



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS DEL HABITÁCULO DE UN CAMIÓN TIPO N3 DURANTE UNA COLISIÓN  
FRONTAL**

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

**AUTORES: RONALD FERNANDO MONCADA LUCERO**  
**GALO RUBÉN PEÑALOZA BACUILIMA**  
**TUTOR: ING. MARCO ESTEBAN AMAYA PINOS, MSc.**

Cuenca - Ecuador

2022

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Ronald Fernando Moncada Lucero con documento de identificación N° 0104739669 y Galo Rubén Peñaloza Bacuilima con documento de identificación N° 0105320659; 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, 01 de agosto del 2022

Atentamente,



---

Ronald Fernando Moncada Lucero  
0104739669



---

Galo Rubén Peñaloza Bacuilima  
0105320659

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

Nosotros, Ronald Fernando Moncada Lucero con documento de identificación N° 0104739669 y Galo Rubén Peñaloza Bacuilima con documento de identificación N° 0105320659, 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 del habitáculo de un camión tipo N3 durante una colisión frontal”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Cuenca, 01 de agosto del 2022

Atentamente,



---

Ronald Fernando Moncada Lucero

0104739669



---

Galo Rubén Peñaloza Bacuilima

0105320659

## 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 DEL HABITÁCULO DE UN CAMIÓN TIPO N3 DURANTE UNA COLISIÓN FRONTAL, realizado por Ronald Fernando Moncada Lucero con documento de identificación N° 0104739669 y por Galo Rubén Peñaloza Bacuilima con documento de identificación N° 0105320659, 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, 01 de agosto del 2022

Atentamente,



---

Ing. Marco Esteban Amaya Pinos, MSc.

0102263480

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de titulación dedico a mis padres León y Leonor, por confiar y creer en mí, por ser el mejor ejemplo de seres humanos que la vida me ha concebido, por su dedicación, consejos y regalarme días valiosos, por educarme con la sencillez de su corazón.*

*A mis hermanos, Johnny, Adriana y Tania, por compartir momentos de calidad, por ser el apoyo constante y ser mis maestros de vida y los mejores guías del camino.*

*A mis amigos de vida, por estrecharme la mano, aportar en mi proyecto de vida.*

***Galo Rubén Peñaloza Bacuilima***

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de titulación lo dedico a mis padres Alejandrina y Rigoberto, por la confianza brindada, por el apoyo moral y económico, por ser el pilar fundamental durante todo este trayecto de aprendizaje, gracias por su amor y constancia para formarme como un hombre de bien.*

*A mi hermana Daysi, por animarme a seguir en este arduo camino, por acompañarme en los momentos más duros y regalarme momentos de felicidad.*

*A mi novia Fernanda, por las noches en vela, por la paciencia dentro de nuestro hogar, por la motivación, las alegrías y el apoyo emocional brindado durante este proyecto.*

*A mi hijo Noah, por ser el ángel de mi guarda, la luz en mis momentos más difíciles, por brindarme esperanza y ser la motivación para continuar adelante pese a cualquier adversidad.*

*A mi familia en general, que de una u otra manera me apoyaron de manera incondicional.*

**Ronald Fernando Moncada Lucero**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecemos a Dios y nuestras familias por guiar y acompañarnos en nuestros objetivos de vida, por ser nuestra fortaleza día a día, por brindarnos la oportunidad de tener días llenos de aprendizajes, experiencias y felicidad, por confiar y motivarnos para cumplir con las metas planteadas.*

*A la Universidad Politécnica Salesiana, y de manera particular a cada uno de los distinguidos docentes quienes con su ética colaboraron en nuestra formación profesional.*

*Nuestro más sincero agradecimiento al Ingeniero Marco Amaya por su apoyo incondicional, al ser nuestro tutor de trabajo de titulación, gracias por su tiempo y completa disponibilidad en el avance y desarrollo del trabajo, por sus observaciones, recomendaciones, por ser un ejemplo profesional y por su total confianza.*

*Al Ingeniero Marco Esteban Amaya Pinos, por contribuir con sus conocimientos a la realización del trabajo de titulación, por estar pendiente y motivar para la culminación del mismo.*

*Agradecemos a todos nuestros compañeros de clase  
por haber hecho de nuestra etapa universitaria un  
trayecto de vida inolvidable.*

***Ronald Moncada***

***Rubén Peñaloza***



## RESUMEN

El presente proyecto técnico tiene la finalidad de conseguir la titulación de fin de grado donde, se realiza un análisis del habitáculo de un camión durante una colisión frontal, conforme a la normativa y reglamentación técnica que dicta la Comisión Económica de las Naciones Unidas (UNECE). Para lo cual se realizó un análisis de impacto frontal aplicado al camión tipo N3 a distintas velocidades. De acuerdo al objeto de estudio y en base a las estadísticas de la Agencia Nacional de Tránsito, existen altos índices de siniestros a causa de vehículos comerciales, donde se carece de regulación y normativa de elementos de seguridad y homologación de cabinas.

Para el estudio se emplea la metodología de elementos finitos (MEF), mediante el software LS-DYNA, que, en conjunto con la normativa de la Comisión Económica de las Naciones Unidas, permite el análisis, la validación y deformación del habitáculo en caso de una colisión frontal.

La aplicación del Reglamento N°29 de la CEPE, define el estudio a velocidades para ensayos de impacto frontal para la homologación de vehículos, la protección de los ocupantes de la cabina del vehículo comerciales, en condiciones estáticas del vehículo. El estudio actual toma como principales elementos de análisis los ensayos de impacto, testeo y evaluación, sujetos al programa independiente para América Latina y el Caribe denominada, LATIN NCAP; el vehículo es sometido a un impacto frontal contra una barrera fija al 40%, establecida desde la parte frontal más ancha hacia la mitad, sin incluir los retrovisores, replicando un choque frontal real.

***Palabras clave:*** Colisión Frontal, Método de Elementos Finitos, Accidentes de Tránsito, Mecánica Automotriz, Deformación del Habitáculo, Seguridad en Camiones.

## **ABSTRACT**

The purpose of this technical project is to obtain a graduate degree in which an analysis of the passenger compartment of a truck during a frontal collision is carried out, in accordance with the norms and technical regulations dictated by the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). For this purpose, a frontal impact analysis applied to the N3 type truck at different speeds was carried out. According to the object of study and based on the statistics of the "Agencia Nacional de Tránsito", there are high rates of accidents caused by commercial vehicles, where there is a lack of regulation and norms of safety elements and homologation of passenger compartments.

The study employs the finite element methodology (FEM), using LS-DYNA software, which, in conjunction with the United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (UNECE) standards, allows the analysis, validation and deformation of the passenger compartment in the event of a frontal collision.

The application of UNECE Regulation No. 29 defines the study at speeds for frontal impact tests for the approval of vehicles, the protection of the occupants of the commercial vehicle passenger compartment, under static conditions of the vehicle. The current study takes as main elements of analysis the impact tests, testing and evaluation, subject to the independent program for Latin America and the Caribbean called LATIN NCAP; the vehicle is subjected to a frontal impact against a fixed barrier at 40%, established from the widest front part towards the middle, not including the mirrors, replicating a real frontal crash.

**Keywords:** *Frontal Collision, Finite Element Method, Traffic Accidents, Automotive Mechanics, Cabin Deformation, Truck Safety.*

## ÍNDICE

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN II	
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT.....	X
1. Introducción.....	1
2. Problema de estudio.....	2
2.1 Antecedentes .....	2
2.2 Importancia y Alcances .....	3
2.3 Delimitación.....	3
3. Objetivos.....	5
3.1 Objetivo General. -.....	5
3.2 Objetivos Específicos. -.....	5
4. Accidentes de tránsito .....	6
4.1. Teoría del accidente de tránsito.....	7
4.1.1. Accidentes relacionados con el factor vehículo .....	7
4.1.2. Accidentes relacionados con el factor humano. ....	14
4.2. Estadísticas Nacionales de comercialización de vehículos pesados y accidentes automotrices .....	14
4.2.1. Estadísticas Nacionales de venta de vehículos comerciales .....	14
4.2.2. Estadísticas Nacionales de accidentes de tránsito .....	16
4.2.3. Descripción por Choque frontal, general, camiones involucrados.....	23
4.2.4. Descripción de la tasa de crecimiento y decrecimiento en el Azuay; siniestros, lesionados y fallecidos en sitio serie histórica años: 2019, 2020 y 2021 .....	27
5. Normativa Nacional.....	31

5.1. Subcategoría N3 .....	32
5.1.1. NTE INEN-ISO 3833 Vehículos automotores. Tipos. Términos y definiciones para la categoría N3.....	33
5.1.3. Elementos mínimos de seguridad .....	34
5.1.4. Protección para colisión frontal INEN 2713 .....	34
5.2 Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa. - UNECE.....	34
5.2.1 Reglamento No.29 UNECE de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE). .....	35
5.3 LATIN NCAP .....	38
5.3.1 Ensayo para protección del pasajero adulto .....	38
6. Estado del arte.....	41
6.1 Trabajos relacionados.....	41
7. Determinación las condiciones de entorno para la aplicación del método de elementos finitos en un impacto frontal a diferentes velocidades de impacto. ....	46
7.1 Análisis Mediante el Método de Elementos Finitos. - .....	46
7.2 Material y propiedades .....	47
7.4 Datos del Modelo Matemático .....	47
8. Análisis de Colisión frontal del camión tipo N3.....	49
8.1 Modelado de la Estructura del camión tipo N3.....	50
8.2.1 Análisis de Impacto de Velocidad a 30, 60 y 90 km/h. ....	51
8.2.2 Descripción de contactos de impacto. ....	51
8.2.3 Implementación de malla y elementos finitos al modelado del camión tipo N3.....	52
9. Resultados.....	53
9.1 Esfuerzos de Von Mises y Energías.....	53
9.2 Deformación.....	61
9.3 Velocidad de impacto.....	64
10. Conclusiones.....	67
11. Recomendaciones .....	69
12. Bibliografía .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación U.P.S .....	4
<b>Figura 2.</b> Arrollamiento. ....	9
<b>Figura 3.</b> Atropello.....	9
<b>Figura 4.</b> Estrellamiento.....	10
<b>Figura 5.</b> Volcamiento lateral .....	10
<b>Figura 6.</b> Volcamiento longitudinal .....	11
<b>Figura 7.</b> Rozamiento.....	11
<b>Figura 8.</b> Rozamiento positivo.....	12
<b>Figura 9.</b> Rozamiento negativo.....	12
<b>Figura 10.</b> Caída del pasajero .....	13
<b>Figura 11.</b> Pérdida del carril. ....	13
<b>Figura 12.</b> Venta anual de vehículos comerciales-Ecuador.....	15
<b>Figura 13.</b> Venta 2019-2021 de Camiones en el Ecuador. ....	16
<b>Figura 14.</b> Siniestros de tránsito en el Ecuador por mes, año 2021.....	18
<b>Figura 15.</b> Lesionado de tránsito en el Ecuador por mes, año 2021.....	18
<b>Figura 16.</b> Fallecidos en siniestros de tránsito en el Ecuador por mes, año 2021. ....	19
<b>Figura 17.</b> Siniestros de tránsito por provincia. ....	20
<b>Figura 18.</b> Lesionados en accidentes de tránsito.....	21
<b>Figura 19.</b> Fallecidos en accidentes de tránsito. ....	23
<b>Figura 20.</b> Choques Frontales reportes mensuales, 2021.....	24
<b>Figura 21.</b> Choques frontales ocurridos por provincias.....	25
<b>Figura 22.</b> Choque frontal por clase de vehículos. ....	26
<b>Figura 23.</b> Choques frontales por vehículos involucrados.....	27
<b>Figura 24.</b> Siniestros de Tránsito en la provincia del Azuay.....	28
<b>Figura 25.</b> Siniestros de tránsito reporte enero-diciembre 2021 .....	29
<b>Figura 26.</b> Lesionados en sitio, provincia del Azuay.....	30
<b>Figura 27.</b> Fallecidos en sitio en la provincia del Azuay.....	31
<b>Figura 28.</b> Prueba de impacto Ensayo A.....	37
<b>Figura 29.</b> Prueba de impacto Ensayo B.....	38

<b>Figura 30.</b> Impacto frontal con pared al 40%. .....	40
<b>Figura 31.</b> Dimensionamiento de la carrocería del camión .....	48
<b>Figura 32.</b> Vista frontal del camión .....	48
<b>Figura 33.</b> Vista posterior del camión.....	49
<b>Figura 34.</b> CAD del modelado del camión parte Frontal.....	50
<b>Figura 35.</b> CAD del modelado del camión parte lateral. ....	50
<b>Figura 36.</b> Enmallado completo en el software LS-DYNA.....	52
<b>Figura 37.</b> Relación de Jacobiano, calidad de malla.....	53
<b>Figura 38.</b> Esfuerzo de Von Mises (GPa) Vista frontal de impacto a 30 Km/h.....	54
<b>Figura 39.</b> Energías obtenidas de la simulación del impacto frontal del Camión a 30Km/h.....	56
<b>Figura 40</b> Esfuerzo de Von Mises (GPa) a 60 Km/h.....	57
<b>Figura 41.</b> Energías obtenidas de la simulación del impacto frontal del camión a 60 Km/h. ...	58
<b>Figura 42.</b> Esfuerzo de Von Mises (GPa) a 90 Km/h.....	59
<b>Figura 43.</b> Energías obtenidas de la simulación del impacto frontal del Camión tipo N3. ....	61
<b>Figura 44.</b> Deformación 30Km/h.....	62
<b>Figura 45.</b> Deformación a 60Km/h. ....	63
<b>Figura 46.</b> Deformación a 90Km/h. ....	64
<b>Figura 47.</b> Velocidad a 30Km/h.....	65
<b>Figura 48.</b> Velocidad a 60Km/h.....	66
<b>Figura 49.</b> Velocidad a 90Km/h.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Subcategoría N3.....	32
<b>Tabla 2.</b> Ficha técnica .....	47
<b>Tabla 3.</b> Comparación de los valores de energía total y Hourglass. ....	61
<b>Tabla 4.</b> Síntesis de los valores obtenidos de la deformación a las velocidades planteadas.....	64

## **1. Introducción**

En el presente trabajo de titulación está dirigido para un análisis de impacto frontal, durante una colisión frontal de un vehículo tipo N3, aplicado el método de elementos finitos para el análisis biomecánico, en constancia de los altos índices de accidentalidad ocasionados por impacto frontal en transporte de carga comercial que circulan en el Ecuador, que durante los últimos años se han incrementado según los organismos de control, consiguiente que la estructura de la cabina y el cinturón de seguridad, son los únicos elementos de protección que salvaguardan a los conductores durante la colisión frontal.

En el Ecuador la homologación de las unidades de transporte comercial terrestre, se enfocan en aspecto generales, por defecto es necesario una determinación del análisis cualitativo y cuantitativo con respecto a la seguridad activa y pasiva del camión tipo N3, con respecto a una colisión frontal.

Las estadísticas que se presentan cada año son dispuestas por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), donde demuestran que los camiones es uno de los medios en los que se producen menos accidentes y en los que se ven involucrados un menor número de afectados, sin embargo, cuando tiene lugar un siniestro de tránsito en sitio, son de gran número de importancia ya que a menudo el resultado es muy desafortunado especialmente en el operador o sus operadores.



## **2. Problema de estudio**

Los múltiples accidentes de tránsito en los que se encuentran involucrados los vehículos de transporte comercial son elevados, de los cuales, las colisiones frontales ocupan un lugar de interés por la cantidad de conductores con lesiones graves o fallecidos, producto del incidente. Las colisiones frontales afectan directamente en el habitáculo del conductor y en la gran mayoría de casos el espacio de supervivencia no es lo suficientemente seguro. A nivel nacional se han confirmado 21.352 accidentes de tránsito hasta el 31 de diciembre del año 2021, en donde la provincia del Azuay reporta la cantidad de siniestros de 836, con 624 lesionados y un total de 98 fallecidos hasta diciembre del 2021.

### **2.1 Antecedentes**

Según el INEC hasta el año 2020 el total de camiones matriculados en el Ecuador es de 106.003; estos cuentan con sistemas de seguridad integrados activos y pasivos, durante la conducción. Sin embargo, las estadísticas lanzadas por el INEC muestran que los camiones que se han vistos involucrados en siniestros de tránsito hasta el 31 de diciembre del año 2021 ascienden a 1.459, con un total de 1459 personas lesionadas y 958 muertes, mostrando que la tendencia referente a la cantidad de fallecidos se encuentra en aumento a nivel nacional para el año 2021. (INEC, 2021)

Esta situación plantea varias interrogantes en base a la normativa y reglamentación ecuatoriana, puesto que, la cantidad de fallecidos es proporcional al aumento de accidentes. Los parámetros de inspección y regulación de carrocerías para camiones que circulan en el

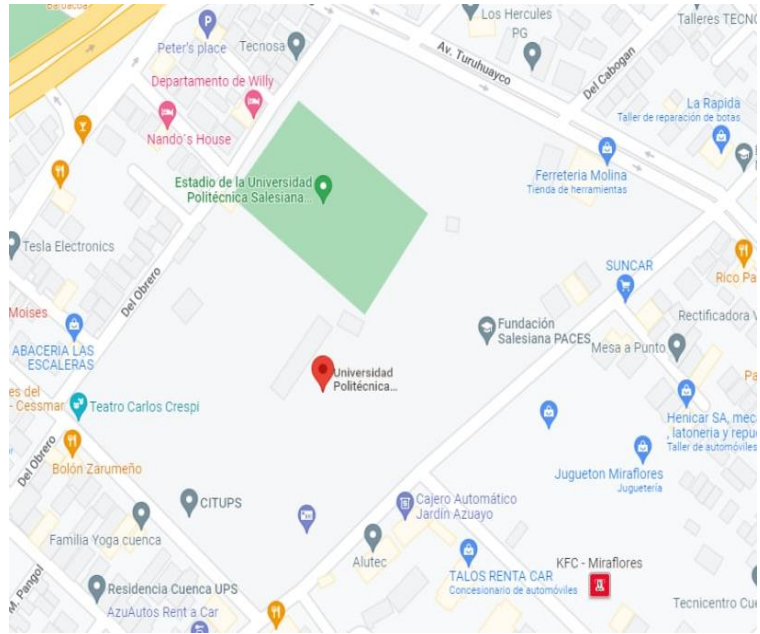
país no brindan mínimos de seguridad, al momento de un accidente de tránsito para el conductor del camión.

## **2.2 Importancia y Alcances**

Los siniestros registrados por la agencia nacional de tránsito (ANT) revelan que la cantidad de accidentes donde se encuentran involucrados vehículos comerciales y de transporte de carga pesada y mercancías a lo largo de la reactivación económica del año 2021 se encuentra en aumento; el estudio de un impacto frontal en un vehículo comercial tipo N3, permite contrastar la seguridad que provee el habitáculo a los ocupantes del mismo a diferentes velocidades y plantea mejoras en el diseño del habitáculo enfocadas a evitar o reducir lesiones y pérdidas humanas acontecidas por un impacto frontal. El presente proyecto beneficia al Grupo de Investigación de Ingeniería de Transporte (GIIT), (Línea de Planificación del Transporte, Seguridad y Gestión de Movilidad), de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana.

## **2.3 Delimitación**

El proyecto se desarrolla en la provincia del Azuay de la ciudad de Cuenca, ubicada al sur del Ecuador, con una elevación de 2.500 m, una superficie de 70,59 km<sup>2</sup> y una población de 580.000 habitantes aproximadamente.



**Figura 1. Ubicación U.P.S**  
**Fuente: GoogleMaps**

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General. -**

- Analizar el habitáculo de un camión tipo N3 durante una colisión frontal.

#### **3.2 Objetivos Específicos. -**

- Realizar el estado del arte sobre colisiones frontales en camiones tipo N3.
- Analizar las normativas nacionales e internacionales referente a colisiones frontales en camiones tipo N3.
- Determinar las condiciones de contorno para la aplicación del método de elementos finitos en un impacto frontal a diferentes velocidades de impacto.
- Evaluar los resultados obtenidos por medio de elementos finitos.

#### **4. Accidentes de tránsito**

El crecimiento económico, poblacional y las crecientes necesidades de mantener el distanciamiento social, así como los cambios tecnológicos y de movilidad, han llevado al usuario a buscar nuevas formas de transportarse. De esta forma el incremento poblacional y del parque automotor, han demostrado una creciente positiva a gran escala, y de la misma manera el número de accidentes de tránsito.

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), cada año las muertes causadas por colisiones es de 1,3 millones de personas (OMS, 2021), en los últimos años debido a la incesante demanda del sector industrial y movilidad de la población en el país, se impulsa al incremento de vehículos en el país con el fin de movilizarse de un punto a otro de manera rápida, cómoda y segura; de tal manera que se observa una excesiva adquisición de autos. (Bull, 2003)

Según el informe mundial sobre la prevención de los traumatismos por el tránsito (2004), los accidentes de tránsito se han convertido en un problema de la salud pública, teniendo en cuenta que es una de las principales causas de defunción en el país; esto representa elevados costos en educación vial, con un gran impacto social. Los comportamientos sociales inadecuados, tanto de conductores como peatones son las principales causas de ello. Dentro de los accidentes de tránsito, las pérdidas humanas se consideran un factor importante en el análisis, sin embargo, las pérdidas económicas, los

costos de los servicios médicos y la incapacidad de trabajar del usuario, son de igual forma un factor a tomar en cuenta (Alvarez & Coller, 1977).

