



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN CINTURÓN DE SEGURIDAD DE DOS Y
TRES PUNTOS EN LOS PASAJEROS DURANTE UNA COLISIÓN FRONTAL DE
UN BUS DE SERVICIO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS INTERPROVINCIAL**

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

AUTORES: KEVIN ALEXANDER GUILLERMO UCHO

OMER SANTIAGO SIGUENZA GARCÍA

TUTOR: ING. MARCO ESTEBAN AMAYA PINOS MSc.

Cuenca - Ecuador

2025

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACION

Nosotros, Kevin Alexander Guillermo Ucho con documento de identificación N° 0105781207 y Omer Santiago Sigüenza García con documento de identificación N° 0106286735 manifestamos que:

Somos los 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, 30 de junio del 2025

Atentamente,



Kevin Alexander Guillermo Ucho

0105781207



Omer Santiago Sigüenza García

0106286735

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

Nosotros, Kevin Alexander Guillermo Ucho con documento de identificación N° 0105781207 y Omer Santiago Sigüenza García con documento de identificación N° 0106286735, 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 comparativo de un cinturón de seguridad de dos y tres puntos en los pasajeros durante una colisión frontal de un bus de servicio de transporte de pasajeros interprovincial”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero 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, 30 de junio del 2025

Atentamente,



Kevin Alexander Guillermo Ucho

0105781207



Omer Santiago Sigüenza García

0106286735

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 COMPARATIVO DE UN CINTURÓN DE SEGURIDAD DE DOS Y TRES PUNTOS EN LOS PASAJEROS DURANTE UNA COLISIÓN FRONTAL DE UN BUS DE SERVICIO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS INTERPROVINCIAL, realizado por Kevin Alexander Guillermo Ucho con documento de identificación N° 0105781207 y por Omer Santiago Sigüenza García con documento de identificación N° 0106286735, 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, 30 de junio del 2025

Atentamente,



Ing. Marco Esteban Amaya Pinos, MSc.

0102263480

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con profundo cariño y gratitud, a mi padre Claudio, por ser mi guía y ejemplo de perseverancia. A mi tía Isabel, por su apoyo incondicional y por brindarme siempre su afecto en los momentos que más lo necesité. A Gaby, mi compañera de vida, por estar conmigo en cada paso, motivándome con su amor y paciencia. Este logro también se lo dedico a quienes confiaron en mí y me impulsaron a nunca rendirme, incluso cuando el camino se tornó difícil.

Kevin Alexander Guillermo Ucho

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con profundo cariño y gratitud, a mi madre Fernanda García, por ser mi fuerza, mi apoyo constante y por acompañarme con amor en cada paso de este camino. A la memoria de mi padre Omer Sigüenza (Q. E. P. D.), por ser mi inspiración, por sus enseñanzas de vida y por estar siempre presente en mi corazón, impulsándome a seguir adelante. Este logro también se lo dedico a quienes creyeron en mí, me brindaron su apoyo sincero y me motivaron a no rendirme, incluso en los momentos más difíciles.

Omer Santiago Sigüenza García

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fuerza y la salud para culminar esta etapa tan importante. A mi padre Claudio, por su sacrificio y apoyo constante. A mi tía Isabel, por estar presente en cada etapa de mi formación con su cariño sincero. A mi novia Gaby, por su comprensión, aliento y compañía durante este proceso. A mis amigos, quienes me acompañaron en los momentos difíciles y celebraron cada pequeño avance. A mi compañero de tesis, Santiago Sigüenza, por su compromiso, esfuerzo y por compartir conmigo largas jornadas de trabajo, desafíos y aprendizajes. Finalmente, agradezco al MSc. Marco Amaya, tutor de esta tesis, por su guía y enseñanzas, que fueron fundamentales para alcanzar este objetivo.

Kevin Alexander Guillermo Ucho

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por haberme dado la salud, fortaleza y claridad para culminar este proceso académico. A mi madre, Fernanda García, por ser mi mayor apoyo en la vida, por su cariño inmenso y por impulsarme a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. A mi padre, Omer Sigüenza (Q. E. P. D.), quien sigue siendo una fuente de inspiración y motivación. A mi familia y amigos, por su apoyo constante, su compañía y palabras de aliento cuando más lo necesité. A Kevin Guillermo, mi compañero de tesis, por el compromiso, la dedicación y el compañerismo durante todo este proyecto. Y al MSc. Marco Amaya, nuestro tutor, por su asesoría, por compartir sus conocimientos y por acompañarnos en cada paso de este trabajo de titulación. Su apoyo fue clave para alcanzar este objetivo.

Omer Santiago Sigüenza García

RESUMEN

La mayoría de las unidades de transporte interprovincial actualmente funcionan y operan con los cinturones de dos puntos los cuales ofrecen una seguridad muy limitada ante un impacto de magnitud severa los cual es muy riesgoso ya que se pueden tener riesgos de lesiones muy graves en los pasajeros. De esta manera, esta investigación se desarrolló bajo el propósito de analizar un comparativo de un cinturón de seguridad de dos y tres puntos en los pasajeros durante una colisión frontal de un bus de servicio de transporte de pasajeros interprovincial. Para lo cual se estableció un estudio técnico fundamentado en un análisis computacional aplicando el método de elementos finitos. Se establecieron datos del comportamiento de los pasajeros frente a un impacto y se determinaron los niveles de esfuerzo que se transmiten al cuerpo durante un choque frontal. Así como se consideraron las variables estructurales del chasis del bus, diferentes condiciones de impacto y las condiciones normativas nacionales e internacionales. Las simulaciones demostraron que el cinturón de tres puntos reduce significativamente el riesgo de lesiones, presentando un HIC de 1375 frente a 1912 del cinturón de dos puntos. Estos resultados permitieron comparar los dos sistemas de seguridad de forma objetiva y eficiente para proponer mejoras en la seguridad vial de buses internacionales, contribuyendo a el diseño e implementación de sistemas de seguridad más seguros y efectivos de tal manera alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), más centrado a la seguridad vial y protección de pasajeros en el transporte terrestre.

Palabras clave: Bus, pasajero, cinturón de seguridad, método de elementos finitos, simulación.

ABSTRACT

Most interprovincial transport units currently operate with two-point seat belts, which offer very limited safety in the event of a severe impact. This is very risky, as passengers may suffer very serious injuries. This research was therefore conducted with the aim of analyzing a comparison between two-point and three-point seat belts for passengers during a head-on collision involving an interprovincial passenger transport bus. To this end, a technical study was established based on a computational analysis using the finite element method. Data on passenger behavior in the event of an impact was established, and the levels of force transmitted to the body during a frontal collision were determined. Structural variables of the bus chassis, different impact conditions, and national and international regulatory conditions were also considered. The simulations showed that the three-point seat belt significantly reduces the risk of injury, with an HIC of 1375 compared to 1912 for the two-point seat belt. These results allowed for an objective and efficient comparison of the two safety systems in order to propose improvements in the road safety of international buses, contributing to the design and implementation of safer and more effective safety systems in line with the Sustainable Development Goals (SDGs), with a greater focus on road safety and passenger protection in land transport.

Keywords: Bus, passenger, seat belt, finite element method, simulation

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACION	1
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	2
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	6
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
ÍNDICE GENERAL.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS	13
1. INTRODUCCION.....	14
2. PROBLEMA	15
2.1. Antecedentes	15
2.2. Importancia y Alcances	16
2.3. Delimitación.....	16
3. OBJETIVOS	17
3.1. Objetivo General.....	17
3.2. Objetivos específicos.....	17
4. ESTADO DEL ARTE	18
4.1. Bus interprovincial.....	18
4.1.1. Clasificación de buses	18
4.2. Normativa	19
4.2.1. Normativa de buses	20
4.3. Conceptualización de sistema de Seguridad	20
4.3.1. Sistemas de seguridad pasiva	21
4.3.2. Sistemas de seguridad activa.....	23
4.4. Cinturones de seguridad.....	24
4.4.1. Importancia de los cinturones de seguridad	26
4.4.2. Funcionamiento del cinturón de seguridad	28
4.4.3. Tipos de cinturones	30
4.5. Ensayos de impacto	31
4.6. Dummies.....	31
4.6.1. Características de los Dummies	32
4.6.2. Rol de los Dummies en las pruebas de choque	33
4.6.3. Componentes principales de un Dummy	34
4.7. Tipos de impactos en colisiones	35
4.8. Elementos finitos	37

4.8.1.	Tipos de elementos finitos.....	38
4.8.2.	Métricas de evaluación de la malla	39
4.9.	Investigaciones previas	40
5.	MARCO METODÓLOGICO	44
5.1.	Descripción del Bus para utilizar.....	44
5.1.1.	Características generales.	44
5.2.	Descripción de los cinturones de seguridad.....	48
5.3.	Modelado 3D de los componentes de estudio	49
5.3.1.	Bus.....	49
5.3.2.	Cinturones	52
5.3.3.	Asientos.....	53
5.4.	Análisis por medio de elementos finitos.....	55
5.4.1.	Condiciones iniciales para el análisis.....	56
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	58
6.1.	Análisis de impacto.....	58
	Conclusiones.....	68
	Recomendaciones.....	69
	Referencias bibliográficas.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Habitáculo de un vehículo con cinturones de seguridad.....	24
Figura 2. Dimensiones del Chasis Scania k410 6x2.....	44
Figura 3. Chasis del bus	50
Figura 4. Vista frontal de la estructura del bus.....	51
Figura 5. Vista lateral de la estructura del bus	51
Figura 6. Vista superior de la estructura del bus	52
Figura 7. Anclaje del cinturón de seguridad.....	52
Figura 8. Vista superior derecha de asiento de bus	53
Figura 9. Diseño tridimensional de la estructura del bus previo a la simulación de impacto	59
Figura 10. Simulación de impacto a estructura de modelo de bus	59
Figura 11. Esfuerzos obtenidos durante el impacto de la estructura del bus.....	60
Figura 12. Energías obtenidas durante el impacto de la estructura del bus.....	60
Figura 13. Curva de deformación estructural del bus antes y después.....	62
Figura 14. Ubicación del asiento dentro de la estructura para la simulación de colisión	63
Figura 15. Ubicación del asiento con el pasajero incorporado para la simulación de colisión	63
Figura 16. Simulación de impacto al usuario en el asiento del modelo Scania K410...	64
Figura 17. Fuerzas que soporta el cuerpo frente a una colisión con el uso de cinturón de dos puntos.....	65
Figura 18. Fuerzas que soporta el cuerpo frente a una colisión con el uso de cinturón de tres puntos.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Categorización de vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial.....	18
Tabla 2 Categorización del número de ejes, peso en bruto del chasis y capacidad de pasajeros	19
Tabla 3 Cinturones de seguridad	25
Tabla 4 Motor Scania K410 6x2.....	44
Tabla 5 Caja de cambios Scania K410 6x2	45
Tabla 6 Diferencial Scania K410 6x2.....	45
Tabla 7 Suspensión Scania K410 6x2	46
Tabla 8 Frenos Scania K410 6x2.....	46
Tabla 9 Compartimiento del conductor Scania K410 6x2	47
Tabla 10 Sistema eléctrico Scania K410 6x2	47
Tabla 11 Neumáticos y aros Scania K410 6x2.....	48
Tabla 12 Tanque de combustible Scania K410 6x2	48
Tabla 13 Varios Scania K410 6x2	48
Tabla 14 Descripción del asiento de bus	54
Tabla 15 Condiciones para el análisis de impacto.....	56
Tabla 16 Escala de severidad de hemorragia intracraneal.....	58
Tabla 17 . Evaluacion de los valores de HCI según el tipo de cinturón de seguridad....	67

1. INTRODUCCION

La seguridad vial es uno de los ejes más importantes del transporte terrestre, y en el transporte interprovincial de pasajeros, donde las repercusiones de un accidente son significativas y frecuentes, con consecuencias graves en todos los casos. Dentro de los elementos de seguridad pasiva, la utilización de cinturones de seguridad es uno de los métodos más efectivos para evitar lesiones en caso de un encontronazo. Su eficiencia ha sido comprobada en distintos marcos, sin embargo, todavía hay algo de incertidumbre sobre cuánta protección da cada tipo de cinturón de ajustes en específico en algunos equilibrios, como el encontronazo frontal.

Los cinturones de seguridad de dos y tres puntos son los cinturones de seguridad más comúnmente utilizados en los vehículos de transporte. En el cinturón de dos puntos, o abdominal, una banda de tensión separa solamente la pelvis del pasajero en la silla, mientras que, en el cinturón de tres puntos, además de la banda de tensión estándar de dos puntos, hay otro más que cruza el pecho del pasajero o el torso. Ambos diseños permiten sujetar al pasajero y distribuir las fuerzas de impacto entre los asientos en caso de accidente. De acuerdo con la diferencia estructural del cinturón de seguridad y la respuesta biomecánica del cuerpo durante el accidente, amerita examinar de manera comparativa su rendimiento en situaciones de simulación o ya sean reales, al momento de una colisión.

Los estudios evidenciados a lo largo de este desarrollo investigativo han demostrado que el uso del cinturón de tres puntos puede disminuir de manera considerable el riesgo de lesiones craneoencefálicas, torácicas y craneales, especialmente, en casos de choque frontal. La instalación se torna más compleja en el caso de los autobuses de transporte interprovincial, sobre todo en aquellos con origen en países menos avanzados, como el de miembro al que fue vinculada la encuesta. Las razones se deben a la falta de

recursos económicos, marco normativo y condiciones de diseño y fabricación de los asientos.

Esta prueba técnica comparativa entre los dos sistemas de retención se da con base en simulaciones de choque frontal que permitan examinar la aceleración que recibe el centro de gravedad de la cabeza, la fuerza de la carga transmitida al tórax y la distancia alcanzada por el cuerpo durante la primera fracción de segundo del accidente. Los modelos computacionales emplean maniqués antropométricos y software de dinámica computacional para replicar de manera detallada las condiciones de un accidente de tránsito real.

Por los motivos planteados, la presente investigación se centró en analizar comparativo de un cinturón de seguridad de dos y tres puntos en los pasajeros durante una colisión frontal de un bus de servicio de transporte de pasajeros interprovincial.

2. PROBLEMA

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

2.1. Antecedentes

La seguridad de los pasajeros en accidentes de autobuses sigue siendo un desafío importante en la ingeniería de transporte. El uso de cinturones de seguridad en autobuses, especialmente en trayectos de larga distancia, sigue siendo limitado y muchas veces inadecuado. Los cinturones de seguridad de dos puntos, comúnmente instalados en autobuses, ofrecen protección parcial al restringir únicamente la región pélvica del pasajero, dejando expuestas zonas críticas como el torso, cuello y cabeza durante una colisión.

En contraste, los cinturones de seguridad de tres puntos, diseñados para proteger tanto la pelvis como el torso y hombros, podrían proporcionar un nivel de protección

significativamente mayor. Sin embargo, su uso en autobuses aún no es ampliamente adoptado debido a diversos factores, incluyendo costos de implementación, falta de regulación estricta y desconocimiento de su efectividad en situaciones de colisión Frontal de un autobús contra un elemento fijo.

