	ASTM 36

Fuente: Autores.

El acero ASTM 36 ha sido el principal tipo de acero para estructuras, presenta un esfuerzo

de fluencia mínimo y de ruptura en tensión de 248 y 399 MPa respectivamente, además presenta una gran variedad de tamaños y tipos de perfiles laminados y placas están disponibles en esta calidad, aunque el esfuerzo de fluencia mínimo especificado disminuye a 220 Mpa.

El tubo estructurado ASTM A500, ver tabla 11, es un tipo de tubería soldada con tamaños de tubería hechos de acero plano, formado por un sistema de rodillos y soldado por soldadura por resistencia. Las uniones longitudinales a tope de los tubos soldados se deben soldar en todo su espesor para garantizar la durabilidad del diseño estructural del segmento de tubo.

Tabla 10. *Propiedades Mecánicas y Químicas del Acero ASTM 500.*

Propiedades mecánicas				
ASTM A500				
	Grado A	Grado B	Grado C	Grado D
Resistencia a la tracción (min, psi)	45000	58000	62000	58000
Resistencia al rendimiento (mín., psi)	33000	42000	46000	36000
Alargamiento en 2 pulgadas (min, %)	25*	23**	21***	23**
Propiedades químicas típicas				
ASTM A500				
Química (%)	Grados A, B & D		Grado C	
	Análisis de calor	Análisis de productos	Análisis de calor	Análisis de productos
Carbono *	0.26 Máx.	0.30 Max	0.23 Máx.	0.27 Máx.
Manganeso	1.35 Máx.	1.40 Máx.	1.35 Máx.	1.40 Máx.
* Fósforo	0.035 Máx.	0.045 Máx.	0.035 Máx.	0.035 Máx.
Azufre	0.035 Máx.	0.045 Máx.	0.035 Máx.	0.045 Máx.
Cobre **	0.20 Min	0.18 Min	0.20 Min	0.18 Min

Fuente: Tianjin Wanlei Steel Pipe Co., Ltd.

5.13 Cálculo de la Velocidad Angular para en Ensayo de Vuelco

La velocidad angular es uno de los elementos más importantes de las fuerzas aplicadas en los autobuses durante las simulaciones de volcamiento por computadora y determina la velocidad de rotación en relación con la plataforma inclinada y la superficie de impacto (Inzunza Bustos, 2007).

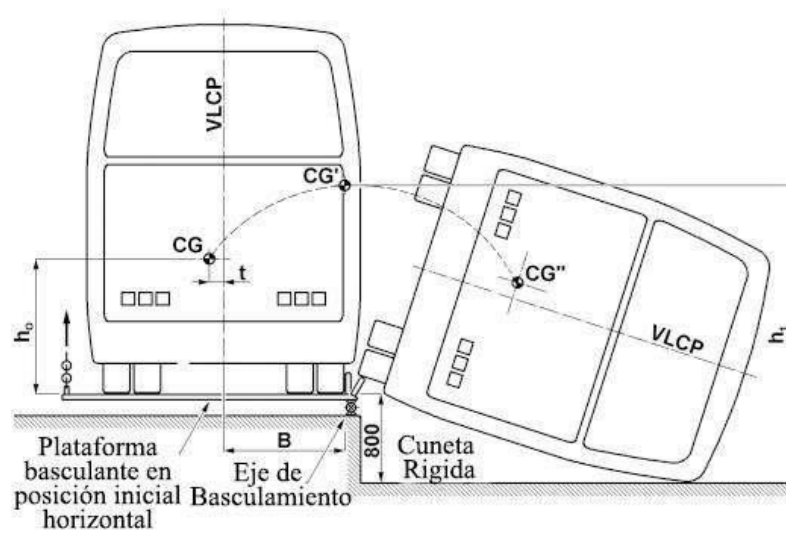


Figura 15. Especificación del ensayo de Vuelco de un Vehículo en la Plataforma en Posición Inicial.

Fuente: Reglamento de las Naciones Unidas N. ° 66, (2016.).

Donde

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

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.

Para encontrar la velocidad angular () se despeja de la igualdad (7). La inercia rotacional (8) de un cuerpo (), gira alrededor de un eje describiendo un radio como se muestra en la figura 17.

Donde

= Inercia Rotacional

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

= Radio de Giro con el autobús en posición inestable (m).