Dentro de los accidentes de tránsito más frecuentes se encuentran los provocados por choques con un 60%, el 17% por rozamientos, a causa de atropellos un 10% y por último un 10% por estrellamientos; cifras que representan un costo económico y social, poniendo a consideración del gobierno la importancia de la educación vial y la mejora de las vías del país. (ANT, 2021)

#### **4.1. Teoría del accidente de tránsito**

Según el INEC, un accidente de tránsito es aquel hecho que se presenta de manera inesperada en las vías; acción que ocurre debido a factores humanos, factores climáticos, señalización y condiciones de la vía a transitar, causando las pérdidas prematuras de vidas humanas, lesiones con secuelas físicas o psicológicas, perjuicios materiales y daños a terceros. (Accidente de Tránsito.)

Los accidentes de tránsito se pueden clasificar en:

- Accidentes relativos al factor vehículo.
- Accidentes relativos al factor humano.

##### ***4.1.1. Accidentes relacionados con el factor vehículo***

- a) **Colisiones:** Comprenden el choque de uno o más vehículos en movimiento, entre vehículo y peatón o del vehículo con otros elementos de la vía. Existen diferentes

tipos de colisiones según el punto de impacto, entre los vehículos y la dirección de estos (Peritos de Accidentes, 2017):

- Colisión Frontal: Accidente de tránsito que resulta de un choque en la parte frontal de ambos vehículos. Dependiendo del ángulo de colisión podemos hallar tres diferentes tipos de colisiones frontales: central, excéntrica y angular. Cuando los ejes longitudinales de ambos vehículos son paralelos y se superponen, la colisión es de tipo frontal central; cuando los ejes longitudinales son paralelos, pero se encuentran desplazados a la izquierda o derecha, uno con respecto al otro (no coinciden), la colisión es frontal excéntrico; cuando en la colisión frontal se forma un ángulo inferior a  $90^\circ$  entre sí, se encuentra una colisión frontal angular. (Peritos de Accidentes, 2017)

**b) Embestidas:** Se producen cuando un vehículo golpea o impacta en la parte lateral de otro. Se clasifican en dos diferentes tipos de embestidas dependiendo del ángulo como son:

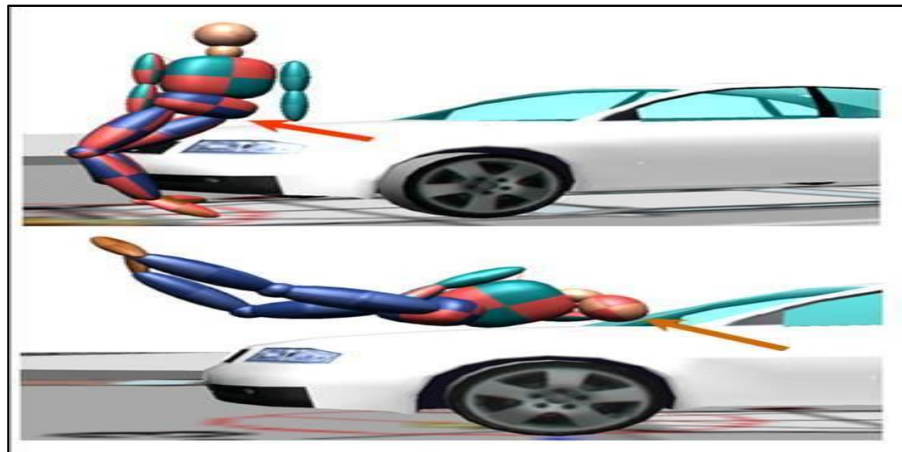
- Perpendiculares: Una embestida perpendicular se suscita cuando un vehículo embiste a otro en su lateral formando un ángulo de  $90^\circ$  entre sí; dependiendo de en qué parte lateral del vehículo se impactó, esta puede ser embestida posterior, central o anterior (Peritos de Accidentes, 2017).
- Oblicua: Cuando la embestida producida por un vehículo a otra forma, o un ángulo diferente de  $90^\circ$  entre sí, dependiendo de, en qué parte lateral del vehículo se impactó, esta puede ser oblicua posterior, central o anterior (Peritos de Accidentes, 2017).

- c) **Arrollamiento:** Comprende el momento en el que un vehículo pasa una o varias ruedas por encima de una persona o animal, como se muestra en la figura 1 (Rivas, 2020).



*Figura 2. Arrollamiento.*  
*Fuente:* (DIARIO LA PRENSA, 2020)

- d) **Atropello:** Instante en el que un vehículo en movimiento impacta a una persona o animal, como se observa en la figura 2 (SINC Tecnología, 2011).



*Figura 3. Atropello*  
*Fuente:* Riesgo de muerte por atropellos (Agencias Inc., 2019)



- e) **Estrellamiento:** Momento en el que un vehículo impacta a otro que está en reposo o impacta a algún objeto inmóvil, representado en la figura 3 (El Diario, 2016).



*Figura 4. Estrellamiento.*  
*Fuente: (EL DIARIO ECUADOR, 2021)*

- f) **Volcamiento lateral:** Acción donde el vehículo pierde su posición normal, como se muestra en la figura 4, y realiza giros por cualquiera de sus laterales causando así un accidente (El Diario, 2017).



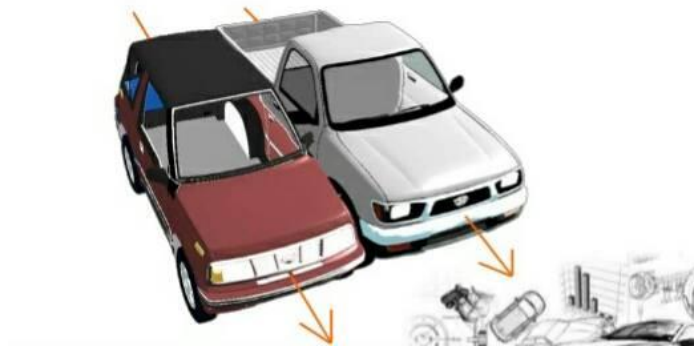
*Figura 5. Volcamiento lateral*  
*Fuente: (EL DIARIO ECUADOR, 2017)*

**g) Volcamiento longitudinal:** Acción en la que el vehículo pierde su posición normal realizando giros por su parte frontal o posterior, como se muestra en la figura 5 (Semana, 2018).



*Figura 6. Volcamiento longitudinal*  
*Fuente: (REVISTA SEMANA, COLOMBIA, 2018)*

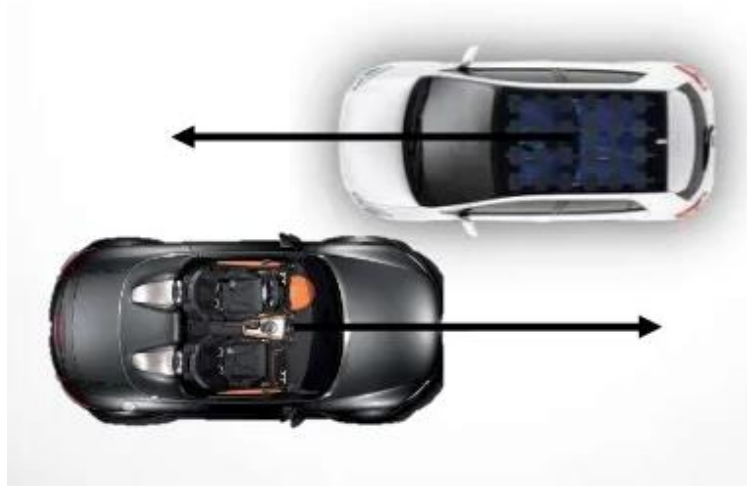
**h) Rozamiento:** Momento en el que un vehículo en movimiento hace fricción con la carrocería a un objeto inmóvil o vehículo estacionado, ver figura 6 (Silva, 2016).



*Figura 7. Rozamiento.*  
*Fuente: (Goconqr, 2018)*

**i) Rozamiento positivo:** Acción que produce un roce al momento en el que dos vehículos circulan en sentido contrario, figura 7, por lo general sólo se produce

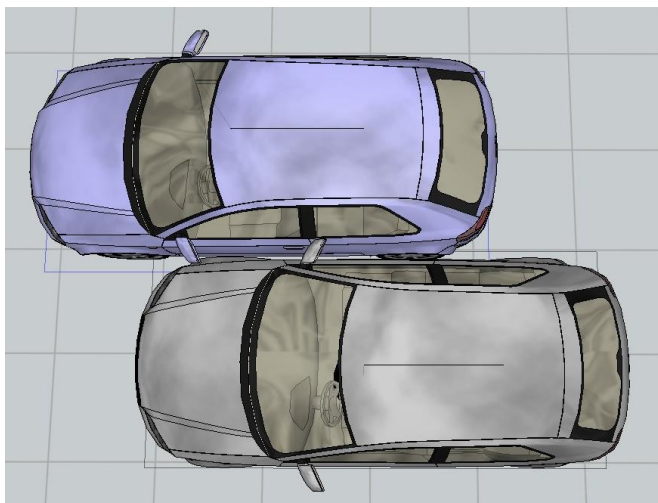
daños en la carrocería o pintura del vehículo (Urresta & Quevedo, SlideShare, 2013).



*Figura 8. Rozamiento positivo.*

*Fuente: (Urresta, Planificación rozamiento positivo, 2013)*

- j) **Rozamiento negativo:** Acción que produce un roce al momento en el que dos vehículos circulan en el mismo sentido, figura 8, por lo general sólo se produce daños en la carrocería o pintura del vehículo (IPSUM, 2019).



*Figura 9. Rozamiento negativo.*

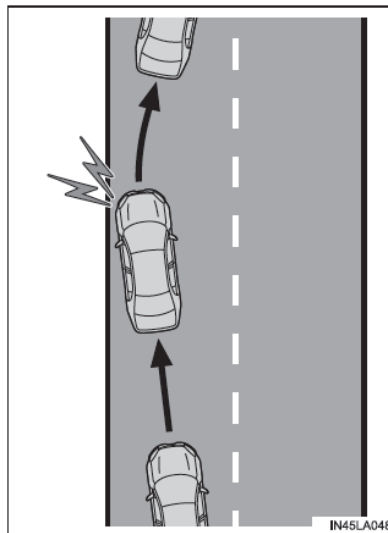
*Fuente: (IPSUM, 2019)*

- k) **Caída de pasajero:** Momento en el que se produce un deceso violento al momento en que el pasajero pierde el equilibrio, como se muestra en la figura 9, desde el interior del vehículo hacia la calzada (Gonzales Argudo Jose, 2014).



*Figura 10. Caída del pasajero*  
*Fuente: (Gonzales Argudo Jose, 2014)*

- l) **Pérdida de carril:** Acción que el automóvil sale del carril de circulación, figura 10 (Cmanuales, 2020).



*Figura 11. Pérdida del carril.*  
*Fuente: (Segmento C, 2020)*

#### ***4.1.2. Accidentes relacionados con el factor humano.***

Los factores humanos tienen mayor incidencia en accidentes de tránsito. Dependiendo de la legislación de cada país, se pueden agravar los delitos para los conductores infractores, algunas causas que intervienen en este factor son (Gonzales Argudo Jose, 2014):

- Conducir bajo los efectos del alcohol.
- Acciones imprudentes y negligencia del conductor.
- Adelantar en zonas donde es prohibido (choques frontales graves).
- Conducir por el carril contrario.
- Exceso de velocidad.
- Uso inadecuado de los faros, especialmente durante la noche.
- Fatiga del conductor por apnea o falta de sueño.

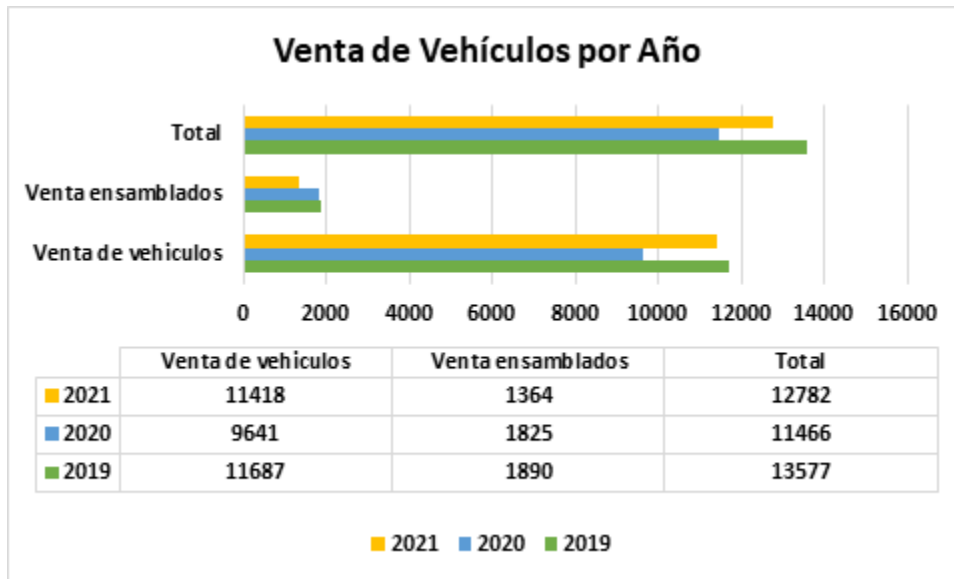
### **4.2. Estadísticas Nacionales de comercialización de vehículos pesados y accidentes automotrices**

#### ***4.2.1. Estadísticas Nacionales de venta de vehículos comerciales***

La industria automotriz, así como otros sectores productivos, se ha visto afectada por la emergencia sanitaria a nivel mundial que inició a principios del año 2020. Para el sector productivo de cualquier nación, el transporte de mercancías y de personal es de suma importancia, por lo que la emergencia sanitaria supone

nuevos retos para el sector automotriz y su reactivación (Organización Internacional del trabajo, 2020).

En la actualidad, un vehículo no solo es un medio de transporte, sino también una herramienta indispensable para cualquier trabajo. Dentro de los últimos años, se puede ver una reducción en las ventas de vehículos a nivel nacional, de acuerdo con la AEADE (Asociación de empresas automotrices del Ecuador) en el año 2020 las ventas de vehículos disminuyeron un 16% con respecto al año posterior, a causa de la pandemia; no obstante, como se puede observar en la figura 11, el sector automotriz muestra un aumento de ventas para el año 2021, con un 11% más que en el 2020. (Asociación de empresas automotrices del Ecuador, 2021).

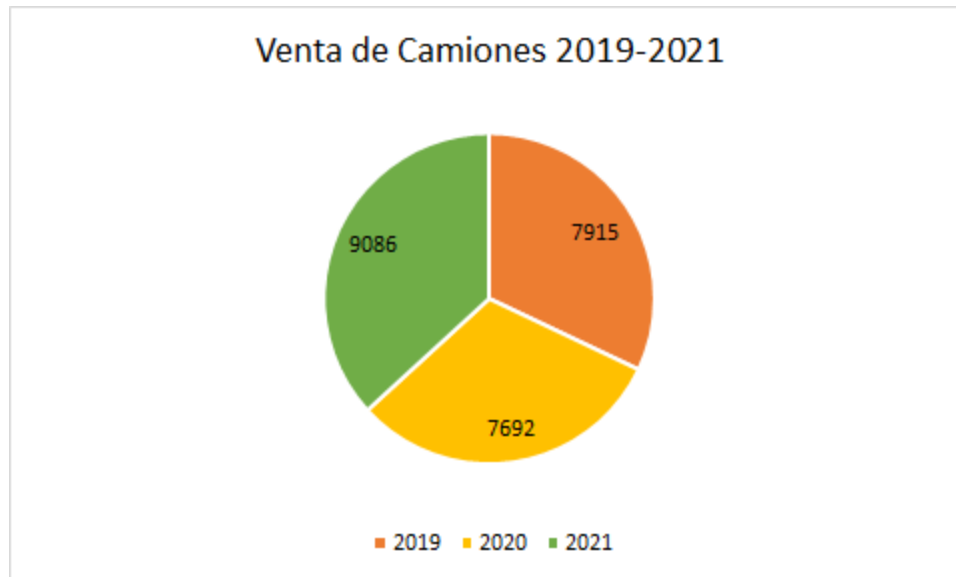


**Figura 12.** Venta anual de vehículos comerciales-Ecuador.

**Fuente:** Asociación de empresas automotrices del Ecuador (2021)

La comercialización de camiones se recuperó con relación a 2020. La AEADE, en la figura 12 muestra un aumento del 23% frente a 2020 y un 11% en

relación con el año 2019. Las ventas de vehículos comerciales se han visto potenciadas debido a la reactivación de los sectores productivos del país con una reducción en sus ventas de un 3% en el año 2020, sin embargo, para el año 2021, en comparación con el año 2019, las ventas de camiones aumentaron un 15% (Coba, 2022).



*Figura 13. Venta 2019-2021 de Camiones en el Ecuador.*

*Fuente:* (Asociación de empresas automotrices del Ecuador, 2021)

#### **4.2.2. Estadísticas Nacionales de accidentes de tránsito**

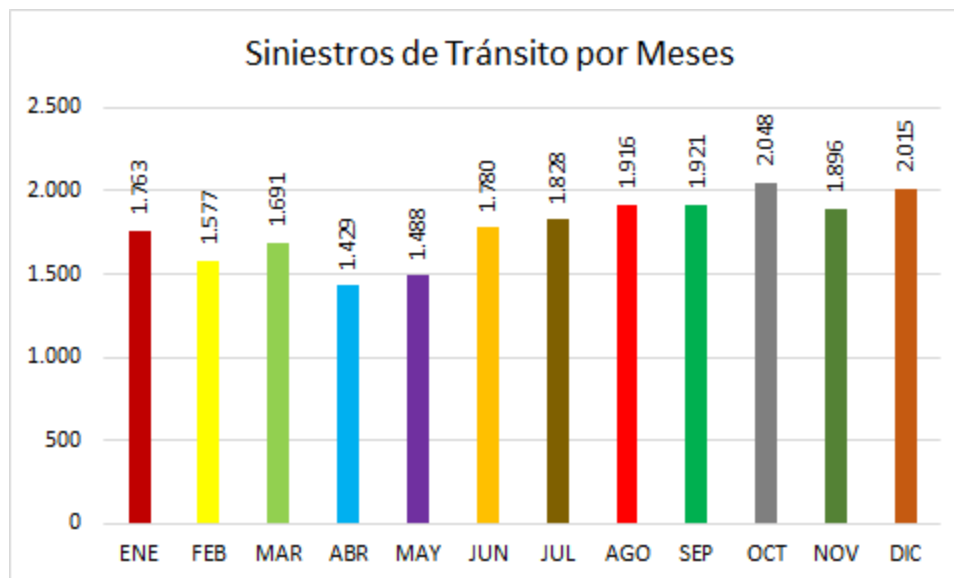
Las estadísticas nacionales de accidentes de tránsito tienen como objetivo proporcionar información acerca de los siniestros de manera anual, además proporciona una visión cuantitativa, permitiendo entender las causas por las que ocurren siniestros en las vías del país, por lo que, es muy importante llevar a cabo la recopilación estadística, ya que con esto se podrá contribuir con diversos estudios de accidentes de tránsito, sus causas y consecuencias (Instituto de Estadística y Geografía, 2009). La ANT mediante la información recolectada de sus instituciones

nacionales pone a disposición de la población ecuatoriana los detalles de la información preliminar de siniestros de tránsito. La información, se verá sujeta a actualizaciones de acuerdo con los registros administrativos emitidos por las Instituciones de Control de Tránsito.