El problema central que se aborda en este estudio trata acerca de en qué medida los cinturones de seguridad de tres puntos ofrecen mayor protección a los pasajeros en comparación con los cinturones de dos puntos durante una colisión de autobús, este análisis busca proporcionar evidencia cuantitativa y cualitativa que permita mejorar los estándares de seguridad y fomentar la implementación de dispositivos de retención más eficaces, esta problemática de estudio hace reflejo a la problemática de seguridad que se presenta en el Ecuador.

2.2.Importancia y Alcances

Este estudio está enfocado a los pasajeros de autobuses interurbanos y de larga distancia, quienes, debido a la naturaleza de sus trayectos, están expuestos a un mayor riesgo de sufrir lesiones severas en caso de colisiones. Además, este análisis también es relevante para las empresas de transporte público y privado, fabricantes de autobuses, diseñadores de sistemas de seguridad vehicular, así como para entidades gubernamentales y organismos reguladores responsables de la creación y aplicación de normativas relacionadas con la seguridad vial y también al grupo de investigación GIIT de la carrera de ingeniería automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana.

2.3.Delimitación

El presente proyecto, se llevará a cabo en la Provincia del Azuay, Ciudad de Cuenca, ubicada al sur del Ecuador, la cual tiene una altitud de 2500 m.s.n.m, una extensión de 70.59 km^2 y una población aproximada de 603,269 habitantes.

3. OBJETIVOS

3.1.Objetivo General

Analizar un comparativo de un cinturón de seguridad de dos y tres puntos en los pasajeros durante una colisión frontal de un bus de servicio de transporte de pasajeros interprovincial.

3.2.Objetivos específicos

- Realizar el estado del arte referente a impactos frontales en autobuses y la utilización de los cinturones de seguridad lo cual sustente la realización de este estudio.
- Elaborar el modelo en 3D de los componentes para el análisis por medio de elementos finitos.
- Estudiar el impacto frontal de la estructura de bus y el efecto de los cinturones de seguridad de dos y tres puntos en los pasajeros por medio del análisis de elementos finitos.
- Analizar los resultados obtenidos por elementos finitos y evaluar su eficiencia mediante la comparación de los dos elementos de seguridad estudiados.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1. Bus interprovincial

El autobús interprovincial sistema de transporte está diseñado para la movilidad de las personas y transportarles alrededor de diferentes provincias dentro de un país. Se suelen utilizar en viajes de distancias medias y largas, por lo que deben cumplir estándares de confort, seguridad estructural y eficiencia operativa. No se deben confundir con los buses urbanos, autobuses con asientos menos confortables y sin sistema de aire acondicionado, mandos para la guarda de equipaje ni sistemas de protección de choque (Mendoza & Tapia, 2021).

4.1.1. Clasificación de buses

Dentro del marco ecuatoriano, desde la normativa ecuatoriana para la construcción de carrocería, RTE INEN 043:2011 “Bus interprovincial e intraprovincial”, vigente, determina los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir todos los vehículos destinados al transporte de pasajeros. Según esta normativa, la clasificación de los vehículos se determina en función del número de pasajeros, la cantidad de ejes y el peso promedio que soporta el chasis. A continuación, en la tabla 1 se presentan dicha clasificación para los autobuses (Mendoza & Tapia, 2021).

Tabla 1

Categorización de vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial

Denominación	Número de ocupantes (incluido el conductor)
Minibús	Desde 27 hasta 35

Bus	A partir de 36
-----	----------------

Fuente: (Mendoza & Tapia, 2021)

A continuación, en la tabla 2 se presenta la clasificación de los buses por eje, peso en bruto y capacidad de pasajeros.

Tabla 2

Categorización del número de ejes, peso en bruto del chasis y capacidad de pasajeros

Tipo de vehículo	Número de ejes	PBV promedio de un chasis	Capacidad de pasajeros
Minibús	2 ejes	10 000 kg	Máx. 35
Bus	2 ejes	17 000 kg	Máx. 45
Bus	Más de 2 ejes	24 000 kg	Máx. 53

Nota: Obtenido de (Mendoza & Tapia, 2021)

Además de los requisitos antes mencionados, la norma 1323:2009, establece requisitos generales considerados en el diseño y manufactura de una carrocería, y elementos de seguridad.

4.2. Normativa

La normativa de transporte terrestre es muy específica para parámetros especiales en el servicio de buses interprovinciales ya que garantiza una seguridad estructural y funcional del automotor haciendo énfasis en los pasajeros de dicha unidad de transporte, en Ecuador la entidad encargada de emitir y proporcionar dichas disposiciones es el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) mediante la formulación de Normas Técnicas Ecuatorianas y Reglamentos Técnicos Ecuatorianos (INEN, 2009a).

A nivel internacional sobresalen los Reglamentos de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE), la cual especifica en el Reglamento N°107, se establece condiciones para la aprobación de los buses de categoría M2 y M3 en cuanto a seguridad estructural, evaluación y accesibilidad. En cuanto al Reglamento N°14 especifica los requisitos de ubicación de los anclajes para los pasajeros que usen el cinturón de seguridad, también hacen mención sobre la resistencia de estos, mientras que el reglamento N°16 evidencia los estándares de funcionamiento, diseño y pruebas dinámicas de los cinturones y sistemas de retención (UNECE, 2025).

4.2.1. Normativa de buses

Los buses que son principalmente destinados al transporte interprovincial deben cumplir con normas específicas que garanticen condiciones óptimas de operación las cuales permitan seguridad, comodidad y accesibilidad. En Ecuador la NTE INEN 1323 es la que regula las diferentes condiciones estructurales de carrocerías las cuales permiten una referencia ante vuelcos, materiales, distribución de asientos y anclajes de los cinturones de seguridad (INEN, 2009b).

En el RTE INEN 034 considera los requisitos técnicos que cualquier automotor sea liviano o pesado debe cumplir, por ejemplo, se centra en los frenos ABS, dispositivos de iluminación, señalización, cinturones de seguridad, entre otros, de modo que han permitidos reducir el riesgo de accidentes (INEN, 2009b).

4.3. Conceptualización de sistema de Seguridad

Por sistema de seguridad vehicular se entiende el conjunto de tecnologías y dispositivos desarrollados para prevenir accidentes o proteger a los ocupantes en caso de incidentes viales. Actualmente, los sistemas permiten a los automóviles modernos no solo

anticiparse a situaciones peligrosas en la carretera, sino también garantizar la seguridad de los pasajeros en caso de accidente (Perumal et al., 2021).

La seguridad se divide en dos tipos: seguridad activa o primaria y pasiva o secundaria. La secundaria previene las consecuencias del accidente: protege a los pasajeros durante una colisión. Este tipo de seguridad incluye airbags y otros dispositivos que funcionan solo en caso de accidente. La activa intenta prevenir la ocurrencia de un accidente. Incluye los elementos de un vehículo que están directamente involucrados en el control y la estabilidad del vehículo. Los vehículos de larga distancia deben estar equipados con frenos, suspensión y neumáticos. La industria automotriz está obligada a proporcionar productos certificados y seguros. Debe producir vehículos que tengan protección mínima para el transporte (Guerrera et al., 2022).

4.3.1. Sistemas de seguridad pasiva

Los sistemas de seguridad pasiva tienen como objetivo reducir o mitigar las consecuencias de un accidente al máximo nivel disponible en el momento del impacto, protegiendo a las personas durante y después del mismo. Incluyen varios elementos físicos que se utilizan para preservar la integridad de los ocupantes. En las últimas décadas, estos sistemas han contribuido significativamente a reducir las lesiones graves y las muertes en accidentes de tráfico. Los principales son cinturones, airbags, SRI, reposacabezas activos y zonas de deformación controladas (Cocha & Guanotasig, 2022).

- **Bolsas de aire (Airbags):** Son dispositivos que se inflan de forma instantánea al producirse una colisión, generando una barrera acolchada entre los ocupantes y las estructuras internas del vehículo, lo que disminuye considerablemente el riesgo de lesiones. Originalmente diseñadas para proteger a los pasajeros

delanteros en impactos frontales, con el tiempo se han desarrollado versiones laterales y de mayor complejidad tecnológica (Cocha & Guanotasig, 2022).

- **Sistemas de retención infantil:** Son asientos diseñados específicamente para proteger a los menores durante un accidente. Adaptados a la complejidad física y el peso de los niños, estos dispositivos reducen significativamente el riesgo de lesiones graves o fatales al distribuir adecuadamente las fuerzas del impacto (Cocha & Guanotasig, 2022).
- **Cinturones de seguridad:** Constituyen uno de los elementos más eficaces de seguridad pasiva. Su función es mantener a los ocupantes sujetos al asiento en caso de frenado brusco o colisión, evitando que impacten contra el interior del vehículo o sean expulsados del habitáculo. Los cinturones modernos incorporan pretensores que, al activarse inmediatamente tras detectar un impacto, ajustan la tensión del cinturón al cuerpo del ocupante, optimizando su capacidad de protección (Cocha & Guanotasig, 2022).
- **Reposacabezas activos:** Integrados al sistema electrónico del vehículo, se activan automáticamente ante una colisión trasera de cierta intensidad. Se desplazan hacia adelante y hacia arriba, brindando soporte al cuello y reduciendo el riesgo de lesiones cervicales, como el latigazo (Cocha & Guanotasig, 2022).
- **Zonas de deformación programada:** También conocidas como zonas de absorción de energía, están diseñadas para deformarse de manera controlada durante una colisión. Su objetivo es disipar la energía del impacto antes de que alcance el habitáculo, minimizando así los daños a los ocupantes (Cocha & Guanotasig, 2022).

4.3.2. Sistemas de seguridad activa

Los sistemas de seguridad activa juegan un papel crucial en la prevención de accidentes. Estos están diseñados para anticipar situaciones peligrosas alertan al conductor o proporcionando asistencia que facilita el control del vehículo. En general, estos sistemas son todos los dispositivos que ayudan a mantener la estabilidad y el control sobre el automóvil mientras se conduce y reducir la probabilidad de accidentes automovilísticos. Aunque los componentes también mejoran la comodidad y la seguridad, el funcionamiento seguro del automóvil y el aumento de la eficiencia operativa. Algunos de los elementos de este nivel incluyen el HUD de visualización frontal, el ABS antideslizante, ESC, sistema de monitoreo de presión de los neumáticos (TPMS), LDWS, control automático de cruce (ACC), DMS, detectores de punto ciego, visor nocturno (NVS) (Cocha & Guanotasig, 2022).

- **Sistema antibloqueo de frenos:** evita el bloqueo de las ruedas al frenar de manera brusca, y puesto que el coche no se desliza, el conductor mantiene el control sobre la dirección. Esta mejora la maniobrabilidad en situaciones de emergencia sobre una superficie resbaladiza. (Cocha & Guanotasig, 2022).
- **Control electrónico de estabilidad:** mejora la estabilidad del coche si el sistema detecta una disminución de tracción. Los frenos de disco peligrosos o el deslizamiento se controlan mediante frenos selectivos o una disminución de la potencia del motor. La tecnología reduce el riesgo de accidente al derrape o en curvas puntiagudas (Cocha & Guanotasig, 2022).
- **Sistema de monitoreo de la presión de los neumáticos:** este sistema registra la presión en cada neumático en tiempo real. La baja presión activa una señal luminosa o acústica en un panel de instrumentos con un aviso de falla al conductor (Cocha & Guanotasig, 2022).

- **Sistema de advertencia de salida de carril:** Este sistema alerta al conductor si el vehículo salió de la carretera sin encender la dirección y con señalización. La distracción y la somnolencia son causa de accidentes (Cocha & Guanotasig, 2022).

4.4. Cinturones de seguridad

El cinturón de seguridad es un sistema de retención que mantiene al ocupante en su lugar ante una desaceleración repentina, como la que se produce durante una colisión frontal. Las estadísticas lo posicionan como el dispositivo de seguridad pasiva más eficaz. Su función principal es evitar el denominado “segundo impacto”, que ocurre cuando el cuerpo del ocupante golpea contra las superficies internas del vehículo. En la siguiente Figura 1 se muestra el habitáculo de un automóvil equipado con cinturones de seguridad para el conductor, así como para los pasajeros delanteros y traseros (Calero, 2020).



Figura 1. *Habitáculo de un vehículo con cinturones de seguridad*

Nota. Tomado de Moriche, 2008

A continuación, en la Tabla 3 se evidencia los diferentes componentes que conforman los cinturones de seguridad, junto con los requisitos normativos que deben

cumplir y las características específicas que garantizan su correcto funcionamiento y seguridad:

Tabla 3

Cinturones de seguridad

Dispositivo	Requisitos	Características
Cinturones de seguridad	Deben contar con una marca de homologación.	<ul style="list-style-type: none"> • Debe estar situado en un lugar visible, accesible, legible y permanente (no se debe borrar).
Partes rígidas	No deben tener bordes cortantes o peligrosos.	<ul style="list-style-type: none"> • Las hebillas, fijaciones y otros componentes rígidos no deben dañar las correas por fricción.
Protección anticorrosión	Las piezas propensas a oxidarse deben estar protegidas.	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los elementos expuestos a la corrosión deben contar con recubrimientos o tratamientos adecuados.
Componentes rígidos y plásticos	Deben estar ubicados de forma que no se bloqueen.	<ul style="list-style-type: none"> • Su colocación debe evitar que queden atrapados bajo asientos móviles o puertas.
Hebilla	Debe evitar errores en su uso.	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenerse cerrada sin necesidad de tensión • Evitar aperturas accidentales • Zona de apertura de color rojo • Debe poder cerrarse con un solo movimiento fácil.
Dispositivos de ajuste	Deben ofrecer un ajuste personalizado.	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir que el usuario ajuste fácilmente el cinturón con una sola mano.
Retradores	Deben contar con distintos modos de desbloqueo.	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporar desbloqueo manual, automático y en situaciones de emergencia.
Dispositivos de pretensado	No se especifica un requisito base.	N/A
Correas	No se especifica un requisito base.	N/A

Nota. Obtenido de INEN, 2009a.

4.4.1. Importancia de los cinturones de seguridad

El propósito principal de los cinturones de seguridad de un vehículo es proteger a los ocupantes en caso de accidente, especialmente en colisión o una desaceleración repentina de viaje. Su misión es garantizar que las personas involucradas se mantengan en su lugar y no sean proyectadas hacia adelante, lo que disminuye en gran medida la posibilidad de lesionarse gravemente o morir (Tecnología del Automóvil, 2021).

El cinturón de seguridad actúa como un sistema de retención que se coloca alrededor del usuario y se sujeta para limitar su desplazamiento en caso de desaceleración brusca. Está compuesto por una correa ajustable sujeta con una hebilla que permite adaptarse al tamaño del usuario. En condiciones normales, permite un cierto rango de movimiento, pero un sistema interno lo bloquea en caso de impacto, impidiendo que la correa se deslice y manteniendo al usuario en su posición (Ureta, 2024).

