

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 LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRBAG
EN AUTOBUSES EN LA SEGURIDAD DEL CONDUCTOR DURANTE UN
IMPACTO FRONTAL”**

AUTORES:

EDISSON ISMAEL AYALA YUNGA

LUIS ENRIQUE TACURI TACURI

TUTOR:

ING. MARCO ESTEBAN AMAYA PINOS, MSC.

CUENCA - ECUADOR

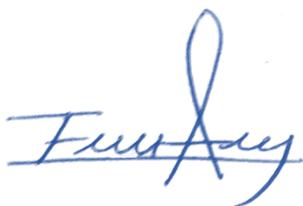
2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Edison Ismael Ayala Yunga con documento de identificación N° 0106786882 y Luis Enrique Tacuri Tacuri con documento de identificación N° 0105738728, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRBAG EN AUTOBUSES EN LA SEGURIDAD DEL CONDUCTOR DURANTE UN IMPACTO FRONTAL”**, 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 nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra entres citada. En concordancia, 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, octubre de 2021.



Edison Ismael Ayala Yunga

C.I. 0106786882



Luis Enrique Tacuri Tacuri

C.I. 0105738728

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi autoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRBAG EN AUTOBUSES EN LA SEGURIDAD DEL CONDUCTOR DURANTE UN IMPACTO FRONTAL”**, realizado por Edison Ismael Ayala Yunga y Luis Enrique Tacuri Tacuri, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulado por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre de 2021.



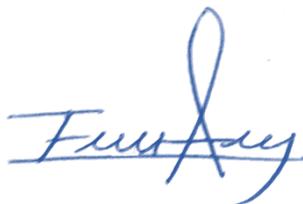
Ing. Marco Esteban Amaya Pinos, MSc.

C.I. 0102263480

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Edison Ismael Ayala Yunga con documento de identificación N° 0106786882 y Luis Enrique Tacuri Tacuri con documento de identificación N° 0105738728, autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRBAG EN AUTOBUSES EN LA SEGURIDAD DEL CONDUCTOR DURANTE UN IMPACTO FRONTAL”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, octubre de 2021.



Edison Ismael Ayala Yunga

C.I. 0106786882



Luis Enrique Tacuri Tacuri

C.I. 0105738728

DEDICATORIA

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

A nuestros padres,

Rosa Yunga , Luis Ayala

Blanca Tacuri , Leonardo Tacuri

Por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí enseñándonos que con trabajo y honestidad se pueden lograr los objetivos planteados . Ha sido un orgullo y el privilegio de ser sus hijos Edison Ayala y Luis Tacuri , son los mejores padres.

A nuestros Hermanos y Familiares por estar siempre presentes y por brindados su apoyo incondicional .

A nuestras familias y a todas las personas que nos han apoyado y han hecho que nuestro trabajo se realice con éxito, en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

A nuestros amigos y compañeros de la universidad con los que hemos compartido buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTO

Por el esfuerzo, dedicación, paciencia, por su confianza y por todo lo que me han dado a lo largo de nuestras carreras universitarias y de nuestras vidas, agradecemos a nuestros padres,

En absoluto a nuestra familia por apoyarnos en aquellos momentos de necesidades, a todos ellos por llenar nuestras vidas de grandes momentos que hemos compartido.

Gracias Ingeniero Marco Amaya, por creer en nosotros y habernos brindado las oportunidades de desarrollar nuestra tesis, por todo el apoyo y las facilidades que me fueron otorgados. Por darnos la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

Y por supuesto a nuestra Universidad, por permitirnos concluir con una etapa de nuestras vidas en el ámbito profesional.

Muchas gracias a todos.

RESUMEN

El presente trabajo de fin de grado se realiza un análisis de la implementación de un sistema de airbag en autobuses en la seguridad del conductor durante un impacto frontal conforme a la normativa y reglamentación técnica que dicta la Comisión Económica de las Naciones Unidas (UNECE), y el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) la cual está encargada de regular la homologación de las estructuras de autobuses empleados en el transporte de pasajeros en el Ecuador.

Para lo cual se realizó un análisis biomecánico a distintas velocidades de impacto con y sin implementación del airbag como un método de seguridad pasiva, para de esta manera poder realizar una comparación de criterio de lesión encefálica (HIC), para evaluar mediante el código de Abbreviated Injury Scale, también conocido como AIS CODE, que permite evaluar la gravedad de las lesiones del conductor.

ABSTRACT

In this final degree work is an analysis of the implementation of an airbag system in buses in the safety of the driver during a frontal impact according to the norms and technical regulations dictated by the United Nations Economic Commission (UNECE), and the Ecuadorian Standardization Service (INEN) which is responsible for regulating the approval of the structures of buses used in passenger transport in Ecuador.

For this purpose, a biomechanical analysis was performed at different impact speeds with and without the implementation of the airbag as a passive safety method, to make a comparison of the encephalic injury criterion (HIC), to evaluate by means of the Abbreviated Injury Scale code, also known as AIS CODE, which allows us to evaluate the severity of the injuries of the driver.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
2.Problema.....	1
2.1 Antecedentes.....	1
2.2 Importancia y Alcance.....	3
2.3 Delimitación	3
3.Objetivos.....	3
3.1 Objetivo General.....	3
3.2 Objetivos Específicos	3
4. Estado del Arte	4
4.1 Trabajos Previos	4
4.2 Impacto Frontal	4
4.3 Estadística de Accidentes	5
4.3 Criterio de Lesión Encefálica (HIC).....	6
5. Reglamentación	8
5.1 NTE INEN 1323: Requisitos para Carrocerías de Buses	8
5.1.1 Disposiciones Generales.....	8
5.1.2 Requisitos	9
5.1.3 Rotulado	10
5.1.4 Ensayos.....	11
5.2 NTE 1668: Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Interprovincial	11
5.2.1 Clasificación	12

3.2.2 Requisitos	12
5.2.3 Dimensiones Externas del Vehículo.....	13
5.3 RTE 043: Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Interprovincial e Intraprovinciales.....	15
5.3.1 Especificaciones de la Carrocería.....	15
5.4 Reglamento 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa	15
5.4.1 Campo de Aplicación	16
5.4.2 Espacio de Supervivencia.....	16
5.5 Reglamento 29 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa	17
5.5.1 Ensayo de colisión Frontal (Ensayo A)	18
5.5.2 Ensayo de colisión Frontal (Ensayo B)	19
6. Simulación de Impacto Frontal del Autobús para el Análisis Biomecánico	19
6.1 Modelado de la Estructura del Autobús	20
6.1.1 Perfiles	20
6.1.2 Propiedades Mecánicas de los Perfiles.....	21
6.2 Aplicación del Método de Elementos Finitos.....	22
6.3 Datos del Modelo Matemático	24
6.4 Dummy	25
6.5 Airbag	26
6.6 Condiciones de Contorno	27
6.6.1 Velocidad de Impacto.....	27
6.6.2 Definición de Contactos	27

6.6.3 Despliegue de Airbag	28
6.6.4 Regulaciones de Transito	29
7. Resultados.....	29
7.1 Esfuerzos y Energías	29
7.2 Criterio de Lesión Encefálica (HIC).....	34
7.2.1 Criterio del HIC sin implementación de un Airbag.....	34
7.2.2 Criterio del HIC con la Implementación de un Airbag	36
7.3 Deformación del Autobús.....	38
7.4 Velocidad del Autobús	40
8. Conclusiones.....	42
10. Referencias Bibliográficas.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Autobús Deformado por un Impacto Frontal.....	5
Figura 2. Accidentes de Tránsito en los Meses de Enero y agosto de 2019.....	6
Figura 3. Longitud del Voladizo Delantero (A) y Posterior (B) del Autobús.....	14
Figura 4. Se indica tres figuras a), b) y c) donde se indican las especificaciones del espacio de supervivencia.....	17
Figura 5. Prueba de Impacto “A”	18
Figura 6. Prueba de Impacto “B”	19
Figura 7. Modelado de la Estructura del Autobús.....	20
Figura 8. Curva de Esfuerzo – Deformación del Acero Estructural ASTM A36.....	22
Figura 9. Nodos y Elementos de una Malla	23
Figura 10. Índice Jacobiano del Autobús por el Método de Elementos Finitos.....	24
Figura 11. Dimensiones y Ubicación del Centro de Gravedad en el Autobús.	24
Figura 12. Modelo CAD del Dummy Híbrido III 50° Masculino.	25
Figura 13. Ubicación de los Nodos de Aceleración en el Dummy.	26
Figura 14. Despliegue del Airbag.....	26
Figura 15. Descripción del Ensayo del Autobús para el Impacto Frontal.....	27
Figura 16. Contacto entre el Airbag, Cinturón de Seguridad y el Dummy Durante la Colisión	28
Figura 17. Contacto entre el Volante y el Airbag Durante el Despliegue en la colisión.	28
Figura 18. Dummy Utilizando el Cinturón de Seguridad del Autobús.	29
Figura 19. Esfuerzo de Von Misses (MPa) a una velocidad de Impacto de 30 Km/h...	30
Figura 20. Energías de la Simulación del Impacto Frontal del Autobús a 30 Km/h....	31

Figura 21. Esfuerzo de Von Misses (MPa) a una velocidad de Impacto de 60 Km/h...	31
Figura 22. Energías de la Simulación del Impacto Frontal del Autobús a 60 Km/h.....	32
Figura 23. Esfuerzo de Von Misses (MPa) a una velocidad de Impacto de 90 Km/h...	33
Figura 24. Energías de la Simulación del Impacto Frontal del Autobús a 90 Km/h.....	33
Figura 25. Criterio del HIC del Dummy con sin la utilización Airbag a una velocidad de impacto de 30 Km/h.	35
Figura 26. Criterio del HIC del Dummy con sin la utilización Airbag a una velocidad de impacto de 60 Km/h.	35
Figura 27. Criterio del HIC del Dummy con sin la utilización Airbag a una velocidad de impacto de 90 Km/h.	36
Figura 28. Criterio del HIC del Dummy con la Utilización Airbag a 30 Km/h.	37
Figura 29. Criterio del HIC del Dummy con la Utilización Airbag a 60 Km/h.	37
Figura 30. Criterio del HIC del Dummy con la Utilización Airbag a 60 Km/h.	38
Figura 31. Deformaciones Producidas por la colisión a 30 Km/h.....	39
Figura 32. Deformaciones Producidas por la Colisión a 60 Km/h.....	39
Figura 33. Deformaciones Producidas por la Colisión a 90 Km/h.....	40
Figura 34. Comportamiento del Autobús a una Velocidad Impacto de 30 Km/h.	40
Figura 35. Comportamiento del Autobús a una Velocidad Impacto de 60 Km/h.	41
Figura 36. Comportamiento del Autobús a una Velocidad Impacto de 90 Km/h.	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valoración de la EuroNCAP según el daño Craneal.	7
Tabla 2. Cargas vivas de Diseño.	10
Tabla 3 Clasificación de los vehículos de transporte público de pasajeros.....	12
Tabla 4: Clasificación de los vehículos de transporte público de pasajeros.....	12
Tabla 5: Largo total de vehículos de transporte público de pasajeros.....	13
Tabla 6: Altura total máxima de los vehículos.....	14
Tabla 7: Voladizo delantero y posterior.	14
Tabla 8. Tipos de Pruebas de Impacto para Vehículos N1.....	18
Tabla 9: Perfiles Utilizados en la Estructura del Autobús.....	21
Tabla 10: Propiedades Mecánicas y Composición Química del acero AISI 30.....	21
Tabla 11: Ficha Técnica de la Estructura del Autobús.....	24
Tabla 12: Comparación de los Valores de Energía Total y Hourglass.....	34
Tabla 13: Valores del HIC del Dummy sin Airbag Generados en el Impacto Frontal.	36
Tabla 14: Valores del HIC del Dummy con Airbag Generados en el Impacto Frontal.	38
Tabla 15: Deformación del Autobús Producto el Impacto Frontal	40

1. Introducción

El presente trabajo de fin de grado está orientado a realizar un análisis de la implementación de un sistema de airbag en autobuses en la seguridad del conductor durante un impacto frontal aplicando el método de elementos finitos para el análisis biomecánico debido a que los índices de accidentabilidad por impacto frontal en los autobuses de transporte de pasajeros interprovincial en el Ecuador, en el último año ha venido incrementándose, de esta manera la estructura del autobús y el cinturón de seguridad, son las únicas medidas de protección que tienen los conductores durante una colisión, razón por la cual es importante realizar un análisis del impacto implementado a la seguridad pasiva del autobús un sistema de airbag para salvaguardar la vida del conductor durante una colisión.