#### ***4.2.2.1 Descripción de estadísticas generales según análisis 2019-2021.***

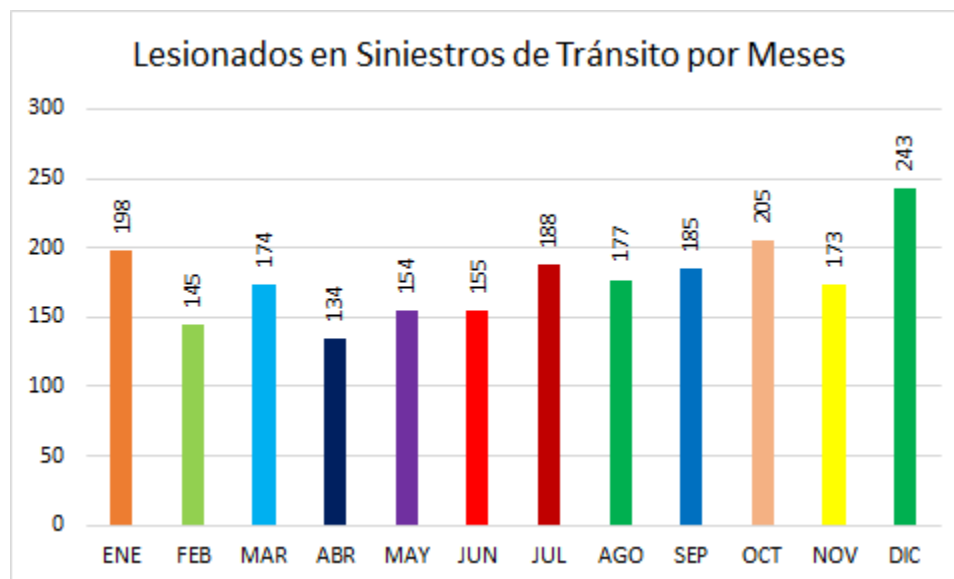
Las cifras que se reflejan en los siguientes gráficos de antes, durante y después de la emergencia sanitaria. Se observa que en el año 2019 las cifras tanto de siniestros como de lesionados y fallecidos es mayor a los años siguientes; la disminución de tránsito en las vías por la emergencia sanitaria en una de las principales razones. Para el año 2021 la reactivación de la economía del país y del sector productivo, conforta a las empresas y reactiva el sector del transporte en gran escala. Sin embargo, las conductas antisociales muestran que, a lo largo del año 2021 los accidentes de tránsito han ido en aumento superando al del año anterior como se muestran en la figura 13 (Siniestros), figura 14 (Lesionados) y figura 15 (Fallecidos). (ANT, 2021)





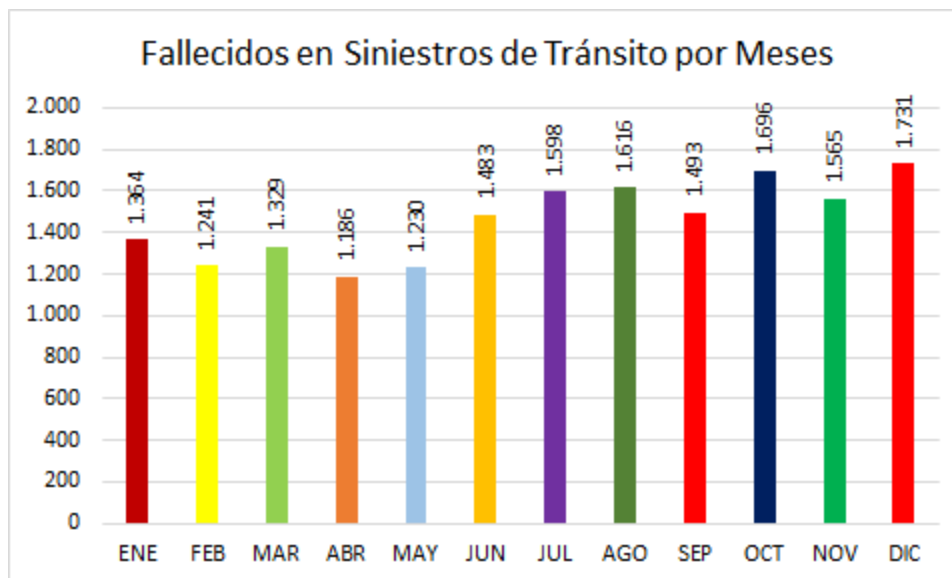
**Figura 14.** Siniestros de tránsito en el Ecuador por mes, año 2021.

*Fuente:* (ANT, 2021)



**Figura 15.** Lesionado de tránsito en el Ecuador por mes, año 2021.

*Fuente:* (ANT, 2021)



**Figura 16.** Fallecidos en siniestros de tránsito en el Ecuador por mes, año 2021.

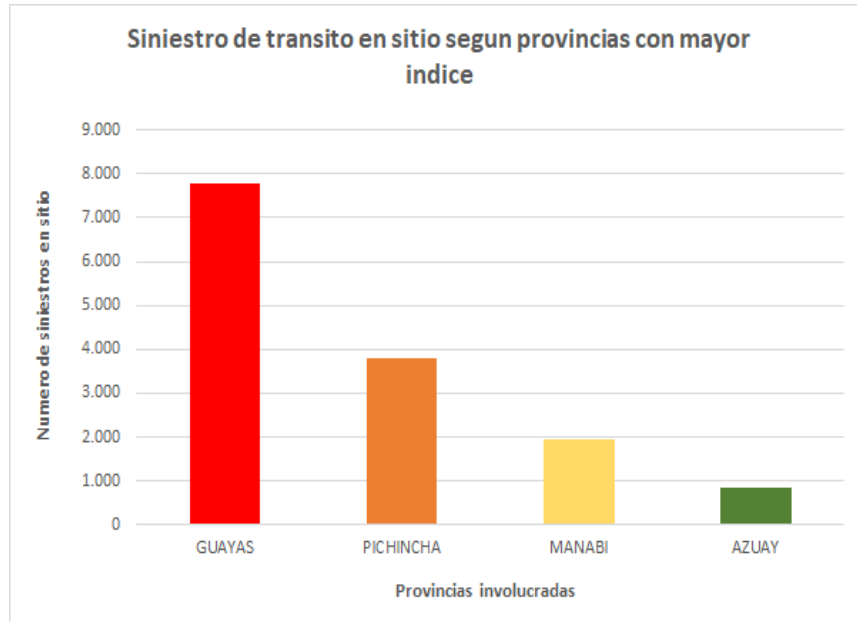
**Fuente:** (ANT, 2021)

#### **4.2.2.2 Descripción por provincias con mayor índice de siniestros de tránsito en carretera.**

Según la ANT, en el año 2021 se ha registrado un índice creciente, de la tasa de siniestros de tránsito ocurridos en sitio, donde están involucrados uno o más vehículos. Se consideran las causas probables, tipología o clase del siniestro, tipos de vehículos involucrados. (Fuente: Entes de control) (ANT, 2021)

En la figura 16, se toma en consideración, las 3 provincias con mayor índice de siniestros de tránsito, acumulativos desde enero hasta diciembre del año 2021. La provincia del Guayas se ubica en la primera posición con un total de 7.765 siniestros registrados, que representa un 36% del total acumulado de todas las provincias, la provincia que ocupa la segunda posición es Pichincha, con un total de 3.808 siniestros, que representa un 18% del total acumulado de todas las provincias y la tercera provincia es Manabí, con un registro de 1.957 siniestros que representa un 9% del total acumulado de todas las provincias en sitio. Se ha considerado el registro de la provincia del Azuay, como referencia del lugar,

donde se realiza el proyecto técnico, con un registro acumulativo de 836 siniestros registrados, que representa un 4% del total acumulado de todas las provincias, según los entes de control.

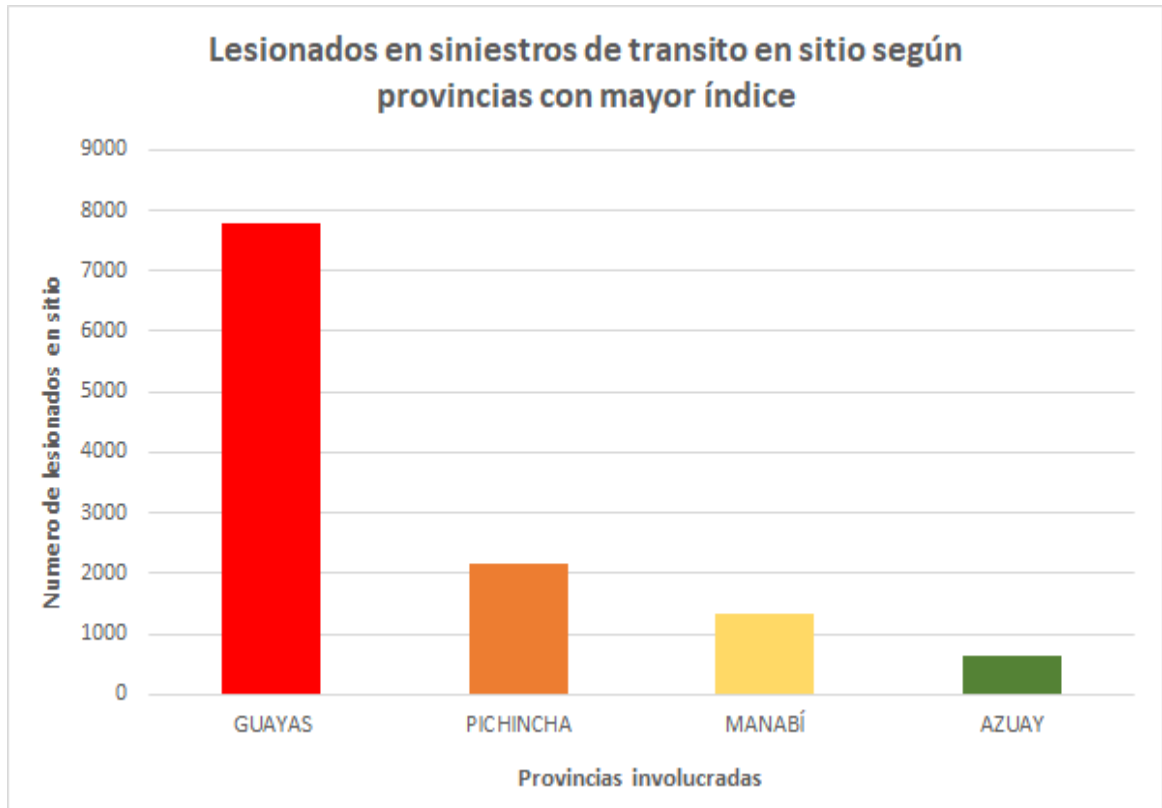


*Figura 17. Siniestros de tránsito por provincia.  
Fuente: (ANT, 2021)*

#### ***4.2.2.3 Descripción por provincias con mayor índice de ocupantes lesionados de tránsito en carretera.***

Para el caso de personas lesionadas en siniestros de tránsito, se toma conjuntamente el sexo, edad, tipo de involucrados, condición de la víctima en el lugar de los hechos. La ANT, en el año 2021 se ha registrado un índice creciente, donde se puede estar involucrado uno o más vehículos. En la figura 17, se toma en consideración las 3 provincias con mayor índice de lesionados en siniestros de tránsito, acumulativos desde enero hasta diciembre del 2021. La provincia del Guayas se ubica en la primera posición con un total de 7,780 personas lesionadas en siniestros de tránsito, lo que representa un 44% del total acumulado

de todas las provincias. La provincia que ocupa la segunda posición es Pichincha, con un total de 2,179 lesionados en siniestros de tránsito, que representa un 12% del total acumulado de todas las provincias y la tercera provincia es Manabí con un registro total de 1,347 personas lesionadas en siniestros de tránsito, se ha considerado el registro de la provincia del Azuay, como referencia del lugar donde se realiza el estudio, con un registro acumulativo durante el año 2021 de, 634 personas lesionadas en siniestros de tránsito registrados, lo que representa un 4% del total acumulado de todas las provincias. según los entes de control. Datos actualizados hasta el 30 de diciembre de 2021.



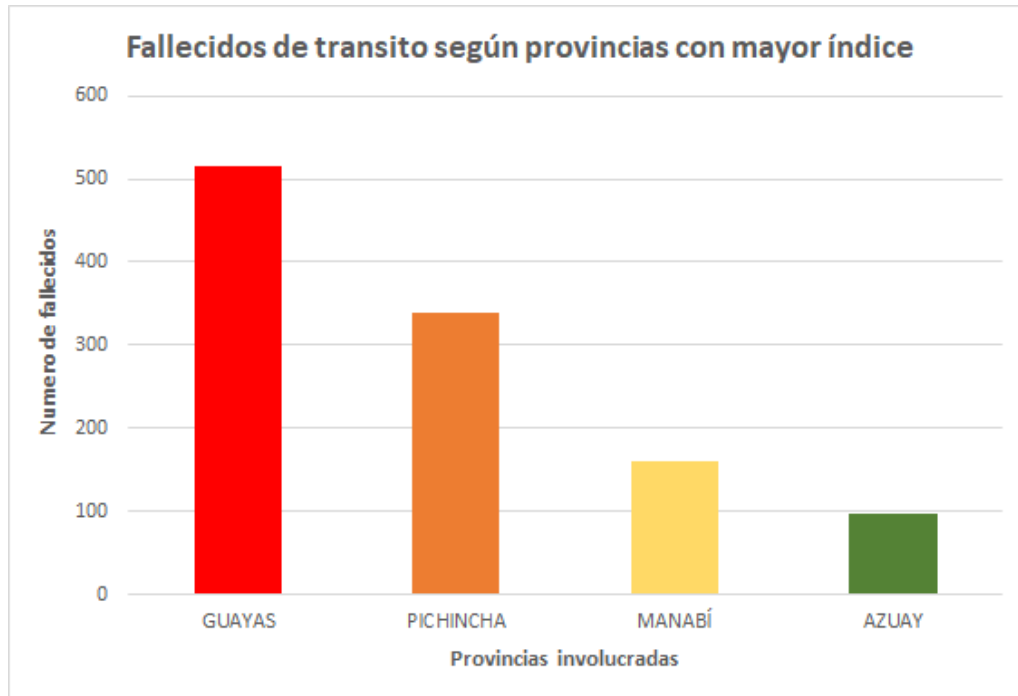
**Figura 18.** Lesionados en accidentes de tránsito.  
**Fuente:** (ANT, 2021)

#### ***4.2.2.4 Descripción por provincias con mayor índice de fallecidos en accidentes de tránsito en carretera.***

Las estadísticas de fallecidos se representan de acuerdo con el lugar donde se suscita los accidentes de tránsito durante el año 2021. Según la ANT (2021), las muertes en sitio son las ocurridas en el lugar de los hechos o durante el traslado. Esta información proviene de parte oficial, y se validan algunas características de las personas (excepto cuando no se tiene identificación, como en el caso de extranjeros). Para el caso de personas fallecidos en sitio por accidentes de tránsito, la ANT, en el año 2021 ha registrado un índice creciente, donde, están involucrados uno o más vehículos evidenciados en los siniestros.

En la figura 18, se toma en consideración, las 3 provincias con mayor índice de fallecidos en sitio, acumulativos desde enero hasta diciembre del 2021. La provincia del Guayas se ubica en la primera posición con un total de 516 fallecidos en sitio registrados, lo que representa un 24% del total acumulado de todas las provincias. La segunda posición ocupa la provincia de Pichincha, con un total de 340 fallecidos en sitio, lo que representa un 16% del total acumulado de todas las provincias y la tercera provincia es Manabí con un registro total de 160 fallecidos en sitio, lo que representa un 8% del total acumulado de todas las provincias.

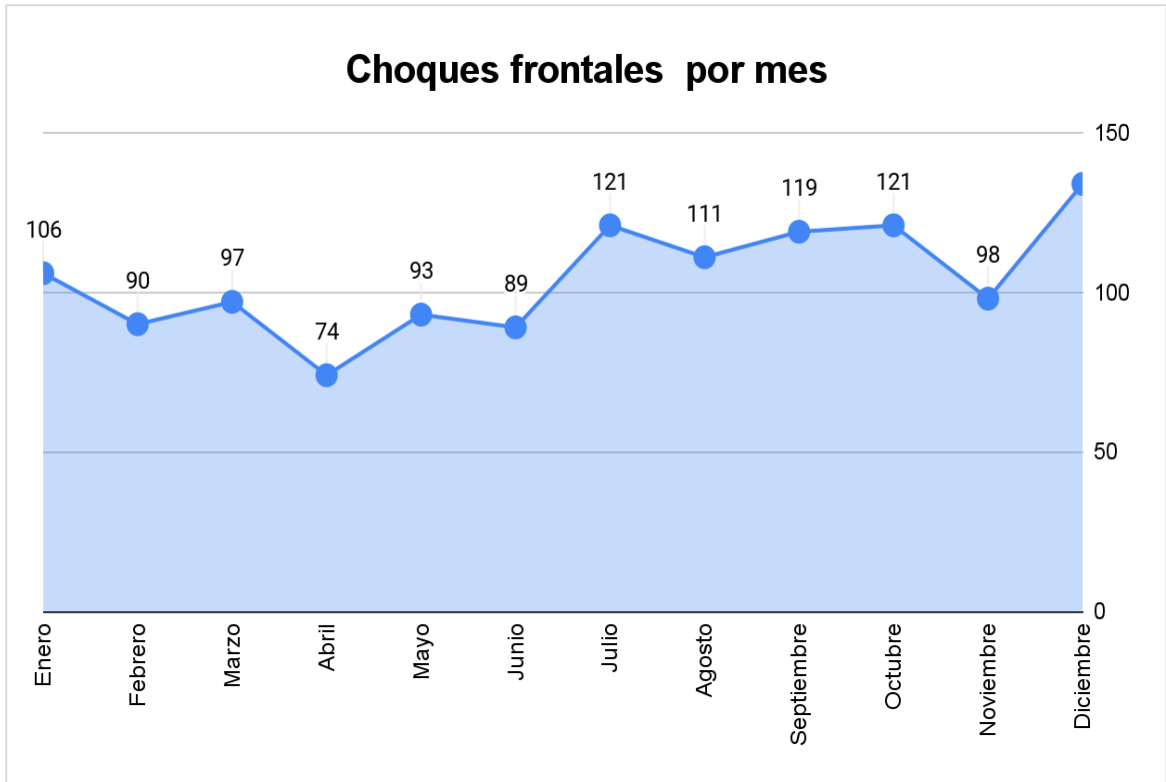
Los fallecidos correspondientes a la provincia del Azuay, como referencia del lugar donde se realiza el estudio del proyecto técnico, es importante destacar que los datos estadísticos acumulados durante el año 2021, de 98 fallecidos en sitio, representan un 5% del total acumulado de todas las provincias, ver figura 18. Datos actualizados hasta el 30 de diciembre de 2021. (ANT, 2021)



**Figura 19.** Fallecidos en accidentes de tránsito.  
**Fuente:** (ANT, 2021)

#### **4.2.3. Descripción por Choque frontal, general, camiones involucrados.**

En el año 2021 el sector productivo avanzó enormemente con respecto al 2020, la activación del sector productivo requiere de los medios de transporte para movilizar sus productos y servicios, por ende el incremento de vehículos circulando por las vías del territorio ecuatoriano aumenta y en las mismas proporciones el número de accidentes de tránsito, como se observa en la figura 19, el número de siniestros de tránsito va en aumento viendo picos bastante elevados los meses de Julio, Octubre y Diciembre. Los meses mencionados, son propensos a más accidentes debido a las movilizaciones de masas hacia otras provincias por feriados o vacaciones. (ANT, 2021)

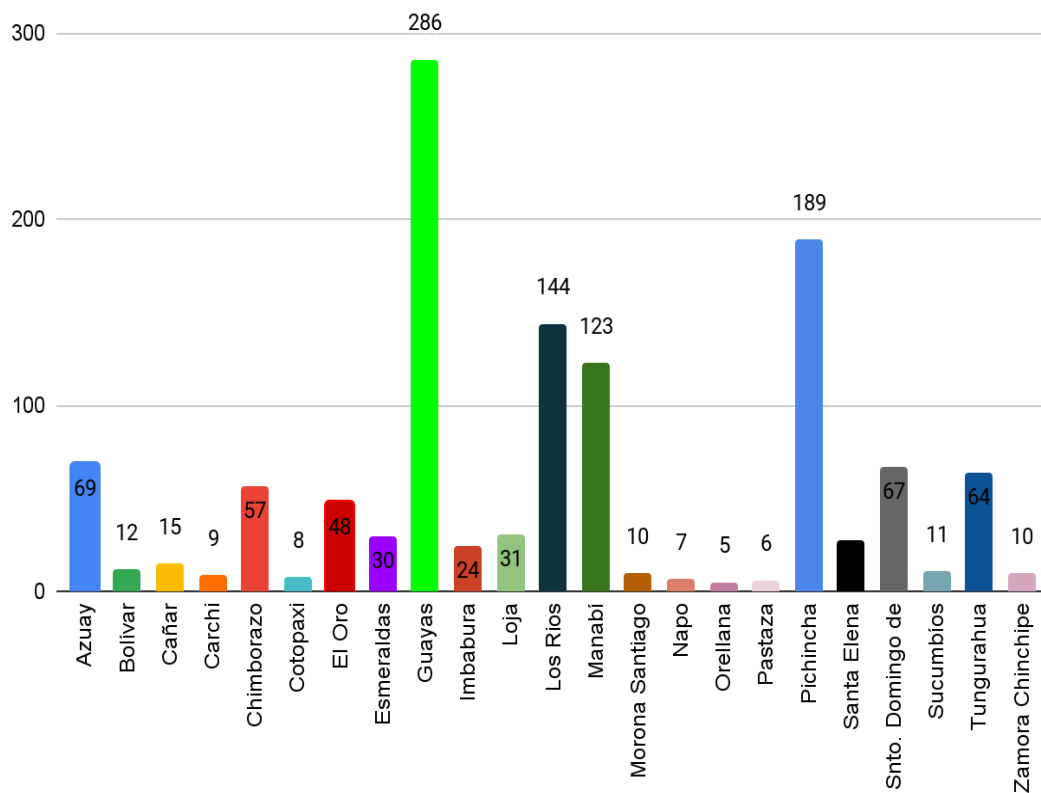


**Figura 20.** Choques Frontales reportes mensuales, 2021.  
**Fuente:** (ANT, 2021)

Los accidentes producto de choques frontales, son accidentes sumamente peligrosos, que causan un gran número de muertes en comparación con cualquier otro tipo de accidente. Un 13% de los accidentes ocasionados en las vías de tránsito son debido a choques frontales (Los abogados de accidentes, 2021).