Algunos cinturones más avanzados también incorporan pretensores, los cuales tensan la correa que se sujeta al usuario, eliminando la holgura entre la correa y el usuario, y limitadores de fuerza, que controlan cuánta presión ejerce la correa sobre el usuario, para evitar lesiones. Esto reduce el llamado segundo impacto, que es cuando el ocupante choca contra las piezas internas del vehículo (Tecnología del Automóvil, 2021).

En definitiva, los cinturones de seguridad son parte fundamental del sistema de seguridad pasiva del vehículo, pues está diseñado para proteger la vida e integridad del ocupante en situaciones de alto riesgo: colisiones frontales y repentinas detenciones. Principalmente, evitan el desplazamiento del cuerpo con respecto al asiento, evitando el impacto del ocupante contra estructuras internas del vehículo o su expulsión. Por otro lado, distribuyen las fuerzas del impacto sobre partes anatómicamente resistentes,

minimizando considerablemente la probabilidad de lesiones graves o mortales. Su utilización es una obligación para el cumplimiento de los estándares técnico-legales sobre la vialidad (Kazaleh et al., 2025).

- **Prevención de lesiones graves o mortales:** En situaciones de accidente, los cinturones mantienen a los ocupantes asegurados en sus asientos, lo que reduce considerablemente el riesgo de sufrir heridas de gravedad o consecuencias fatales, al evitar que sean proyectados dentro o fuera del vehículo (Kazaleh et al., 2025).
- **Protección colectiva:** El uso del cinturón no solo brinda seguridad al ocupante que lo utiliza, sino también al resto de los pasajeros, ya que una persona sin cinturón puede convertirse en un proyectil peligroso en caso de impacto (Kazaleh et al., 2025).
- **Cumplimiento de normativas legales:** En muchos países, el uso del cinturón es obligatorio en el transporte público interprovincial, tanto para conductores como para pasajeros. El incumplimiento de esta normativa puede acarrear sanciones legales para los responsables del vehículo (Kazaleh et al., 2025).

En lo que respecta al transporte interprovincial, los cinturones de seguridad son una parte vital de la protección pasiva de los pasajeros. Su función principal es mantener al pasajero apretado en su asiento, restringiendo el movimiento del cuerpo humano en circunstancias repentinas, por ejemplo, giros severos y frenos duros. Los cinturones de todos los habitantes de los vehículos de motor deben diseñarse de tal manera que siempre mantengan a la persona sentada en una cierta posición, reduciendo la posibilidad de movimientos espontáneos que obstaculicen la seguridad física (Anund et al., 2023; Okyere et al., 2022).

- **Disminución del movimiento no controlado:** Durante una desaceleración repentina o un impacto, el cuerpo en movimiento tiende a seguir en esa dirección debido a la inercia. La función del cinturón es una barrera de contención que evita que el ocupante se desplace hacia adelante y colisione con el asiento delantero, las ventanillas o cualquier otra parte de la estructura del autobús (Anund et al., 2023; Okyere et al., 2022).
- **Disminuir el riesgo de lesiones graves o fatales:** Al mantener al pasajero asegurado en su asiento, el cinturón reduce significativamente la probabilidad de sufrir daños severos en zonas sensibles del cuerpo como la cabeza, el cuello, el pecho y la columna. En incidentes de gran magnitud, su presencia puede ser determinante para la supervivencia del ocupante (Anund et al., 2023; Okyere et al., 2022).
- **Potenciar la eficacia de otros sistemas de protección:** El cinturón de seguridad no funciona de manera aislada; está diseñado para interactuar con otros elementos de seguridad del vehículo, como los asientos con refuerzo estructural, los mecanismos antivuelco, los airbags y las cabinas que absorben la energía del impacto. Esta integración permite una protección más completa y efectiva frente a escenarios de alto riesgo (Anund et al., 2023; Okyere et al., 2022).

4.4.2. Funcionamiento del cinturón de seguridad

La función principal del cinturón de seguridad es restringir la libertad de movimiento del ocupante del vehículo en circunstancias de desaceleración repentina. Esto se logra a través de un sistema de bandas y mecanismos de bloqueo que actúan de forma automática y mecánica. El instrumento en cuestión debe estar diseñado para operar en situaciones adversas, mantener al usuario seguro y minimizar significativamente la carga

en el cuerpo. A continuación según las contribuciones de Huecker & Stretanski (2025) y de Soica & Gheorghe (2025), mencionan ciertas funcionalidades del cinturón de seguridad:

- **Ubicación inicial:** Al sentarse, el ocupante extiende la banda desde su punto de anclaje, después abre la hebilla y sujeta la lengüeta metálica tras introducirla por el lado del cuerpo de la hebilla. El dispositivo permanece seguro, evitando la soltura accidental durante el recorrido. (Huecker & Stretanski (2025))
- **Ajuste automático:** La banda posee un retractor de resorte que permite que se ajuste o mueva ligeramente durante el recorrido. Este sistema favorece la adaptación al cuerpo a través de la confección de una presión en equilibrio entre el ajuste cómodo y necesario. (Soica & Gheorghe (2025))
- **Bloqueo de emergencia:** Al detener de forma brusca la marcha o sufrir un impacto, el retractor se activa y bloquea la banda. Si se activa gracias a la inercia del movimiento o por un mecanismo mecánico de choque, el cinturón no se desenrolla y el cuerpo no se desplaza hacia adelante. (Huecker & Stretanski (2025))
- **Distribución del impacto:** La principal fuerza de desaceleración se desplaza hacia la región pélvica, una región resistente. De esta forma, se uniformiza la presión, reduciendo las posibilidades de lesiones graves de órganos internos o zonas sensibles. Liberación: al detener el recorrido el ocupante presiona un botón situado en la parte central de la hebilla para liberar la lengüeta metálica. Recogido el botón el sistema recoge la banda hacia la posición de reposo. (Soica & Gheorghe (2025))

4.4.3. Tipos de cinturones

Principalmente, los cinturones de seguridad se clasifican según la cantidad de puntos de anclaje que incorporan. Estos puntos de anclaje se refieren a las zonas de sujeción que aseguran al ocupante al asiento y distribuyen las fuerzas en caso de un impacto. A continuación, según Chery (2022), señala la clasificación de los cinturones:

- **Cinturón de dos puntos:** Es un cinturón que comúnmente se utiliza en aviones y autobuses. Solo asegura la zona de la pelvis del ocupante mediante un cinturón que lo sujeta desde dos anclajes laterales. Sin embargo, este cinturón tiene un bajo nivel de protección, ya que en situaciones de accidente podría causar graves lesiones debido a la falta de ajuste de la parte superior del cuerpo. (Chery (2022))
- **Cinturón de tres puntos:** Es el tipo de cinturón más común en la actualidad y se considera uno de los más seguros. Fue ideado por la empresa Volvo en 1959 e incorpora ambos anclajes a nivel de cadera, además de un tercer punto que cruza diagonalmente desde uno de los hombros del ocupante. (Chery (2022))
- **Cinturón de cuatro puntos:** es muy similar a un arnés y se compone de los dos anclajes laterales en la zona de la pelvis y dos correas que se extienden sobre ambos hombros. Este tipo de cinturón brinda un mayor nivel de retención al ocupante, por lo que se emplea en contexto de mayor seguridad. (Chery (2022))
- **Cinturón de cinco puntos:** Es la versión avanzada del anterior y añade un quinto anclaje que pasa entre las piernas del usuario. Este cinturón asegura completamente todos los movimientos del cuerpo. Es muy utilizado en sillas

infantiles y vehículos de competición porque requiere un nivel alto de seguridad y control del cuerpo. (Chery (2022))

4.5. Ensayos de impacto

Son pruebas técnicas diseñadas para evaluar específicamente el comportamiento de una carrocería de un vehículo cuando dicho elemento es sometido a una colisión controlada, dichas pruebas se enfocan en verificar la funcionalidad de los sistemas de seguridad del vehículo, lo cual contribuye a que el próximo desarrollo sea más seguro (Ballay et al., 2022).

En Ecuador la NTE INEN 2675 es la que abarca los métodos de ensayo para evaluar la resistencia de los materiales y sus distintos tipos de seguridad ante los impactos, dicha normativa se complementa con la NTE INEN 2708 la cual regula la práctica de ensayos a los cinturones de seguridad, de tal manera evaluando su funcionalidad ante condiciones catastróficas (INEN, 2009b).

En la seguridad internacional el Reglamento N14 de la UNECE abarca los requisitos para la instalación y resistencia de los anclajes de seguridad en los cinturones de seguridad, así de tal manera que el Reglamento N 16 facilita los procedimientos a realizarse en una prueba dinámica utilizando Dummies para simular colisiones frontales y evaluar la funcionalidad de los distintos sistemas de seguridad, dicho ensayo abarca estudios de elementos finitos (UNECE, 2025).

4.6. Dummies

El término dummies, que significa literalmente “muñecos”, ha sido ampliamente utilizado en una diversidad de contextos, aunque por lo general se relaciona más con el sector automotriz. Crash test dummy es la expresión utilizada para referirse a los

maniqués empleados en las pruebas de choque de los vehículos, los cuales sirven para hacer de pasajeros ficticios, es decir simular la anatomía humana real. En lo que respecta a su anatomía, se puede decir que poseen medidas que se asemejan bastante a las de los seres humanos, lo cual permite medir con precisión los efectos de los accidentes en determinadas zonas del cuerpo o del maniquí. Los órganos que suelen ser “prueba” de estos accidentes son: la cabeza, el cuello, el área del tórax, las piernas, las costillas, las rodillas, muslos y los pies, todas estas para tener un mayor control en cuanto a las posibles lesiones a las personas (Renting Finders, 2022).

Actualmente, la cabeza se fabrica en aluminio y se cubre con un caucho que imita la consistencia de la piel humana abatiendo un cierto grado de elementos vibratorios en el cerebro que son recogidos por los acelerómetros. La ventaja de tal sistema radica en la posibilidad de difundir cualquier lesión en la cabeza con una precisión asombrosa, además del hecho de que las consecuencias de un accidente se pueden reproducir con gran detalle en el cuerpo humano. El cuello se equipa con sensores que registran las fuerzas de avance y rebote hacia atrás. Las costillas, hechas de acero, tienen una longitud desde el lado de las posibles lesiones en la caja torácica, ya que conviene recordar que las lesiones más graves en las combinaciones frontales son típicas de los muslos y no de la caja torácica. Los muslos también se equipan con células de carga, que recopilan información sobre el efecto de la lesión en la pelvis, la cadera y la rodilla. Las piernas abaten varios sensores, lo que permite reunir información sobre las lesiones de varias áreas (Ibañez, 2024).

4.6.1. Características de los Dummies

Los dummies se diseñan de manera que reproducen de manera muy precisa las dimensiones y propiedades biomecánicas del cuerpo humano. En particular, se utilizan en pruebas de choque y simulaciones para evaluar cómo los ocupantes de un vehículo

pueden verse afectados en varios escenarios de accidentes. Por lo general, suelen venir con la siguiente especificación según los aportes de Fundación MAPFRE (2025):

- Son equipados con una variedad de sensores e instrumentos que registran fuerzas, aceleraciones y otros parámetros durante el impacto. Estos son datos críticos ya que permiten analizar la cantidad de daño en diversas partes del cuerpo. (Fundación MAPFRE (2025))
- Además, la cabeza y el cuello vienen articulados para simular el movimiento natural del ser humano. De esta manera, se puede calcular con precisión las fuerzas aplicadas en estas áreas de colisión. (Fundación MAPFRE (2025))
- Por otro lado, el torso y el abdomen estructurados se diseñan para reproducir la respuesta biomecánica se la zona tiene ante un choque. (Fundación MAPFRE (2025))
- Las extremidades y articulan también son movibles para facilitar la evaluación del comportamiento y la reacción de los brazos y las piernas. (Fundación MAPFRE (2025))
- Finalmente, existen también modelos especializados en este caso para adultos, niños y mujeres, respectivamente. (Fundación MAPFRE (2025))

Esta es la manera en que estos muñecos permiten a ingenieros y científicos analizar y mejorar los sistemas de seguridad como cinturones de seguridad, airbags y la misma estructura del vehículo para mitigar las lesiones (Fundación MAPFRE, 2025).

4.6.2. Rol de los Dummies en las pruebas de choque

Los dummies son invaluable para las pruebas de choque porque imitan con precisión la respuesta del cuerpo humano al chocar en todas las direcciones posibles. Estas muñecas de prueba se colocan estratégicamente dentro de un vehículo y

experimentan escenarios de choque. Sus sensores recolectan datos extremadamente precisos que se utilizan para evaluar la seguridad de las víctimas del choque y también para revelar áreas del diseño del vehículo y protocolos de seguridad que necesitan mejorar. Como resultado, los fabricantes de vehículos pueden utilizar esta información para mejorar la calidad de la seguridad pasiva en sus automóviles, y los encargados de formular políticas pueden usar los datos para crear directrices que regulen el uso y la fabricación de autos (Plaza, 2025).

Los datos obtenidos durante las pruebas con dummies han sido cruciales para el desarrollo de la seguridad en la industria automovilística. En muchos aspectos, han afectado la creación de estructuras más durables, ha hecho que los propios dispositivos de retención, como cinturones de seguridad y airbag estén de alta calidad y hayan involucrado a una serie de innovaciones, desde tecnologías para evitar accidentes hasta una mayor protección para los ocupantes en casos de siniestros (Plaza, 2025).

4.6.3. Componentes principales de un Dummy

Según las contribuciones investigativas de Jaśkiewicz et al. (2020) y de (Poliak et al. (2024), hacen mención a que los componentes principales de un dummy son los siguientes:

- **Cabeza:** Diseñada de manera que imite la estructura ósea y los tejidos blandos del cráneo humano, generalmente posee sensores acelerómetros y de fuerzas y momentos para evaluar las posibles lesiones cerebrales (Jaśkiewicz et al., 2020; Poliak et al., 2024).
- **Cuello:** Articulado de manera que replique el movimiento natural del cuello humano, con sensores que miden las fuerzas y momentos que actúan sobre esta en un impacto (Jaśkiewicz et al., 2020; Poliak et al., 2024).

- **Torso:** Es la unión y ensamble del pecho y el abdomen. Se ensambla con una presión y flexibilidad adecuada al del humano, genera información de fuerzas y deformaciones, además de lesiones como daños a órganos vitales y tórax (Jaśkiewicz et al., 2020; Poliak et al., 2024).
- **Extremidades superiores:** Los brazos y las manos tienen articulaciones móviles que permiten una medición del comportamiento de las fuerzas aplicadas en un crash test (Jaśkiewicz et al., 2020; Poliak et al., 2024).
- **Extremidades inferiores:** Las piernas y los pies tienen sensores que registran impacto y fuerzas además de contar con articulaciones y movilidad aunada a la posibilidad de levantar pies para roturas (Jaśkiewicz et al., 2020; Poliak et al., 2024).
- **Sistema de sensores e instrumentación:** Incluye acelerómetros, células de carga y giróscopos, entre otros, diseñados para medir aceleraciones, fuerzas, presiones y desplazamientos en diferentes regiones del dummy (Jaśkiewicz et al., 2020; Poliak et al., 2024).
- **Estructura interna y armazón:** es la unión de materiales resistentes que proporcionan la forma, soporte estructural necesarios para la biomecánica humana en la simulación de la colisión (Jaśkiewicz et al., 2020; Poliak et al., 2024).