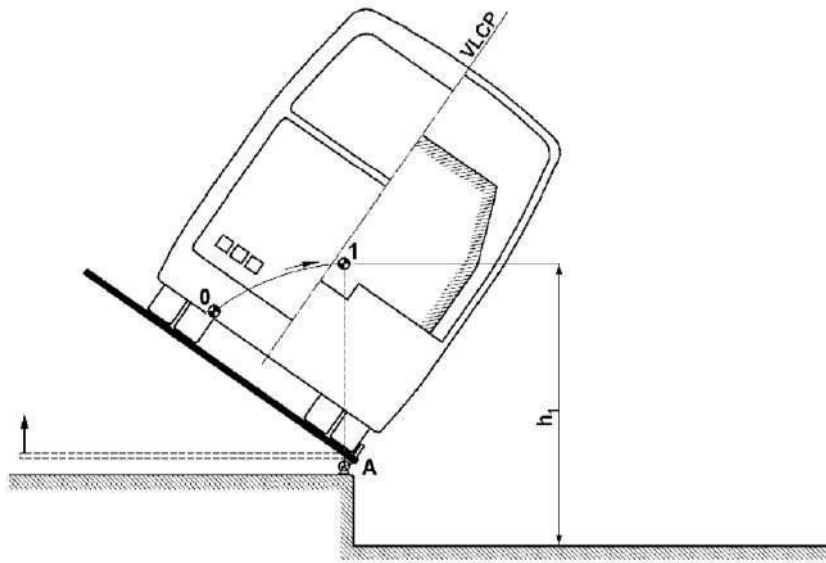


Figura 16. Radio de Giro del Autobús en la Plataforma de Basculamiento.

Fuente: Reglamento de las Naciones Unidas N. ° 66, (2016).

$$= \sqrt{2 \cdot h_1}$$

(9)

Donde

= Masa en orden de marcha del tipo de vehículo, sino está equipado con 45

dispositivos de retención (Kg).

= Radio de Giro con el autobús en posición inestable (m).

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

En la ecuación 10, se muestra la obtención de la velocidad angular para el autobús antiguo del año 2000, mientras que en la ecuación 11 se muestra el valor del autobús moderno del año 2020, la diferencia en los valores de las velocidades angulares se debe por el peso de cada estructura y la variación de su centro de gravedad.

5.14 Análisis de Volcamientos de Mediante el Método de Elementos Finitos

Para las simulaciones por computadora de los ensayos de volcamiento de las estructuras de los autobuses, se utilizó el Anexo 9 de la reglamentación 66 de la UNECE, utilizando el método de elementos finitos.

5.15 Aplicación del Método de Elementos Finitos

La simulación por ordenador es muy utilizada en las empresas para analizar y mejorar la calidad de productos y proyectos, la mayoría de estos análisis se realizan utilizando un software de elementos finitos que puede resolver muchos problemas de ingeniería (Engineering Simulation and Scientific Software (ESSS), 2016).

La geometría de una pieza se limita y divide en partes más pequeñas llamadas "elementos" que representan la continuidad del problema, como se muestra en la figura 18, al dividir la geometría en partes pequeñas puede resolver problemas complejos al dividirlos en formas más simples, lo que permite que las computadoras hagan su trabajo de manera eficiente (Engineering Training & Development Solutions, 2017).

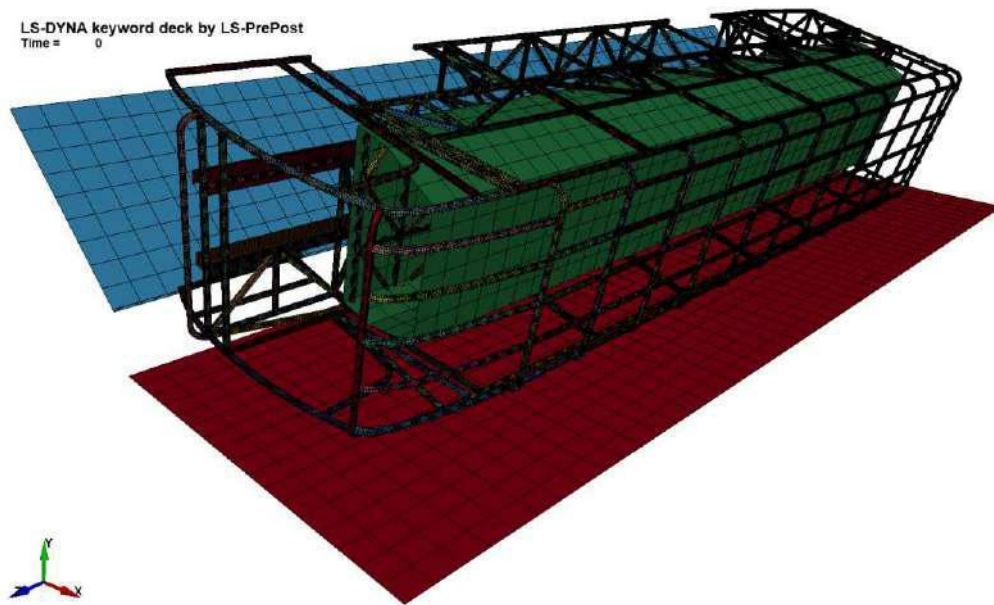


Figura 17. Aplicación de Mallado aL Autobús en el Último Contacto antes de Impactar.