En el país la homologación de las unidades de transporte terrestre interprovincial para pasajeros está enfocado en aspectos generales, siendo necesario un análisis de fondo con respecto a la seguridad activa y pasiva del autobús frente a una colisión.

Las estadísticas que anualmente ofrece la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), indican que el transporte en autobús es uno de los medios en los que se producen menos accidentes y en los que se ven involucrados un menor número de afectados, sin embargo, cuando tiene lugar un accidente, sobre todo si se trata de un siniestro grave, resalta sobre el resto de las noticias, ya que a menudo el resultado es muy desafortunado especialmente en el operador y ayudante del autobús.

2. Problema

2.1 Antecedentes

Los índices de accidentalidad por impacto frontal en los autobuses de transporte de pasajeros interprovincial en Ecuador durante los últimos años han venido incrementándose,

mucho de los cuales son por fallas mecánicas o impericia del operador, de esta manera la estructura frontal del autobús es la única protección que tienen los conductores.

En el año 2019 entre los meses de enero y agosto, se registraron 1383 fallecidos en accidentes de tránsito, según la Agencia Nacional de Tránsito, la imprudencia al momento de conducir ocasionaron el 37% de estos accidentes, de los cuales el 10,5% son accidentes de impacto frontal, de este porcentaje los buses se encuentra relacionados en el 10% de los mismos(Primicias, 2019).

Se conoce que la estructura para un autobús parte de un diseño estructural destinado al transporte de pasajeros, es así que la normativa y reglamentación ecuatoriana INEN, delimita un espacio de supervivencia destinado a la protección de pasajeros, pero, sin embargo en la reglamentación ecuatoriana, no existe un modelo de análisis para impactos frontales, a partir de lo cual se parte a realizar un análisis biomecánico para evaluar la seguridad del conductor en impactos frontales al implementar mecanismos de airbag en autobuses nacionales.

Según la Agencia Nacional de Transito (ANT) el porcentaje de accidentes en el 2020 corresponde a un 8.1% de la totalidad de accidentes a nivel nacional, una de las causantes de estos son directamente los conductores debido a la falta de conciencia e irresponsabilidad.

La causa primordial referente a los causantes de accidentes de tránsito que se presenta por buses interprovinciales es el irrespeto de las señales de tránsito distribuidas en nuestro país. Esta causante tiene un porcentaje alto, ver tabla 1, según la ANT, con el número de vehículos involucrados de 127, con un número de siniestros de 86, número de lesionados 103 y un número de fallecidos de 22 que fueron actualizados el 31 de enero del 2020 (Tecniseguros, 2021).

2.2 Importancia y Alcance

Los índices de accidentalidad por impacto frontal en los autobuses de transporte de pasajeros interprovincial en Ecuador, durante los últimos ha venido incrementándose, mucho de los cuales son por fallas mecánicas o impericia del operador, de esta manera la estructura frontal del autobús es la única protección que tienen los conductores

Se conoce que la carrocería del autobús parte de un diseño estructural destinado para el transporte de pasajeros, es así que la normativa y reglamentación ecuatoriana INEN, delimita un espacio de supervivencia destinado a la protección de pasajeros, pero, sin embargo, en la reglamentación ecuatoriana, no existe un modelo de análisis para impactos frontales, a partir de lo cual se parte a realizar un análisis biomecánico para evaluar la seguridad del conductor en impactos frontales al implementar mecanismos de airbag en autobuses nacionales.

2.3 Delimitación

El presente proyecto de titulación beneficia al Grupo de Investigación de Ingeniería de Transporte (GIIT), (Línea de Planificación del Transporte, Seguridad y Gestión de Movilidad), de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana.

3.Objetivos

3.1 Objetivo General

- Analizar la implementación de un sistema de airbag en autobuses en la seguridad del conductor durante un impacto frontal.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el estudio del arte mediante la revisión bibliográfica científica para soportar las variables del estudio acerca de impactos frontales de los autobuses.
- Analizar la normativa nacional e internacional para conocer los requerimientos técnicos de los Autobuses.

- Definir los parámetros de simulación de impacto frontal del Autobús acorde a la Reglamentación Técnica
- Analizar los resultados de las simulaciones evaluando el comportamiento biomecánico del conductor.

4. Estado del Arte

4.1 Trabajos Previos

El contenido de esta investigación corresponde al análisis de la implementación de un sistema de airbag en autobuses en la seguridad del conductor durante un impacto frontal, para esto es conveniente partir de una serie de trabajos o estudios previos para entender la magnitud del problema que tiene la seguridad de los conductores durante un impacto frontal del autobús estos se mencionan a continuación:

- Diseño y construcción de los anclajes de asientos de un autobús interprovincial bajo condiciones de impacto frontal y lateral en la empresa metálica Pillapa.
- Ensayos de choque de autobús con maniqués de impacto de tamaños adulto e infantiles.
- Determinación de configuraciones estructurales de un frente de autobús interprovincial y su incidencia en la resistencia al impacto frontal mediante el método de elementos finitos.
- Analysis of Bus Structural Performance During Full Frontal Impact.
- Study of a frontal bus impact against a rigid wall.

4.2 Impacto Frontal

El impacto frontal se define como la colisión contra un objeto situado frente al vehículo que detiene de forma brusca su velocidad, ver figura 1, esto hace que la energía cinética se transforme en ondas de choque cuya fuerza (F) depende de la masa del vehículo (M), del

diferencial de la velocidad que se considera y del tiempo (T) en que esta actúe, esto se expresa con la siguiente formula (Rodes et al., 2007):

$$F = \frac{M \times \Delta V}{\Delta T} \quad (1)$$

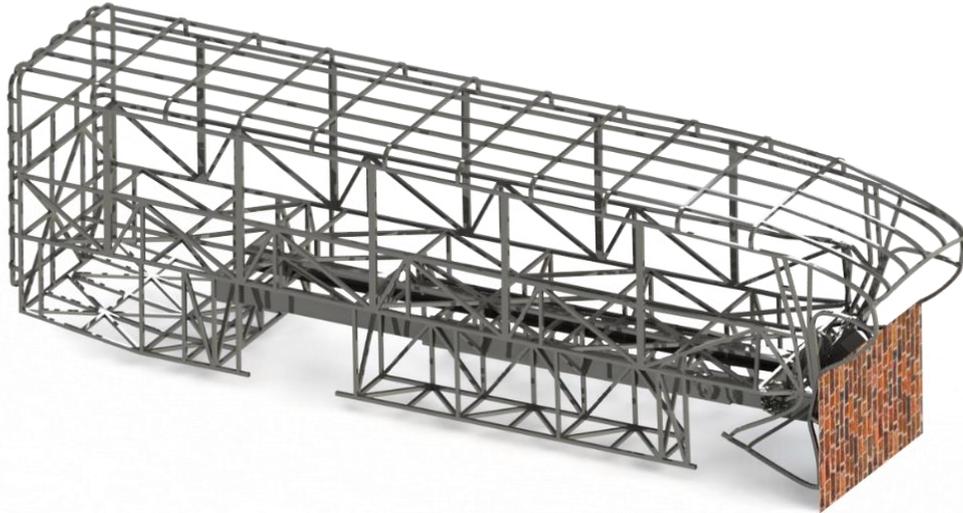


Figura 1. Autobús Deformado por un Impacto Frontal

Fuente: Autores.

Se realiza una simulación computacional mediante el método de elementos finitos, donde se configura para replicar una colisión lo más real posible entre el autobús y la superficie de impacto.

4.3 Estadística de Accidentes

La Agencia Nacional de Transito (ANT), en un estudio sobre las causas de los siniestros el 33.6% de los percances se originan porque mientras manejan los conductores habla por el teléfono, comen, manipulan pantallas de video o se maquillan, luego está el irrespeto a las señales de tránsito por parte de los conductores y peatones, otra causa importante es el irrespeto al límite de velocidad, estos porcentajes de accidentabilidad han sido similares

durante los últimos años y no han variado pese a las restricciones y los controles en la vías (Puente, 2020).

Entre enero y agosto del 2019 se registraron 1383 personas fallecidas en accidentes de tránsito en el país, ver figura 2, en la cual la mayoría de los casos hubo motocicletas involucradas y personas ebrias, pero, los accidentes donde estaban involucrados autobuses resultan ser los más mortíferos.

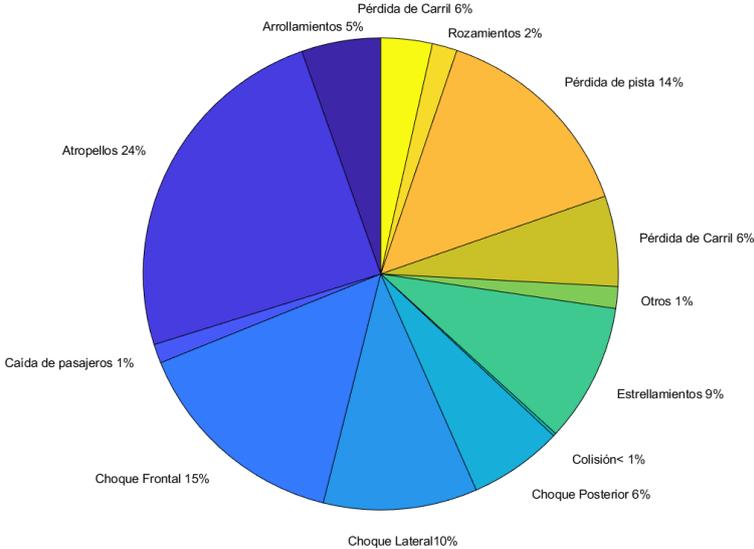


Figura 2. Accidentes de Tránsito en los Meses de Enero y agosto de 2019

Fuente: Autores.

La principal causa con respecto a los accidentes de tránsito en donde se encuentran involucrados autobuses interprovinciales es el irrespeto de las señales de tránsito y el exceso de velocidad, con 127 vehículos involucrados, con un número de siniestros de 86, número de lesionados 103 y un número de fallecidos de 22 que fueron actualizados el 31 de enero del 2020 (Tecniseguros, 2021).

4.3 Criterio de Lesión Encefálica (HIC)

El criterio de lesión encefálica también conocido por sus siglas en inglés HIC (Head Injury Criterion), es un índice que está relacionado con la probabilidad de sufrir algún tipo de traumatismo craneoencefálico como resultado de un impacto o deceleración violenta de

la cabeza en algún tipo de accidente, es utilizado en la industria automovilística y en la industria de equipamientos deportivos para predecir posibles daños encefálicos (McHenry, 2004).

El valor del HIC se obtiene a partir de la curva de deceleración, generalmente obtenida de ensayos mediante un acelerómetro colocado en el centro de gravedad de un Dummy de ensayos de impacto sometido a las fuerzas típicas de un choque frontal (Livermore Software Technology, 2012).

Para conocer el daño que corresponde al valor registrado por el HIC, se debe consultar el código de Abbreviated Injury Scale, también conocido como AIS CODE, que es un sistema de codificación anatómico creado por la Asociación para el Avance de la Medicina Automotriz (AAAM), para clasificar y descubrir la gravedad de las lesiones (Carrero Muñoz, 2011).

Según los valores de HIC y AIS CODE, se producen una serie de daños que la EuroNCAP valora en una escala de color, ver tabla 1.

Tabla 1. Valoración de la EuroNCAP según el daño Craneal.

HIC	AIS CODE	Nivel de Daño Cerebral	Nivel de Daño en el Cráneo	Valoración EuroNCAP
< 150	0/1	Sin conmoción	Sin Fractura	Verde
150 500	1	Conmoción Suave	Sin Fractura	Verde
			500 - 900 Pequeña Fractura	<650 Verde
500	2/3/4/5	Conmoción Severa	900 – 1800 Fractura	650-767 Amarillo
1800				767-883 Naranja
				>1000 Rojo
> 1800	6	Coma Cerebral	Vida Amenazada por la Fractura	Rojo

Fuente: EuroNCAP

5. Reglamentación

5.1 NTE INEN 1323: Requisitos para 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 autoportante (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2009).