4.7. Tipos de impactos en colisiones

Los factores que influyen activamente en la seguridad pasiva de los autobuses incluyen la necesidad de reconocer que la gravedad de las lesiones, así como la efectividad de los mecanismos de protección tales como los cinturones de seguridad, dependen directamente de la naturaleza del impacto durante un accidente en particular

(Paucar et al., 2022). Esto implica la siguiente clasificación esencial de los posibles accidentes de carreteras de los autobuses:

- **Impacto frontal:** Se trata de una recuperación frontal que se produce cuando la parte delantera del autobús entra en contacto con un objeto fijo o colisiona con otro vehículo. El tipo de lesiones más traumáticas incluye lesiones cerebrales traumáticas, lesiones de la médula espinal, fracturas de la caja torácica y el abdomen, así como lesiones de miembros. Si el habitáculo se ve afectado, la mortalidad es extremadamente alta (Paucar et al., 2022).
- **Impacto lateral:** Este tipo de accidente es especialmente peligroso ya que las estructuras laterales de los vehículos no están reforzadas. El impacto se transfiere con gran precisión a los pasajeros, lo que resulta en casos extremadamente graves de lesiones cerebrales traumáticas, daños internos, lesiones de la médula espinal, fracturas de las extremidades y lesiones del cuello (Ministerio de Transporte de Argentina, 2023).
- **Impacto trasero:** Similar a un choque anterior se da cuando un autobús es golpeado por detrás en movimiento o en espera. En este caso, los daños en el cuerpo incluyen lesiones cervicales por latigazos, fracturas espinales, lesiones pélvicas, y fracturas craneales (Ministerio de Transporte de Argentina, 2023).
- **Vuelco:** Este accidente viene después de la pérdida de estabilidad en el autobús, que se vuelca. Esta es una de las colisiones más peligrosas, ya que el repentino ángulo de inclinación y la aceleración causan daños a la médula espinal y fracaso orgánico, y a menudo arrojan a los pasajeros fuera del autobús (Prochowski et al., 2022).
- **Impacto lateral delantero:** Este accidente ocurre en la esquina frontal del autobús, generalmente en la intersección. Puede causar lesiones craneales,

roturas internas, fracturas de la extremidad, fracturas espinales y cervicales (Prochowski et al., 2022).

- **Raspando la colisión:** Se produce cuando dos vehículos se raspan uno al lado del otro o cuando un vehículo se raspa contra un objeto inmóvil. Generalmente, la colisión es leve, aunque puede causar dobleces (Ning et al., 2022).
- **Múltiple colisión:** Este es el caso en el que tres o más vehículos se ven involucrados en una colisión. Un incidente puede involucrar diferentes tipos de choques anteriormente mencionados, con diferentes niveles de gravedad y fatalidad para los ocupantes (Radzi et al., 2021).

4.8.Elementos finitos

Los elementos finitos son una técnica numérica utilizada para resolver problemas complejos de ingeniería y física, en especial, aquellos que implican el análisis estructural, térmico, dinámico y de fluidos. Por lo demás, la idea subyacente del método se basa en dividir varios objetos y sistemas en piezas más pequeñas: los elementos finitos. Cada uno de ellos es un pequeño fragmento del sistema original y, mediante ciertas ecuaciones simples, se puede describir cada uno de ellos. Conectando los elementos, se dibuja la malla que describe el sistema y el comportamiento de la totalidad. Usando el método, es posible evaluar tensiones, desplazamientos, deformaciones, temperaturas y muchos otros parámetros, lo que finalmente permite al analista informar la reacción del objeto o sistema a las cargas y casos de uso reales (Zienkiewicz, 2010).

- Permite analizar geometrías complejas con gran precisión.
- Reduce la necesidad de ensayos físicos costosos y peligrosos.
- Facilita la visualización de resultados mediante modelos 3D.

- Ofrece resultados cuantitativos para la toma de decisiones en diseño y seguridad.

4.8.1. Tipos de elementos finitos

El análisis por elementos finitos es una técnica que permite estudiar el comportamiento de un cuerpo u objeto como un modelo idealizado, dividiendo el objeto en un gran número de pequeños elementos de geometría simple llamados elementos finitos. La elección del tipo de elementos requiere consideración de la forma del objeto, los límites y los requisitos analíticos. Algunos de los principales destinos de elementos especiales se describen a continuación por Lee (2025) y Lopes (2011):

- Los **elementos 1D**, se utilizan en el análisis de estructuras lineales, como vigas o barras. Son generalmente muy simples y se utilizan en una dimensión (Lee, 2025; Lopes, 2011).
- Los **elementos de 2D** se implementan en el análisis de componentes 2D entre elementos rectangulares y triangulares (Lee, 2025; Lopes, 2011).
- Los **elementos 3D** son utilizados para sólidos se denominan tridimensionales. Permiten un análisis detallado del comportamiento y el desempeño mecánicos internos de los sólidos en el espacio tridimensional (Lee, 2025; Lopes, 2011).
- Los **elementos de cascaron** representan un término medio entre los 2D y los elementos de 3D; son adecuados para superficies curvas y estructuras delgadas (Lee, 2025; Lopes, 2011).
- Los **elementos de contacto** ayudan a resolver problemas relacionados con la interacción de varias superficies en términos de fuerza y perfección. Permiten analizar cuestiones asociadas con la fricción, el choque y la fuerza de campo interfaz. Se usan para relacionar dos o más piezas en movimiento y son vitales

para las simulaciones en las que interactúan dos o más partes (Lee, 2025; Lopes, 2011).

4.8.2. Métricas de evaluación de la malla

La calidad de la malla es una característica esencial que influye directamente en la precisión, estabilidad y confiabilidad de los resultados arrojados por un análisis numérico. Mediante determinadas métricas de evaluación, es posible medir el grado en que el modelo geométrico ha sido discretizado, ya sea en términos de su forma como en los relativos a sus dimensiones. Una malla inadecuada puede presentar errores numéricos, problemas de convergencia o interpretaciones equivocadas sobre el comportamiento estructural. Por esto, es crucial establecer criterios estrictos para su control y proceder a su posterior refinamiento (Özgün, 2023).

Por otro lado, existen varios criterios y métricas que se consignan en una malla se utilizan para evaluar su calidad en FEM. Esto permite decidir si la malla convencional del modelo es de suficiente calidad para proporcionar los cálculos de análisis de manera adecuada y estable. Aquí se presentan los criterios más conocidos de calidad de la malla expresados por EngMorph (2021) y SDC (2025):

- **Aspect Ratio** mide la relación de la longitud lateral de un elemento. Los elementos deben ser lo más cuadrados posible (en 2D) o cúbicos (en 3D). Un factor muy alto puede conducir a una inestabilidad numérica (EngMorph, 2021; SDC, 2025).
- **Skewness** mide la distorsión de los ángulos interiores de un elemento. Los valores más altos impiden una cierta precisión en los cálculos (EngMorph, 2021; SDC, 2025).

- **Jacobian** es un determinante que determina si la transformación entre el sistema local y el sistema global de coordenadas es factible. Si este es cerca de 0 o negativo, el elemento está invertido y no es válido numéricamente (EngMorph, 2021; SDC, 2025).
- **Orthogonality** mide la perpendicularidad de las caras o lados de los elementos. El grado deficiente afecta el resultado de los cálculos, especialmente en condiciones de flujo o condiciones termales (EngMorph, 2021; SDC, 2025).
- **Warping factor** mide cuánto un elemento tridimensional dobla alrededor de su superficie plana. En elementos laminados, esta métrica es muy relevante (EngMorph, 2021; SDC, 2025).
- **Táper** es la forma en que los elementos no son homogéneos en una región definida. El cambio brusco entre un gran y un pequeño elemento puede arruinar el resultado en porcentaje (EngMorph, 2021; SDC, 2025).
- **Element Quality** es una métrica compuesta que implica varias de las métricas anteriores que se desarrollaron para una malla de FEM (EngMorph, 2021; SDC, 2025).

4.9. Investigaciones previas

A continuación, se presentan diferentes postulados investigativos los cuales trataran de dilucidar y contrastarse con el presente objeto de estudio. Mismos que servirán para considerar, reflexionar y argumentar diferentes perspectivas en función de las variables de estudio.

En primera instancia, se puede aludir los aportes de Li et al. (2023), quienes tuvieron como finalidad explorar las estrategias de control de un sistema de seguridad integrado para orientaciones de asientos giratorios. Se examinaron las restricciones de los ocupantes en varias configuraciones de asientos utilizando un modelo de asiento único

con cinturón de seguridad montado en el asiento. La orientación del asiento se estableció en diferentes ángulos, de -45° a 45° con incrementos de 15° . Se utilizó una pretensión en el cinturón de hombro para representar una fuerza activa del cinturón que coopera con AEB. Los resultados del estudio evidenciaron que, en un movimiento lateral, las excursiones de la cabeza ficticia fueron de 100 mm y 70 mm en el sistema de coordenadas global para orientaciones de asiento negativas y positivas, respectivamente. En el movimiento axial, la cabeza recorrió 150 mm y 180 mm en el sistema de coordenadas global para direcciones de asiento positivas y negativas, respectivamente.

Además, el cinturón de seguridad de 3 puntos no sujetaba al ocupante simétricamente. El ocupante experimentó mayor y-excursión al eje y más pequeña x-excursión del eje en la posición negativa del asiento. Varias estrategias integradas de control del sistema de seguridad provocaron diferencias significativas en el movimiento de la cabeza en él y dirección. Los autores llegaron a la conclusión de que el cinturón de seguridad podría reducir el movimiento hacia adelante del ocupante en las posiciones giratorias del asiento en un período previo al choque. Se generó la envolvente de movimiento del ocupante antes del choque, lo que podría ser beneficioso para los futuros sistemas de retención y el diseño interior del vehículo. El sistema de seguridad integrado podría reducir las lesiones en diferentes orientaciones de asientos.

Por otro lado, Jamroziak et al. (2020), se centraron en comparar las secuelas de los accidentes de autocares sin cinturón de seguridad y los que sí lo tienen. El mismo se logró mediante la realización de estudios experimentales y modelos que se centraron en el proceso de transferencia dinámica de carga en el cuerpo humano durante un accidente de tráfico. La investigación se realizó en paralelo en un adulto y un niño. El equivalente de un varón del percentil 50 era un maniquí híbrido III (M50), mientras que un niño de unos 10 años estaba representado por un maniquí P10. Se generó y verificó un modelo

numérico en pruebas experimentales en el ámbito de la cinemática. Además, se realizó la comparación de los cursos de fuerzas, aceleraciones y momentos registrados.

Los resultados obtenidos de las pruebas fueron analizados respecto a los criterios de lesión de cabeza, cuello y tórax. Se observó que, tanto para el sistema de seguridad de dos puntos como para la falta de cinturones de seguridad, se registraron altos valores de aceleración en el centro de gravedad de la cabeza. Sobre la base de las investigaciones realizadas, se comprobó que sólo un sistema de cinturón de seguridad de tres puntos garantiza el cumplimiento de todos los criterios de lesión dentro de los estándares admisibles tanto en el caso de los criterios definidos en las reglas núm. 80 (resistencia de los asientos y sus anclajes en vehículos de transporte de pasajero) como en las reglas núm. 94 (ensayos de impacto frontal y a la protección de los ocupantes de vehículos de pasajeros) determinadas por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa. El sistema de cinturón de seguridad de tres puntos debería ser obligatorio en todos los autobuses interurbanos.

De la misma manera, Holenko et al. (2024), tuvieron como objetivo desarrollar una metodología aplicable para una simulación de impacto frontal en un autobús urbano, considerando los requisitos UNECE R29 para la seguridad del pasajero y las características distintivas del diseño de la carrocería de entrada baja. Entre las contribuciones al conocimiento actual se encuentran resultados de investigaciones como: a diferencia de los autobuses suburbanos e interurbanos, los autobuses urbanos se caracterizan por una menor rigidez en caso de colisión frontal y, por lo tanto, al desarrollar nuevos modelos, es necesario establecer zonas de deformación (actualmente ausentes en la mayoría de los autobuses urbanos).

Los valores máximos de deformación en la parte delantera del autobús se alcanzan antes para R29 (137 ms) que para la mayoría de los impactos probados por NCAP (170–

230 ms), pero tienen valores más altos: 577 mm frente a 150–250 mm para los umbrales probados. Un tiempo de absorción de impactos tan corto y unas deformaciones tan elevadas indican una parte delantera significativamente más ligera de un autobús de entrada baja y piso bajo en comparación con los diseños clásicos. Además, no está justificado utilizar las condiciones de contorno R29 de los camiones para fijar el autobús con cadenas detrás de su eje frontal; tanto en pruebas naturales como en una simulación de elementos finitos, adecuada al esquema de fijación del autobús urbano, debería adaptarse en consecuencia y revisarse normativamente.

En otra perspectiva, Arroba & Núñez (2018), se centraron en valorar la resistencia de los anclajes para cinturones de seguridad de dos y tres puntos de anclaje de un asiento comercial de autobuses, aplicando la Regulación de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (ECE-R14). Las propiedades de los materiales de la estructura del asiento y de los anclajes del cinturón se obtuvieron mediante ensayos de tracción y flexión. Estos valores se utilizaron para elaborar un modelo de elementos finitos utilizando el material Piecewise Linear Isotropic Plasticity de Ansys - LsDyna.

Los anclajes se evaluaron aplicando fuerzas en los bloques pélvico y torácico sujetos a través del cinturón según lo especificado en la regulación. En el análisis los anclajes presentaron grandes deformaciones llegando a la ruptura, modificando la forma y posición de los anclajes e incrementando refuerzos estructurales en áreas de mayor sollicitación los anclajes cumplieron con la regulación. Este trabajo pretendió crear una metodología para la industria de asientos que permita evaluar sus modelos previos a homologaciones.

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. Descripción del Bus para utilizar

El bus Marcopolo DD 2014 situado sobre el Scania K410 6x2 es un bus de dos pisos el cual esta principalmente diseñado para transporte interprovincial y viajes de larga distancia, muy robusto y con buen confort y eficacia operativa (Scania del Perú S.A., 2012).