Fuente: Autores.

Este método propone reemplazar un número infinito de variables desconocidas con un número finito de elementos de comportamiento bien definidos. Estos tabiques pueden tener muchas formas diferentes como triángulos, cuadriláteros, dependiendo del tipo, debido al número limitado de elementos, se denominan "elementos finitos", la palabra utilizada para describir el método (Engineering Simulation and Scientific Software (ESSS), 2016).

5.16. 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 19. La velocidad bascular de la plataforma no debe superar los 5° por segundo(Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2015).

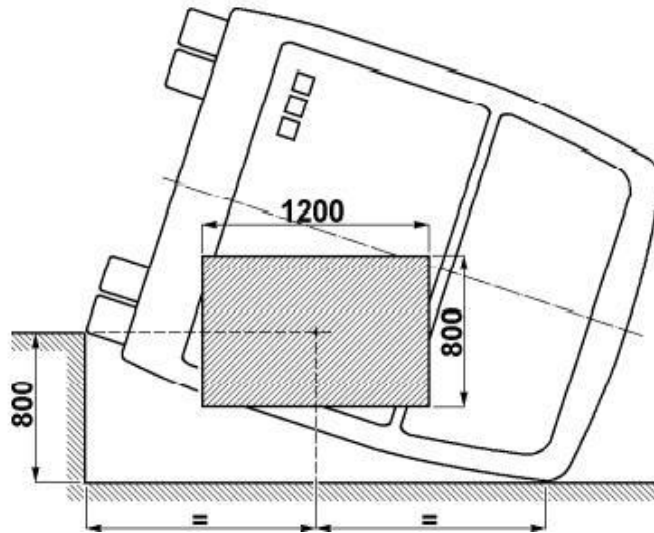


Figura 18. Campo de visión Recomendado de la Cámara Exterior.

Fuente: Reglamento de las Naciones Unidas N. ° 66, (2016.).

5.17. Simulación de Volcamiento por Computadora

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 20, la secuencia de vuelco que siguen los autobuses hasta impactarse sobre el suelo.

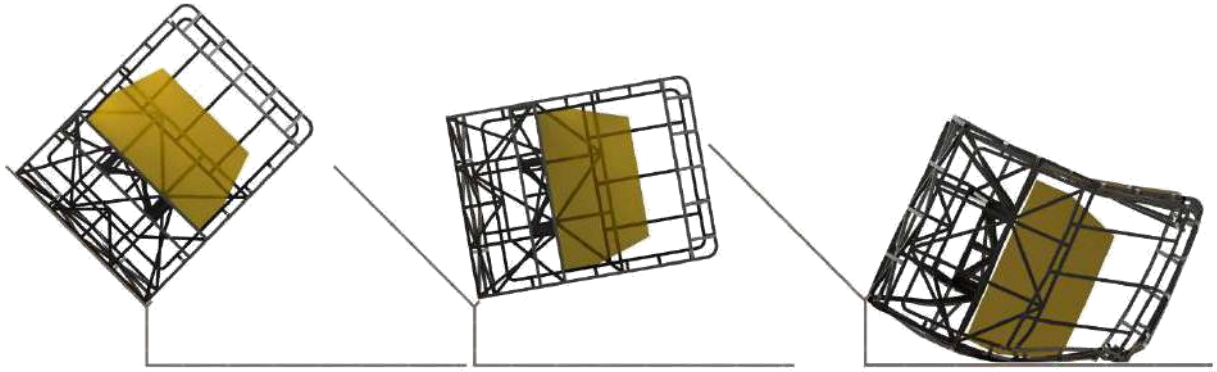


Figura 19. Secuencia de Ensayo de vuelco del Autobús.

Fuente: Autores.

La posición del autobús para comenzar la simulación es en el punto de primer contacto con el suelo como se muestra en la figura 21, 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.

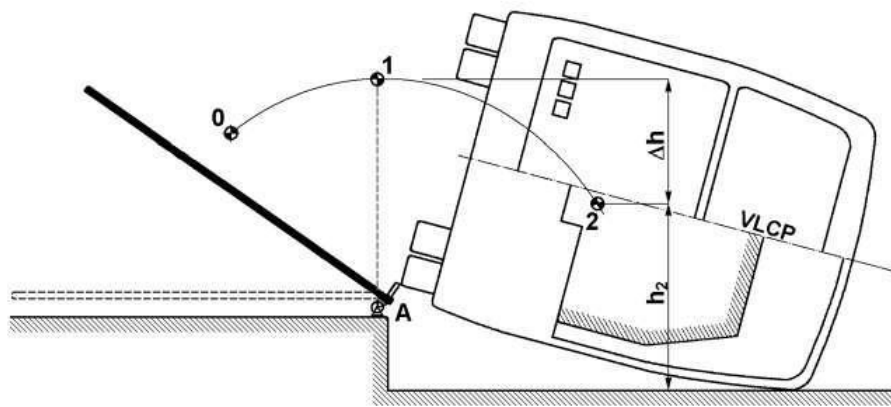


Figura 20. Autobús en Posición de Primer Contacto.