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 (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 2.
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 (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2009):

- 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.
- Cálculo 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 Interprovincial

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 (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2016).

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 3

Clasificación de los vehículos de transporte público de pasajeros.

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

Fuente: NTE INEN 1668

Tabla 4:

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
	Más de 2 ejes	24 000 kg	Máximo 53

Fuente: NTE INEN 1668

3.2.2 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 con 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 5:
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 6, 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 6:
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 indica en la figura 3 (Luque et al., 2008).

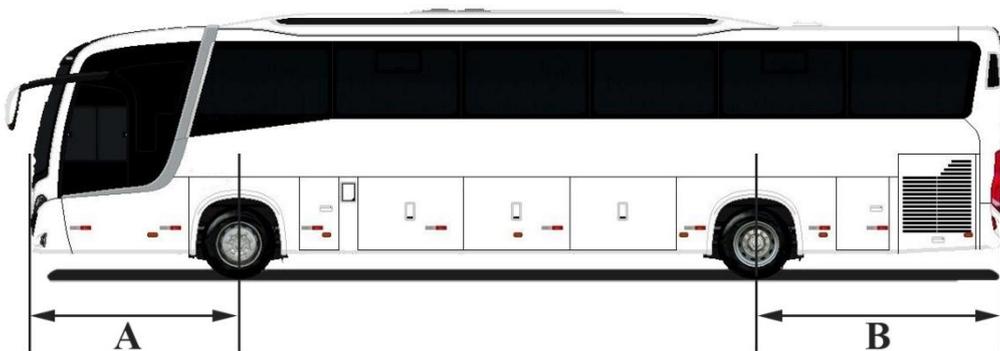


Figura 3. Longitud del Voladizo Delantero (A) y Posterior (B) del Autobús.

Fuente: Autores

En la tabla 7 se muestran las longitudes en mm que deben tener los voladizos en el caso de los autobuses.

Tabla 7:
Voladizo delantero y posterior.

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

Minibús	800 a 1100	ejes 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).

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 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa

La Reglamentación 66 de la UNECE, 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 4, 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 (UNECE), 2010).

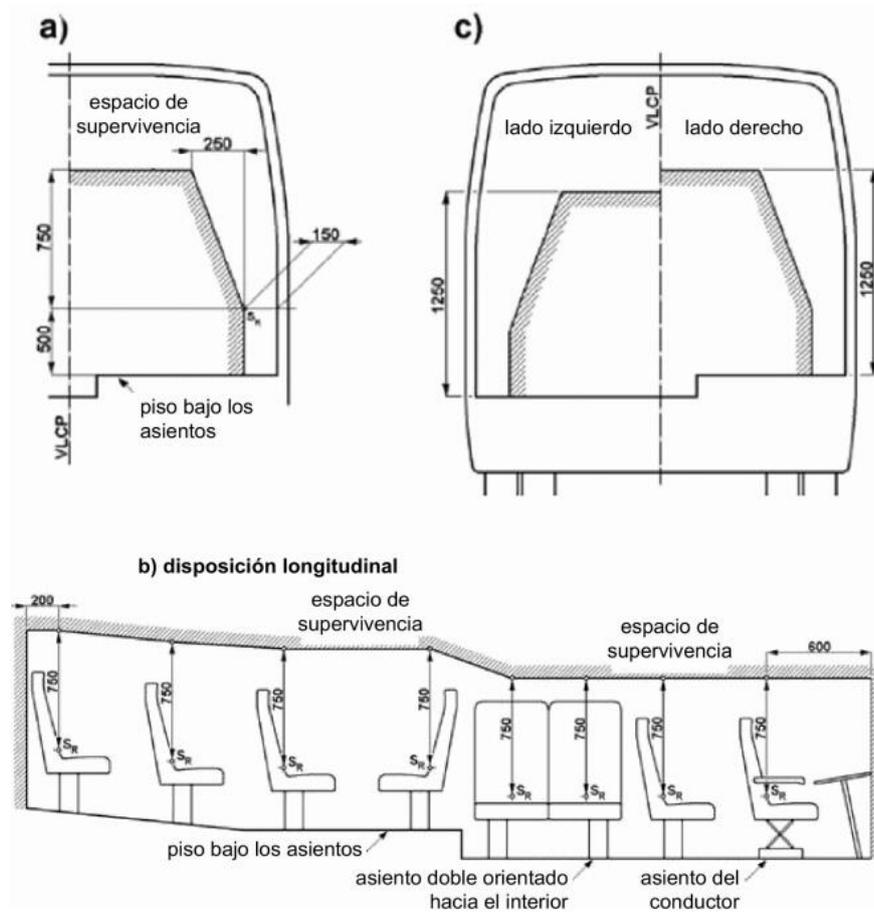


Figura 4. Se indica tres figuras a), b) y c) donde se indican las especificaciones del espacio de supervivencia

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

5.5 Reglamento 29 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa

El presente Reglamento se aplica a los vehículos en lo que se refiere a la protección de los ocupantes de la cabina en caso de colisiones frontales o vuelco únicamente en vehículos de categoría N1 (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE), 2010).

La cabina del vehículo deberá diseñarse y fijarse al vehículo de modo que se elimine en la medida de lo posible el riesgo de lesiones para sus ocupantes en caso de accidente, el ensayo se deberá realizarse únicamente con vehículos de cabina sobre motor, razón por la

cual, el modelo de autobús es un vehículo de chasis con motor delantero (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE), 2010).

El presente reglamento presenta dos tipos de pruebas de homologación para vehículo de categoría N1, a continuación, se detallan en la tabla 8.

Tabla 8.
Tipos de Pruebas de Impacto para Vehículos N1

Tipo de Prueba	Detalles
Prueba “A”	La prueba de impacto frontal se destina a evaluar la resistencia de una cabina en un accidente de impacto frontal
Prueba “B”	La prueba de impacto en los pilares A, de la cabina está destinada a evaluar la resistencia de una cabina en un accidente de vuelco de

Fuente: Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE)

5.5.1 Ensayo de colisión Frontal (Ensayo A)

Para ejecutar este ensayo las puertas del vehículo deben estar cerradas, figura 5, pero no deben estar bloqueadas, además la cabina debe tener todos los mecanismos mecánicos del vehículo ya terminado, teniendo en cuenta que la cabina debe estar fijada en el chasis (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE), 2010).

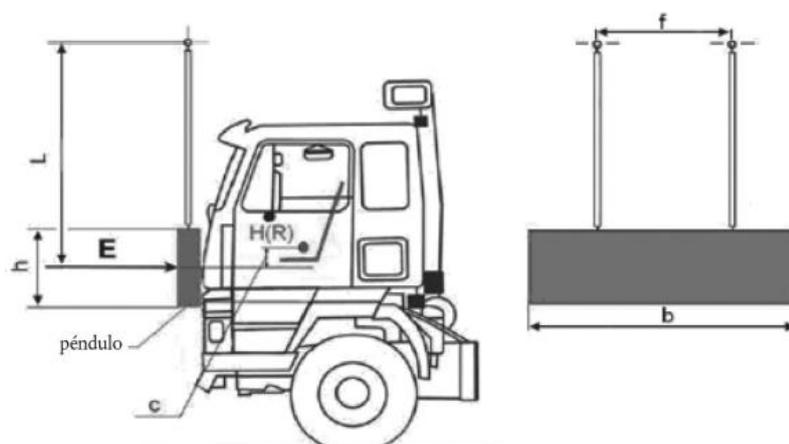


Figura 5. Prueba de Impacto “A”

Fuente: Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE)

5.5.2 Ensayo de colisión Frontal (Ensayo B)

El impactador debe colocarse de manera que, cuando su suspensión esté en posición vertical, se muestra en la figura 6, cuando la cara de choque esté en contacto con la parte frontal de la cabina y su centro de gravedad esté a medio camino entre el marco inferior y el marco superior del parabrisas, medido a lo largo del parabrisas y a lo largo del plano vertical longitudinal mediano de la cabina (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE), 2010).

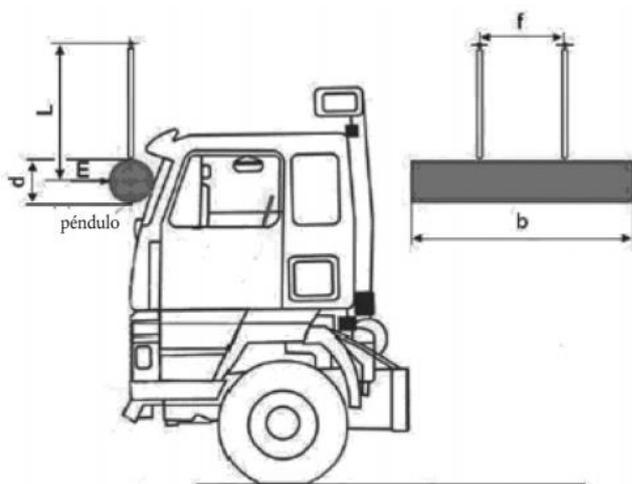


Figura 6. Prueba de Impacto "B"

Fuente: Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE)

6. Simulación de Impacto Frontal del Autobús para el Análisis Biomecánico

El estudio del análisis biomecánico para evaluar la seguridad del conductor en impactos frontales al implementar mecanismos de airbag en autobuses nacionales se llevará a cabo fundamentado en el Reglamento N° 29 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas de, cumpliendo los parámetros de homologación para vehículos comerciales.

Para someter al autobús a un ensayo de impacto frontal, no es necesario que esté completamente terminado o listo para funcionar, deben tener todos los elementos que den rigidez a la estructura del autobús (Brito Morocho, 2020).

6.1 Modelado de la Estructura del Autobús

El diseño del autobús para el análisis biomecánico para evaluar la seguridad del conductor en impactos frontales al implementar mecanismos de airbag se muestra en la figura 7, en donde a la hora de modelar la estructura del bus se toman en cuenta aspectos de gran importancia que en conjunto deben dar la rigidez suficiente al autobús como son las formas geométricas, uniones, dimensiones de los perfiles, etc., además es importante la tipología en las uniones que debe presentar el diseño.

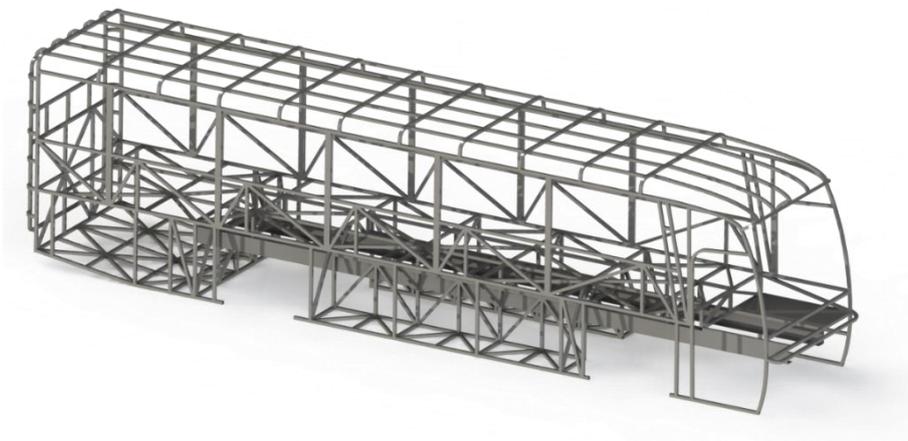


Figura 7. Modelado de la Estructura del Autobús.

Fuente: Autores

En el país, el diseño y la construcción de las carrocerías para el transporte interprovincial de pasajeros esta normado y reglamentado por la agencia nacional de tránsito, su operación se basa en la normativa y reglamentación ecuatoriana dispuesta por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN), que especifica mediante la NTE INEN 1323 (Arias Manjarrés & Santillan Mariño, 2016).

6.1.1 Perfiles

El autobús está compuesto por una estructura de perfiles cerrados y abiertos, el material de estos perfiles es Acero Estructural ASTM A36, que se encuentran interconectados por uniones soldadas y luego se sujetan al chasis mediante pernos (Padron, 2018).