La ANT muestra las estadísticas de choques frontales ocurridos durante todo el año 2021 por provincias, en la figura 20 se puede observar, que la mayor cantidad de choques frontales se encuentra en la Provincia del Guayas seguido de las provincias de Pichincha, Los Ríos y Manabí. (ANT, 2021)

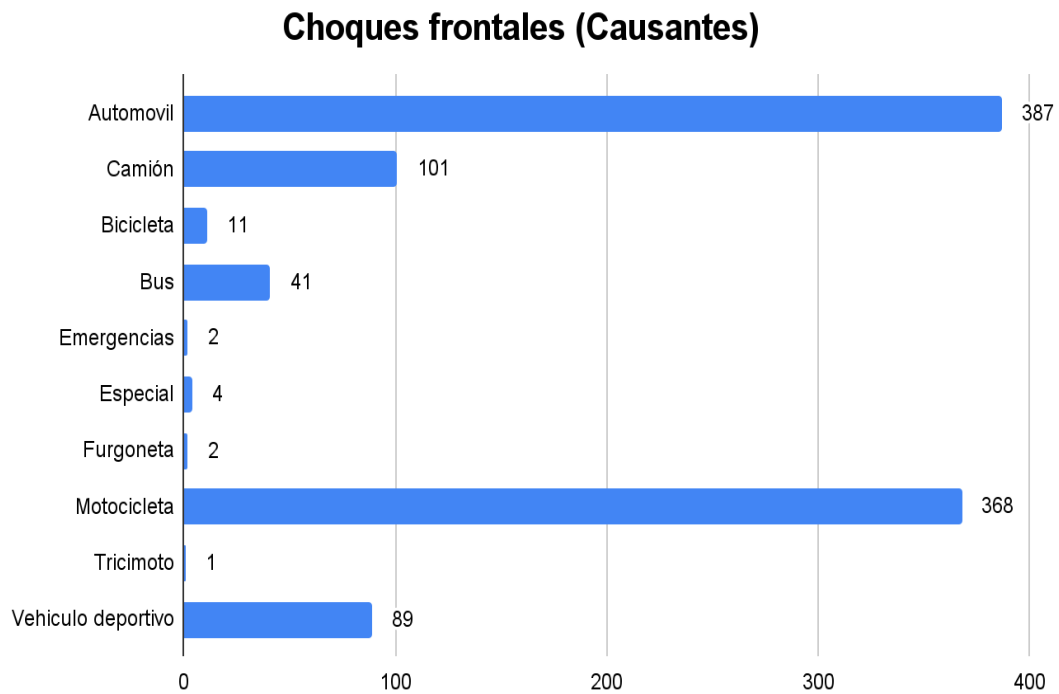
## Choques frontales por provincia



*Figura 21. Choques frontales ocurridos por provincias*  
*Fuente: (ANT, 2021)*

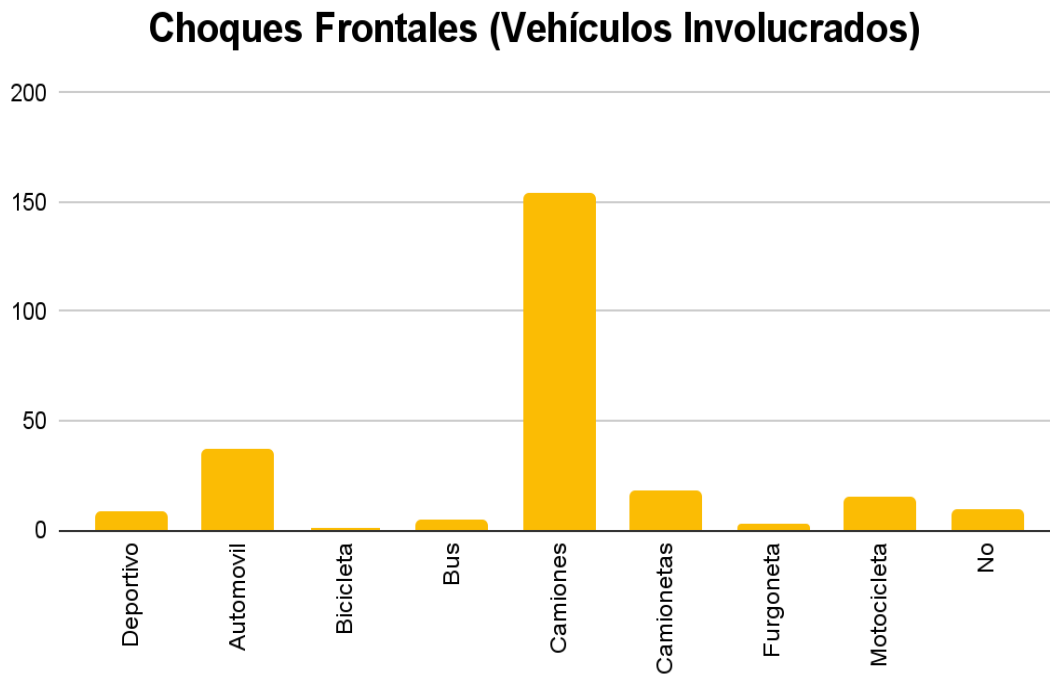
En el marco de los vehículos que más accidentes de tránsito por choque frontal ocasionan, se encuentran los automóviles con un 38%, seguido de 36% por motocicletas y un 10% ocasionado por camiones como se muestra en la figura 21.





**Figura 22.** Choque frontal por clase de vehículos.  
**Fuente:** (ANT, 2021)

Dentro de los choques frontales, los ocasionados por camiones son de hecho unos de los más peligrosos, en la figura 22 se puede visualizar que, dentro de los choques frontales causados por camiones, por lo general los vehículos que se encuentran involucrados son camiones seguidos de automóviles y en menor porcentaje camionetas. (ANT, 2021)

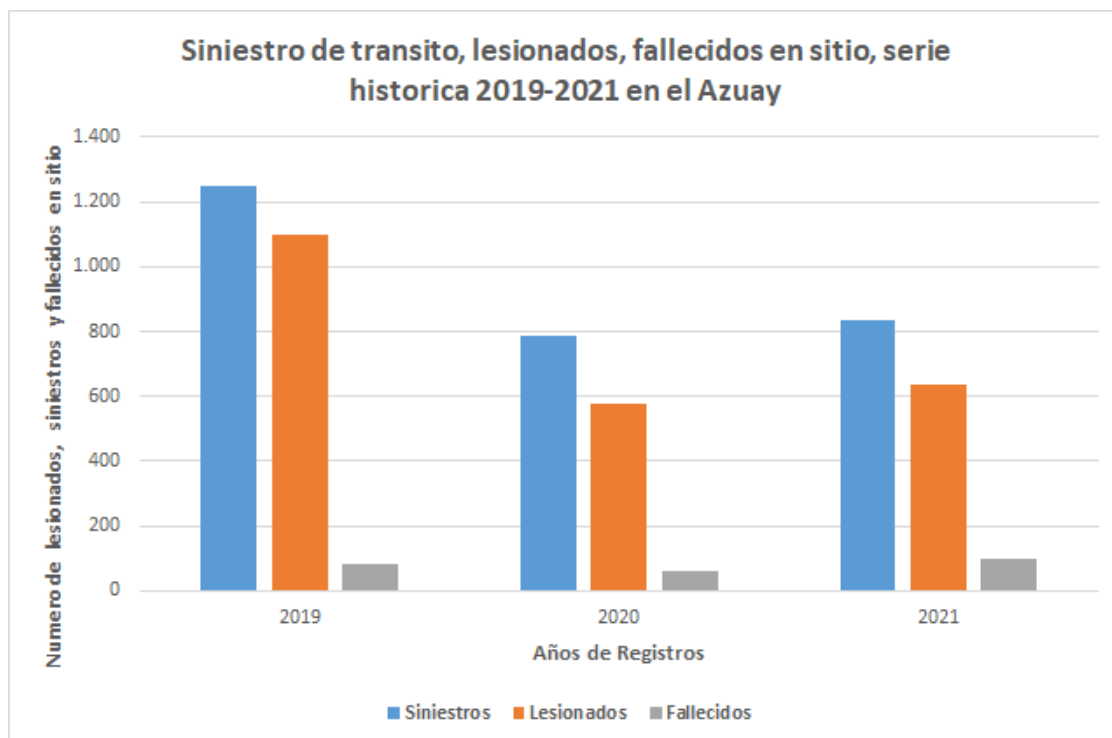


*Figura 23. Choques frontales por vehículos involucrados.  
Fuente: (ANT, 2021)*

#### ***4.2.4. Descripción de la tasa de crecimiento y decrecimiento en el Azuay; siniestros, lesionados y fallecidos en sitio serie histórica años: 2019, 2020 y 2021***

Los datos estadísticos tomados según la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), considera una serie histórica de 3 años, (ANT, 2021) en la figura 23 se representa las cifras de un año antes de la emergencia sanitaria, durante y el estado actual, consecutivamente para la provincia del Azuay se representa un índice de siniestros de tránsito, lesionados y fallecidos en sitio, representados de la siguiente manera. En el año 2019 se ha registrado un total de 1.249 siniestros de tránsito en sitio, en el año 2020 se ha registrado un total de 788 siniestros de tránsito. Se considera el año 2020 un registro decreciente con un 37% menor al año anterior. (ANT, 2021)

Para el año 2021 se ha registrado un total de 836 siniestros de tránsito con una tasa de crecimiento de 6.09% respecto al año anterior. En el año 2019 se ha registrado un total de 1.097 lesionados en sitio, en el año 2020 se ha registrado un total de 577 lesionados en sitio. Se considera el año 2020 un registro decreciente con un 47% menor al año anterior. Para el año 2021 se ha registrado un total de 634 siniestros en sitio con una tasa de crecimiento de 10% respecto al año anterior. (ANT, 2021)

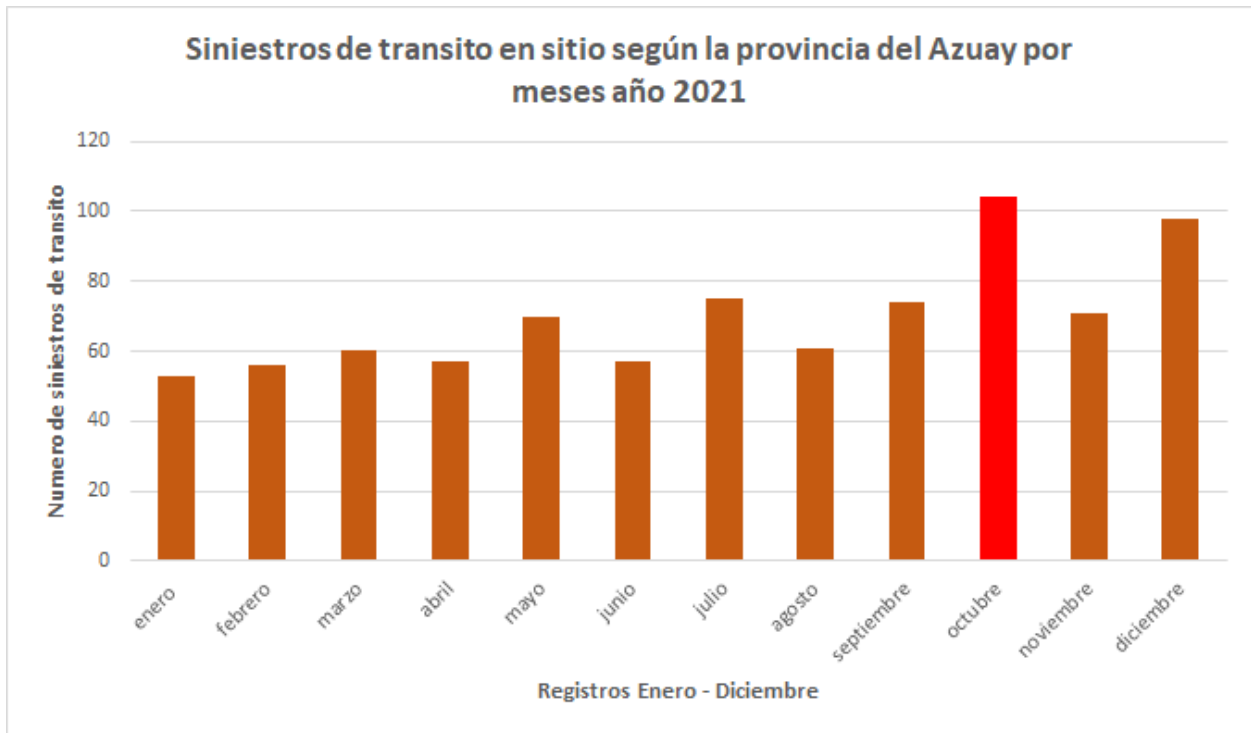


**Figura 24.** Siniestros de Tránsito en la provincia del Azuay.  
**Fuente:** (ANT, 2021)

#### 4.2.4.1. Descripción de los siniestros de tránsito en sitio en la provincia de Azuay.

Según el ente regulador, en la provincia del Azuay desde el mes de enero a diciembre del año 2021, siendo octubre el mes con mayor cantidad de siniestros con un

total de 104, seguido por los meses de julio, septiembre 74 siniestros y diciembre que superan los 90 siniestros, representado en la Figura 24. (ANT, 2021)

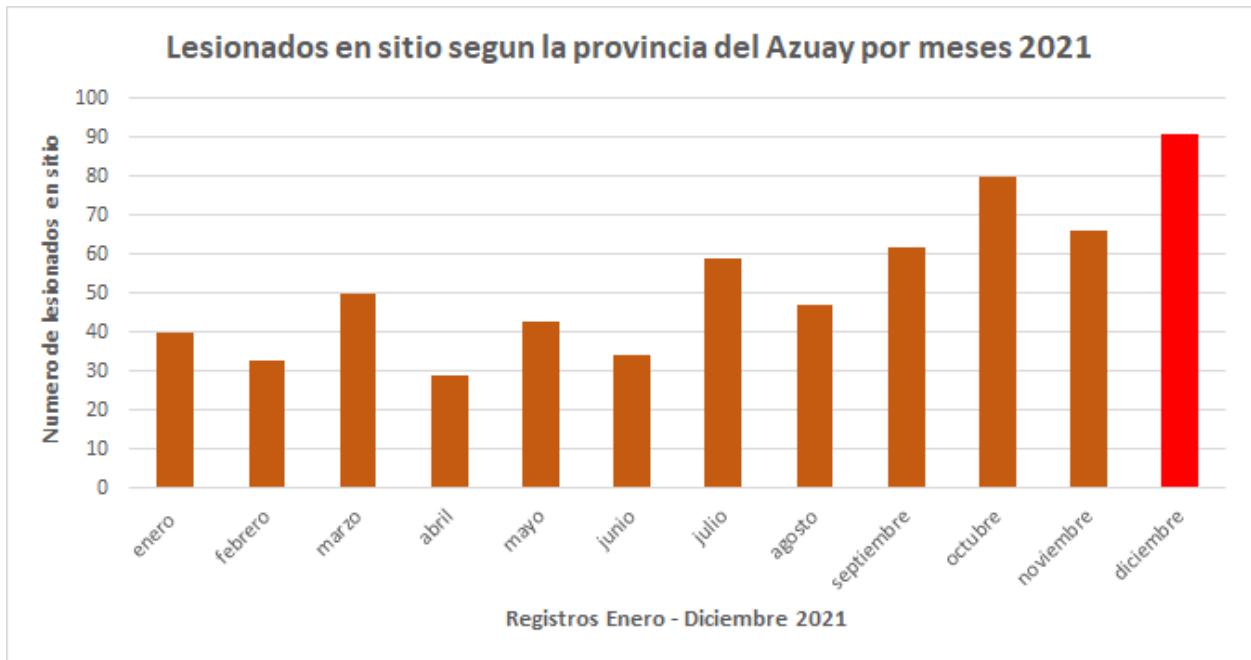


**Figura 25.** Siniestros de tránsito reporte enero-diciembre 2021  
**Fuente:** (ANT, 2021)

**4.2.4.2. Descripción de los lesionados de tránsito en sitio en la provincia de Azuay.**

De la figura 25 Se observa que en la provincia del Azuay son 543 personas lesionadas según los reportes de enero a noviembre del año 2021, el mayor número de lesionados se encuentra en el mes de diciembre con un total de 91 personas, seguido de

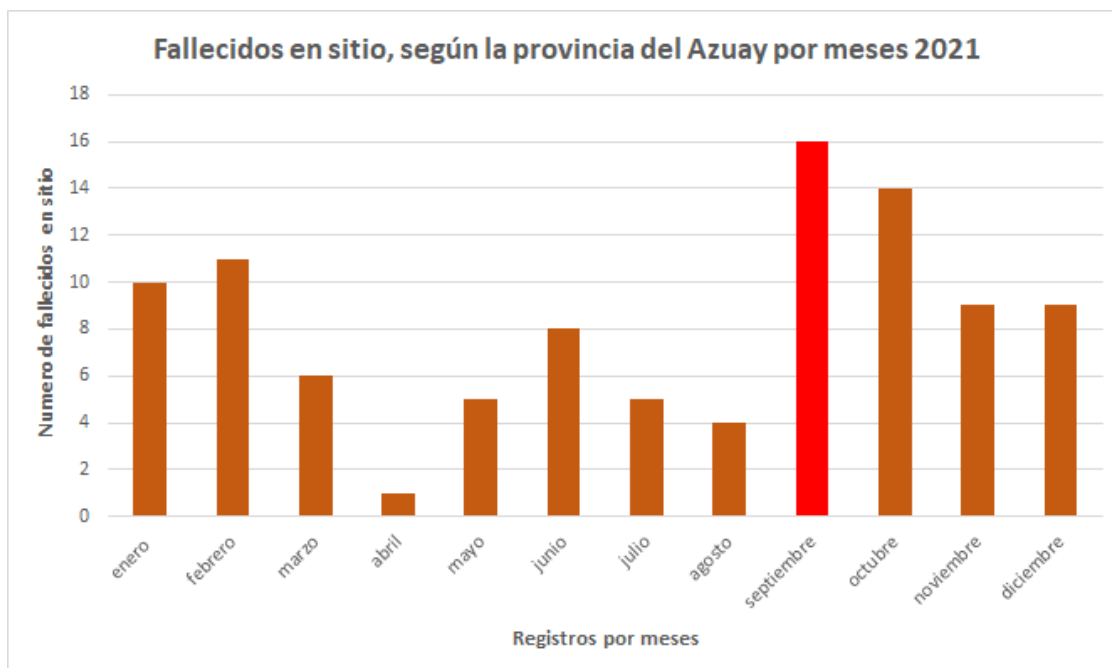
los meses de septiembre y noviembre que superan las 60 personas lesionadas. (ANT, 2021)



*Figura 26. Lesionados en sitio, provincia del Azuay.  
Fuente: (ANT, 2021).*

#### **4.2.4.3. Descripción de los siniestros de tránsito en sitio en la provincia de Azuay.**

Entre enero y diciembre del año 2021 se registran 89 personas fallecidas en la provincia del Azuay, ver figura 26, en la cual los picos más altos con fallecidos corresponden a los meses de septiembre y octubre con 16 y 14 fallecidos correspondientemente. (ANT, 2021)



**Figura 27.** Fallecidos en sitio en la provincia del Azuay.

**Fuente:** (ANT, 2021)

## 5. Normativa Nacional


La normativa en vigencia RTE INEN 034, está dirigida a los elementos mínimos de seguridad que debe tener un vehículo para transitar por el territorio nacional. Haciendo mención que, el vehículo en estudio pertenece a la clasificación N3 de la normativa NTE INEN 2656 y que la clasificación vehicular tiene como objeto clasificar los vehículos motorizados y no motorizados, distinguiéndose mediante las características generales de uso y diseño y que esta se aplica a todos los vehículos que circulan por vía terrestre, además de incluir maquinaria de agricultura y selvicultura y excluyendo maquinaria

industrial y equipo caminero, se describe el vehículo de estudio de la siguiente manera (Servicio ecuatoriano de normalización INEN, 2016).

### 5.1. Subcategoría N3

Los vehículos motorizados de cuatro ruedas o más, diseñados y contruidos para el transporte de mercancías se muestran en la siguiente tabla 1.

**Tabla 1.** Subcategoría N3.  
**Fuente:** INEN

CÓDIGO	TIPO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
CMP	CAMIÓN PESADO		<p>Vehículo diseñado para el transporte de carga y mercancías provisto de un chasis cabina, de dos, tres o cuatro ejes, al que se puede montar una estructura para transportar carga (furgón, plataforma, etc.), cuyo PBV (peso bruto vehicular) supere los 12 000 kg Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.3, 3.1.5.</p>

TCM	TRACTO CAMIÓN		Vehículo diseñado para apoyo y arrastre de unidades de carga, no autopropulsadas con dos, tres o cuatro ejes, cuyo PBVC supere los 12 000 kg Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.5, 3.1.6
-----	------------------	--	--

***5.1.1. NTE INEN-ISO 3833 Vehículos automotores. Tipos. Términos y definiciones para la categoría N3.***

Dentro de la normativa NTE INEN 2656, para la categoría N y sus subcategorías se hace mención la normativa NTE INEN-ISO 3833 “Vehículos automotores. Tipos. Términos y definiciones”, que define para vehículos de la categoría y subcategoría N los siguiente.

***5.1.1.1 Vehículo comercial***

Es un vehículo automotor, diseñado principalmente para el transporte de artículos comerciales, además puede llevar un remolque.

***5.1.1.2. Vehículo que lleva un remolque (tractor con barra de tiro)***

Es un vehículo automotor, diseñado principalmente para transportar remolques, además puede llevar artículos sobre una plataforma auxiliar de cargas.