Fuente: Reglamento de las Naciones Unidas N. ° 66, (2016.).

La aplicación de los ensayos de volcamiento de las estructuras de los autobuses es mediante el método de elementos finitos que funcionara hasta que la estructuras alcancen la deformación máxima al impactarse con el suelo (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2015).

6. Resultados

Los resultados obtenidos de las simulaciones por computadora de las pruebas de volcamiento se muestran a continuación.

6.1 Análisis de Volcamiento

6.1.1 Esfuerzos y Energías

En la figura 22 se muestran los esfuerzos de Von Misses generados en el ensayo de volcamiento del autobús del año 2000, las partes más afectadas son el techo y el un costado ya que impactan de manera directa sobre la superficie donde el esfuerzo mínimo producido es de $0MPa$ (color azul) y el esfuerzo máximo $5.593 \times 10^{-01}MPa$ (color rojo), de esta manera el autobús se deforma para absorber la energía producida en el impacto.

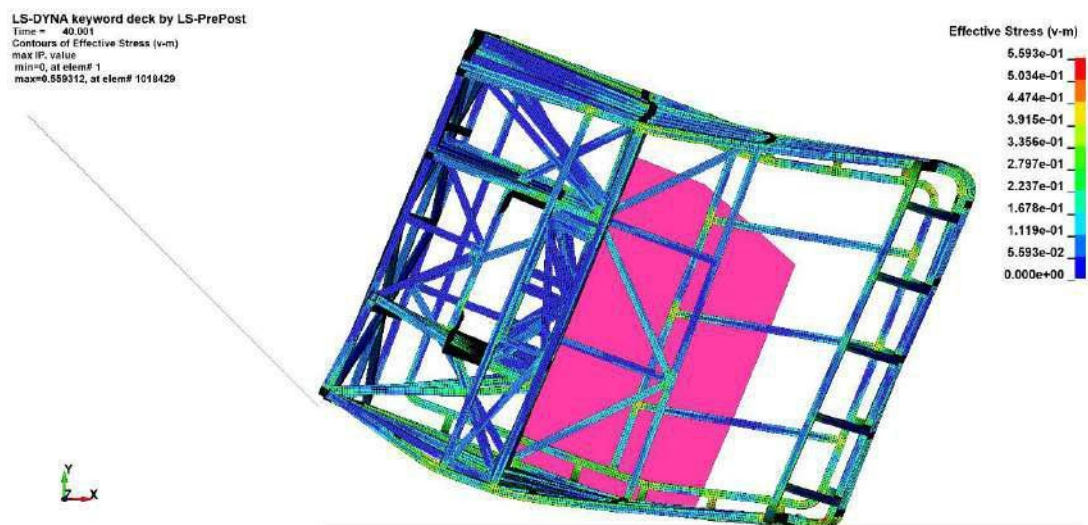


Figura 21. Esfuerzo de Von Misses (MPa) por Volcamiento del Autobús del año 2000.

Fuente: Autores.

La energía cinemática corresponde al impacto del autobús con respecto a la plataforma donde el vehículo pasa de un momento de reposo a movimiento, hasta lograr la máxima deformación de la estructura del autobús.

Las energías resultantes, figura 21, producida por el volcamiento del autobús antiguo, 50

cumplen los parámetros estipulados para validar el volcamiento de acuerdo con lo mencionado en el reglamento 66, en el anexo 9, sección 3.6 menciona que la simulación computacional en ningún momento la Energía de Hourglass debe superar el 5% de la energía total.