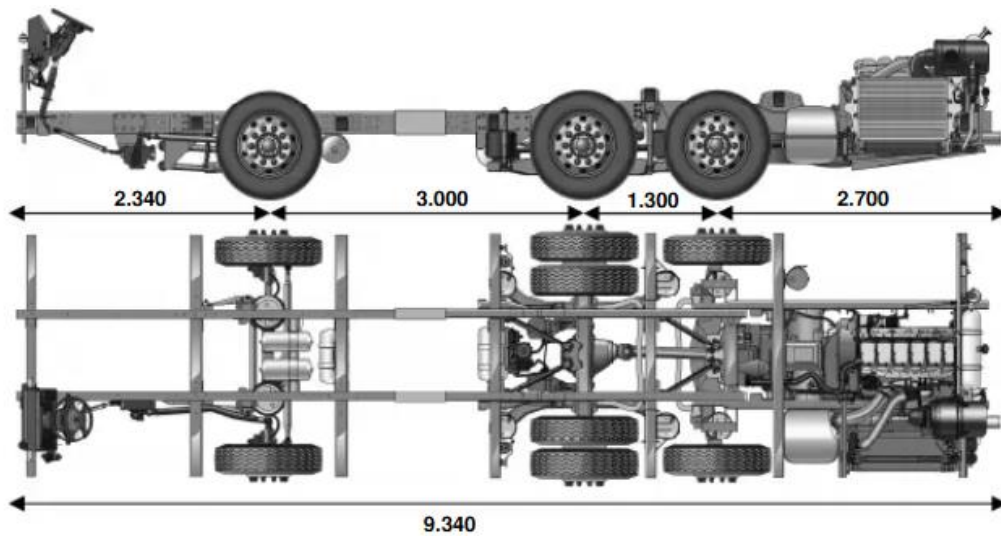


Figura 2. Dimensiones del Chasis Scania k410 6x2

Nota. Tomado de Scania del Perú S.A., 2012

5.1.1. Características generales.

- **Motor**

En la Tabla 4, se presentan las características del motor.

Tabla 4

Motor Scania K410 6x2

Modelo:	Scania DC 107 410
Tipo:	Comandado por inyección electrónica y un Turbo compresor incluido intercooler.

Cilindrada:	12.7 litros
Cilindros:	6
Culatas:	Todas son individuales
Potencia Máxima:	410 cv (302 kW) a 1,900 rpm
Torque Máximo:	2,000 Nm (1,000 – 1,350 rpm)
Emisiones:	Euro 3
Equipamiento:	Tiene un control de velocidades tipo crucero con un límite de velocidad a 115 km/h con una preparación que se mantenga en los 83 dBA, adicional un turbo compresor y un limitador de humo blanco.

Nota. Tomado de Scania del Perú S.A., 2012

- **Caja de cambios**

A continuación, en la Tabla 5 se exhiben las características de la caja de cambios.

Tabla 5

Caja de cambios Scania K410 6x2

Modelo:	Scania GR875R
Tipo:	Caja de cambios mecánica de doble gama con ocho marchas y una de retro.
Equipamiento:	Opticruze; el cual es un sistema que permita el cambio de marchas sin la necesidad de un pedal de embrague.

Nota. Tomado de Scania del Perú S.A., 2012

- **Diferencial**

Además, en la Tabla 6 se presenta una descripción del diferencial.

Tabla 6

Diferencial Scania K410 6x2

Modelo:	R780
Relación:	2.92:1

Opcional:	Scania R780 con una relación de reducción de 3.08:1 Scania R660 con una relación de reducción 2.92:1
-----------	---

Nota. Tomado de Scania del Perú S.A., 2012

- **Suspensión**

Por otro lado, en la Tabla 7 se expone las características de la suspensión.

Tabla 7

Suspensión Scania K410 6x2

Delantera:	Neumático uso extrapesado (Cap. 7,500 Kg)
Posterior:	Neumático uso extrapesado (Cap. 17,500 Kg)
Equipamiento:	Protección antivuelco, barra estabilizadora frontal y posterior

Nota. Tomado de Scania del Perú S.A., 2012

- **Frenos**

A continuación, se describe en la Tabla 8 las características de los frenos.

Tabla 8

Frenos Scania K410 6x2

Tipo:	Tambor
Frenos auxiliares:	Retarder Scania R3500.
Potencia máxima total de frenado auxiliar:	700 Kw (3,500 Nm)
Equipamiento:	Con la aplicación del regulador de frenos automático para mejor seguridad, regulación electrónica para el compresor de aire (APS) y un programa para estabilización electrónica (ESP).

Nota. Tomado de Scania del Perú S.A., 2012

- **Compartimiento del conductor**

En la Tabla 9, se presenta una descripción del compartimiento del conductor.

Tabla 9*Compartimiento del conductor Scania K410 6x2*

Dirección:	Hidráulica con un volante ajustable de 60mm y ángulos entre 25° y 45°.
Instrumentos:	Tablero con controles e instrumentos, indicador de temperatura del refrigerante del motor, indicador del nivel de combustible del tanque, indicadores de presión de aire para las ruedas y los sistemas de frenos delantero y trasero, lámpara de alerta, tacógrafo 7-días para el registro 1390, sistema con gestión de flota Scania Communicator (Paquete de monitoreo – 6 años), identificador de conductor.
Procedimiento de arranque.	Llave individual.

Nota. Tomado de Scania del Perú S.A., 2012

- **Sistema eléctrico**

Por otro lado, en la tabla 10 se exhibe el sistema eléctrico del modelo Scania K410 6x2.

Tabla 10*Sistema eléctrico Scania K410 6x2*

Baterías:	2 x 12V (24V).
Amperaje:	180 A/h.
Alternador:	2 x 100 A.

Nota. Tomado de Scania del Perú S.A., 2012

- **Neumáticos y aros**

También se describen las características de los neumáticos y aros del modelo estudiado.

Tabla 11

Neumáticos y aros Scania K410 6x2

Neumáticos:	295/80R22.5 (delantero y trasero).
Aros:	9.00 x 22.5" acero.

Nota. Tomado de Scania del Perú S.A., 2012

- **Tanques de combustible**

En la tabla 12 se adjunta una descripción del tanque de combustible del modelo Scania K410.

Tabla 12

Tanque de combustible Scania K410 6x2

Cantidad:	Depósito con una cantidad de transporte de treinta litros
-----------	---

Nota. Tomado de Scania del Perú S.A., 2012

- **Varios:**

Por último, en la Tabla 13 se describen otros accesorios que conforman el modelo de bus.

Tabla 13

Varios Scania K410 6x2

Caja de herramientas.
Gata hidráulica para diez toneladas.
Triangulo de seguridad.
Manual de instrucciones.

Nota. Tomado de Scania del Perú S.A., 2012

5.2.Descripción de los cinturones de seguridad

En este presente estudio se analizarán dos tipos de cinturones de seguridad comúnmente utilizados en el transporte terrestre: cinturones de dos y tres puntos. Ambos

forman parte de los sistemas de seguridad pasiva de un vehículo y tiene como objetivo reducir el riesgo de lesiones en los pasajeros en caso de colisiones.

Dado que la mayoría de los buses interprovinciales en Ecuador utilizan los cinturones de dos puntos, el presente trabajo plantea un análisis comparativo entre ambos sistemas. Se realizará un estudio detallado del comportamiento del cinturón de dos puntos frente a una colisión frontal, y se propondrá la implementación del cinturón de tres puntos con el fin de evaluar su desempeño en las mismas condiciones.

Este análisis se llevará a cabo mediante modelados 3D y simulaciones computacionales por medio de elementos finitos, lo que permitirá visualizar y cuantificar el efecto de cada sistema de retención sobre el cuerpo del pasajero en condiciones de impacto.

5.3. Modelado 3D de los componentes de estudio

Para el debido análisis de seguridad y análisis estructural mediante condiciones de impacto, en su desarrollo se implementaron modelos en 3D con sus debidos componentes para determinar la seguridad de los pasajeros, el modelado se desarrolló en el software Autodesk Inventor 2025, permitiendo dar un detalle preciso de la estructura del chasis de bus y su debido asiento para los pasajeros.

5.3.1. Bus

A continuación, se presenta en la Figura 3 el modelado estructural del chasis del bus que se utilizara en el desarrollo de presente estudio. Esta representación tridimensional corresponde al bastidor de un bus Marcopolo DD 2014 montado sobre un chasis Scania K410 6x2, vehículo pesado comúnmente utilizado en el transporte interprovincial de pasajeros en el Ecuador.

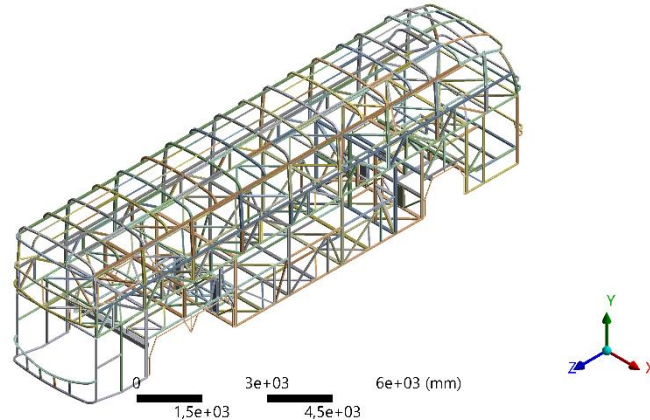


Figura 3. Chasis del bus

Nota. Elaboración propia

A continuación, se presenta el modelado estructural del chasis del bus que se utilizara en el desarrollo de presente estudio. Esta representación tridimensional corresponde al bastidor de un bus Marcopolo DD 2014 montado sobre un chasis Scania K410 6x2, vehículo pesado comúnmente utilizado en el transporte interprovincial de pasajeros en el Ecuador.

Este modelo ha sido desarrollado con el objetivo de llevar a cabo simulaciones computacionales, mediante el método de elementos finitos (FEM), con la finalidad de analizar el comportamiento estructural del vehículo ante una colisión frontal. A partir de esta simulación, se evaluará la transferencia de esfuerzos hacia los ocupantes del bus, quienes serán representados por modelos tipo Dummys, considerando dos configuraciones distintas de cinturones de seguridad: de dos y tres puntos. El análisis permitirá comparar la eficiencia de ambos sistemas de retención en términos de seguridad.

➤ **Vista Frontal**

En esta vista se observa la estructura delantera del bus (Figura 4), incluyendo la forma curva del techo, los pilares verticales y los esfuerzos inferiores en forma de “X”. Se distingue claramente la simetría del bastidor y la abertura frontal correspondiente al parabrisas.

Model
25/6/2025 23:02

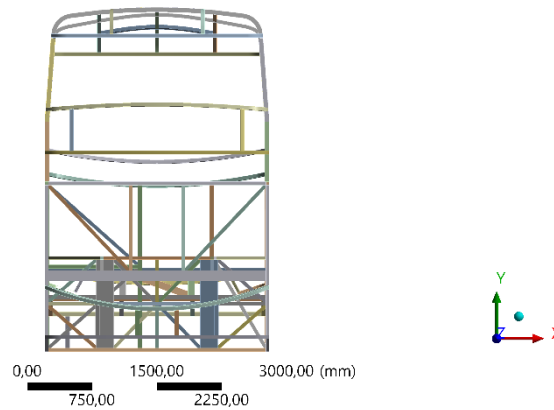


Figura 4. Vista frontal de la estructura del bus

Nota. Elaboración propia

➤ **Vista lateral**

En la Figura 5, se visualiza la longitud completa del bus con todos los esfuerzos horizontales y diagonales distribuidos a lo largo del bastidor. Se identifican los cortes para los pasos de rueda y estructura del segundo piso.

Model
25/6/2025 20:14

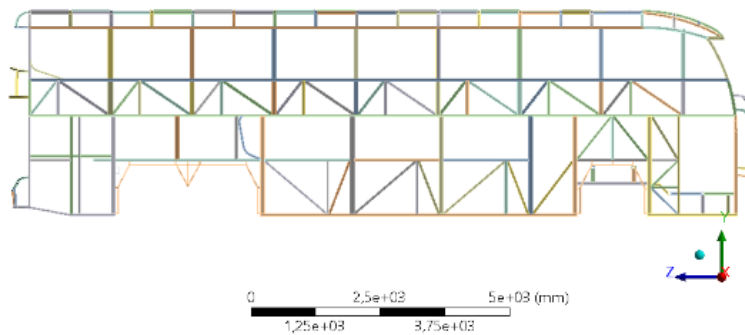


Figura 5. Vista lateral de la estructura del bus

Nota. Elaboración propia

➤ Vista superior

Se aprecia la estructura del techo del bus en forma rectangular. Son visibles los travesaños longitudinales y transversales que forman un patrón de cuadrícula en toda la parte superior del bastidor (Figura 6).

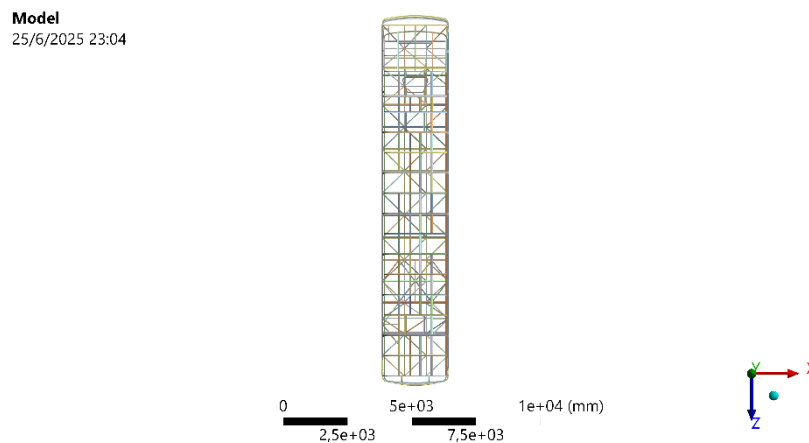


Figura 6. Vista superior de la estructura del bus

Nota. Elaboración propia

5.3.2. Cinturones

A continuación, en la figura 7 se visualiza el modelado 3D del anclaje correspondiente al cinturón de seguridad, el cual es aplicado para los dos tipos de cinturones, ya que cuentan con el mismo diseño y varía los puntos de anclaje, el diseño del anclaje fue elaborado en Autodesk Inventor 2025, permitiendo visualizar su forma y estructura.

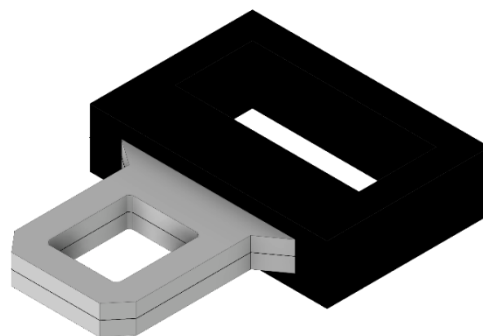


Figura 7. Anclaje del cinturón de seguridad.

Nota. Elaboración propia

5.3.3. Asientos

En la Figura 8 se muestra el modelado tridimensional de un asiento individual para buses interprovinciales, diseñado en Autodesk Inventor. El diseño se caracteriza por una geometría envolvente y superficies contorneadas, con líneas de definición visible que marcan las zonas de costura y segmentación del tapizado.



Figura 8. *Vista superior derecha de asiento de bus*

Nota. Elaboración propia

El respaldo presenta una curvatura ergonómica con inclinación hacia atrás, proporcionando soporte a la zona lumbar y dorsal del usuario. En la parte superior se observa una prolongación lateral de ambos extremos del respaldo, conformado un apoyo para la cabeza o protectores laterales, comúnmente utilizados para limitar el movimiento lateral de la cabeza.