### ***5.1.1.3. Vehículo que lleva un semirremolque.***

Es un vehículo automotor, diseñado especialmente para transportar un semirremolque.

### ***5.1.3. Elementos mínimos de seguridad***

La normativa “Reglamento técnico vehicular”, vigente en el país es la RTE INEN 034 (2016)

### ***5.1.4. Protección para colisión frontal INEN 2713***

Establece los requisitos y métodos de ensayo que deben cumplir los vehículos automotores para la seguridad y protección de sus usuarios en caso de una colisión frontal. (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2013)

## **5.2 Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa. - UNECE**

En Europa existen dos normativas para la homologación de vehículos, siendo estas la Unión Europea que emite Directivas UE y la ONU que emite los Reglamentos UNECE, la primera direccionada al cumplimiento obligatorio para los países pertenecientes a la Unión Europea, mientras que los reglamentos UNECE son normas de aplicación voluntaria. Además de generar normativas, la UE debe adherirse a las normativas que aprueba el Foro Mundial UNECE para la Armonización de las Regulaciones de Vehículos conocidos como UNECE WP.29. (UNECE, 2011)

### ***5.2.1 Reglamento No.29 UNECE de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE).***

El presente reglamento tiene como fin, en las disposiciones uniformes relativas para la homologación de vehículos con respecto, a la protección de ocupantes en cabinas de vehículos comerciales. (InterRegs, 2020)

La normativa de ensayo ECE R29, es aplicable para los vehículos con cabina de conducción separada, tipo N, la regulación vigente engloba tres puntos de análisis descriptivos de prueba, tales como: Ensayo de colisión frontal (ensayo A), Ensayo de impacto contra el pilar frontal (ensayo B) y ensayo de resistencia del techo (ensayo C), en cada ensayo mencionado la cabina debe exponer un espacio de supervivencia que admita el alojamiento del maniquí en el percentil 50, como requisitos previos las puertas no deben abrirse durante las pruebas, y la cabina debe permanecer vinculada al chasis. (UNECE, 2011)

Después de ejecutar las pruebas, para la aprobación del vehículo para la homologación de la conformidad en caso de colisión frontal o vuelco, si cumplen con las pruebas del reglamento.

Se respaldará con la notificación de la homologación, y la documentación respectiva o el cese definitivo de la producción de un tipo de vehículo con arreglo al presente Reglamento serán comunicados por las partes en el acuerdo de aplicación del presente Reglamento mediante un formulario adecuado al modelo. (EUROLAB, 2019)

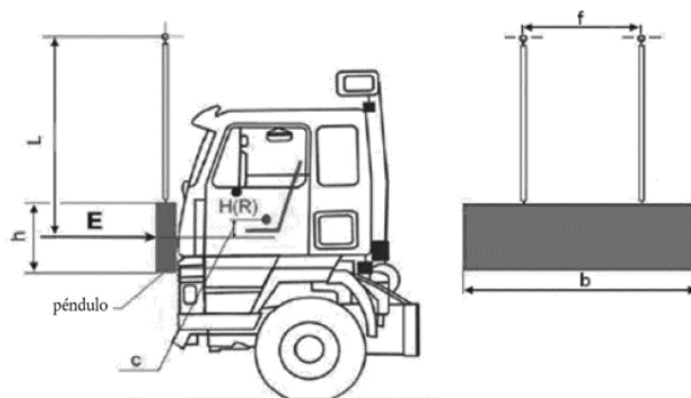
La cabina del vehículo deberá diseñarse y fijarse al vehículo de modo que se elimine a medida de lo posible el riesgo de lesiones para sus ocupantes en caso de un accidente. Este

ensayo está destinado para vehículos de cabina sobre motor, razón por la que el camión en estudio se aplica a vehículos con motor delantero. Existen dos tipos de pruebas para la homologación de vehículo de categoría N, la primera prueba es de impacto frontal en la que se evalúa la resistencia de una cabina en un accidente de impacto frontal, mientras que, en la segunda prueba de impacto en los pilares, de la cabina está destinada a evaluar la resistencia de una cabina en un accidente de vuelco. (UNECE, 2011)

#### ***5.2.1.1 Ensayo de colisión Frontal. - Ensayo A***

Antes de realizar la ejecución de este ensayo se debe considerar que las puertas del vehículo deben estar cerradas, pero no bloqueadas, el motor deberá estar instalado en el vehículo, la cabina debe tener los mecanismos mecánicos del vehículo terminado, considerando que la cabina debe estar fijada en el chasis como prescribe en la figura 27, (UNECE, 2011).

La energía de impacto deberá ser de 29,4 kJ, en el caso de vehículos de la categoría N1 y de vehículos de la categoría N2 con una masa bruta no superior a 7,5 t y 55 kJ, en el caso de vehículos de la categoría N3 y de vehículos de la categoría N2 con una masa bruta superior a 7,5 t. (UNECE, 2011)

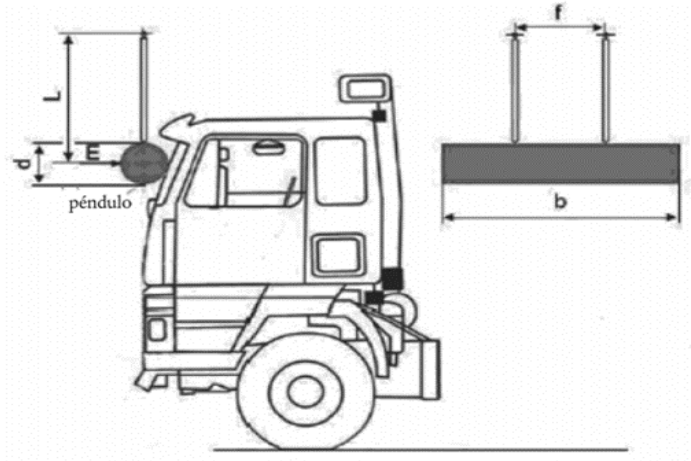


**Figura 28. Prueba de impacto Ensayo A.**  
**Fuente: UNECE Rg.29.**

El elemento que impacta deberá colocarse en posición vertical de tal manera que su cara de choque esté en contacto con la parte frontal del vehículo. (UNECE, 2011)

#### **5.2.1.2 Ensayo de colisión Frontal. - Ensayo B**

Considera que el elemento que impacta debe colocarse de manera que, cuando su suspensión esté en posición vertical, su cara de choque esté en contacto con la parte frontal de la cabina y su centro de gravedad se encuentre en el plano longitudinal mediano de la cabina, tal y como se aprecia en la figura 29. La energía de impacto deberá ser de 29,4 kJ. (UNECE, 2011)



**Figura 29.** Prueba de impacto Ensayo B.  
**Fuente:** (UNECE, 2011)

### 5.3 LATIN NCAP

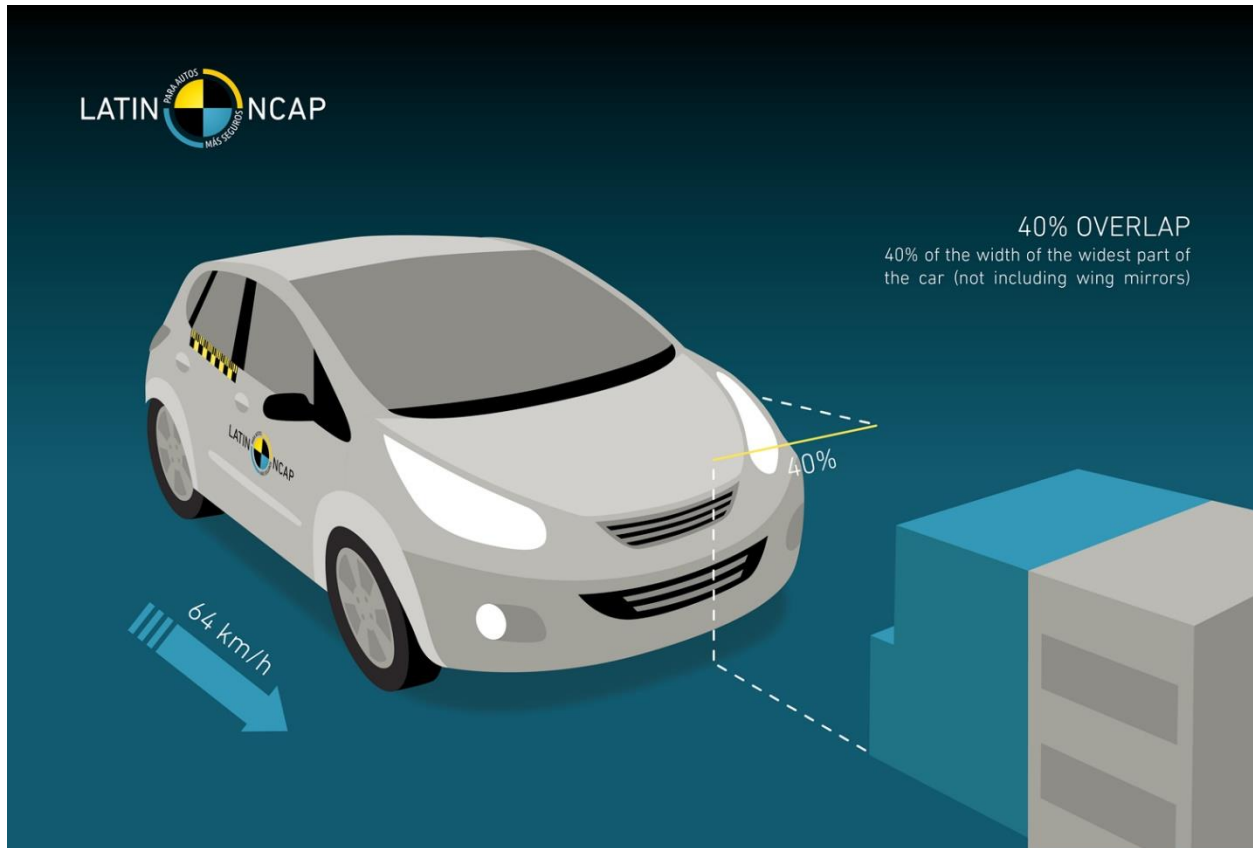
El programa para el testeo y evaluación de autos fue lanzado en el año 2010, desarrollando un sistema regional independiente. Iniciando con las pruebas de choque de vehículos y de calificación de seguridad en el área. Latín NCAP, durante los últimos 30 años replica programas de testeo de los consumidores semejantes en: América del Norte, Europa, Asia y Australia. Latín NCAP ha dado a conocer según sus publicaciones de más de 135 modelos. Latín NCAP es miembro en asociación de Global NCAP y apoya el Decenio de Acción de las Naciones Unidas para la Seguridad Vial y a la iniciativa “Stop the Cash” (Latin Ncap, 2011).

#### **5.3.1 Ensayo para protección del pasajero adulto**

Mediante la evaluación para la protección de los ocupantes adultos LATIN NCAP, brinda calificaciones de seguridad entre 0 y 5 estrellas. El ensayo de impacto frontal se realiza a 64 Km/h, el vehículo se impacta frontalmente contra una barrera deformable descentrada. Cada vehículo es sometido a un impacto contra un bloque

fijo, el mismo que va sujeto a una barrera construida de aluminio alveolar hexagonal deformable (Latin Ncap, 2011).

La simulación del impacto mencionado tiene como finalidad emular, la clase más frecuente de colisión producida en carretera, que dan como resultado en lesiones graves y con tasas altas de siniestralidad o mortales de mayor magnitud. La calibración del ensayo se efectúa replicando un impacto entre dos vehículos de igual masa. En la figura 29 se evidencia como se realiza la simulación al 40 %, en contra de la barrera, para replicar un choque frontal real, debido a que en gran número los choques se ven involucrados solo una zona de contacto del vehículo. La parte frontal de la barrera es deformable, interpretando de forma natural la deformación provocada. LATIN NCAP impulsa para el diseño de vehículos una estabilidad estructural del habitáculo, tomada como uno de sus principales elementos de gran esencia, para satisfacer el correcto funcionamiento dirigidos a los sistemas de retención (Latin Ncap, 2011).



**Figura 30.** Impacto frontal con pared al 40%.  
**Fuente:** (Latin Ncap, 2011)

Con el sistema de retención no se puede evitar el impacto producido al nivel de las rodillas de los pasajeros, adversos a la parte inferior del tablero. LATIN NCAP, impulsa la remoción de las partes estructurales que generen peligro en el área en donde se pueden impactar las rodillas. También anexa en sus análisis la variabilidad referente a la edad, peso y género de los ocupantes (Latin Ncap, 2011).

## 6. Estado del arte

### 6.1 Trabajos relacionados

- Análisis de vuelco de la estructura de un bus de dos pisos de un servicio de transporte de pasajeros internacionales.- La normativa nacional carece de lineamientos técnicos específicos para el impacto y volcamiento de autobuses de dos pisos; mediante el análisis del método de elementos finitos basada en dinámica explícita se comprueba que durante un volcamiento la parte superior de la estructura del autobús se ve comprometida generando una irrupción en el espacio de supervivencia de 48 mm, valores que se pueden revalidar con un porcentaje de error de 3.32 %; durante un impacto frontal la deformación producida contra una pared fija es alta debido a que el impacto se da directamente sobre los perfiles, por ello, la parte frontal del autobús es de suma importancia en el diseño para salvaguardar la vida de los ocupantes (Morocho, 2020).
- Análisis de la implementación de un sistema de airbag en autobuses en la seguridad del conductor durante un impacto frontal.- Mediante la aplicación de un sistema de seguridad pasiva en autobuses orientada al conductor se plantea el análisis de métodos finitos para un impacto frontal de un autobús Interprovincial; los accidentes de tránsito en autobuses solo tienen(poseen) como medida de seguridad pasiva el cinturón y la estructura de este para el conductor, de modo que mediante el MEF y conforme la normativa y reglamentación UNECE e INEN se presenta el análisis de un impacto frontal con y sin airbag para su implementación como futuro sistema de seguridad pasiva en autobuses. Esto también permite el análisis de criterio de lesión encefálica evaluado por el código AIS CODE,



permitiendo evaluar las lesiones en la parte del cráneo del conductor. Los resultados muestran que la implementación del airbag reduce los valores de HIC, en el impacto frontal realizado a 90km/h sin airbag se obtiene un valor de 1253.75 *G* y mediante la aplicación del airbag los valores se reducen un 32%, los resultados muestran la importancia de la implementación de sistemas de seguridad pasiva como el airbag para el conductor; otro punto importante que se debe tomar en cuenta es la posibilidad de que el conductor durante el impacto frontal quede atrapado debido a la deformación de la cabina, esto se observa en velocidades a 90km/h o superiores (Ayala Yunga & Tacuri Tacuri, 2021).

- Determinación de la metodología para el análisis de desempeño del habitáculo de seguridad de un vehículo liviano a impacto frontal sobre una pared rígida por el método de los elementos finitos. - La universidad de Wichita se determinó que durante un impacto frontal las partes claves que se ven involucradas en el accidente de tránsito son la cabeza, el cuello en conjunto con las extremidades inferiores. Haciendo énfasis en el vehículo más vendido en el periodo 2015-2016 se usa como estudio el auto Aveo Emotion GLS AC 1.6 4p 4x2 TM. Se puede apreciar mediante el MEF que las partes que absorben mayor energía son el parachoques, el motor y los rieles, antes de que el habitáculo se vea comprometido, por lo que se concluye que la deformación del habitáculo en base a los datos es mínima y se valida con la energía de Hourglass con un valor de 1.065% por debajo del 5% aceptado en un análisis estructural (Rocha & Chamba Monar, 2018).
- Análisis de simulación por elementos finitos de la resistencia al choque frontal de un vehículo. - En base al protocolo de evaluación C-NCAP y mediante el MEF se realizó un

estudio del rendimiento de la seguridad pasiva de vehículos nuevos durante una colisión frontal a 50km/h contra un muro rígido. Usando el software LS-DYNA los resultados obtenidos muestran un rebote del vehículo durante la colisión con un déficit de absorción de energía y resultados en la aceleración del conductor de 41.6 g, cumpliendo con la normativa vigente en China, desplazamiento de parachoques de 490mm y deformación máxima de viga longitudinal delantera 241.2mm; estos valores dan como resultado que las principales partes que absorbieron energía son: el parachoques y la viga longitudinal lo que muestra que esta viga redujo la fuerza principal de impacto, creando una deformación pequeña en el habitáculo y la intrusión en el panel frontal es de 178 mm lo cual puede causar graves daños en el pecho del conductor; por lo que, mediante este estudio se concluye que la estructura del vehículo presenta buenos resultados frente a un choque frontal, sin embargo se debe tomar en cuenta parámetros presentados en el estudio para su posible mejoramiento en su diseño (Zheng He YanLu, 2018).

- Análisis de las lesiones de los ocupantes en las colisiones entre camiones pesados.- Mediante el análisis de las lesiones ocurridas en colisiones frontales y traseras entre camiones pesados se considera la importancia de la seguridad de los ocupantes en caso de una colisión, la mayor transportación de mercancías se realiza en camiones, este ensayo abarca la determinación de colisiones mortales y heridos entre camiones medianos, ligeros y pesados, el espacio de supervivencia juega un papel importante ya que es el que sufre mayor daños por el siguiente análisis, la cabina del camión colisiona con la caja de carga por la rigidez de la caja, con un 71% colisión parte delantera del camión, y con un 58% colisión de la parte trasera central. La velocidad juega un papel importante para el diseño

del vehículo para salvaguardar al ocupante. Donde se toma una colisión frente a frente a 80 Km/h una frecuencia de 90% (Sekine, 2017).

- Mejora basada en elementos finitos de un camión ligero diseño para optimizar la resistencia a los choques. - Basada en la construcción de un modelo fiable ocupando el método de los elementos finitos para un camión, durante una prueba de impacto frontal, utilizando su modelo CAD, por medio de los requisitos para la seguridad de la norma ECE R29-03. La deformación admisible máxima de la cabina, las energías de impacto son de 29,4KJ y 55KJ considerando los vehículos que no exceden las 7,5t la relación es de 0,53, lo cual está dentro del rango de aceptación. “Al comparar los resultados de las pruebas modales con los de la simulación en términos de frecuencias modales, y al comparar la deformación frontal de la prueba de impacto frontal y la de la simulación, se valida parcialmente el modelo de elementos finitos del camión. El método de modelización del camión ligero es útil para la futura modelización de la resistencia al impacto de los camiones ligeros”. (D. Y. Chen, 2015)
- Mejora de las cabinas de los camiones en la fase de diseño para cumplir los requisitos de seguridad pasiva. - Se presenta el desarrollo del mejoramiento de la cabina de vehículos para la transportación de carga cuando se ocurre un impacto frontal, donde se justifica el uso del modelado del MEF, aplicando diferentes modelos de complejidad, verificando el cumplimiento del Reglamento No. 29 de la CEPE. Se determina el aumento del grosor en 2mm de los componentes principales de la cabina, la adición de espuma de aluminio en la

parte interna de los largueros. Recomendando la evaluación de la aceleración de centro de gravedad de masa del Dummy y la evaluación del espacio residual (V.N. Zuzov, 2013).

- Protección contra choques frontales de camiones pesados desarrollo del sistema. – En el desarrollo de este ensayo se toma como principal análisis el modelo de elementos finitos utilizando el software LS-DYNA, para el análisis estructural no lineales y dinámicos. Con la implementación de 1,2 millones de nodos y 60 modelos de materiales. Se evalúan según MEF, con diversas masas y velocidades, los modelos de simulación permiten evidenciar las múltiples variables de condiciones de funcionamiento de los camiones pesados (Mark Alvick, 2007).
- Simulación de colisión y análisis de la seguridad de los ocupantes mediante el método de los elementos finitos.- Este documento deduce la cinemática de los conductores durante un choque frontal a diferentes velocidades, se realiza una simulación analítica utilizando el programa LS-DYNA 3D, condicionadas por parte de las normas internas de la empresa para evaluar los camiones de tipo cabina sobre motor, donde se plantean condiciones de choque frontal a 30km/h contra una barrera rígida, que es la de más interés. Este ensayo permite optimizar las prestaciones del vehículo y predecir una construcción de prototipos de gran nivel de confianza (Adelmann, 2018).

## **7. Determinación las condiciones de entorno para la aplicación del método de elementos finitos en un impacto frontal a diferentes velocidades de impacto.**

### **7.1 Análisis Mediante el Método de Elementos Finitos. -**

El método de los elementos finitos (MEF) es un método numérico de aproximación que puede emplearse para analizar la deformación de una pieza mecánica ante una serie de condiciones de contorno aplicadas (fuerzas externas y restricciones de movimiento). En esencia el método se basa en la discretización de la geometría de la pieza en pequeños elementos finitos de geometría simple, en el interior de los cuales se establecen funciones de interpolación sencillas para relacionar los desplazamientos de cada punto del elemento finito con el desplazamiento de una serie de puntos característicos del mismo, llamados nodos (Jaume, 2014).