La manufacturación de la estructura del autobús es la combinación de varios perfiles estructurales con diferentes dimensiones y espesores, ver tabla 8, que se utilizan para el modelado geométrico.

Tabla 9:
Perfiles Utilizados en la Estructura del Autobús.

Perfil	Dimensión	Material
Tubo Cuadrado	40×40×2 mm	Acero Estructural ASTM A36
Tubo Cuadrado	50×50×3 mm	Acero Estructural ASTM A36
Tubo Rectangular	50×100×3 mm	Acero Estructural ASTM A36

Fuente: Autores

6.1.2 Propiedades Mecánicas de los Perfiles

La carrocería del autobús es una estructura liviana que va montada sobre el chasis la cual debe ser resistente y flexible para soportar las cargas y deformaciones que le transmite el chasis durante su desplazamiento, además sirve como habitáculo para proteger a los pasajeros contra los agentes externos y salvaguardar la vida de los pasajeros durante una colisión (Padron, 2018).

El acero estructural ASTM A36 es una aleación de acero al carbono de propósito general utilizado en la construcción de carrocerías de autobús y muchas otras industrias, ya que ofrece una excelente resistencia, a continuación se muestra en la tabla 9 su composición química y sus propiedades mecánicas (Aamsa, 2014).

Tabla 10:
Propiedades Mecánicas y Composición Química del acero AISI 30.

Composición Química	Mínimo	Máximo	Unidad
C(Carbón)	0.25	0.29	%
Mn (Manganeso)	0.6	1.20	%
Si (Silicio)	0.15	0.40	%
P (Fosforo)	0.04	0.04	%
S (Azufre)	0.05	0.05	%
Propiedades Mecánicas	Mínimo	Máximo	Unidad
Módulo de Young	200.0	200	GPa
Densidad	7.85	7.85	g/m ³
Esfuerzo a la Fluencia Mínimo	250	250	MPa

Esfuerzo a la Tensión	400	550	MPa
Módulo de Elasticidad	200	200	GPa

Fuente: Suministros Técnicos Sumitec S.A.

El diagrama esfuerzo – deformación es una excelente representación del comportamiento de un material cuando está es sometido a una fuerza deformadora, en particular la resistencia a la tracción es un aspecto importante para tomar en cuenta si un material puede ser considerado adecuado o no para la aplicación en la construcción de la estructura de un autobús (De Ingenierías, 2019).

En la figura 8, se observa el diagrama de tensión del material Acero ASTM A36 empleado en la manufactura de la carrocería del autobús, las propiedades mecánicas de este material son utilizadas para efectuar la simulación por medio de elementos finitos en este estudio.

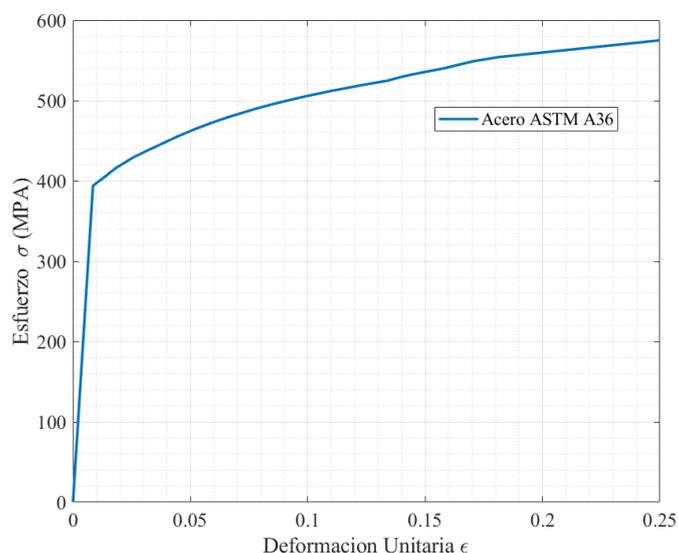


Figura 8. Curva de Esfuerzo – Deformación del Acero Estructural ASTM A36.

Fuente: Autores

6.2 Aplicación del Método de Elementos Finitos

Los elementos finitos se encuentran interconectados por puntos denominados nodos y al conjunto de todos estos elementos se lo denomina malla como se observa en la figura 9, las

ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento físico por subdivisiones en la geometría, nos permiten resolver modelos matemáticos de manera aproximada a la vida real por este método numérico (Mirlisenna, 2016).

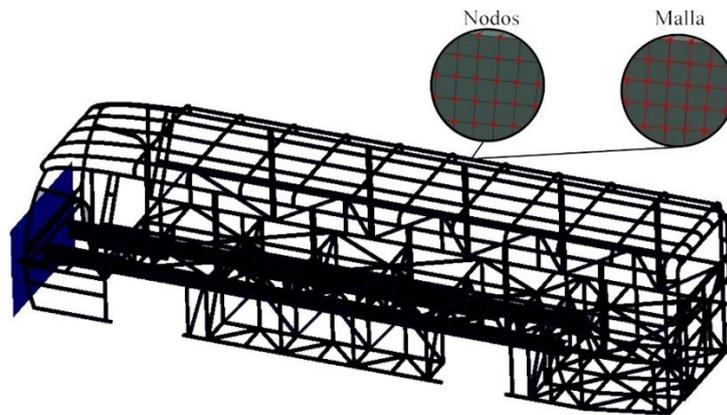


Figura 9. Nodos y Elementos de una Malla

Fuente: Autores

En el método de elementos finitos, el índice de Jacobiano es una medida de la desviación de un elemento en su forma ideal o perfecta, ya que un elemento de mala forma puede causar un error de volumen negativo durante la ejecución de la malla (Eng-Tips, 2011).

Los valores del Jacobiano oscilan entre 0 y 1, mientras más cercano este el valor a 1 la malla será de buena calidad, la dimensión de la malla aplicada en el autobús es de 25 mm , ver figura 10, donde el valor máximo de la malla generada es 1 y el mínimo es de $1.611e^{-1}$, donde el 0.00207% de la geometría de la malla tiene fallas, lo que demuestra la excelente calidad de la malla utilizada para realizar las simulaciones de impacto frontal.

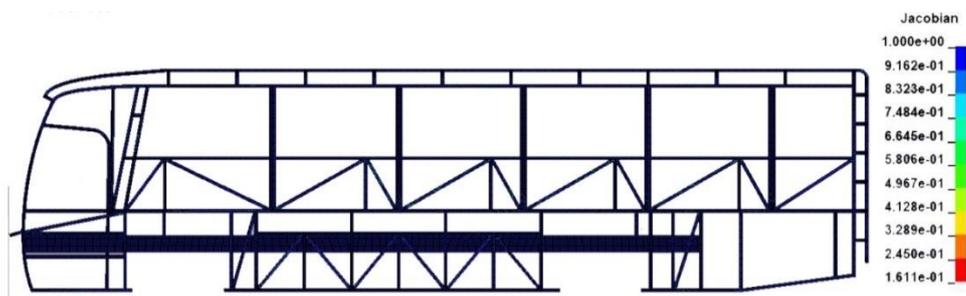


Figura 10. Índice Jacobiano del Autobús por el Método de Elementos Finitos.

Fuente: Autores

6.3 Datos del Modelo Matemático

Los valores de la masa, dimensiones y ubicación del centro de gravedad de la estructura del autobús se muestran en la tabla 10, estos valores son obtenidos mediante el software utilizado para la aplicación por medio de elementos finitos.

Tabla 11:
Ficha Técnica de la Estructura del Autobús.

Parámetro	Valor
Largo Total	11960 mm
Distancia Entre Ejes	5800 mm
Ancho Total	2580 mm
Altura Total	3800 mm
Masa de la Superestructura	3631.17 Kg
Posición Longitudinal del CDG	7629.12 mm
Posición Transversal del CDG	1920 mm
Altura Transversal del CDG	1845.65 mm

Fuente: Autores

El centro de gravedad y dimensiones del autobús, se muestran en la figura 11, la ubicación de sus datos debe ser precisos en el autobús.

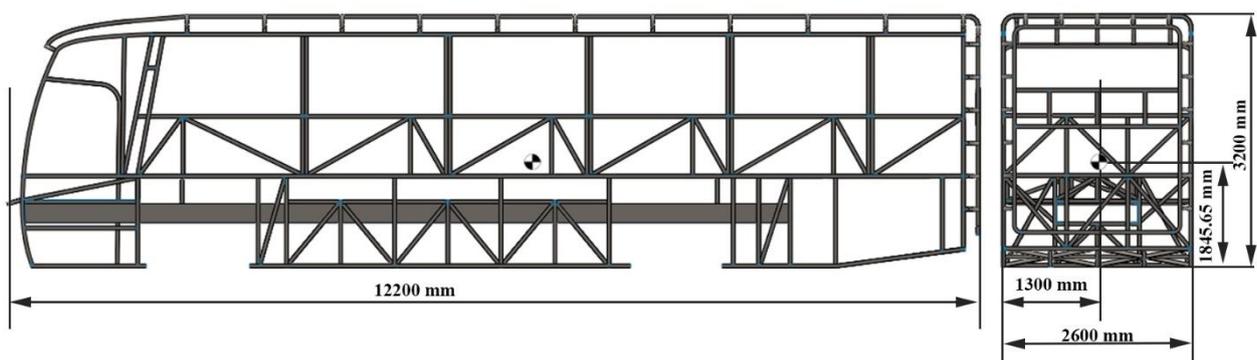


Figura 11. Dimensiones y Ubicación del Centro de Gravedad en el Autobús.

Fuente: Autores

6.4 Dummy

El Dummy utilizado para la simulación es un modelo del Hybrid III 50° Hombre, figura 12, es el maniquí de pruebas de choque más utilizado en el mundo para la evaluación de los sistemas de retención de seguridad automotriz en las pruebas de choque frontal, originalmente desarrollados por General Motors, ahora es mantenido y desarrollado por Humanetics en conjunto con los Comités de Biomecánica de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) y la Administración Nacional de Transporte y Seguridad en Carreteras (NHTSA) (Humanetics, 2021.).



Figura 12. Modelo CAD del Dummy Híbrido III 50° Masculino.

Fuente: Autores

El modelo CAD del maniquí híbrido III 50th Percentile Male es un desarrollo conjunto con el Centro Nacional de Análisis de Accidentes (NCAC) de la Universidad George Washington.

El cálculo del criterio de lesiones en la cabeza (HIC) e índice de gravedad del pecho (CSI), se basan en los nodos de los acelerómetros (ID 1 e ID 1787) ubicados en el Dummy, figura 13, el cálculo de ambos parámetros requiere datos de aceleración (Livermore Software Technology, 2012).

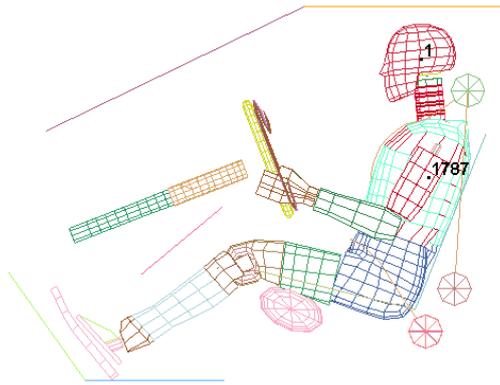


Figura 13. Ubicación de los Nodos de Aceleración en el Dummy.

Fuente: Livermore Software Technology.

6.5 Airbag

El airbag es un sistema de seguridad pasiva que complementa el cinturón de seguridad, ofreciendo una mejor protección y reduciendo los factores de riesgo en accidentes de tránsito, especialmente en impacto frontales (Educarm, 2016).

El volumen de control del airbag, figura 14, se define con la relación termodinámica del gas en términos de parámetros como la capacidad térmica, la temperatura del gas, la masa entrante y la masa saliente, el volante realiza la función de una pared rígida debajo del airbag para que actúe como suelo (Livermore Software Technology Corporation (LSTC), 2014).



Figura 14. Despliegue del Airbag.