El modelo tridimensional del asiento ha sido desarrollado con el objetivo de integrarlo en las simulaciones por elementos finitos que forman parte del análisis de impacto frontal en un bus interprovincial. Este componente será utilizado como soporte para ubicar los modelos de Dummies, permitiendo evaluar con mayor realismo la




interacción entre el pasajero, el asiento y el sistema de retención (cinturón de seguridad de dos y tres puntos) durante una colisión.

La inclusión el asiento en el entorno de simulación es fundamental para representar de manera precisa las condiciones reales que enfrentaría un pasajero al momento de impacto. De esta forma, se podrá observar las trayectorias del cuerpo, los puntos de contacto y la transferencia de esfuerzos. Además, se presenta una descripción por vistas para una mejor comprensión de la estructura del asiento (Véase Tabla 14).

Tabla 14

Descripción del asiento de bus

Componente	Imagen	Descripción
Vista frontal		Se observa el respaldo del asiento con la forma ergonómica y envolvente destacan los refuerzos laterales a la altura de la cabeza, que sobresalen hacia adelante. La base del asiento tiene bordes redondeados y una leve inclinación hacia atrás.
Vista lateral		Desde esta perspectiva se aprecia la inclinación del respaldo con respecto a la base evidenciando el diseño ergonómico del asiento. Se distingue el soporte inferior, de forma rectangular, que conecta con el piso del bus. También se puede observar la curvatura del respaldo y el diseño compacto del asiento.

<p>Vista Posterior</p>		<p>En la parte posterior del asiento nos muestra una superficie continua y lisa con una leve curvatura hacia el centro. No presenta elementos salientes, lo que facilita la instalación de filas continuas dentro del bus. La estructura inferior del soporte se mantiene centrada y alineada.</p>
<p>Vista Superior</p>		<p>Desde esta vista se evidencia la forma envolvente del respaldo a nivel de los hombros y cabeza. La base del asiento tiene un contorno trapezoide y simétrico, con líneas que marcan las divisiones del acolchado. Se aprecia claramente el diseño anatómico del respaldo.</p>
<p>Vista Inferior</p>		<p>En esta vista inferior se identifica el soporte estructural del asiento, compuesto por una base rectangular solida que simula el anclaje al piso del bus. Esta base se conecta directamente con la estructura del respaldo y permite una distribución uniforme del peso del ocupante.</p>

Nota. Elaboración propia

5.4. Análisis por medio de elementos finitos

Mediante el propósito inicial de determinar el desarrollo del comportamiento de la estructura del chasis del bus y del sistema de seguridad de los pasajeros, se aplicó el análisis de elementos finitos mediante el software ANSYS Ls-Dyna, en este software se

permite analizar de forma más precisa los detalles dinámicos y mecánicos de sus componentes en las condiciones de impacto controladas, de esta manera favoreciendo unas alternativas eficientes y seguras de los ensayos.

El modelado de la carrocería del autobús y del asiento fueron tomados en medidas reales con respecto a el autobús, mediante lo cual los asientos fueron modificados a los actuales ya que estos son diseñados con una forma más actual.

En este proceso se permite analizar de mejor manera la distribución de carga absorbida desde la estructura del autobús hacia los pasajeros (Dummys), de este modo se estimaría el nivel de seguridad que ofrecen cada sistema de retención de los pasajeros.

5.4.1. Condiciones iniciales para el análisis

Para la simulación, se considera que el bus interprovincial tiene un impacto frontal contra un muro fijo, conocido como impacto frontal por alcance, de tal manera que el área de contacto es la mitad de la parte frontal del bus.

Las condiciones iniciales que se utilizaron en la simulación (FEM) son aplicadas en función a sus normativas internacionales y diferentes parámetros que se representan en el transporte interprovincial de Ecuador (Véase Tabla 15).

Tabla 15
Condiciones para el análisis de impacto

Parámetros	Valor propuesto	Referencia
Velocidad de colisión:	64 km/h	UNECE R94
Modelo de Dummys:	Hybrid III Percentil 50	Fundación MAPFRE 2025
Material del chasis:	Acero estructural (ASTM A36)	Scania del Perú S.A., 2012
Material de asiento:	Poliuretano, base metálica	Elaboración propia
Mallado	Elementos tetraédricos (10 mm)	Zienkiewicz, 2010

Condición de contorno:	Fijación en eje trasero colisión frontal	UNECE R94
Cinturones	2 puntos (Pelvis) / 3 puntos (Pelvis + torso)	UNECE R14-R16

Nota. Elaboración propia

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. Análisis de impacto

Se presenta a continuación los resultados del análisis por medio de elementos finitos de una colisión para estudiar la forma en que el diseño de la estructura del bus se comporta frente un choque frontal. Además, es posible establecer áreas críticas de deformación, energía transferida, y desempeño de sistemas tales como los cinturones de seguridad, para lo cual se utilizó elementos finitos utilizando el software ANSYS LS-Dyna, mediante el cual se permitió verificar el desempeño del cinturón de seguridad en estudio. Es así como, para la interpretación de los efectos del impacto en el pasajero se tomó en consideración la escala de severidad de HIC (Hemorragia intracraneal), en la Tabla 16 se representa una clasificación la cual permite interpretar numéricamente el daño potencial según el valor de HIC, siendo fundamental para validar la seguridad de los sistemas de retención en pasajeros.

Tabla 16

Escala de severidad de hemorragia intracraneal

Escala de severidad del HIC		
Valor del HIC	Nivel de riesgo de lesión en la cabeza	Descripción
0 – 250	Muy bajo	Lesiones menores o ninguna
250 – 500	Bajo	Lesiones leves
500 – 1000	Moderado	Lesiones serias posibles
1000 – 1500	Alto	Lesiones severas (fractura de cráneo)
> 1500	Muy alto	Alta probabilidad de lesiones fatales

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en la Figura 9 se muestra el diseño tridimensional de la estructura del bus Scania K410 incluyendo el dummy para la simulación de colisión frontal y por su parte, en la Figura 10 presenta la calidad de la malla obtenida para el análisis por medio de elementos finitos, en donde se obtuvo un valor del Jacobiano de 1 en la mayoría de la estructura del bus interprovincial, lo cual garantiza la convergencia del método.

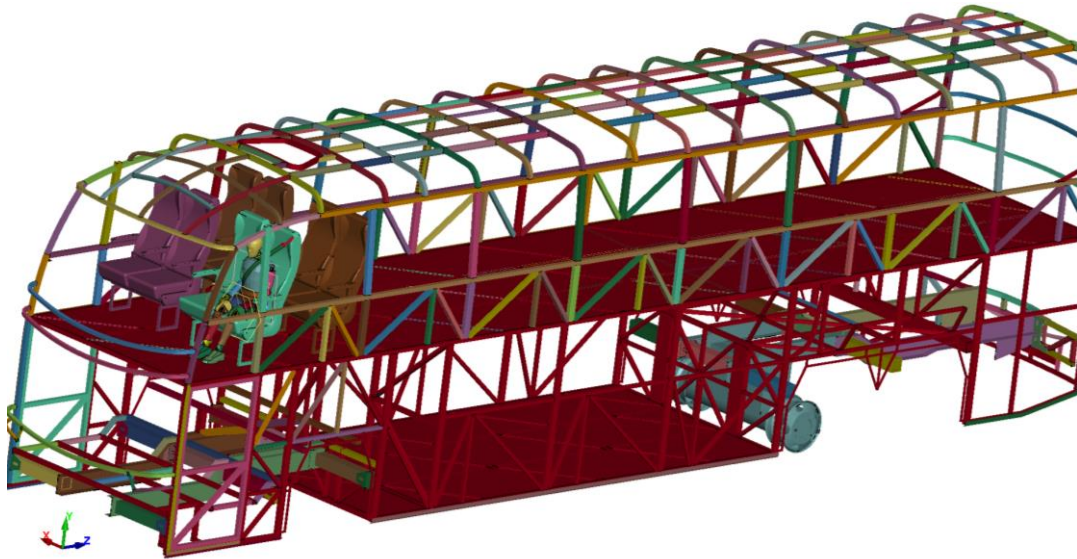


Figura 9. *Diseño tridimensional de la estructura del bus previo a la simulación de impacto*

Nota. Elaboración propia

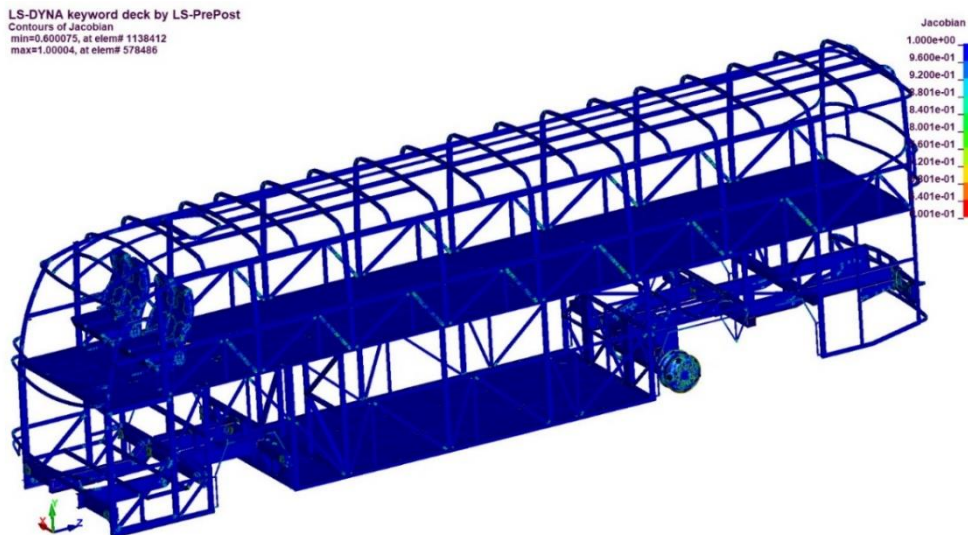


Figura 10. *Simulación de impacto a estructura de modelo de bus*

Nota. Elaboración propia

En la Figura 11 se indican los máximos esfuerzos obtenidos, valores que oscilan desde $1.177 \times 10^{-1} \text{ N/mm}^2$ a $5.883 \times 10^{-1} \text{ N/mm}^2$, ubicados en la parte de la colisión y representados con color azul y rojo respectivamente. Las energías generadas durante en el impacto se muestra en la Figura 12.

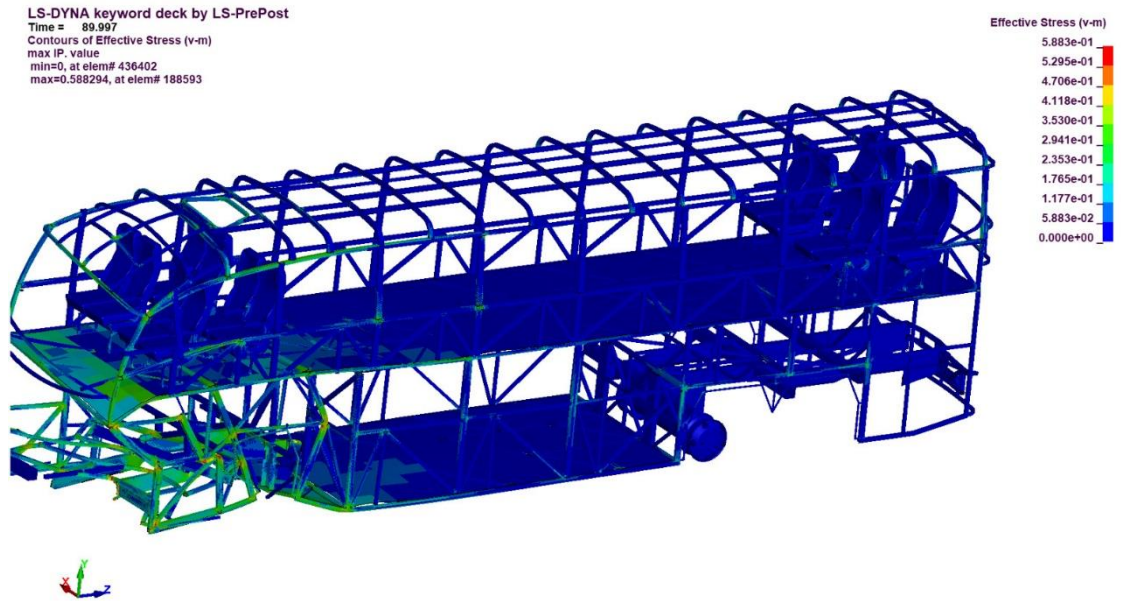


Figura 11. Esfuerzos obtenidos durante el impacto de la estructura del bus

Nota. Elaboración propia

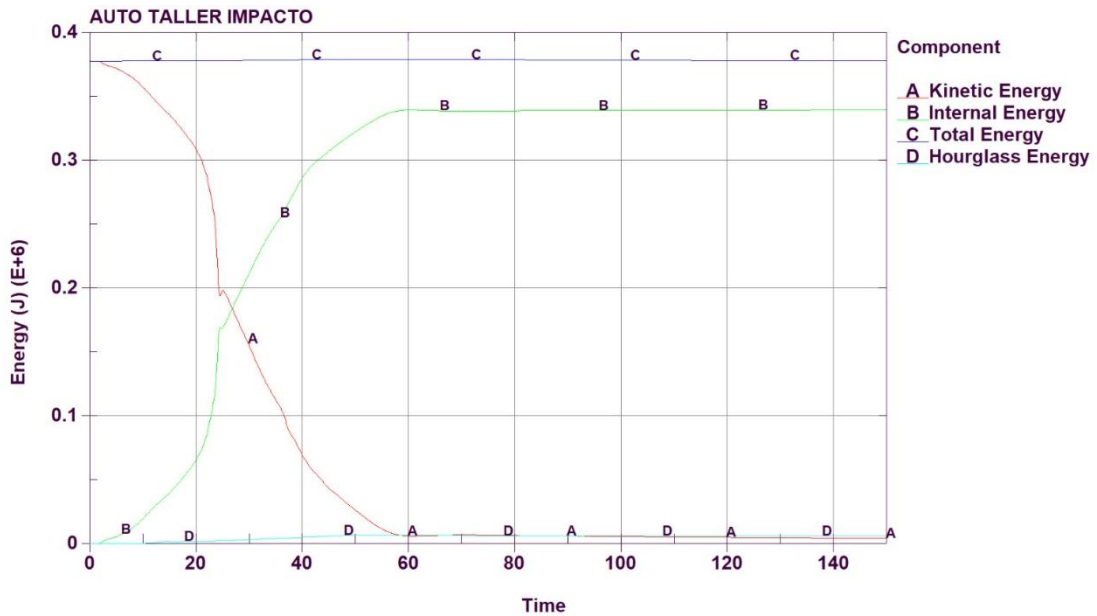


Figura 12. Energías obtenidas durante el impacto de la estructura del bus

Nota. Elaboración propia

Como se puede denotar en la Figura 12, bajo la simulación de impacto, las curvas corresponden a la energía cinética, interna, total y hourglass. El tiempo en milisegundos permite observar la transformación de energía que hay en el evento simulado. Por lo que, al inicio del tiempo, la energía cinética es la más grande y alcanza los 0.37 MJ que está relacionado con el movimiento previo al impacto. Posteriormente, la energía disminuye rápidamente hasta desaparecer en los alrededores del tiempo 60 ms que significa que el vehículo parece detenerse y su energía se transfiere al resto de la estructura.