Dicho proceso equivale a simplificar las ecuaciones diferenciales del problema y convertirlas en ecuaciones algebraicas que relacionan las fuerzas en los nodos con los desplazamientos de los mismos dentro de cada elemento finito. (Valero, 2004)

El sistema de ecuaciones dado por la unión de ecuaciones algebraicas de cada elemento finito que forma parte de la pieza permite obtener una solución aproximada para el desplazamiento de cada nodo del problema, empleando interpolación definidas, obteniendo las deformación y tensiones de cada punto. (Valero, 2004)

Para la simulación de un impacto frontal, al finalizar esta, transforma la energía del vehículo en energía de deformación, principalmente plástica del material de la carrocería, el resultado final muestra la capacidad de la carrocería de proteger a sus ocupantes después de una colisión frontal. (Pradhan, 2016)

La unión de las ecuaciones algebraicas de todos los elementos finitos que componen la pieza da lugar a un sistema de ecuaciones para la pieza completa, del que es posible obtener una solución aproximada para el desplazamiento de cada nodo del problema y, por extensión de cualquier punto, empleando las funciones de interpolación definidas. A partir de los desplazamientos de cada nodo se obtienen igualmente las deformaciones y tensiones en cada punto. La exactitud del método depende de diversos factores, tales como el tamaño de los elementos finitos y el tipo de funciones de interpolación empleadas. En la simulación durante el choque frontal o la energía de movimiento, que está presente en un vehículo antes de ocurrir el impacto esta se transforma en energía de deformación, como principal en deformación plástica del material que está constituida la carrocería, al final del impacto. Las recolecciones de datos obtenidos de la simulación durante el choque hacen referencia a la capacidad de la carrocería del vehículo que componen la estructura total, que son los encargados de proteger a los ocupantes del vehículo en la ocurrencia durante la colisión en contra de las lesiones. (Pradhan, 2016)

## 7.2 Material y propiedades

Los materiales que conforman el camión N3 garantizan calidad estructural, la absorción de impacto, estabilidad y protección a los ocupantes, los materiales establecidos en el camión son los siguientes:

Acero ASTM A36

- Densidad( $\rho$ ) =  $7.85 \times 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$
- Modulo de Young( $\varepsilon$ ) =  $200 \text{ GPa}$
- Modulo de Poisson( $\mu$ ) =  $0.30$

- Limite Elastico( $\sigma$ ) = 250MPa
- Esfuerzo de Ruptura(*indicador de fallo*) = 400 MPa
- Espesor = 6.8 mm

La composición del acero ASTM A36 es (SUMITEC, 2021):

- 0.25 – 0.29 % C (Carbono)
- 0.60 – 1.20 % Mn (Manganeso)
- 0.15 – 0.40 % Si (Silicio)
- 0.04 % P (Fosforo) máx.
- 0.05 % S (Azufre) máx.

Latón 270 ASTM B 36

- Densidad( $\rho$ ) =  $7.89 \times 10^{-9} \text{ Kg/mm}^3$
- Modulo de Young( $\varepsilon$ ) = 110 GPa
- Modulo de Poisson( $\mu$ ) = 0.30
- Limite Elastico( $\sigma$ ) = 27 MPa
- Esfuerzo de Ruptura(*indicador de fallo*) = 30 MPa
- Espesor = 0.78 mm

La composición del latón 270 ASTM B36 es (Universidad Católica de Argentina, 2021):

- Cobre (70%)
- Zinc (30%)

## 7.4 Datos del Modelo Matemático

Los valores de la masa, dimensiones y ubicación del centro de gravedad del camión se muestran en la tabla 2, estos valores son obtenidos mediante el software utilizado para la aplicación por medio del MEF.

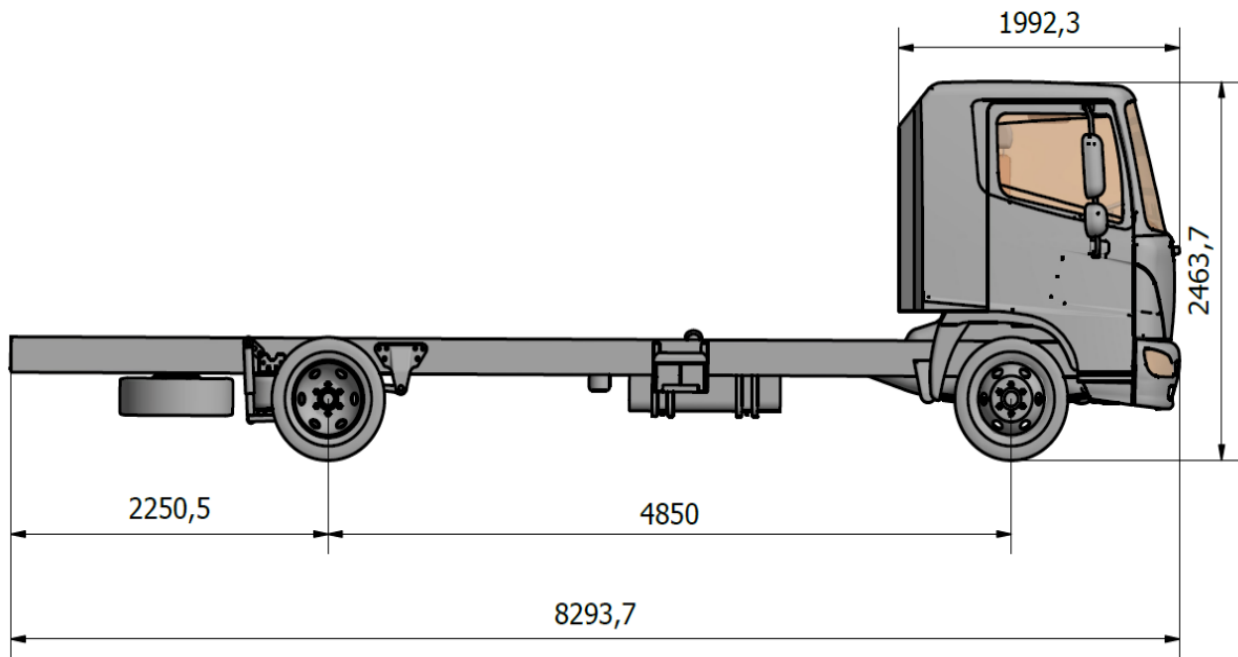
**Tabla 2.** Ficha técnica

**Fuente:** Autores

Parámetros	Valores
Largo Total	8293.70 mm
Distancia Entre Ejes	4850 mm
Ancho Total	2650 mm
Altura Total	2463.70 mm
Masa de la Superestructura	2005,08 kg
Posición Longitudinal del CDG (Centro de Gravedad)	931,09 mm
Posición Transversal del CDG (Centro de Gravedad)	851,168 mm
Altura Transversal del CDG (Centro de Gravedad)	74,41 mm

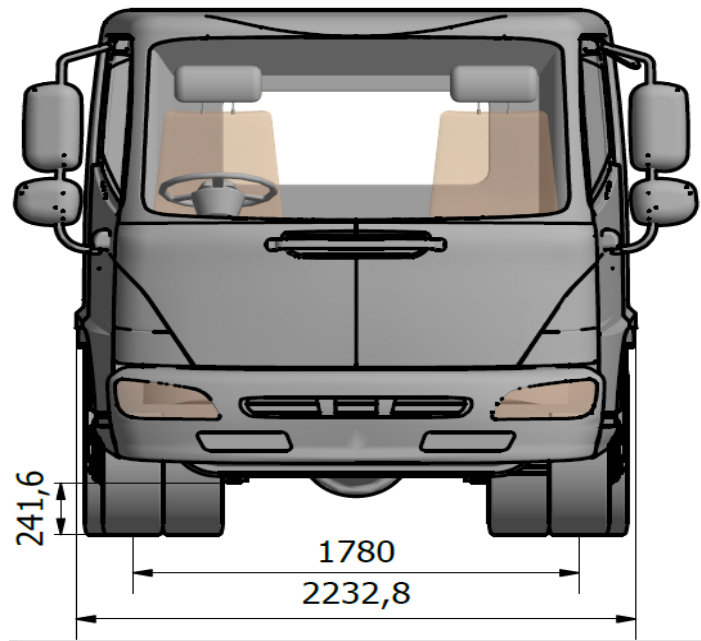
Como se muestra en la figura 30 (vista lateral) se especifica las dimensiones establecidas por el fabricante y el centro de gravedad calculado, donde se sitúan con precisión en el Camión tipo N3.





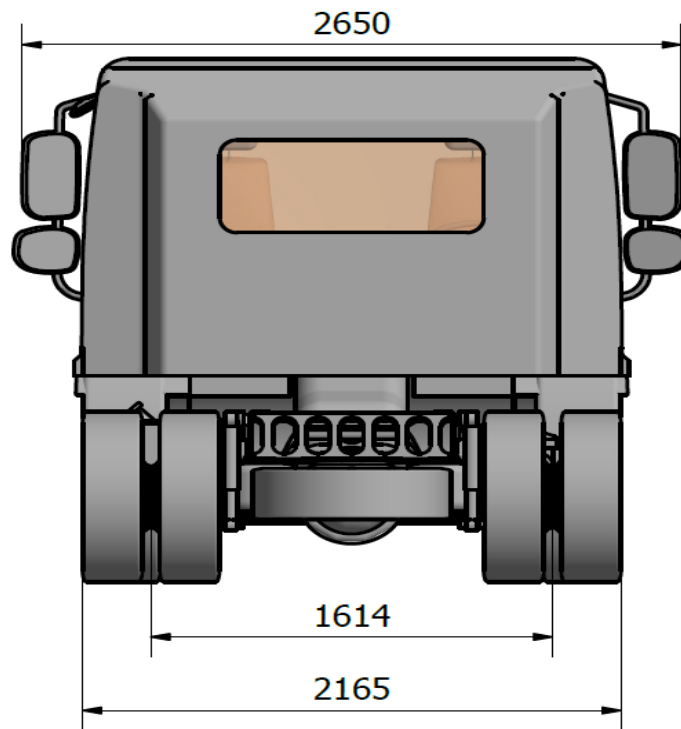
*Figura 31. Dimensionamiento de la carrocería del camión*  
*Fuente: Autores*

La vista frontal del camión es necesaria para poder establecer los datos de la posición transversal del centro de gravedad y el ancho total, ver figura 31.



*Figura 32. Vista frontal del camión*  
*Fuente: Autores.*

La vista posterior del camión establece los datos de distancia entre ejes y el ancho total del camión y poder encontrar el centro de gravedad, ver figura 32.



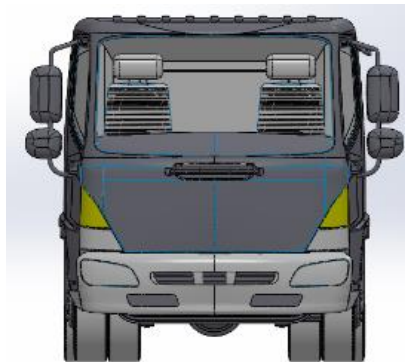
*Figura 33. Vista posterior del camión.  
Fuente: Autores*

## **8. Análisis de Colisión frontal del camión tipo N3**

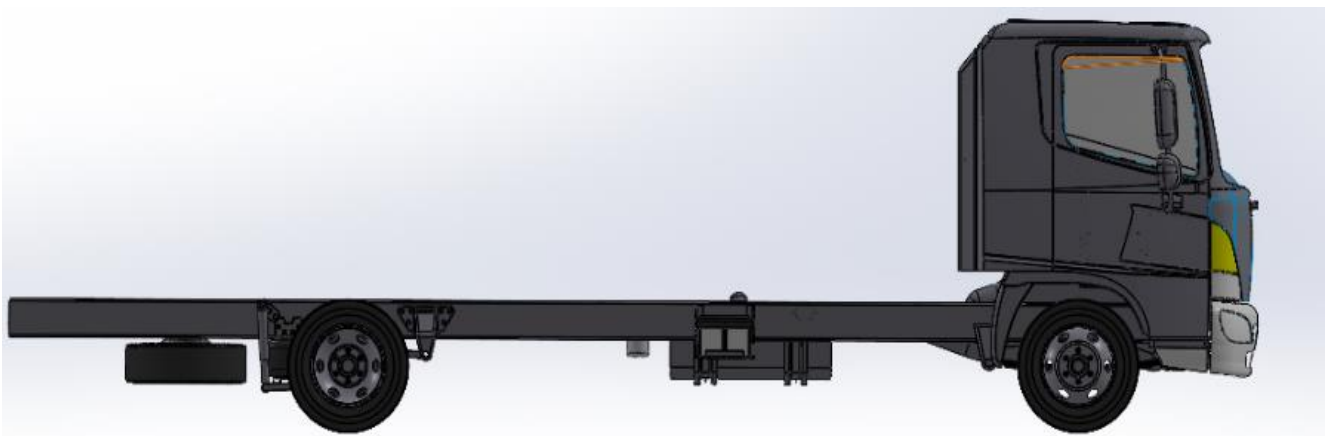
De acuerdo con la norma establecida por la CEPE, para la conformidad y certificación de cumplimiento de los parámetros de homologación para vehículos comerciales, la prueba de impacto frontal se ejecuta a velocidades de 30, 60 y 90 km/h del camión. Al realizar la aplicación de impacto frontal al camión tipo N3, no es indispensable que cuente con todos los componentes para el análisis del comportamiento de las energías en el habitáculo del camión, sin embargo, es necesario que el camión este esquematizado en su diseño con todos los elementos que le proporcionan una rigidez completa a la estructura del camión.

## 8.1 Modelado de la Estructura del camión tipo N3

Mediante un software CAD, el modelado y diseño del camión tipo N3 en base a la Normativa NTE INEN 2656 se lo realiza sin problema alguno, sin embargo, en la normativa nacional e internacional, los vehículos para el transporte de carga pesada y mercancías no tiene establecido parámetros de diseño normalizados, por lo que se implementa medidas y materiales de un camión tipo N3 comercial en el país. El diseño establecido mediante el software representa la estructura real de un vehículo comercial de carga pesada como se puede observar en la figura 33 y la figura 34 modelado del camión.



*Figura 34. CAD del modelado del camion parte Frontal*  
*Fuente: Autores*



*Figura 35. CAD del modelado del camion parte lateral.*

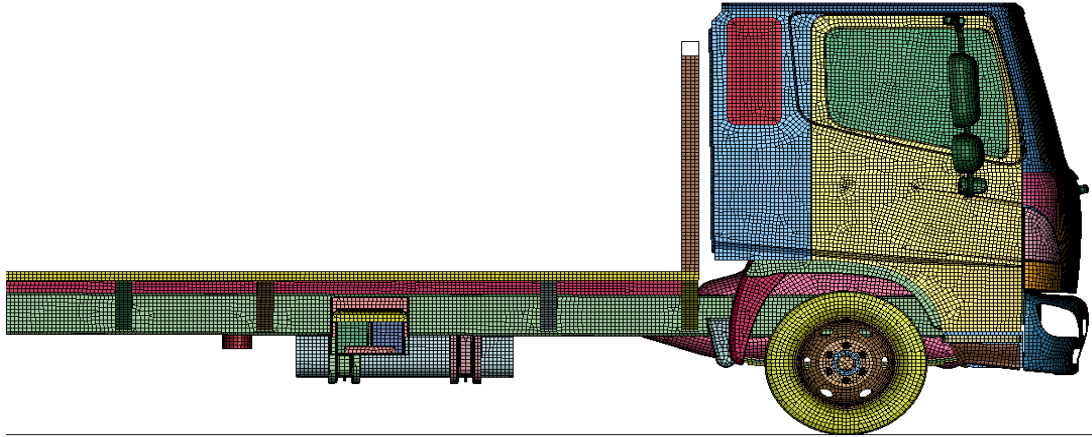
*Fuente: Autores*

### **8.2.1 Análisis de Impacto de Velocidad a 30, 60 y 90 km/h.**

De acuerdo al análisis considerado para el impacto frontal se tomó tres criterios de velocidad para realizar las diferentes pruebas a las que se somete al vehículo durante la simulación que son de: 30, 60 y 90 Km/h, admisibles según el Reglamento 94 de la CEPE, donde se especifica que para el estudio y comportamiento tras un impacto frontal se establece 30 Km/h (velocidad moderada),  $56\pm 1$  Km/h (velocidad media) y 90 Km/h (velocidad alta) para la valoración de un impacto frontal, sin embargo, también se establece que las velocidades de impacto que superen los  $56\pm 1$  Km/h y siendo el ensayo efectuado a una velocidad más alta de 56 Km/h, en donde, el vehículo de estudio cumple los requisitos establecidos, el ensayo se considera aceptable. (Comisión Económica Para Europa de la Naciones Unidas Reglamento N°94, ONU, 2010)

### **8.2.2 Descripción de contactos de impacto.**

La definición de los contactos dentro de la simulación proporcionan mejores resultados y definen las superficies que tienen contacto durante la colisión frontal, en la figura 35, se puede observar la superficie frontal del camión tipo N3 que tendrá contacto con la pared sólida, según lo establecido en los ensayos realizados por la LATIN NCAP la pared tendrá contacto con la superficie frontal del vehículo en un 40 % con el ancho del vehículo sin tomar en cuenta los retrovisores (Latin Ncap, 2011).



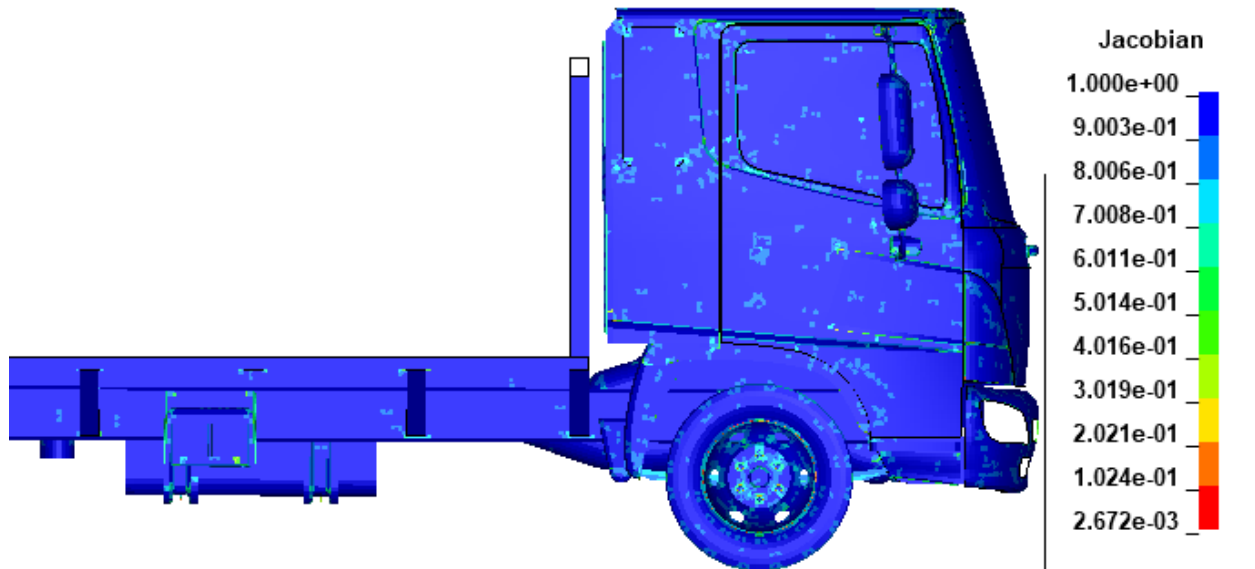
*Figura 36. Enmallado completo en el software LS-DYNA  
Fuente: Autores*

### **8.2.3 Implementación de malla y elementos finitos al modelado del camión tipo N3**

Al implementar una malla para el análisis de elementos finitos, lo ideal es utilizar una malla apropiada para su estudio, procurando que se represente la geometría del elemento en cuestión. Para el proceso de análisis por elemento finitos se debe tomar en cuenta la calidad de la malla, por lo que los parámetros como la densidad de la malla y la relación jacobiana nos permiten verificar la calidad de esta. Una malla con una densidad grande de elementos finitos muestra mejores resultados, sin embargo, puede no mostrar diferencias significativas y aumenta el tiempo de cálculo (AutoFEM, s.f.).

La relación jacobiana representa la desviación de un elemento con respecto a su ideal, este valor oscila entre -1,0 y 1,0, donde 1,0 representa el elemento en forma ideal; dentro de los elementos finitos, el Jacobiano representa la relación del elemento más pequeño y el más grande del determinante de la matriz jacobiana, por lo que los valores siempre están entre 1 y 0. (ENG-TIPS, 2018).

La figura 36, muestra la relación de la malla con respecto al Jacobiano donde, se observa que los valores jacobianos se encuentran entre 1,0 (ideal) y 0,002672, esto permite confirmar que la calidad de la malla tiene valores cercanos al ideal y es apta para el estudio del impacto frontal.