Fuente: Autores

6.6 Condiciones de Contorno

6.6.1 Velocidad de Impacto

Para desarrollar el análisis biomecánico de un Dummy con respecto a un airbag durante un impacto frontal, ver figura 15, se desarrollan varias pruebas a diferentes velocidades de impacto (30 Km/h, 60 Km/h, 90 Km/h), además las simulaciones se deben realizar con y sin Airbag, para analizar el comportamiento del HIC.

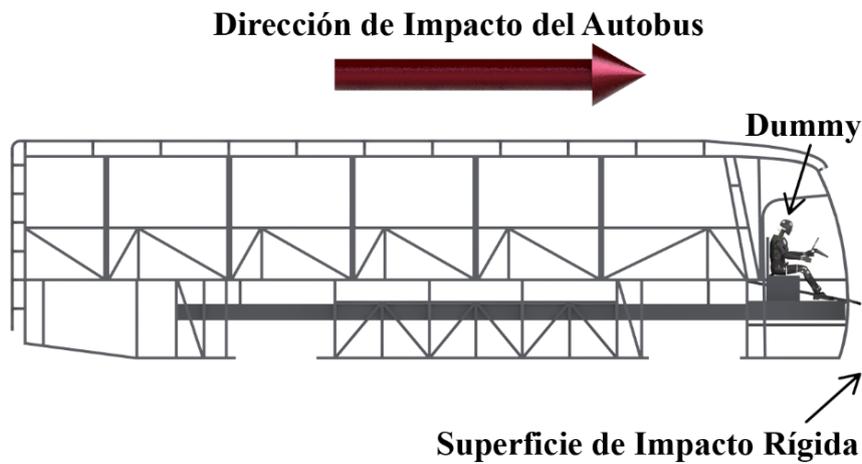


Figura 15. Descripción del Ensayo del Autobús para el Impacto Frontal.

Fuente: Autores

6.6.2 Definición de Contactos

Para la simulación de impacto es importante definir cada uno de los contactos, ver figura 16, que actúan entre ellos, porque de esta manera todo está interconectado y realizan la función para la cual se está empleando cada uno de los elementos.

El Dummy debe tener definido los contactos con respecto al airbag, cinturón de seguridad, y la estructura del autobús, de esa manera mediante la aceleración es posible calcular el HIC durante el impacto.

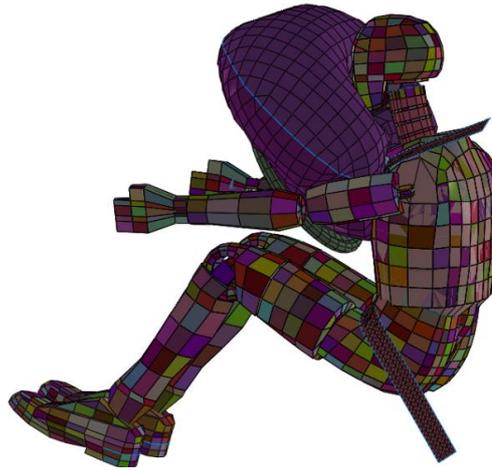


Figura 16. Contacto entre el Airbag, Cinturón de Seguridad y el Dummy Durante la Colisión

Fuente: Autores

6.6.3 Despliegue de Airbag

El sistema del airbag se basa en unas bolsa de aire ubicada en el volante que está en frente al conductor, con el fin de salvaguardar la vida durante una colisión del autobús, además se tiene en cuenta parámetros como el tiempo de inflado, de acuerdo con las organizaciones que regulan los aspectos de seguridad pasiva en el vehículo mencionan que el despliegue del airbag debe ser 15 milisegundos ver figura 17, de esta manera se cumple este principio en la simulación para lograr la mayor exactitud con respecto a la vida real. Para este caso de estudio únicamente se utiliza un airbag para el conductor, no se toma en consideración para el ayudante.



Figura 17. Contacto entre el Volante y el Airbag Durante el Despliegue en la colisión.

Fuente: Autores

6.6.4 Regulaciones de Transito

Para el caso de estudio el conductor (Dummy) estará utilizando el cinturón de seguridad, ver figura 18, porque de acuerdo con el Código Orgánico Integral Penal (COIP), el artículo 390, literal 10. Estipula que el tanto el conductor como los acompañantes deberán usar cinturones de seguridad. Caso contrario estarían infringiendo una contravención de quinta clase, teniendo como sanción una multa de USD 57.9 equivalente al 15% de un salario básico unificado del trabajador en general (USD 386) y una reducción de 4.5 puntos en la licencia conducir del piloto. Puesto que la responsabilidad de avisar del uso obligatorio de cinturones de seguridad en vehículos es completamente del piloto (Educar Plus, 2021).

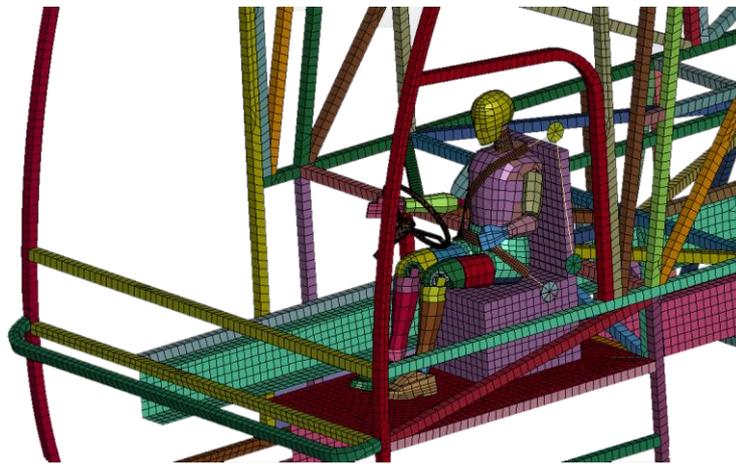


Figura 18. Dummy Utilizando el Cinturón de Seguridad del Autobús.

Fuente: Autores

7. Resultados

7.1 Esfuerzos y Energías

En la figura 19, se observa el esfuerzo de Von Mises del autobús con una velocidad de impacto de 30 Km/h, en la gráfica se distinguen los puntos mínimos $0 Pa$ (Color Azul) y los puntos máximos (Color Rojo) $4.024E + 02 Pa$, la mayor concentración de fuerza absorbida es en el bastidor del autobús, el cual absorbe la mayor cantidad de energía para evitar que la estructura de la carrocería no sufra una excesiva deformación.

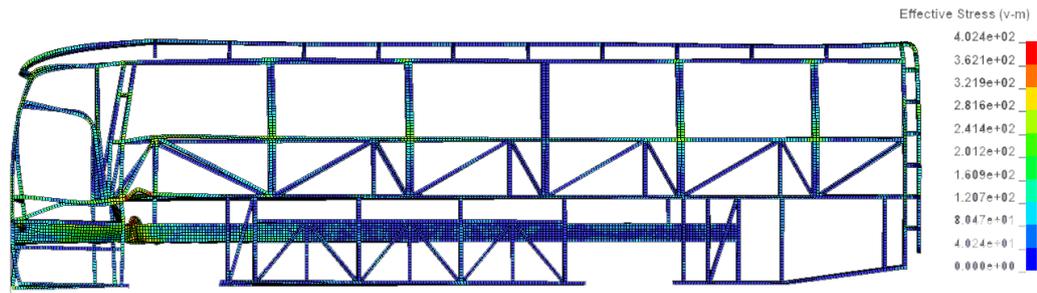


Figura 19. Esfuerzo de Von Misses (MPa) a una velocidad de Impacto de 30 Km/h.

Fuente: Autores

En la figura 20, se muestra la energía total que es la suma de todas las energías que intervienen en el impacto del autobús y las energías cinemáticas corresponden a las producidas por impacto frontal con respecto a la superficie fija, estas energías cambian en función a la velocidad del impacto.

Para validar el análisis de la simulación computacional es necesario recurrir al método del Reglamento 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE), en el anexo 9 literal 3.6 recomienda que los componentes energéticos no físicos introducidos mediante el proceso de modelación matemática no excederán en ningún momento del 5 % de la energía total, a continuación, en la ecuación 2 se obtiene el error obtenido de la simulación efectuada.

$$H_{\%} = \frac{Energia_{Hourglass}}{Energia_{Total}} * 100 \rightarrow \frac{0.425E + 07 * 100}{16.6E + 07} \quad (2)$$

$$H_{\%} = 2.5602 \%$$

El resultado de la simulación a 30 Km/h, es válido debido a que la relación de que en ningún momento sobrepase la energía de Hourglass el 5% de la energía total, figura 20.

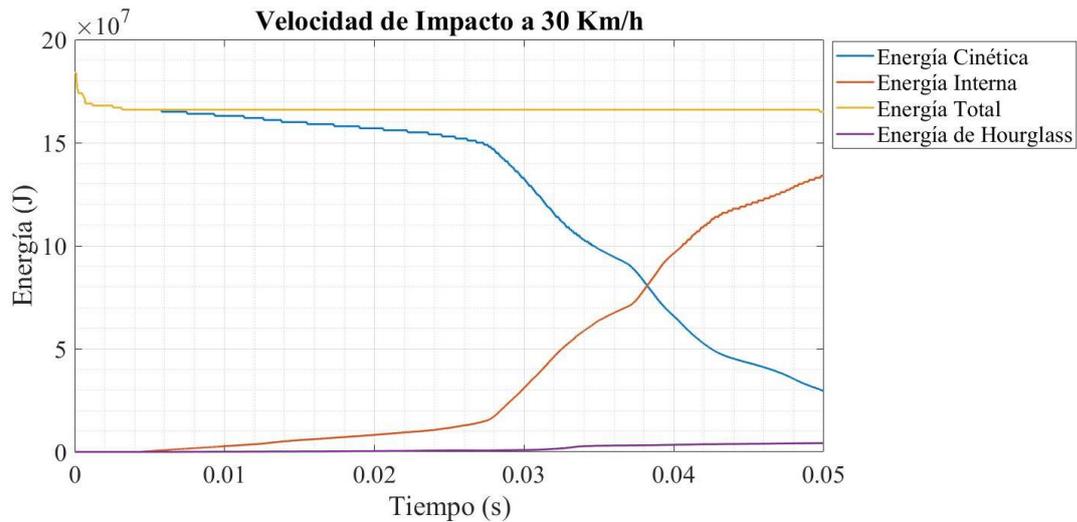


Figura 20. Energías de la Simulación del Impacto Frontal del Autobús a 30 Km/h.

Fuente: Autores

En la figura 21 se observa el esfuerzo equivalente de Von Misses del autobús con una velocidad de impacto de 60 Km/h, en la gráfica se distinguen los puntos mínimos 0 Pa (Color Azul) y los puntos máximos (Color Rojo) $4.025E + 02 Pa$, la mayor concentración de energía, es absorbida por el bastidor del autobús que se deforma de manera controlada con la finalidad de disipar la energía, además se observa que la parte frontal de la estructura del autobús presenta una deformación crítica observado puntos máximo en los parantes que constituyen la cabina del conductor.

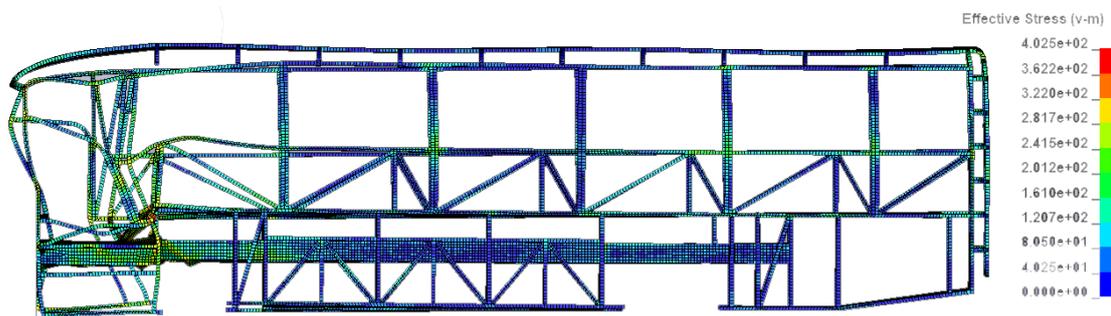


Figura 21. Esfuerzo de Von Misses (MPa) a una velocidad de Impacto de 60 Km/h.