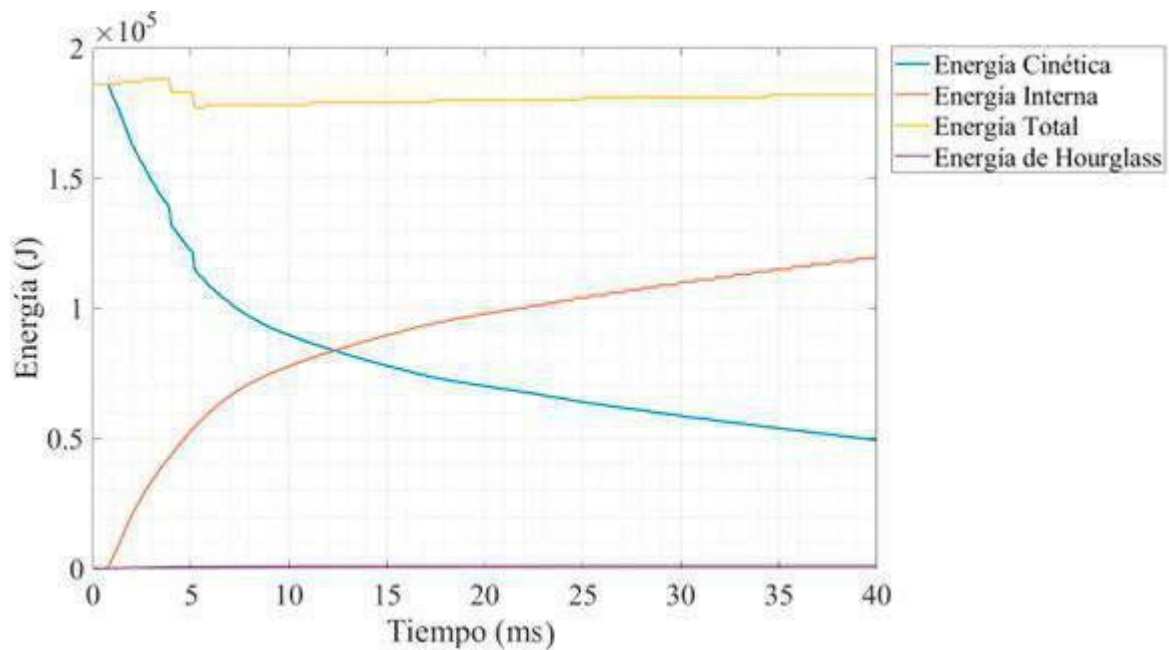


Figura 22. Energías Generadas en el Volcamiento del Autobús del Año 2000.

Fuente: Autores.

El ensayo de volcamiento computación del autobús antiguo en ningún momento supera el 5% de la energía total por lo que la simulación es válida.

En la figura 24 se muestra los esfuerzos de Von Misses generados en el autobús del año 2020 donde el diseño y el material de la estructura ayuda a disipar los esfuerzos producidos por

5.783 ⁻⁰¹

(color rojo) en las partes de impacto de la carrocería con la superficie.

0MPa

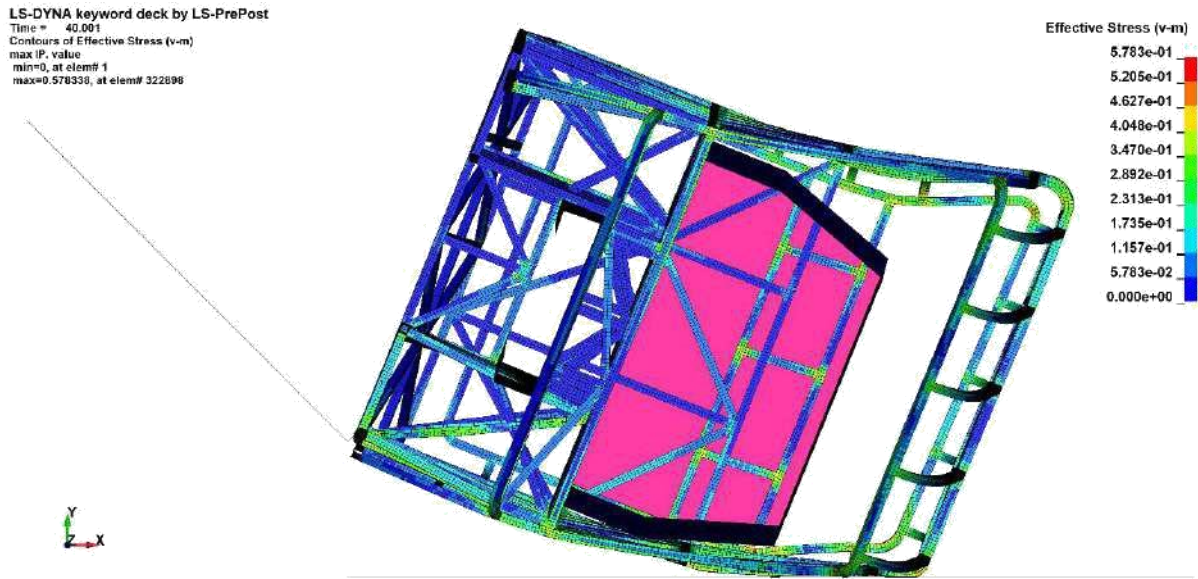


Figura 23. Esfuerzo de Von Misses (MPa) por Volcamiento del Autobús del Año 2020.

Fuente: Autores.