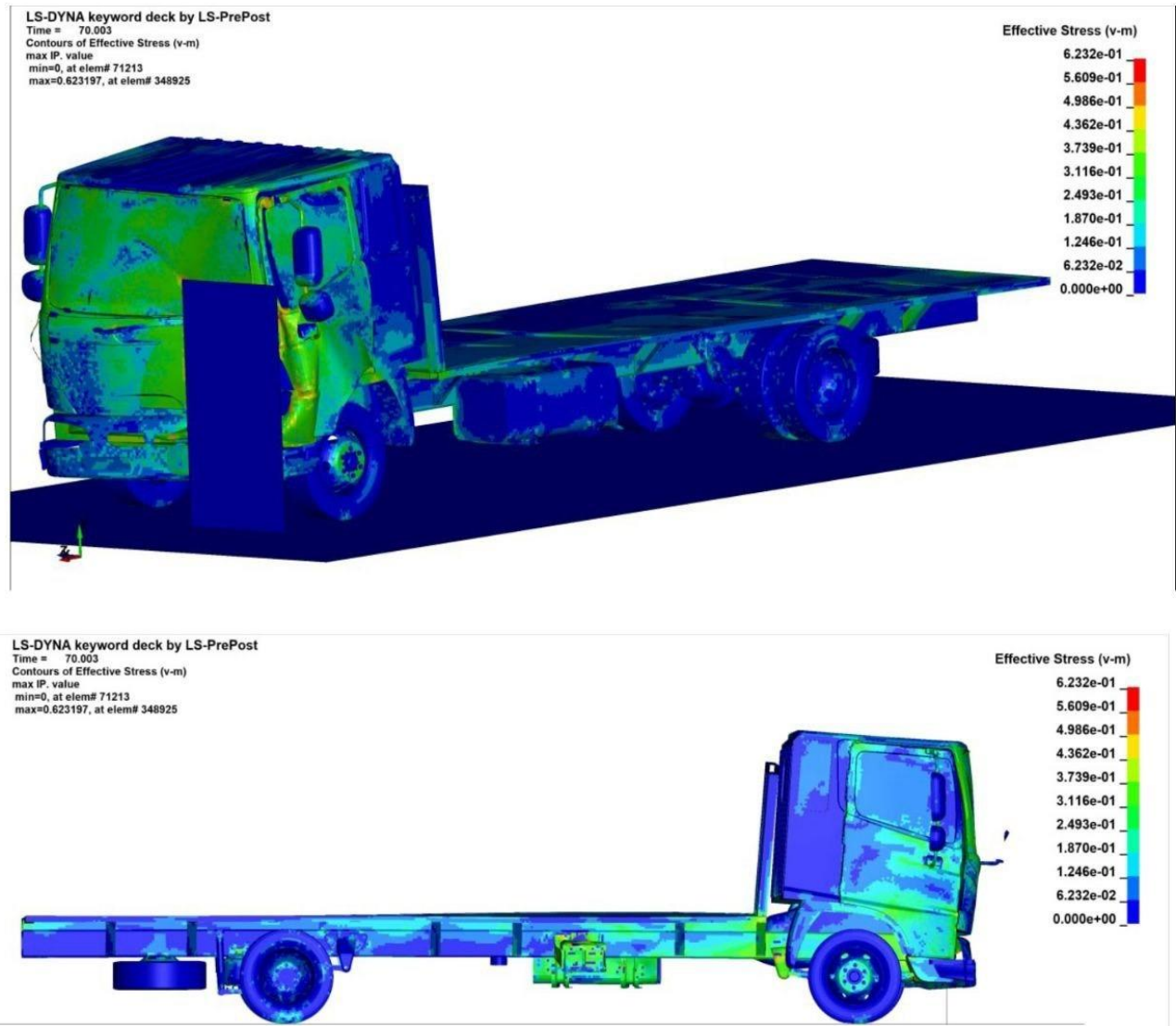
*Figura 37. Relación de Jacobiano, calidad de malla.  
Fuente: Autores*

## 9. Resultados

### 9.1 Esfuerzos de Von Mises y Energías

En la figura 37, se observa la colisión frontal del camión en estudio contra una pared fija al 40% de la superficie frontal del vehículo como se especifica en los ensayos físicos realizados por la LATIN NCAP, donde se puede observar que los esfuerzos de Von Mises durante la colisión a una velocidad de 30 Km/h varían entre 0 Pa hasta 6.232E-01 MPa expuesto

de color rojo como el valor máximo, la mayor parte de la energía absorbida se encuentra en la carrocería del vehículo, creando un desplazamiento de la cabina leve.



**Figura 38.** Esfuerzo de Von Misses (GPa) Vista frontal de impacto a 30 Km/h.  
**Fuente:** Autores.

La simulación muestra un impacto frontal con un desplazamiento leve que no transgrede la vida de los ocupantes, sin embargo, haciendo énfasis en el Reglamento 66 de la comisión económica de las naciones unidas para Europa, el porcentaje de la energía total no debe exceder

el 5% para el proceso de modelación matemática, la ecuación (1) permite verificar el porcentaje de error producido en la simulación.

$$H_{\%} = \frac{\text{Energía}_{\text{Hourglass}}}{\text{Energía}_{\text{Total}}} \times 100 \quad (1)$$

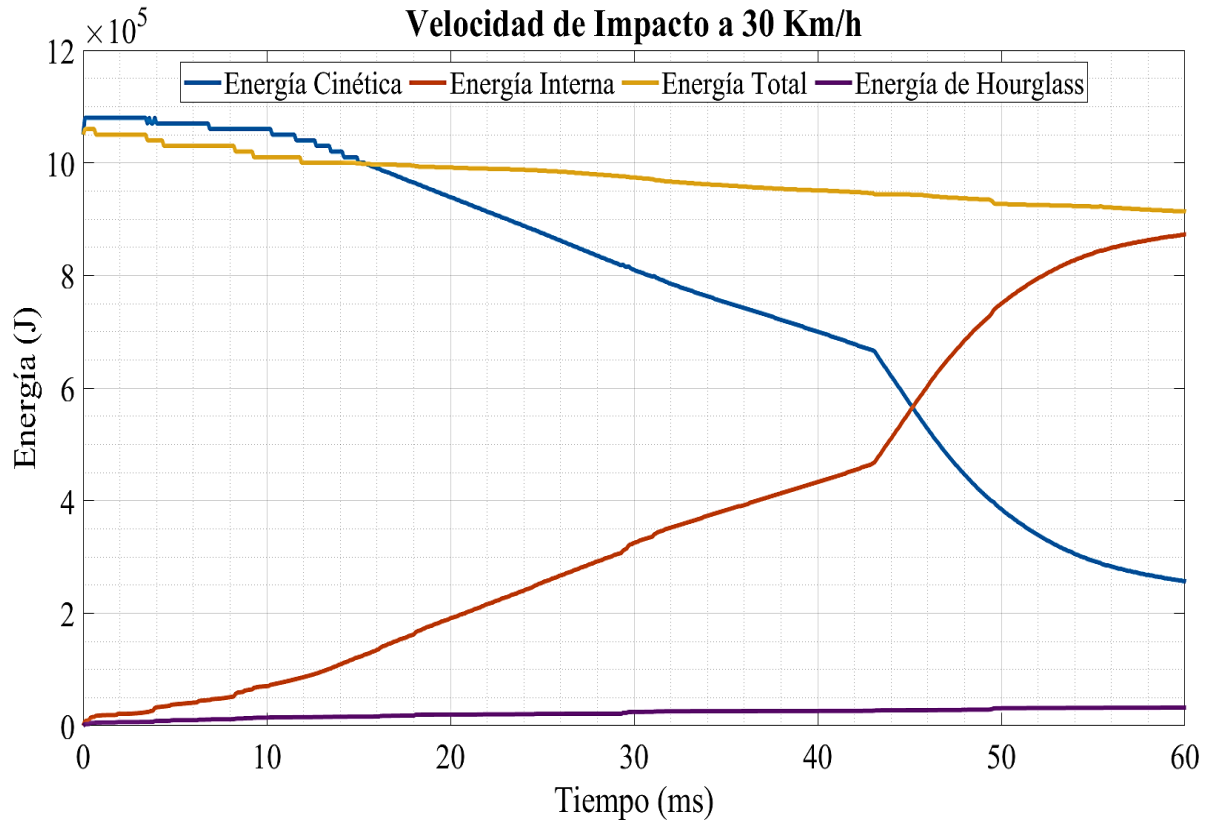
$$H_{\%} = \frac{3,28E + 04}{9,01E + 05} \times 100$$

$$H_{\%} = 3.64\%$$

La verificación del funcionamiento del modelo del camión se realiza por la proyección de, la energía cinética, energía interna, energía total y la energía de Hourglass, versus el tiempo. Los trazados de la gráfica muestran un comportamiento normal para el análisis de choque frontal. La diferenciación producida entre la energía de deformación interna final y la pendiente más plana de la energía interna, del modelo se debe al pandeo del chasis.

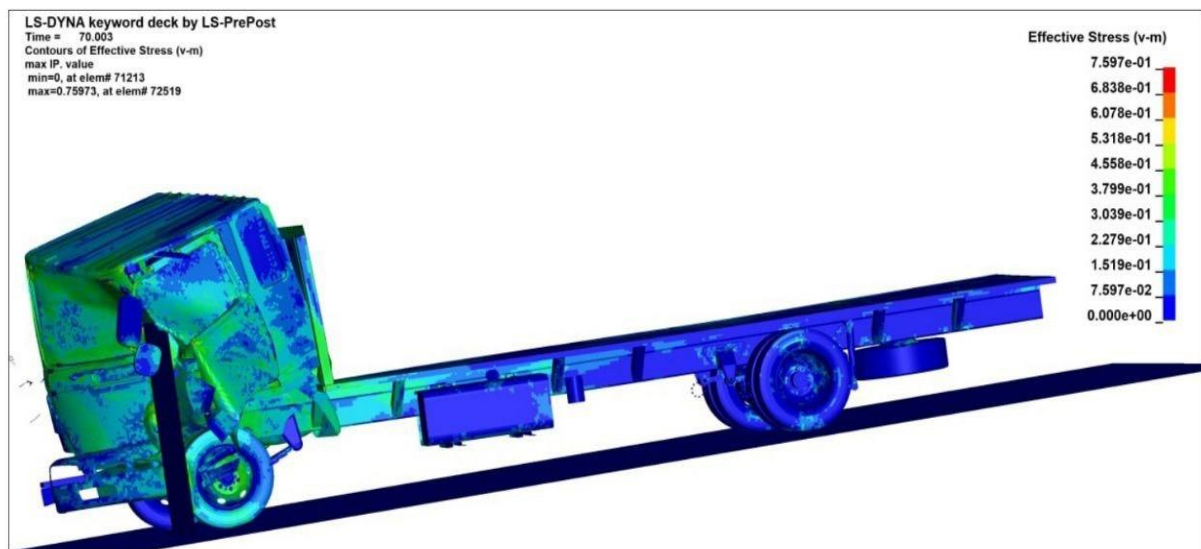
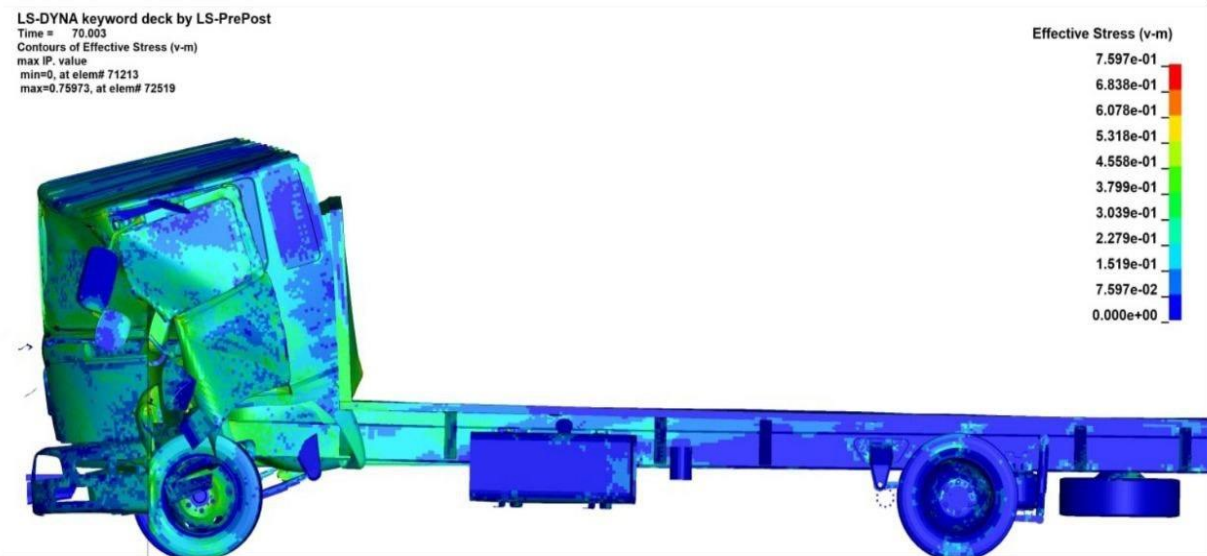
Como se observa en la figura 38, a 30 Km/h, antes del impacto la energía cinética se mantiene constante (1.08E+06 J) durante un tiempo de 3.60 milisegundos y después del impacto, baja a 2.05E+05 J a 60 milisegundos, ocurre principalmente por las pérdidas de los elementos de contacto, por el deslizamiento y a la amortiguación estructural. La energía total y la energía de Hourglass en el análisis están por debajo del 5% admisible.





**Figura 39.** Energías obtenidas de la simulación del impacto frontal del Camión a 30Km/h.  
**Fuente:** Autores

El esfuerzo de Von Misses luego de producirse la colisión del camión a una velocidad de 60 Km/h, está determinado en los siguientes valores; 0 MPa para el valor mínimo (color azul) el valor máximo crítico está en 7.597 E-01 MPa (color rojo), donde la concentración de esfuerzos se produce a nivel de cabina – bastidor, ver figura 39, los cuales son los principales elementos de absorción del impacto, procurando disminuir la deformación del habitáculo.



**Figura 40** Esfuerzo de Von Misses (GPa) a 60 Km/h  
**Fuente:** Autores.

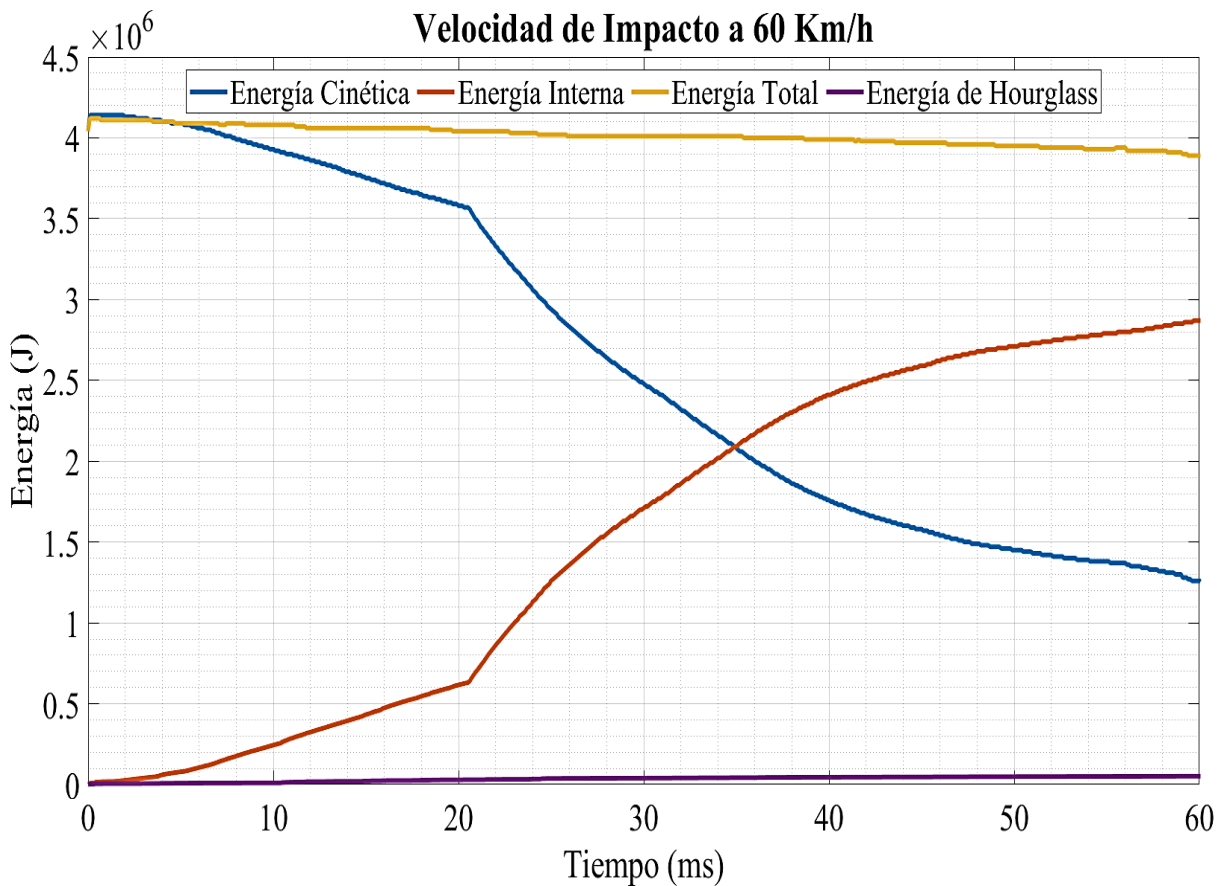
La ecuación realizada con respecto a la energía de Hourglass para 60 Km/h se representa de la siguiente manera:

$$H_{\%} = \frac{\text{Energía}_{\text{Hourglass}}}{\text{Energía}_{\text{Total}}} \times 100 \quad (1)$$

$$H_{\%} = \frac{5.52E + 04}{3.86E + 06} \times 100$$

$$H_{\%} = 1.43\%$$

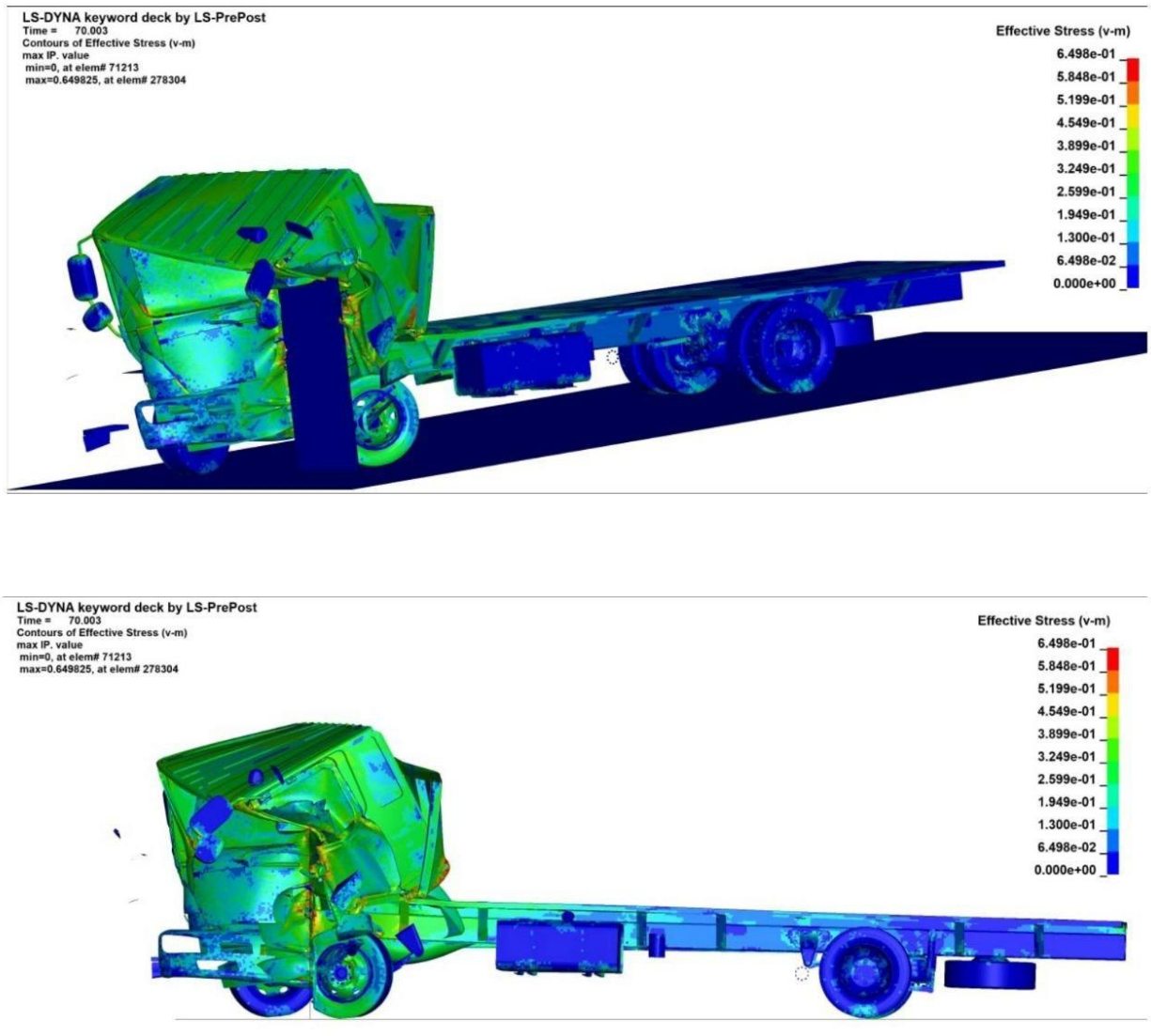
Para el análisis resultante a 60 Km/h. se observa que la energía cinética es de (4.14E+06 J) durante un tiempo de 1.50 milisegundos y a la finalización del impacto, existe una caída evidente de 1.26E+06 J a 60 milisegundos, ver figura 40. La energía total y la energía de Hourglass en el análisis, están por debajo del 5% valor admisible, es decir a 1.43%.