Fuente: Autores

Las energías producidas se indican en la figura 22, las cuales presentan un gran aumento en sus valores por el incremento de la velocidad de impacto del autobús, de esta manera la estructura sufre mayores deformaciones.

En este caso el porcentaje de variación correspondiente a la energía de Hourglass es:

$$H_{\%} = \frac{Energia_{Hourglass}}{Energia_{Total}} * 100 \rightarrow \frac{0.21E + 08 * 100}{6.70E + 08} \quad (2)$$

$$H_{\%} = 3.1343 \%$$

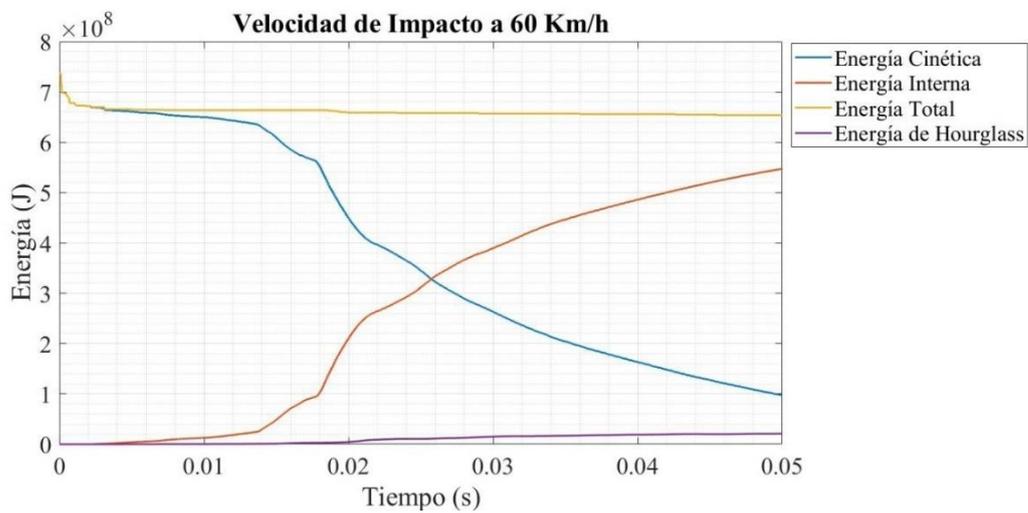


Figura 22. Energías de la Simulación del Impacto Frontal del Autobús a 60 Km/h.

Fuente: Autores

El esfuerzo equivalente de Von Misses obtenido del autobús, figura 23, con una velocidad de impacto de 90 Km/h, en la gráfica se distinguen los puntos mínimos 0 Pa (Color Azul) y los puntos máximos $4.023E + 02 Pa$ (Color Rojo), en donde la mayor concentración de energía se identifica en la parte frontal de la estructura del autobús que tiene una deformación crítica junto con el bastidor del vehículo.

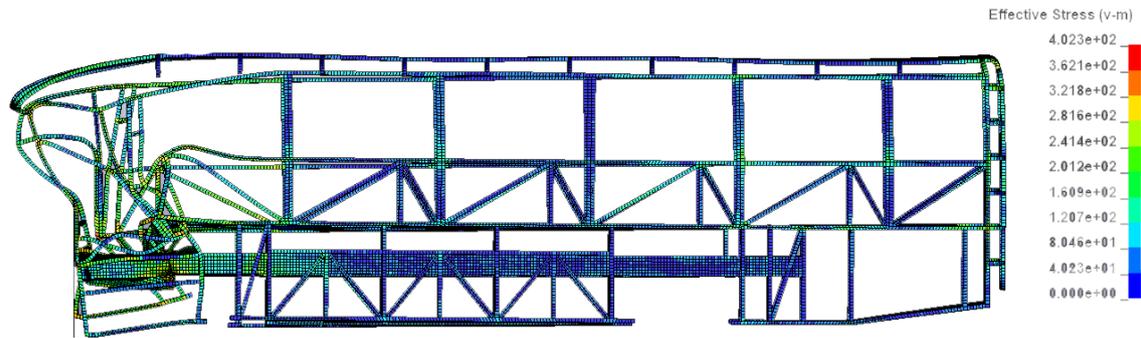


Figura 23. Esfuerzo de Von Misses (MPa) a una velocidad de Impacto de 90 Km/h.

Fuente: Autores

En la figura 24 se muestra que las energías presentan un gran aumento en sus valores con respecto a las simulaciones de 30 y 60 Km/h. Con respecto a la energía de Hourglass se obtiene:

$$H_{\%} = \frac{Energia_{Hourglass}}{Energia_{Total}} * 100 \rightarrow \frac{0.407E + 08 * 100}{14.9E + 08} \quad (2)$$

$$H_{\%} = 2.7315\%$$

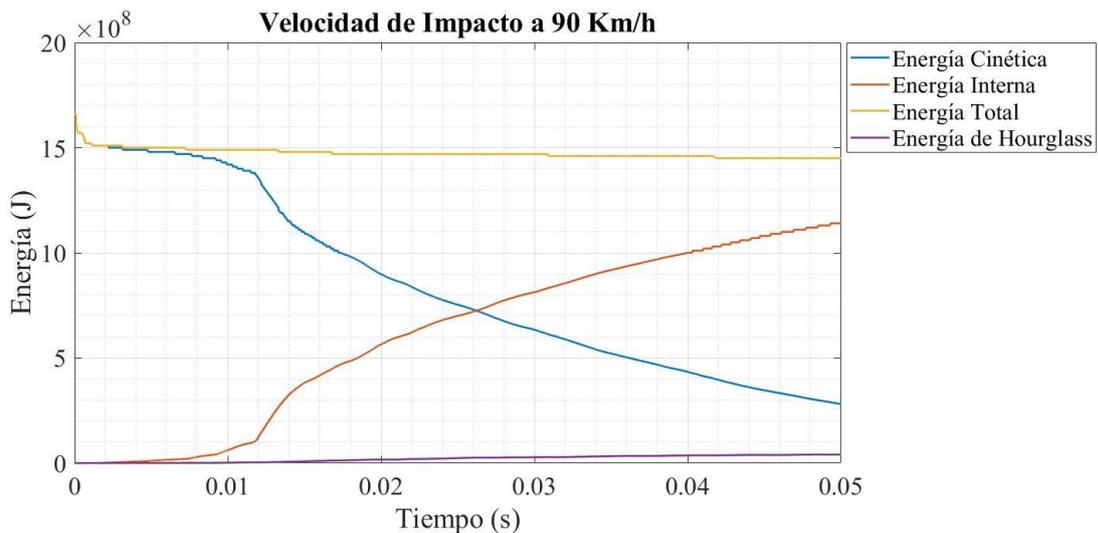


Figura 24. Energías de la Simulación del Impacto Frontal del Autobús a 90 Km/h.

Fuente: Autores

El valor máximo de las energías de Hourglass en las tres simulaciones realizadas, no supera en ningún momento el 5% de la energía total, en la tabla 11 se muestra un resumen de las energías obtenidas, estos valores son indicadores que los ensayos realizados son correctos.

Tabla 12:
Comparación de los Valores de Energía Total y Hourglass.

Velocidad	Valor Máximo de Energía Total	Valor Máximo Energía Hourglass	Porcentaje
30 km/h	16.6 E+07 J	0.425 E+07 J	2.5602 %
60 km/h	6.70 E+08 J	0.21 E+08 J	3.1343 %
90 km/h	14.9 E+08 J	0.407 E+08 J	2.7315%

Fuente: Autores

7.2 Criterio de Lesión Encefálica (HIC)

7.2.1 Criterio del HIC sin implementación de un Airbag

El criterio de lesión encefálica (HIC) es de gran importancia, porque a partir de estos datos obtenidos se puede tener un punto de comparación para analizar la implementación del Airbag como un sistema de seguridad pasiva en autobuses, y mediante el AIS CODE y la valoración en colores de la EuroNCAP permitirá conocer las posibles consecuencias que puede producir la colisión.

El valor del HIC del Dummy con una velocidad de impacto del autobús a 30 Km/h es de 350.9 G , figura 25, de acuerdo con el AIS CODE y la EuroNCAP, el conductor puede sufrir una conmoción suave, no tiene fracturas y logra obtener una valoración verde.

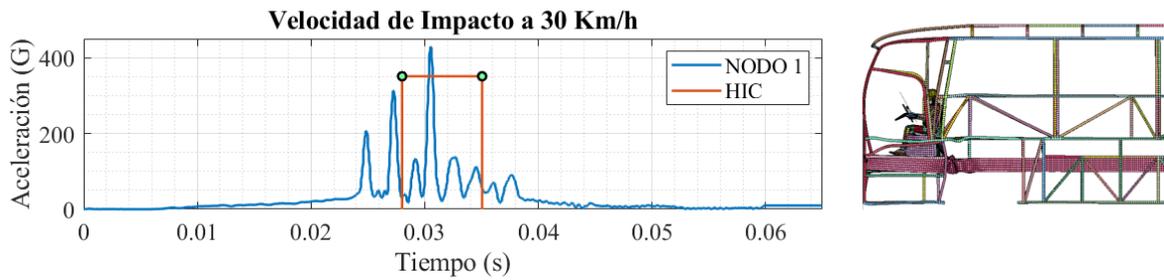


Figura 25. Criterio del HIC del Dummy con sin la utilización Airbag a una velocidad de impacto de 30 Km/h.

Fuente: Autores

A una velocidad de impacto del autobús a 60 Km/h, el valor del HIC del Dummy es de 610 G figura 26, en este caso el conductor puede sufrir una conmoción severa con fracturas y logra obtener una valoración verde según AIS CODE y la EuroNCAP.

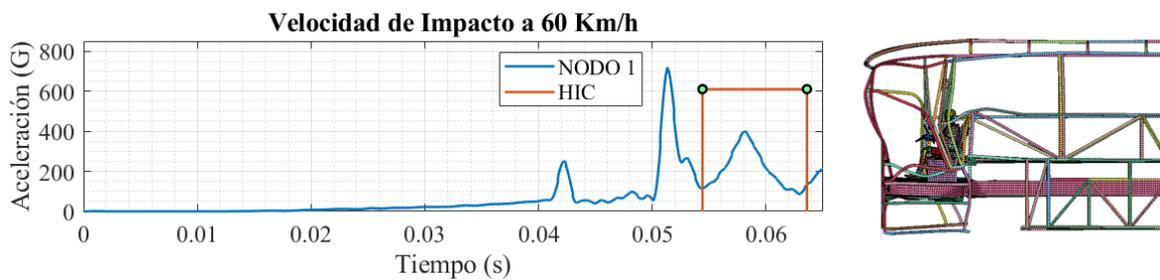


Figura 26. Criterio del HIC del Dummy con sin la utilización Airbag a una velocidad de impacto de 60 Km/h.

Fuente: Autores

Con respecto a la velocidad de impacto de 90 Km/h, el valor del HIC del Dummy obtenido es de 1253.75 G, ver figura 27, por lo tanto, el conductor puede sufrir una conmoción severa, con fracturas y logra obtener una valoración roja, lo que demuestra el alto riesgo que corre el operador tras colisionar a esta velocidad y teniendo en cuenta que puede quedar atrapado por la deformación frontal de la estructura del autobús.

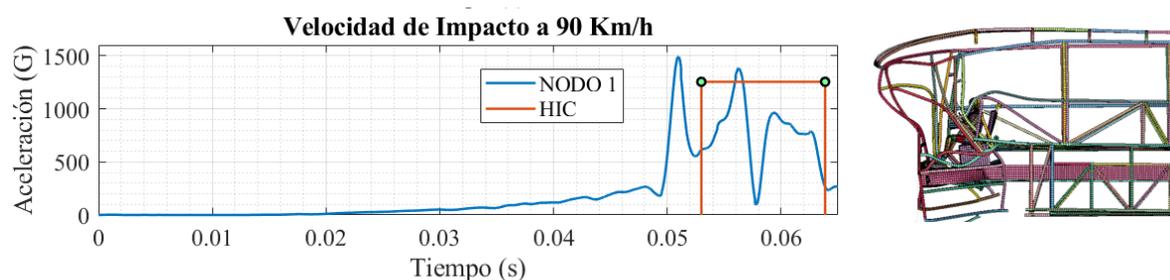


Figura 27. Criterio del HIC del Dummy con sin la utilización Airbag a una velocidad de impacto de 90 Km/h.