Mientras que, la energía interna crece de forma acelerada en este mismo tiempo, lo que quiere decir que la estructura absorbe toda la energía del impacto a través de la deformación plástica. Es así como, la transferencia demuestra la efectividad del diseño estructural como un componente de seguridad pasiva. Además, la energía total permanece constante lo que corrobora una idea de conservación de la energía en el sistema y estabilidad del modelo numérico. Por otro lado, la energía de hourglass se mantiene cerca de cero, lo que indica la ausencia de distorsiones numéricas no deseadas en el mallado.

En conjunto, estos valores prueban que la estructura simulada del bus absorbe eficazmente el impacto por medio de deformación plástica. Asimismo, la energía total se conserva, y la hourglass energy es despreciable, lo que acredita la fidelidad del modelo y la eficiencia del diseño estructural ante impactos. Este tipo de análisis es esencial para garantizar la seguridad pasiva en vehículos de transporte, en particular bajo normativas tales como la UNECE R94.

La energía de Hourglass es menor al 5% de la energía total, con un valor de aproximadamente 0.005 MJ (5×10^3 J), correspondiente al 1.25% de la energía total de 0.4 MJ. Este resultado cumple con los criterios establecidos por la normativa UNECE

R66, que exige que la energía ficticia (hourglass) se mantenga por debajo del 5% del total para garantizar que el modelo represente una absorción de energía realista y confiable.

En la figura 13 se observa la deformación de la estructura del bus en los instantes inicial y final con respecto a su impacto frontal, permitiendo analizar la deformación progresiva de la estructura a lo largo de la simulación.

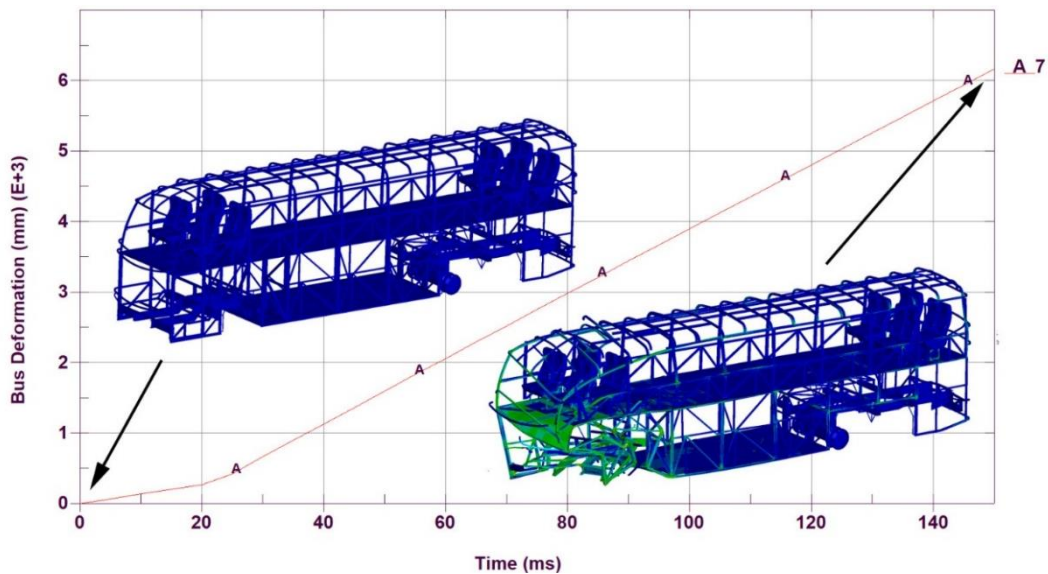


Figura 13. Curva de deformación estructural del bus antes y después

Nota. Elaboración propia

El gráfico de la Figura 13 representa la deformación global del modelo del bus durante toda la simulación. Desde el primer instante (0 ms) ya se registra desplazamiento, lo que indica que el contacto con la superficie de impacto ocurre inmediatamente, generando deformaciones progresivas. La curva muestra una tendencia casi lineal, alcanzando aproximadamente 2000 mm (2 metros) a los 60 ms y superando los 6000 mm (6 metros) al finalizar la simulación en los 140 ms. Es importante aclarar que estos valores no corresponden a una deformación puntual, sino al desplazamiento total acumulado de la estructura del bus, resultado del movimiento y absorción de energía a lo largo del impacto.

En el análisis de este comportamiento de la estructura como conclusión se tiene que el modelo es estable y eficaz, Así la calidad de la representación gráfica satisface la tarea de confirmar el estándar internacional de seguridad UNECE R94.

Seguido, se presenta en la Figura 14 la ubicación del asiento en la estructura del bus y en la Figura 15 se muestra el asiento con su pasajero que formarán parte de la simulación de colisión.

LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost

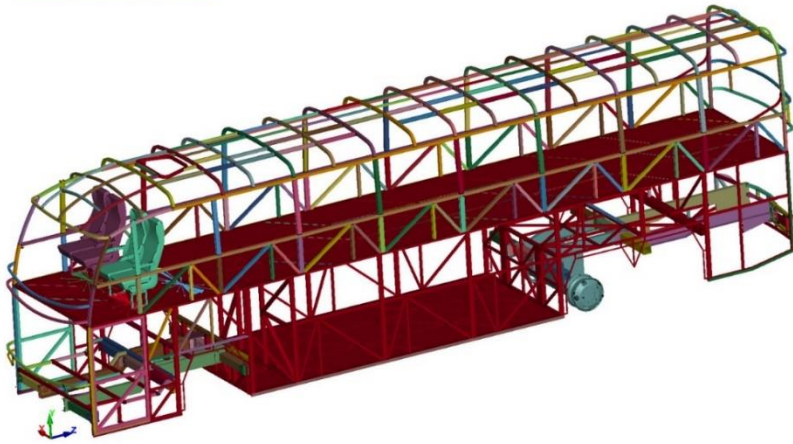


Figura 14. *Ubicación del asiento dentro de la estructura para la simulación de colisión*

Nota. Elaboración propia

LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost

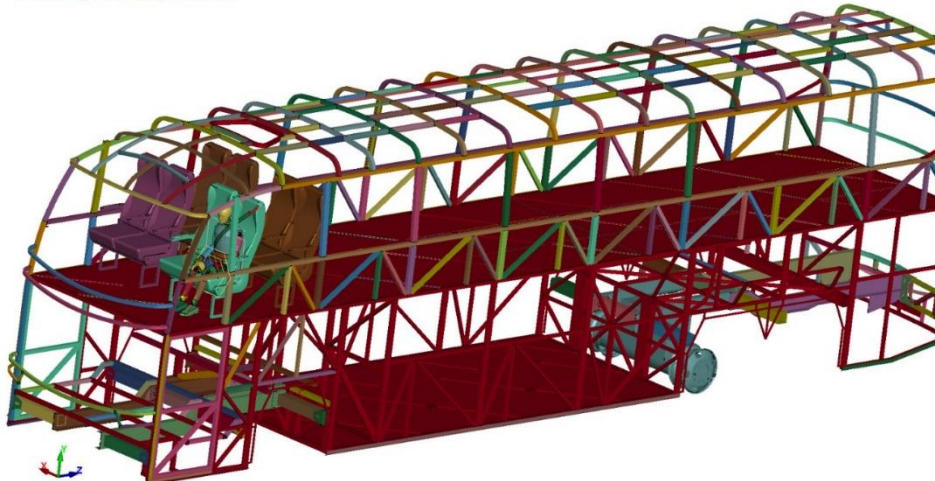


Figura 15. *Ubicación del asiento con el pasajero incorporado para la simulación de colisión*

Nota. Elaboración propia

En la Figura 15, se presenta la posición del asiento y del pasajero para la simulación de colisión frontal hecho con el software LS-DYNA. La figura muestra el modelo 3D del bus; con la estructura y el lugar del sistema de retención en la parte frontal del segundo piso. Con esta configuración, es posible conocer y evaluar con exactitud el comportamiento biomecánico del ocupante en el impacto y la eficacia del cinturón de seguridad en el dummy. De esta forma, la posición ajustada de una persona ficticia garantiza la configuración fidedigna del escenario y las condiciones, cumpliendo con las normativas de la UNECE R94.

También se exhibe en la Figura 16, la representación gráfica de la simulación de impacto sobre un pasajero ocupando el cinturón de seguridad.



Figura 16. *Simulación de impacto al usuario en el asiento del modelo Scania K410*

Nota. Elaboración propia

En la Figura 16 se presenta la simulación de impacto sobre un pasajero, en este caso, representado por un Dummy Hybrid III, sentado sobre el asiento de un bus modelo Scania K410; este modelo cuenta con un cinturón de seguridad de tres puntos. En el panel de la imagen a la izquierda, correspondiente al tiempo = 0 ms, se muestra como el dummy, ubicado en la posición inicial, se encuentra alineado perfectamente a la posición ideal y el cinturón de seguridad abrochado. En el gráfico de la derecha, para el tiempo = 99.999 ms, se ilustra el segundo de deformación máximo, es decir, el segundo en que el dummy,

producto de la desaceleración que experimenta por el impacto, es proyectado hacia adelante.

El cinturón tiene un papel esencial en la contención del torso y la pelvis del ocupante, conteniendo el cuerpo y disminuyendo el movimiento relativo del mismo, y por tanto el peligro de lesiones de gravedad. A pesar de la flexión del cuello y la proyección de los brazos, la integridad del cuerpo del pasajero se conserva en gran medida. Esta simulación permite validar la efectividad del sistema de retención pasiva frente a colisiones frontales moderadas y evaluar el comportamiento biomecánico del ocupante en condiciones de impacto.

Por último, en la Figura 17 y en la figura 18 se presentan las gráficas de los valores de HIC correspondientes al pasajero durante una colisión frontal en un bus Scania K410 6x2.

La Figura 17 hace referencia al uso del cinturón de dos puntos, mientras que la Figura 18 representa al cinturón de tres puntos. Estos diferentes resultados permiten analizar y comparar su nivel de protección en función a sus valores de HIC registrados.

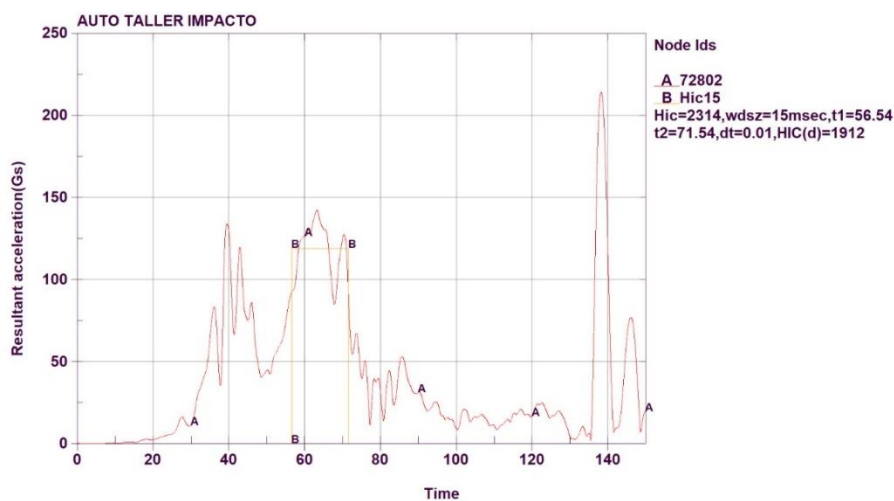


Figura 17. Fuerzas que soporta el cuerpo frente a una colisión con el uso de cinturón de dos puntos

Nota. Elaboración propia

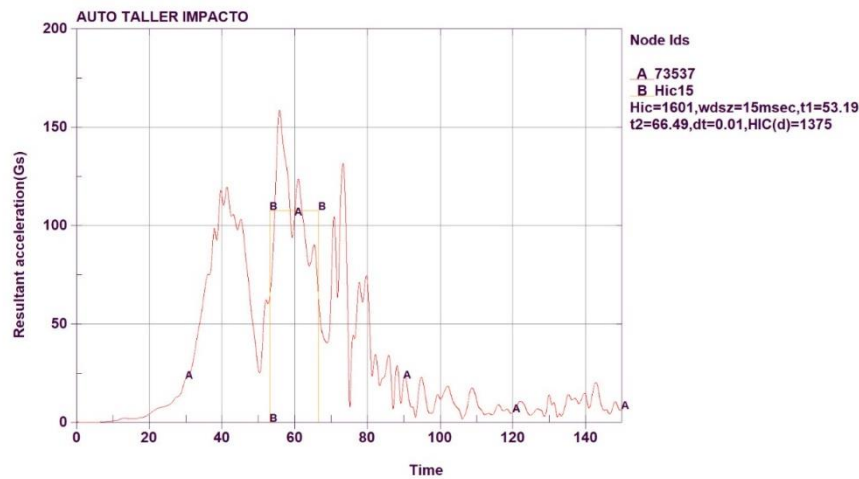


Figura 18. Fuerzas que soporta el cuerpo frente a una colisión con el uso de cinturón de tres puntos

Nota. Elaboración propia

En la primera gráfica de la Figura 17, se puede ver el valor de 1912 HIC, que excede significativamente el umbral crítico. Siguiendo la gravedad de la escala, este valor corresponde a un alto riesgo de hemorragia intracraneal severa o fatal; el mensaje es que el sistema de retención, presumiblemente, un cinturón de dos puntos no distribuye las fuerzas del impacto adecuadamente. Esto se ve reforzado por el pico de aceleración que supera los 200 Gs, lo cual representa una carga extrema para la cabeza y cuello.

En cambio, en la segunda gráfica de la Figura 18 el valor de HIC es de 1375, en la escala de severidad, esto es una lesión de moderada a grave, pero sigue siendo una cierta cantidad normal de acuerdo con los estándares internacionales. El límite principal generalmente es de 1000 HIC para impactos que no causan un daño letal. Como muestra la gráfica, el sistema de retención, (protección del cinturón de tres puntos), puede mitigar parcialmente la aceleración transmitida a la cabeza, limitando el daño potencial, a continuación, en la Tabla 17 se evidencian los resultados del análisis de los cinturones de seguridad, permitiendo comparar sus valores de HCI y su nivel de riesgo.

Tabla 17.