Las energías resultantes, ver figura 25, producida por el volcamiento del autobús moderno del año 2020, cumple con las expectativas estipuladas en el anexo 9 de la reglamentación 66, donde la Energía de Hourglass en ningún momento de la simulación sobrepasa el 5% de la energía total de manera que la simulación es válida.

$$H = \frac{\text{Energía}_{\text{Hourglass}}}{2.53 + 05\text{Energía}_{\text{Total}}\%E} * 100 \rightarrow \frac{1.62E + 03 * 100}{\dots} \quad (3)$$

$$H_{\%} = 0.642\%$$

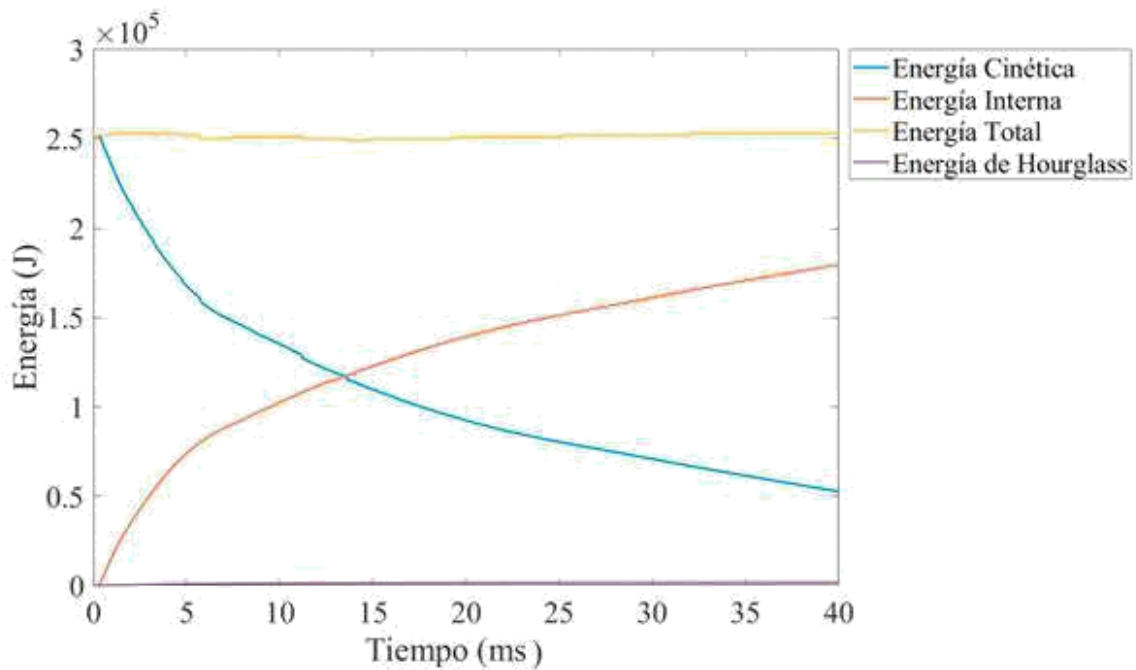


Figura 24. Energías Generadas en el Volcamiento del Autobús del Año 2022.

Fuente: Autores.

6.2.2 Espacio de Supervivencia

La estructura de los dos autobuses al momento de alcanzar la deformación máxima durante los ensayos de volcamiento se observa que el autobús antiguo no cumple esta la reglamentación 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, donde menciona que durante el volcamiento ningún objeto que forme parte del autobús debe invadir el espacio de supervivencia.

El desplazamiento del espacio de supervivencia con respecto a la estructura del autobús del año 2000 es de 199 mm medido desde los parantes laterales de la estructura del autobús hasta la zona de supervivencia invadiendo 49 mm, ver figura 26, es decir, que el autobús no podría garantizar la vida de los ocupantes durante una colisión ya que no cumple la normativa.