Fuente: Autores

Los valores de HIC obtenidos de los Dummy tras los impactos sin la implementación de un sistema de airbag es alto, de esta manera el conductor tiene un alto riesgo de sufrir lesiones graves, en la tabla 12 se muestra un resumen de la valoración del HIC sin un sistema de Airbag.

Tabla 13:

Valores del HIC del Dummy sin Airbag Generados en el Impacto Frontal.

Velocidad	Valor HIC	Nivel de Daño Cerebral	Nivel de Daño en el Cráneo	Valoración de la EuroNCAP
30 km/h	350.90 <i>G</i>	Conmoción Suave	Sin Fractura	Verde
60 km/h	610.00 <i>G</i>	Conmoción Severa	Fractura	Amarillo
90 km/h	1253.75 <i>G</i>	Conmoción Severa	Fractura	Rojo

Fuente: Autores

7.2.2 Criterio del HIC con la Implementación de un Airbag

El criterio de lesión encefálica (HIC) del Dummy durante el impacto frontal del autobús con la utilización del airbag, presenta disminución del valor con respecto a la colisión frontal donde no se utiliza el airbag, a continuación, se analiza cada uno de los valores obtenidos.

El valor del HIC obtenido con la implementación del airbag con una velocidad de impacto a 30 Km/h, ver figura 28, es de 78.9 *G*, lo que demuestra que la implementación del airbag como sistema de seguridad pasiva funciona de manera correcta a bajas velocidades

para salvaguardar la vida del operador del autobús, a partir de eso el conductor no corre riesgo de sufrir conmoción o tener fractura y se logra tener una valoración verde.

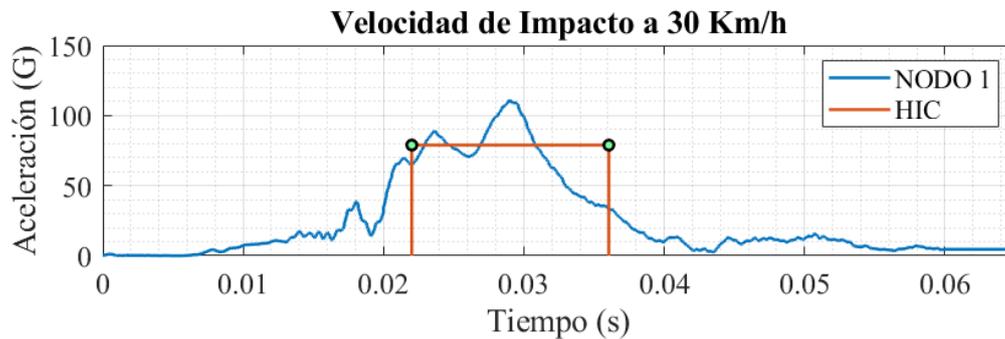


Figura 28. Criterio del HIC del Dummy con la Utilización Airbag a 30 Km/h.

Fuente: Autores

A una velocidad de impacto de 60 Km/h el valor del HIC obtenido con la implementación del airbag es de 150 G , ver figura 29, de esta manera el airbag permite disminuir el riesgo de sufrir una conmoción severa grave y al mismo tiempo no sufre ninguna fractura teniendo una valoración verde de acuerdo con el AIS CODE y la EuroNCAP.

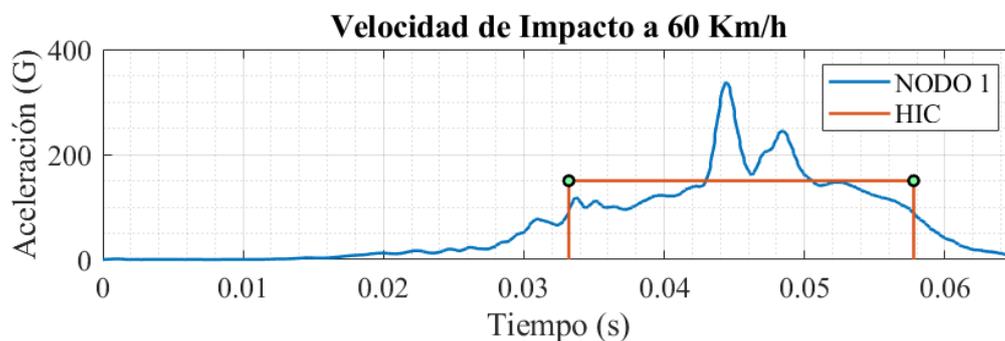


Figura 29. Criterio del HIC del Dummy con la Utilización Airbag a 60 Km/h.

Fuente: Autores

El resultado obtenido del HIC obtenido con la implementación del airbag a una velocidad de 90 Km/h es de 750 G , ver figura 30, de esta manera la implementación del airbag resulto muy útil teniendo una valoración en la escala de colores de verde, según AIS CODE. En este caso el conductor corre el riesgo de sufrir una conmoción severa y sufrir pequeñas fracturas,

además hay que tener en cuenta que la deformación de la estructura del autobús puede sufrir daños críticos y de esta manera dejar al conductor atrapado en la carrocería.

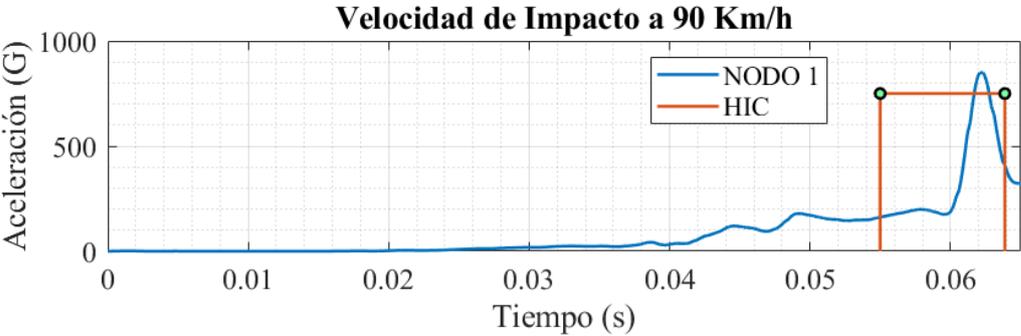


Figura 30. Criterio del HIC del Dummy con la Utilización Airbag a 60 Km/h.

Fuente: Autores

La disminución de los valores HIC obtenidos en las simulaciones con la implementación de un airbag como un sistema de seguridad pasiva adicional, permite salvaguardar la vida del conductor, en la tabla 13 se muestra un resumen de la valoración de los Dummy durante el impacto a distintas velocidades.

Tabla 14: Valores del HIC del Dummy con Airbag Generados en el Impacto Frontal.

Velocidad	Valor HIC	Nivel de Daño Cerebral	Nivel de Daño en el Cráneo	Valoración de la EuroNCAP
30 km/h	78.9 G	Sin Conmoción	Sin Fractura	Verde
60 km/h	150 G	Conmoción Severa	Sin Fractura	Verde
90 km/h	850 G	Conmoción Severa	Pequeña Fractura	Verde

Fuente: Autores

7.3 Deformación del Autobús

La estructura del autobús con una velocidad de impacto de 30 Km/h, experimenta una deformación estructural de 290 mm, en la figura 31 se muestra la deformación de la parte frontal del autobús y del bastidor deformándose de manera progresiva, atenuando y absorbiendo la energía sin que llegue afectar a los ocupantes.

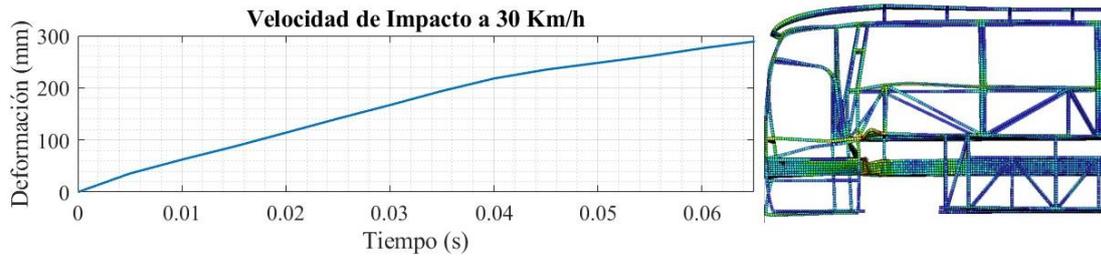


Figura 31. Deformaciones Producidas por la colisión a 30 Km/h

Fuente: Autores

Con una velocidad de impacto de 60 Km/h la estructura del autobús experimenta una deformación de 812 mm, figura 32, se genera una deformación parcial en la parte frontal del autobús y del bastidor, la cual se deforma de manera progresiva.

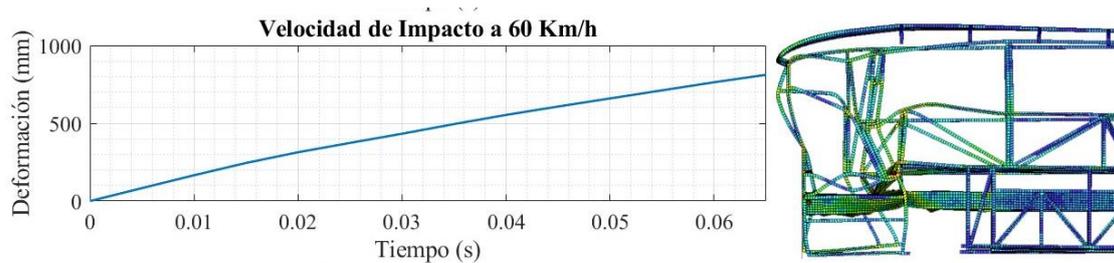


Figura 32. Deformaciones Producidas por la Colisión a 60 Km/h.

Fuente: Autores

La deformación obtenida en la estructura del autobús con una velocidad de impacto de 90 Km/h es de 1160 mm, en la figura 33 se muestra la deformación total de la cabina la cual genera un riesgo en la integridad del conductor, ya que esta afecta parcialmente el habitáculo de los pasajeros del autobús, con respecto al bastidor se observa que sufre una gran deformación en la parte frontal.

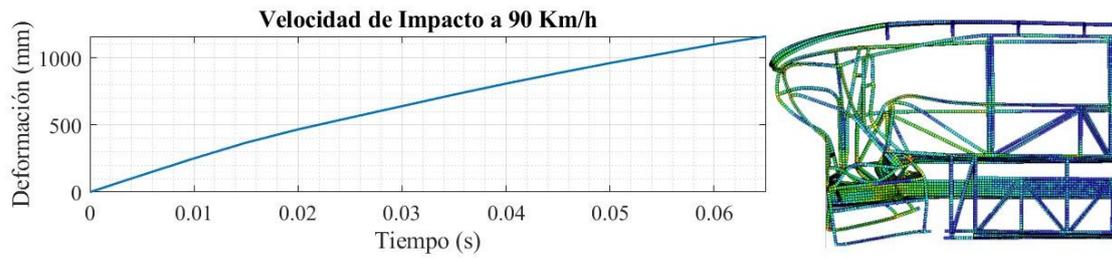


Figura 33. Deformaciones Producidas por la Colisión a 90 Km/h.

Fuente: Autores

En la tabla 12, se muestra un resumen de los valores de las deformaciones por el impacto frontal del autobús, a mayor velocidad mayor será la deformación del autobús.

Tabla 15:
Deformación del Autobús Producto el Impacto Frontal

Velocidad	Deformación del Autobús
30 km/h	290 mm
60 km/h	812 mm
90 km/h	1160 mm

Fuente: Autores

7.4 Velocidad del Autobús

La velocidad inicial de impacto del autobús, para la colisión frontal es de 30 Km/h, esta hace impactar el autobús contra la pared fija en primera instancia, en la figura 34 se observa la disminución de la velocidad debido a que la estructura se ha desplazado hasta impactar con la pared fija, produciendo pequeños daños en la parte frontal del autobús.