Evaluación de los valores de HCI según el tipo de cinturón de seguridad

Tipo de cinturón	Valor HIC	Interpretación según la escala	Nivel de riesgo	Evaluación
Dos puntos	1912	Lesión grave o crítica	Alto	Se supera su umbral, existe riesgo de lesión craneoencefálica.
Tres puntos	1375	Lesión moderada a grave	Moderado	Supera su umbral, pero se encuentra dentro del límite aceptable

Nota. Elaboración propia.

A partir de estos resultados obtenidos, se evidencia que el cinturón de tres puntos brinda una respuesta más eficaz ante impactos frontales contra elementos fijos, su valor de HIC de 1375 se encuentra en un nivel muy aceptable según la escala internacional, lo cual permite una reducción muy significativa de riesgos de fracturas craneoencefálicas y lesiones vertebrales.

En contraste el cinturón de dos puntos no cumple con su seguridad al registrar un valor de 1912 HIC, lo cual supera ampliamente el umbral de seguridad establecido, de esta manera lo cual indica un riesgo elevado de lesiones severas.

Por lo cual, se expone la efectividad superior del cinturón de tres puntos en la protección del pasajero en su seguridad pasiva. Como tal, no cabe duda de que este sistema puede disminuir de modo significativo la probabilidad de lesiones craneoencefálicas y fracturas en un impacto frontal. Por lo tanto, el resultado del análisis mejora a la justificación de la implementación en el sistema de transporte interprovincial en el Ecuador.

Conclusiones

El desarrollo del presente estudio se logró realizar un análisis comparativo técnico del desempeño de los cinturones de seguridad de dos y tres puntos, aplicados a un escenario de colisión frontal en un bus de servicio interprovincial. Los resultados obtenidos mediante las simulaciones computacionales en LS-DYNA y el modelado 3D en Autodesk Inventor 2025 permitieron visualizar con precisión el comportamiento estructural del bus y la respuesta biomecánica del pasajero ante el impacto

El análisis del indicador HIC evidencio que el cinturón de dos puntos alcanzó un valor crítico de 1912, superando ampliamente el límite de 1000 HIC, lo que implica un alto riesgo de lesiones craneoencefálicas. Por su parte, el cinturón de tres puntos presentó un valor de 1375, también por encima del límite aceptable, pero en un rango moderado, lo que indica un desempeño más favorable en la mitigación de aceleración hacia la cabeza del ocupante.

Desde el punto de vista estructural, el modelado tridimensional permitió analizar detalladamente la deformación progresiva del bus durante la simulación. Se observó que las zonas de mayor absorción de energía se concentraron en la parte frontal, evidenciando que el diseño estructural del bus permite una adecuada disipación de energía ante colisiones frontales. La energía Hourglass registrada fue del 1,25 % respecto a la energía total del sistema, valor que se encuentra por debajo del límite del 5 % establecido por la normativa UNECE R66. Esto indica que la malla utilizada posee una calidad numérica aceptable y que los resultados obtenidos son confiables y físicamente representativos.

Finalmente, se concluye que la adopción del cinturón de tres puntos en buses interprovinciales mejora considerablemente la seguridad del pasajero, reduciendo la

probabilidad de lesiones graves y justificando su implementación como una medida efectiva de seguridad pasiva en el sistema de transporte terrestre.

Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda que una de las medidas prioritarias exigidas sea la instauración obligatoria de cinturones de seguridad de tres puntos en las unidades de transporte interprovinciales; esta recomendación debe ser tomada en cuenta por las autoridades competentes en el marco de una reforma normativa que incluya la exigencia de estándares mínimos de seguridad a las dispuestas de los usuarios. La evidencia articulada por el análisis por elemento finitos obtenida en este estudio demuestra una disminución del riesgo de lesiones graves gracias a la mayor eficiencia de la distribución de la fuerza generada en el impacto frontal a través de zonas anatómicas naturalmente resistentes.

Además, los entes reguladores y de control como la Agencia Nacional de Tránsito y el Instituto Ecuatoriano de Normalización deben actualizar la normativa respectiva (NTE INEN 1323 y RTE INEN 034) proponiendo lineamientos más estrictos sobre el SRC. Estas reformas deben basarse en los reglamentos internacionales UNECE R14 y R16 relacionados con los cinturones de seguridad en el ámbito del transporte colectivo, que detallan los directorios técnicos del lugar, resiliencia y función de los cinturones de seguridad en estos vehículos de transporte colectivo.

Con respecto al ámbito técnico, se recomienda que las empresas carroceras y los fabricantes de autobuses implementen el modelado y análisis de elementos finitos como una herramienta de diseño y validación de la carrocería de seguridad. De esta forma, se prevé el comportamiento de las estructuras y sistemas de retención bajo las condiciones

de accidente, lo que permite obtener un diseño óptimo ya desde las etapas iniciales y disminuir los riesgos para los pasajeros.

Finalmente, se aconseja realizar campañas de sensibilización a los usuarios y operadores del transporte interprovincial, fomentando el correr el cinturón de seguridad desde el punto de partida al destino. De nada sirven tecnologías de avanzada si el pasajero no las activa. La carretera es de todos y, para fortificarla es obligatorio afianzar el rol activo del Estado, la empresa, la academia y la ciudadanía.

Referencias bibliográficas

- Anund, A., Forward, S., & Sjörs Dahlman, A. (2023). Seat belt usage in buses—An observation study of usage and travellers' perspectives. *Accident; Analysis and Prevention*, 190, 107138. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107138>
- Arroba, C. H., & Núñez, D. F. (2018). Evaluación mediante software de la efectividad de los anclajes de cinturón de seguridad de un asiento comercial de autobús según la regulación ECE R14. *Enfoque UTE*, 9(2), 138-148. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.298>
- Ballay, M., Kasanický, G., Kohút, P., & Macurová, L. (2022). Crash Test for the Evaluation of Vehicle Safety. En O. Prentkovskis, I. Yatskiv (Jackiva), P. Skačkauskas, R. Junevičius, & P. Maruschak (Eds.), *TRANSBALTICA XII: Transportation Science and Technology* (pp. 194-201). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94774-3_19
- Calero, P. (2020). *El cinturón de seguridad y el índice de mortalidad por accidentes de tránsito* [Tesis de Pregrado, Universidad Regional Autónoma de los Andes]. <https://dspace.uniandes.edu.ec/bitstream/123456789/12442/1/CALERO%20ORT%c3%8dZ%20PABLO%20ANDR%c3%89S.pdf>
- Chery. (2022). *Conoce los distintos tipos de cinturones seguridad que existen y sus funciones*. <https://blog.chery.com.ec/conoce-los-distintos-tipos-de-cinturones-seguridad-que-existen-y-sus-funciones>
- Cocha, E., & Guanotasig, J. (2022). *Estudio de los sistemas de seguridad activa y pasiva de vehículos automotores categoría M, N y O, subclases M3, N1, N2, N3, O1, O2, O3 Y O4 de acuerdo a las Normas establecidas por Servicio Ecuatoriano De Normalización (INEN)* [Tesis de Pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas].

- <https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ebde8437-1ea6-4394-a04d-2ab08c116f1f/content>
- EngMorph. (2021). *Mesh Quality Parameters in Finite Element Analysis*. EngMorph. <https://www.engmorph.com/mesh-quality-parameters>
- Fundación MAPFRE. (2025). *Dummy*. Fundación MAPFRE. <https://www.fundacionmapfre.org/publicaciones/diccionario-seguridad-vial-infantil/dummy/>
- Guerrera, A., Fernández, A., Martínez, P., & Serulnicoff, M. (2022). Los sistemas de seguridad vehicular y su impacto en la siniestralidad vial. *Dirección Nacional de Observatorio Vial y Ministerio de Transporte Argentina*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/06/ansv_ov_dossier_investigacion_n7.pdf
- Holenko, K., Dykha, O., Koda, E., Kernyskyy, I., Royko, Y., Horbay, O., Berezovetska, O., Rys, V., Humenuyk, R., Berezovetskyi, S., Żółtowski, M., Markiewicz, A., & Wierzbicki, T. (2024). Validation of Frontal Crashworthiness Simulation for Low-Entry Type Bus Body According to UNECE R29 Requirements. *Applied Sciences*, 14(13), 5595. <https://doi.org/10.3390/app14135595>
- Huecker, M. R., & Stretanski, M. F. (2025). Seat Belt Injury. En *StatPearls*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/books/NBK470262/>
- Ibañez, Á. (2024). *Historia de los crush test dummies, los muñecos de prueba de coches*. Tecvolución. <https://tecvolucion.com/historia-dummies-seguridad/>
- INEN. (2009a). *Norma tecnica ecuatoriana nte inen 1 155—2009—Vehículos automotores. Dispositivos para mantener la visibilidad*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. <https://www.studocu.com/ec/document/instituto-tecnologico->

bolivariano-de-tecnologia/administracion/norma-tecnica-ecuatoriana-nte-inen-1-155-2009/28839559

INEN. (2009b). *Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2671/3/001%20ANEXO%2001%20-%20norma%20tecnica%20ecuatoriana%20nte%20inen%201%20323%20-%202009.pdf>

Jamroziak, K., Jozsko, K., Wolanski, W., Gzik, M., Burkacki, M., Suchon, S., Szarek, A., & Zielonka, K. (2020). Experimental and modelling research on coach passengers' safety in frontal impacts. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 20(3), 96. <https://doi.org/10.1007/s43452-020-00103-4>

Jaśkiewicz, M., Frej, D., Tarnapowicz, D., & Poliak, M. (2020). Upper Limb Design of an Anthropometric Crash Test Dummy for Low Impact Rates. *Polymers*, 12(11), 2641. <https://doi.org/10.3390/polym12112641>

Kazaleh, M., Meschia, C., & Crandall, M. (2025). Motor Vehicle Safety – Has Technology and Legislation Made a Difference? *Current Trauma Reports*, 11(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s40719-025-00282-6>

Lee, S. (2025). *Mastering Element Types in FEA. A Comprehensive Guide to Finite Element Analysis in Structural Engineering*. <https://www.numberanalytics.com/blog/ultimate-guide-element-types-fea-structural-engineering>

Li, Z., Gao, R., McCoy, R., Hu, H., He, L., & Gao, Z. (2023). Effects of an integrated safety system for swivel seat arrangements in frontal crash. *Frontiers in*

<https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1153265>

Lopes, Z. A. (2011). *El método de los elementos finitos: Una introducción*. Libros URU.

https://libros.fondoeditorial.uru.edu/index.php/lb/catalog/book/dafonsecalopes2011?utm_source=chatgpt.com

Mendoza, P., & Tapia, D. (2021). *Evaluación de las características de diseño y manufactura de las carrocerías de autobuses interprovinciales en el Ecuador, con énfasis en la respuesta que estas brindan en caso de presentarse un vuelco lateral*. Tesis de Pregrado, Universidad del Azuay.

Ministerio de Transporte de Argentina. (2023). *Impacto de los siniestros viales sobre la salud: Lesiones y mecanismos de prevención*. [Dirección Nacional de Observatorio Vial]. Argentina.gob.ar.

<https://www.argentina.gob.ar/seguridadvial/observatoriovialnacional/impacto-de-los-siniestros-viales-sobre-la-salud-lesiones-y>

Moriche, M. (2008). *Estudio del Efecto del Cinturón de Seguridad y del Airbag en el Ocupante de un Vehículo en Caso de Colisión* [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. <https://e-archivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/976a152d-2ff4-4743-a349-6997317cdd2a/content>

Ning, H., Yu, Y., & Bai, L. (2022). Unsafe Behaviors Analysis of Sideswipe Collision on Urban Expressways Based on Bayesian Network. *Sustainability*, 14(13), 8142. <https://doi.org/10.3390/su14138142>

Okyere, P., Agyei-Baffour, P., Harris, M., Mock, C., Yankson, I., Donkor, P., & Owusu-Dabo, E. (2022). Seatbelt use among bus passengers in Ghana: Observed versus

- self-reported. *International journal of injury control and safety promotion*, 29(3), 394-398. <https://doi.org/10.1080/17457300.2022.2056617>
- Özgün. (2023). *Ansys Mesh Metrics Explained*. Mechead. <https://www.mehead.com/mesh-quality-checking-ansys-workbench/>
- Paucar, C. I., Pozo, E. R., & Aquino, S. M. (2022). Análisis de lesiones en el conductor para impactos frontales por simulación computacional. *Polo del Conocimiento*, 7(1), 1662-1693. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i1.4124>
- Perumal, P. S., Sujasree, M., Chavhan, S., Gupta, D., Mukthineni, V., Shimgekar, S. R., Khanna, A., & Fortino, G. (2021). An insight into crash avoidance and overtaking advice systems for Autonomous Vehicles: A review, challenges, and solutions. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 104, 104406. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104406>
- Plaza, D. (2025). *Qué son los Dummies, para qué sirven y qué aportan al desarrollo de los vehículos*. Motor.es. <https://www.motor.es/que-es/dummies>
- Poliak, M., Frej, D., Jaśkiewicz, M., Caban, J., Górniak, A., Gidlewski, M., Hajduk, I. E., Kubiak, P., & Tarnapowicz, D. (2024). Analysis of Head Movement in KPSIT Dummies and the Impact of Seats and Seat Belts during Low-Speed Collisions 20 km/h. *Sensors*, 24(17), 5714. <https://doi.org/10.3390/s24175714>
- Prochowski, L., Ziubiński, M., Dziewiecki, K., & Sz wajkowski, P. (2022). Impact energy and the risk of injury to motorcar occupants in the front-to-side vehicle collision. *Nonlinear Dynamics*, 110(4), 3333-3354. <https://doi.org/10.1007/s11071-022-07779-8>
- Radzi, M., Abidin, Z., & Azman, N. (2021). Side-Impact Collisions involving Passenger Vehicles in Real-World Crashes. *Journal of the Society of Automotive Engineers Malaysia*, 5(3), 439-448. <https://doi.org/10.56381/jsaem.v5i3.186>

- Renting Finders. (2022). *¿Qué son los Crash Test Dummies?* Renting Finders.
<https://rentingfinders.com/glosario/crush-test-dummies/>
- Scania del Perú S.A. (2012). *Scania K410 6x2 Especificación* [Ficha técnica].
- SDC. (2025). *The Fundamentals of Mesh Quality in FEA*.
<https://sdcverifier.com/structural-engineering-101/the-fundamentals-of-mesh-quality/>
- Soica, A., & Gheorghe, C. (2025). A Review of Seatbelt Technologies and Their Role in Vehicle Safety. *Applied Science*, 15(10), 5303.
<https://doi.org/10.3390/app15105303>
- Tecnología del Automóvil. (2021). *Módulo 3.4—Seguridad*. <https://tecnologia-automovil.com/modulo-3-4-seguridad/>
- UNECE. (2025). *Vehicle Regulations*. United Nations Economic Commission for Europe. <https://unece.org/transport/vehicle-regulations>
- Ureta, C. G. (2024). *Desarrollo de un sistema de seguridad vehicular avanzado mediante el uso de una placa microcontroladora para mejorar la seguridad en vehículos del Distrito Metropolitano de Quito* [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27181>
- Zienkiewicz, O. C. (2010). *El método de los elementos finitos*. Reverte.