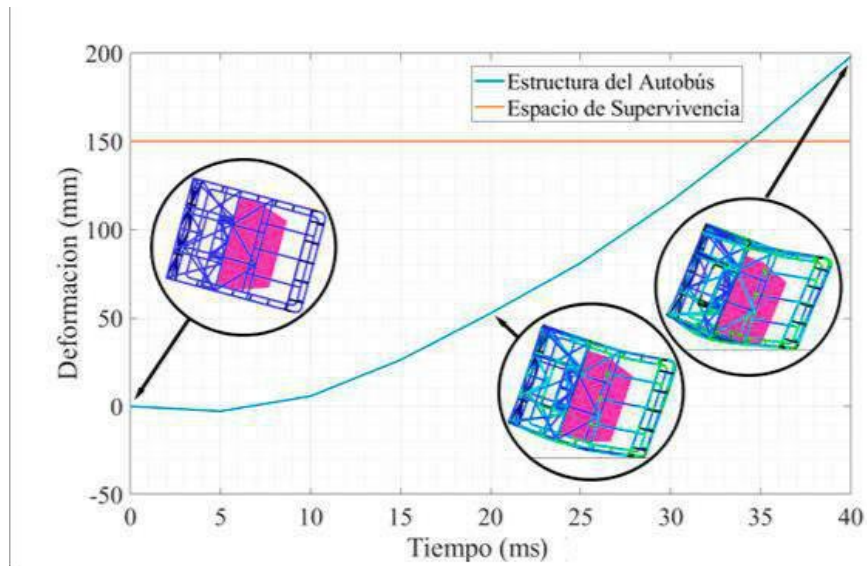


Figura 25. Desplazamiento del Espacio de Supervivencia en el Volcamiento en el Autobús del Año 2000.

Fuente: Autores.

El autobús moderno con respecto al desplazamiento de la estructura con el espacio de supervivencia, ver figura 27, cumple con lo expuesto en la reglamentación 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa donde menciona que el espacio de supervivencia no debe ser invadido por cualquier parte de lo que compone la estructura del autobús.

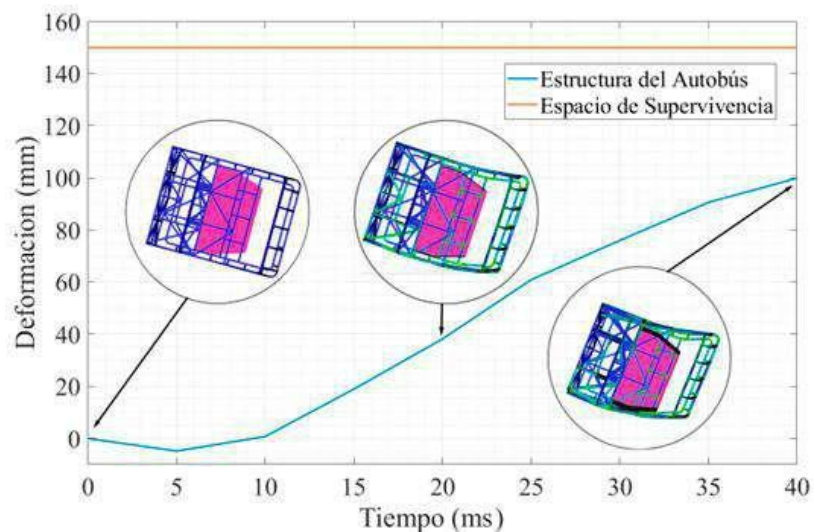


Figura 26. Desplazamiento del Espacio de Supervivencia en el Volcamiento en el Autobús del año 2020.

Fuente: Autores.

7. Conclusiones

La comparación de los modelos de simulación de vuelco de autobús según los procedimientos de la Regulación 66 permite realizar dos pruebas con los mismos parámetros, lo que hace que las simulaciones sean más realistas y los datos así obtenidos sean más precisos con resultados óptimos.

Una de las principales diferencias entre las estructuras de los dos autobuses es la altura del centro de gravedad en la carrocería, de manera que los buses modernos son menos propensos a sufrir volcamientos por movimientos brusco durante su trayecto porque su CDG es bajo comparado con autobuses del año 2000.

Los materiales utilizados en las estructuras de los autobuses tienen un papel fundamental, ya que son los encargados de proporcionar la rigidez a la estructura de acuerdo con sus características mecánicas, en la actualidad los buses modernos, en conjunto con la evolución de los materiales, presentan carrocerías más livianas y de gran capacidad de absorción de energía en caso de colisiones.

El análisis simulado por computadora de pruebas de vuelco en estructuras de autobuses permite una prueba rápida y económica de la seguridad del autobús. A medida que avanza la tecnología, los fabricantes de autobuses se preocupan cada vez más por proteger la vida de sus pasajeros en caso de accidente.

La optimización de las superestructuras de autobuses sometidos a ensayos de volcamiento laterales ha permitido que los modelos de autobuses sean más seguros, con la finalidad de que ningún objeto ingrese al espacio de supervivencia del autobús, porque al momento de un siniestro es importante salvaguardar la vida de los operadores y pasajeros del autobús.

La simulación de una prueba de vuelco de autobús con FEM muestra que los últimos 55

modelos de autobús son más seguros en comparación con los modelos más antiguos y, combinados con el desarrollo de materiales, los autobuses más ligeros pueden soportar más cargas.

La vida útil de un autobús en el país es de alrededor de 20 años, lo que es un poco largo ya que los autobuses están constantemente expuestos a tensiones que causan fatiga estructural y pueden ser débiles y envejecer en estructura en caso de colisión, la estructura de la carrocería puede invadir el espacio de supervivencia.