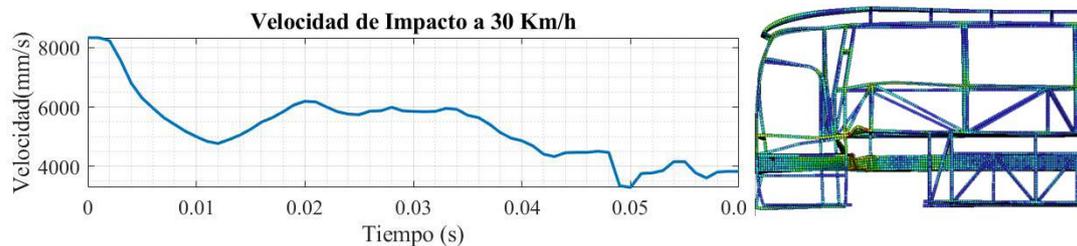


Figura 34. Comportamiento del Autobús a una Velocidad Impacto de 30 Km/h.

Fuente: Autores

La velocidad inicial para el segundo caso de estudio es de 60km/h, en la figura 35 se visualiza que debido al aumento de la velocidad del autobús durante la colisión se presentan

deformaciones en la estructura frontal del autobús y en el bastidor, este último elemento es el que mayor energía absorbe durante el impacto.

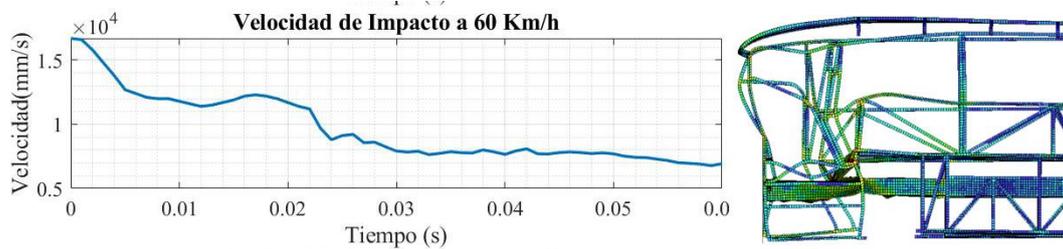


Figura 35. Comportamiento del Autobús a una Velocidad Impacto de 60 Km/h.

Fuente: Autores

Referente al tercer caso de estudio se lo realiza a una velocidad de 90 Km/h, con la figura 36 se puede apreciar que a esta velocidad el autobús presenta una deformación en la cabina del conductor y en la parte del habitáculo de los pasajeros, además el bastidor presenta una deformación crítica ya que este elemento absorbe gran parte de la energía durante el impacto.

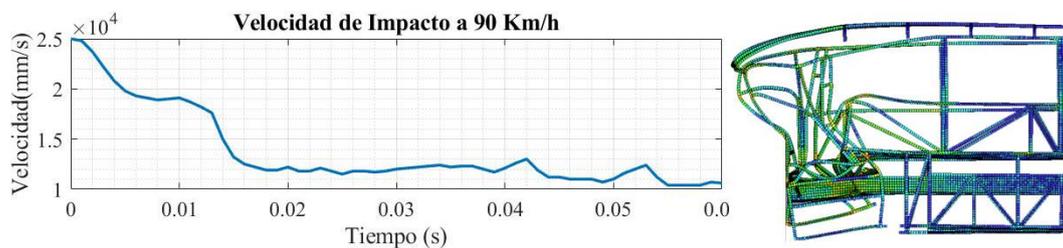


Figura 36. Comportamiento del Autobús a una Velocidad Impacto de 90 Km/h.

Fuente: Autores

8. Conclusiones

Se realizó el estudio del arte mediante la revisión bibliográfica científica para soportar las variables del estudio acerca de impactos frontales de los autobuses y la utilización de un Dummy para tener un soporte científico para garantizar los resultados de nuestra investigación.

Se analizó la normativa nacional (INEN) e internacional (UNECE) para conocer los requerimientos técnicos con respecto a los autobuses que circulan en el territorio nacional y cumplan con todos los requisitos técnicos de esta manera proceder al diseño y cumplir estrictamente cada parte de la reglamentación.

Se definieron los parámetros de simulación de impacto frontal del Autobús acorde a la Reglamentación Técnica para realizar un análisis biomecánico mediante la implementación del airbag como sistema de seguridad pasiva en el autobús, de esta manera se definieron de manera correcta cada uno de los contactos involucrados en el autobús.

La implementación del airbag ayuda a disminuir de manera drástica el valor del HIC, es el caso de los impactos a 90 Km/h, donde sin la implementación del airbag se obtiene un valor de 1253.75 *G* mientras que bajo las mismas condiciones y con la implementación de un airbag se reduce a 850 *G* significando una reducción del 32.20%, lo que demuestra que la implementación del airbag ayuda a disminuir de manera drástica las lesiones que puede sufrir el conductor durante una colisión.

El conductor del autobús tiene mayor riesgo de sufrir conmociones severas y fracturas a mayor velocidad de acuerdo con los datos obtenidos del HIC, el conductor corre más riesgo a una velocidad de impacto de 90 Km/h, el cual se atenúa con la implementación de un airbag como sistema de seguridad pasiva del autobús.

Es de gran importancia analizar la deformación del autobús producida por la colisión frontal, ya que en la estructura deformada puede quedar atrapado el conductor, esta situación se puede apreciar a una velocidad de impacto de 90km/h, el Dummy queda atrapado en la estructura del autobús, esta deformación excesiva se debe por el impacto a altas velocidades.

La simulación de impacto frontal para el análisis biomecánico mediante elementos finitos permite conocer los beneficios de la implementación de un airbag como elemento de seguridad pasiva en el autobús, ya que de acuerdo con los datos obtenidos este mecanismo ayuda a disminuir el HIC, logrando así salvaguardar la vida del conductor durante una colisión.

10. Referencias Bibliográficas

McHenry, B. (2004). Head injury criterion and the ATB. *ATB Users' Group, February* 5–8. <http://www.mchenrysoftware.com/HIC and the ATB.pdf>

Eng.-Tips. (2011). *Meaning of Jacobian in FEA - Finite Element Analysis (FEA) engineering - Eng.-Tips*. <https://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=310852>

Carrero Muñoz, A. (2011). *UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA SIMULACIÓN DE UN CHOQUE LATERAL CON DUMMY CON CINTURÓN MEDIANTE LS-DYNA*. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13673/PFC_Alejandro_Carrero_Munoz.pdf

Devica, S. (2015). Acero Estructural A 36. *Pengaruh Harga Diskon Dan Persepsi Produk Terhadap Nilai Belanja Serta Perilaku Pembelian Konsumen*, 7(9), 27–44.

Aamsa. (2014). *Placa A-36 / Abastecedora de Aceros y Maquilas SA de CV*. <http://www.aamsa.com/productos/placa/placa-a-36/>

Padron, A. (2018). *¿Cómo es la fabricación de buses? – Buses y marcas*. <https://busesymarcas.wordpress.com/2018/06/10/como-es-la-fabricacion-de-buses/>

Livermore Software Technology. (2012). *LS-PrePost Online Documentation | Tutorial 9*. <http://www.lstc.com/lsp/content/tutorials/9/t9p1.shtml>

Livermore Software Technology Corporation (LSTC). (2014). *Keyword User' S Manual Volume 1: Vol. I*.

Tecno seguros. (2021, enero 4). *¿Cada vez hay más accidentes de tránsito en Ecuador? - TecniBlog – Tecno seguros*. Quito. <https://www.tecniseguros.com.ec/blog/vehiculos/accidentes-transito-ecuador/>

Livermore Software Technology Corp. (2020). *Hybrid III 50th Percentile Male*. http://www.lstc.com/products/models/dummies/H3_50th

Humanetics. (n.d.). *Hybrid III 50th Male*. 2021. Retrieved February 28, 2021, from <https://humanetics.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/frontal-impact/hybrid-iii-50th-male/hybrid-iii-50th-male>

Mirlisenna, G. (2016, enero 22). *Método de los elementos finitos: ¿qué es?* <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>

Puente, D. (2020, septiembre 23). *Los accidentes viales aumentan desde junio del 2020 en Ecuador | El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/accidentes-viales-aumentan-ecuador-fallecidos.html>

Doble vía. (2017). *SEGURIDAD EN BUSES: CUATRO FACTORES PARA UN TRANSPORTE SEGURO* –. <https://transporte.doblevia.org/seguridad-en-buses-cuatro-factores-para-un-transporte-seguro/>

Primicias. (2019). *El 28% de muertes en accidentes de tránsito entre las 02:00 y las 02:59*. <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/accidentes-transito-vias-muertes/>

Brito Morocho, J. R. (2020). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ. *Universidad Politécnica Salesiana*.

Educarm. (2016). El Airbag. *Educarm.Es*.
<http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/21/airbag.pdf>

Arias Manjarrez, J. F., & Santillán Mariño, E. R. (2016). ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ANÁLISIS ESTRUCTURAL A CARGAS DE IMPACTO FRONTAL DE UN BUS TIPO INTERPROVINCIAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MÁSTER (MSC) EN. *Escuela Politécnica Nacional*.

P. Luque, D. Álvarez, and C. Vera, Ingeniería del automóvil: sistemas y comportamiento dinámico, Paraninfo., vol. Primera Ed. Madrid, 2008.

Routemaster Association, “History of Vehicles Routemaster,” 2016.
<http://routemaster.org.uk/pages/history> (accessed Jan. 12, 2020).

RTE INEN 043, “Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial,” no. 929, pp. 1–7, 1989.

Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, “RTE INEN 043: Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial,” vol. 40, no. 14, pp. 1–33, 2014.

Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), “Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respecta a la resistencia de su superestructura,” no. 78, pp. 30–59, 2015.

MAN Truck & Bus, “Semi-Integral Design (Bus Bodywork),” 2018.
<https://www.mantruckandbus.com/en/company/glossar/semi-integral-design-bus-bodywork.html> (accessed Jan. 12, 2020).

Automoción, “Historia del autobús: todo lo que tienes que saber,” 2016.
<https://www.autonocion.com/historia-del-autobus/>.

Federación Iberoamericana de Asociaciones de Víctimas contra la violencia vial, “II Conferencia Global de Alto Nivel sobre Seguridad en el Tránsito,” 2015.
<http://contralaviolenciavial.org/actualidad/2-conferencia-global-de-alto-nivel-sobre-seguridad-en-el-transito/gmx-niv44-con213.htm> (accessed Jan. 12, 2020).

P. Luque Rodríguez and D. Álvarez Mántaras, *Investigación de Accidentes de Tráfico. Manual de Reconstrucción*. La Coruña: Gesbiblo, S.L., 2007.

T. Covered and C. Composition, “AISI 1010 Carbon Steel (UNS G10100),” pp. 1–5, 2012.

MAN Truck & Bus, “Integral Design (Bus Bodywork),” 2018.
<https://www.mantruckandbus.com/en/company/glossar/integral-design-bus-bodywork.html> (accessed Jan. 12, 2020).

Autocrash, “Conozca la clasificación de los vehículos pesados de pasajeros,” 2016.
<https://www.revistaautocrash.com/conozca-la-clasificacion-los-vehiculos-pesados-pasajeros/> (accessed Apr. 16, 2020).

J. Donaire Sánchez, “Comparativa De Modelos De Simulación De Vuelco De Autobuses Según Los Procedimientos Del Reglamento 66,” p. 120, 2016.

M. E. de L. H. León, *UF0471 - Conducción y circulación de vehículos de transporte urbano e interurbano por las vías públicas*, Primera. Madrid, España, 2014.

Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, “NTE INEN 1323: vehículos Automotores. carrocerías De Buses. Requisitos,” 2009, [Online]. Available: <http://www.tungurahua.gob.ec/carrocero/wp-content/uploads/2016/09/NTE-1323.pdf>.

Inter empresas, “Autobuses,” 2010.
<https://www.interempresas.net/Automocion/Articulos/41701-Autobuses-integrales-basados-en-chasis-o-mixtos.html> (accessed Jan. 12, 2020).

P. Luque, D. Álvarez, and C. Vera, *Ingeniería del automóvil. Sistemas y comportamiento dinámico: sistemas y ...* - ALVAREZ MANTARAS, DANIEL, LUQUE RODRÍGUEZ, PABLO, VERA, CARLOS - Google Libros. Madrid, España, 2008.