Las estructuras de autobuses modernos dan una mayor rigidez y son livianos con respecto a modelos anteriores, que, dependiendo la configuración del chasis, el centro de gravedad es bajo, lo que permite tener mayor estabilidad en todo momento con la finalidad de evitar perder el control y que termine en un volcamiento.

8. Recomendaciones

Se recomienda seguir con este tipo de estudios, ya que permite conocer el comportamiento de la estructura de un autobús durante dos intervalos de tiempo, con la finalidad de encontrar mejoras que permita siempre salvaguardar la vida de los ocupantes del autobús.

Dado que los accidentes de autobús suelen tener un gran impacto en la sociedad, el tema de la seguridad física es muy importante, por lo que este tipo de investigación debe continuar mostrando el comportamiento de los vehículos en accidentes de tránsito.

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.
- 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, Guiseppe. 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.tuteorica.com/material-complementario/seguridad-pasiva/chasis-y-carroceria>).
- COMIL Ônibus S.A. n.d. “Rodovianos 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.
- 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.
- 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 Zárate. 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 DELOS ELEMENTOS FINITOS: APLICACIÓN A LA MECANICA DE SÓLIDOS." 5

111(479):1009–1

Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador. (2021). *Se prolonga la vida útil de los buses escolares – Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador – ANT*. <https://www.ant.gob.ec/se-prolonga-la-vida-util-de-los-buses-escolares/>

Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador. (2021). *Se prolonga la vida útil de los buses*. <https://www.ant.gob.ec/?p=8349>

Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador (ANT). (2022). *Visor de siniestralidad – Estadísticas*. <https://www.ant.gob.ec/visor-de-siniestralidad-estadisticas/>

Brito Morocho, J., Amaya Pinos, M., López López, L., & Espinoza Molina, F. (2022). Análisis estructural de un bus de dos pisos de larga distancia durante colisiones. *Ingenius*. <https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.06>

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.

Donaire Sánchez, J. (2016). *Comparativa De Modelos De Simulación De Vuelco De Autobuses Según Los Procedimientos Del Reglamento 66*. 120.

Engineering Simulation and Scientific Software (ESSS). (2016). *Método de los elementos finitos: ¿qué es?* <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>

Engineering Training & Development Solutions. (2017). *Cálculo estructural: El Método de los Elementos Finitos*. <https://eadic.com/blog/entrada/calculo-estructural-el-metodo-de-los-elementos-finitos/>

Funreactor. (2011). *La historia de la marca Mack. Antecedentes históricos sobre el fabricante de Mack Truck Bus mak a partir de qué año se produce*. <https://funreactor.ru/es/istoriya-marki-mack-istoricheskaya-spravka-o-mack-truck-avtobus-mak.html>

- Hello Auto. (2018). *¿Qué es un Autobús? - Glosario de mecánica | Hello Auto.*
<https://helloauto.com/glosario/autob%C3%BAs>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016a). *NTE INEN 2415.*
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016b). *RTE-034-4R.*
- Inzunza Bustos, J. (2007). *Dinámica de Rotación.* 215–246.
- J. M. Alonso Pérez. (2010). *Técnicas del Automóvil. Chasis* (Carmen Lara Carmona, Ed.; Octava edición). Paraninfo.
- Luque, P., Álvarez, D., & Vera, C. (2008). *Ingeniería del automóvil: sistemas y comportamiento dinámico: Vol. Primera Ed* (C. M. De la Fuente Rojo, Ed.; Paraninfo).
- Ministerio de Gobierno. (2020). *Accidentes de tránsito con tendencia a la baja en el país.*
<https://www.ministeriodegobierno.gob.ec/accidentes-de-transito-con-tendencia-a-la-baja-en-el-pais/>
- Nashipoezda. (2014). *Tipos de carrocerías de autobuses. La disposición de los cuerpos de los autobuses.*
<https://nashipoezda.ru/es/tractor/typy-kuzovov-avtobusov-ustroistvo-kuzovov-avtobusov-ih.html>
- Peritos de Accidentes. (2016). *Tipos de colisiones de vehículos.*
<https://www.peritosdeaccidentes.com/tipos-de-colisiones-de-vehiculos/>
- Plymovent. (2019). *Nueva tecnología para motores diésel y partículas ultrafinas.*
<https://www.plymovent.com/es/blogs/aspiracion-gases-escape-de-vehiculos/nueva-tecnologia-para-motores-diesel-y-particulas-ultrafinas>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2009). *NTE INEN 1323: Vehículos Automotores. Carrocerías De Buses. Requisitos.*
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2014). *RTE INEN 043: Vehículos de transporte público de pasajeros intraregional, interprovincial e intraprovincial.* 40(14), 1–33.

Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2016). NTE INEN 1668: Vehículos de transporte público de pasajeros intraregional, interprovincial e intraprovincial. *Inen, Primera re*, 30.