**Figura 41.** Energías obtenidas de la simulación del impacto frontal del camión a 60 Km/h.  
Fuente: Autores

El esfuerzo de Von Misses durante el tiempo de simulación para la velocidad de 90Km/h, está representado por los siguientes valores; su punto de iniciación en 0 MPa, y su punto final de

8.65E+06 J, ver figura 41, el que está expuesto como el valor más crítico del esfuerzo resultante, donde se verifica que presenta daños críticos sobre el habitáculo y expone a mortalidad del ocupante, por una deformación de gran escala en la cabina.



**Figura 42.** Esfuerzo de Von Mises (GPa) a 90 Km/h  
**Fuente:** Autores

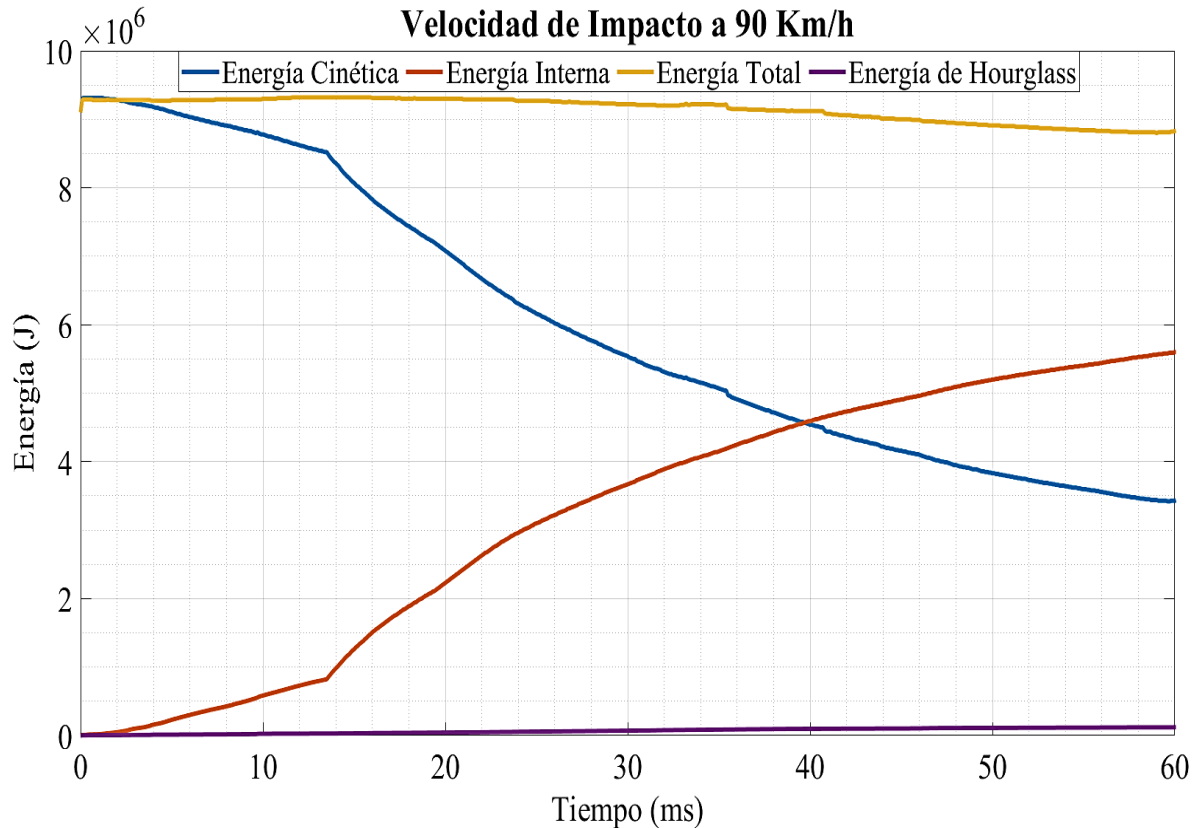
La Ecuación realizada con respecto a la energía de Hourglass y la energía total para la velocidad de 90 km/h, se representa de la siguiente manera:

$$H_{\%} = \frac{\text{Energía}_{\text{Hourglass}}}{\text{Energía}_{\text{Total}}} \times 100 \quad (1)$$

$$H_{\%} = \frac{1.31E + 05}{8.65E + 06} \times 100$$

$$H_{\%} = 1.52\%$$

En la figura 42, con una velocidad a 90Km/h interpretada por la simulación se representa a en el gráfico dando a conocer los resultados de las energías presentes. Antes del impacto la energía cinética es constante con valor de 9.31E+06 J durante un tiempo de 1.50 milisegundos al concluirse el impacto, existe una valorización en descenso a 2.95E+06 J a 60 milisegundos. La ecuación que interpreta la energía total y la energía de Hourglass para nuestra simulación están por debajo del 5% admisible.



**Figura 43.** Energías obtenidas de la simulación del impacto frontal del Camión tipo N3.  
**Fuente:** Autores

En la tabla 3, se resume cada valor de energía total y la energía de Hourglass, con respecto a la velocidad utilizada en las simulaciones.

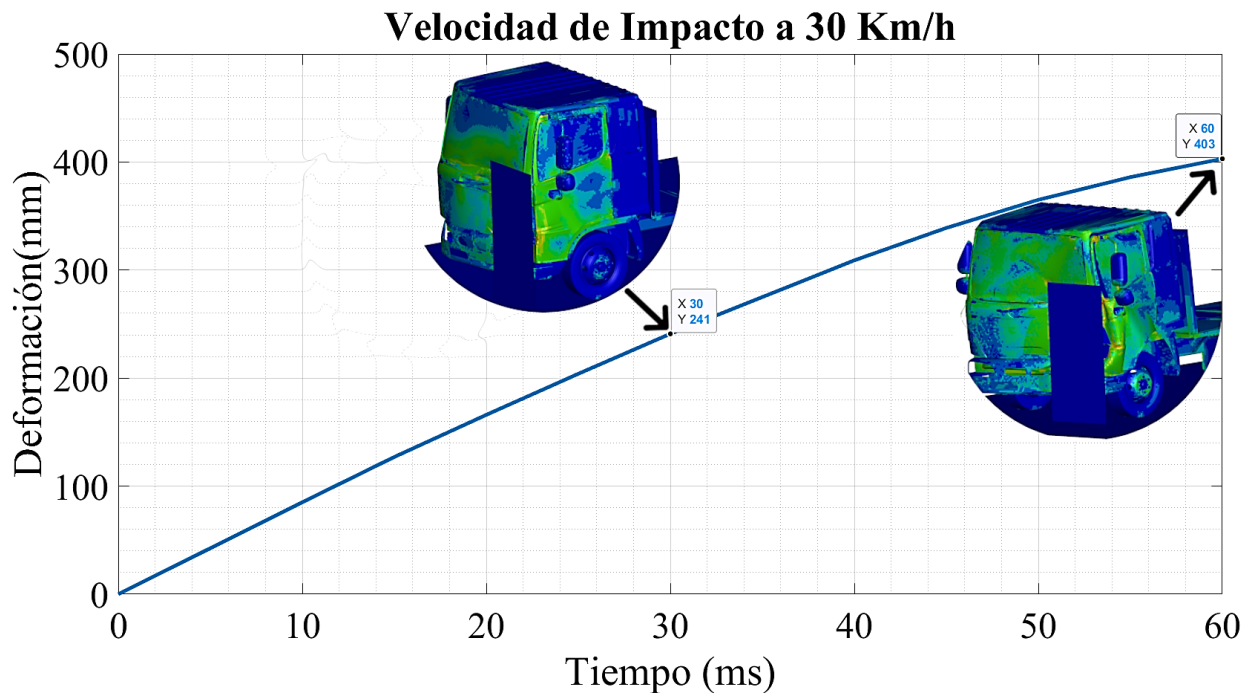
**Tabla 3.** Comparación de los valores de energía total y Hourglass.  
**Fuente:** Autores

Velocidad	Valor máximo de energía total	Valor máximo energía Hourglass	Porcentaje
30 km/h	9.01E+05 J	3.28E+04 J	3.64%
60 km/h	3.86+06 J	5.52E+04 J	1,43%
90 km/h	8.65E+06 J	1.31E+05 J	1,52%

## 9.2 Deformación.

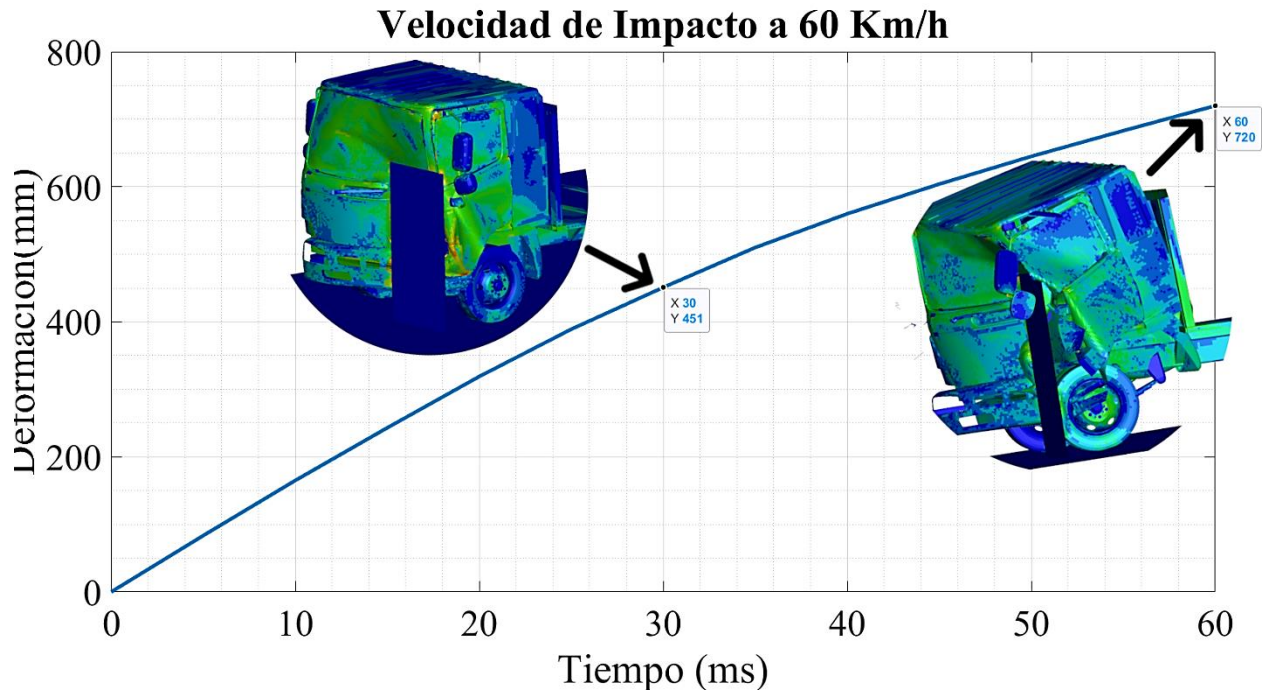
La estructura diseñada para un camión tipo N3, se ve afectada a diferentes colisiones o choques ocurridos durante un siniestro, para el criterio de análisis durante una colisión frontal,

experimenta una deformación que varía según la velocidad de prueba ejecutada. Para una velocidad de impacto a 30 Km/h se produce una deformación de 0.241m durante 0.030 segundos y una deformación 0.403 m durante 0.060 segundos, ver figura 43, sufre una deformación progresiva causados directamente sobre el espacio de supervivencia.



**Figura 44.** Deformación 30Km/h.  
*Fuente: Autores*

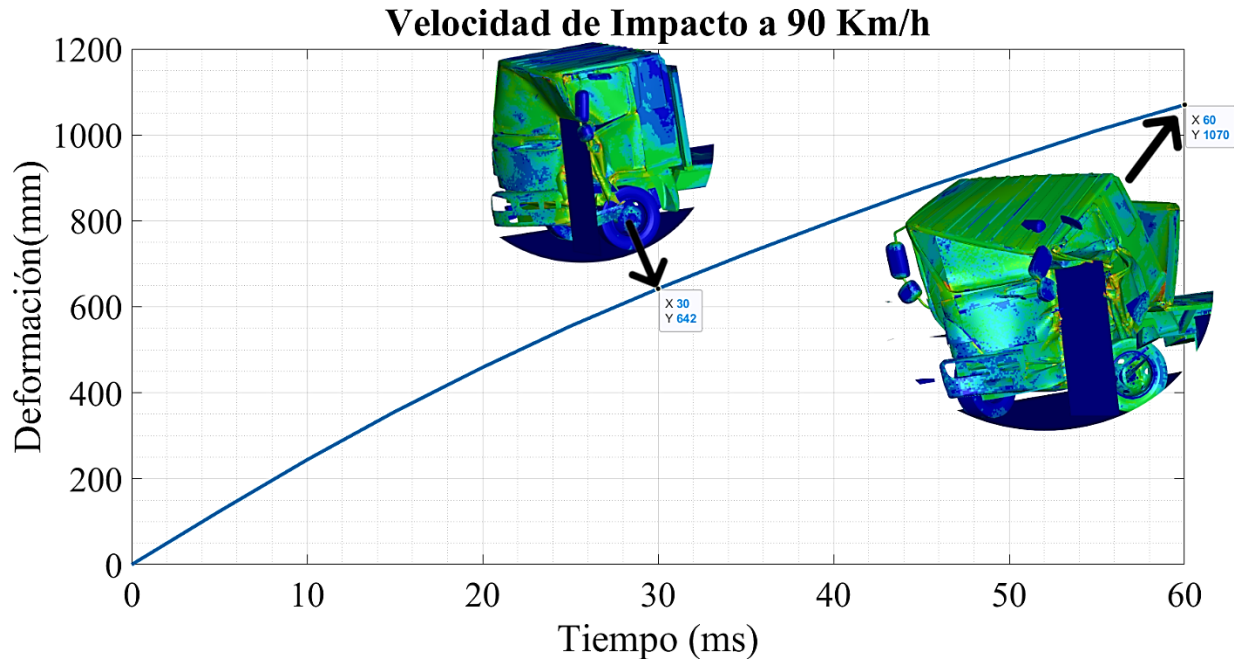
Con una velocidad a 60 Km/h, ocasionada durante la colisión frontal se determina una deformación a 0.30 y 0.060 segundos resultantes de 0.451m y 0.720 m respectivamente, ver figura 44. Donde se evidencia la reducción notoria del espacio de supervivencia, causando daños graves dentro del habitáculo del camión.



*Figura 45. Deformación a 60Km/h.  
Fuente: Autores*

Durante una velocidad de impacto a 90 Km/h el camión experimenta altos daños en el habitáculo del camión, produciendo riegos mortales sobre el conductor y afectaciones directas irreparables sobre la cabina del vehículo, las deformaciones presentes son las siguientes, en un tiempo determinado de 0.03 segundos se verifica una deformación de 0.642 m y para el tiempo de 0.06 segundos se evidencia una deformación de 1.070 m, ver figura 45.





*Figura 46. Deformación a 90Km/h.  
Fuente: Autores*

En la tabla 4 se presenta el resumen comparativo, de los resultados de deformación durante las velocidades a: 30, 60 y 90 Km/h.

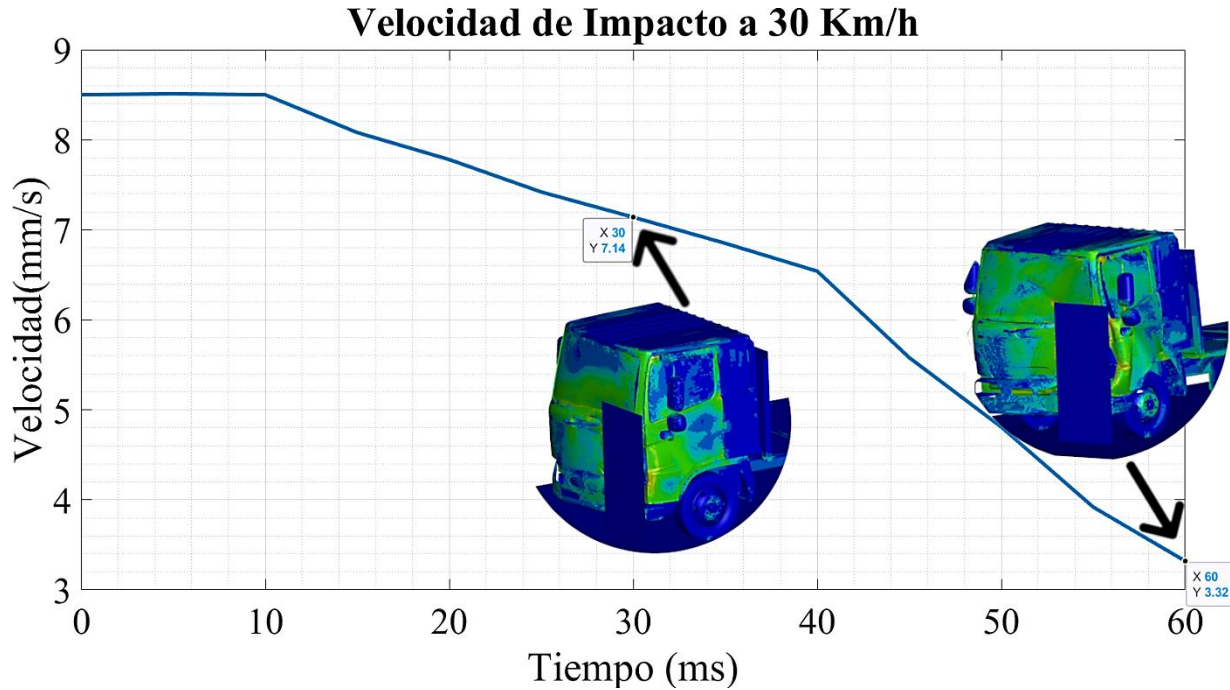
**Tabla 4.** Síntesis de los valores obtenidos de la deformación a las velocidades planteadas.  
*Fuente: Autores.*

Velocidad	Deformación del Camión
30 km/h	0.403 m
60 km/h	0.72 m
90 km/h	1.070 m

### 9.3 Velocidad de impacto

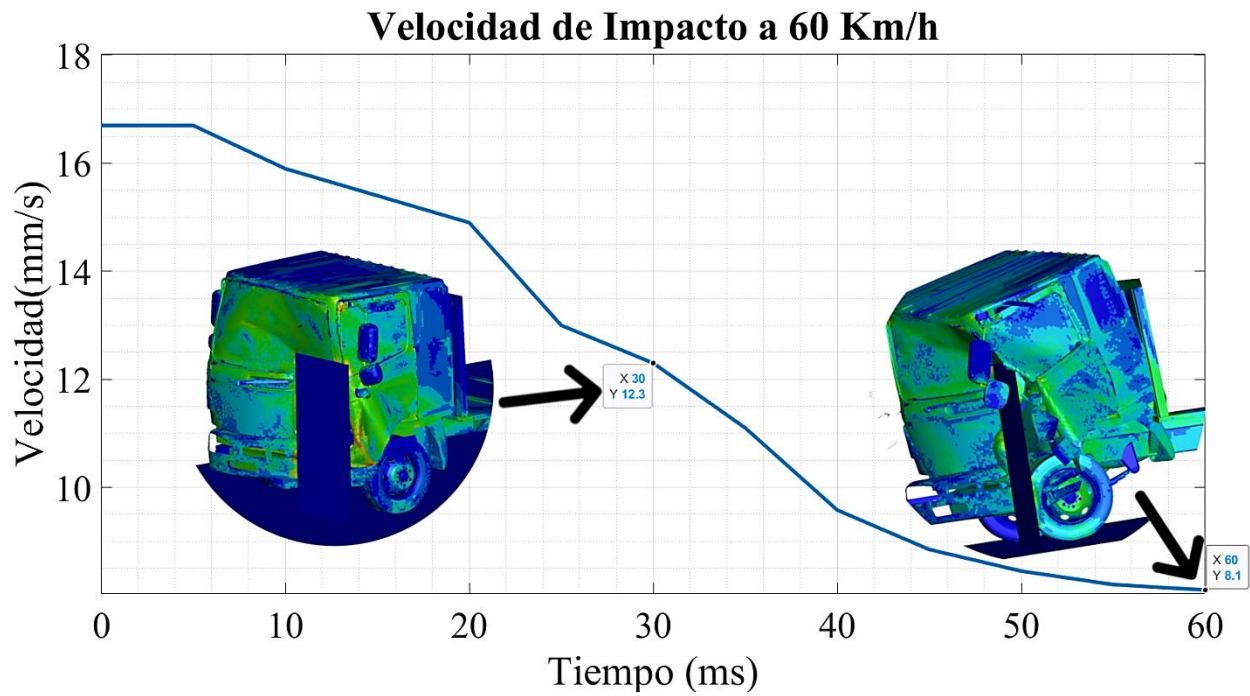
Al iniciar la trayectoria que está es fijada para el camión el cual impacta sobre la pared rígida ubicada al 40 % sobre la parte frontal del mismo, son varias desaceleraciones resultantes compiladas durante la colisión frontal. A una velocidad de impacto a 30 km/h, es considerado dos puntos de análisis importantes durante el tiempo de simulación en un tiempo de 0.03

segundos existe una desaceleración de 7.14 mm/s y para 0.060 segundos hay un resultado de 3.32 mm/s. ver figura 46. Evidenciando daños parciales en la cabina.



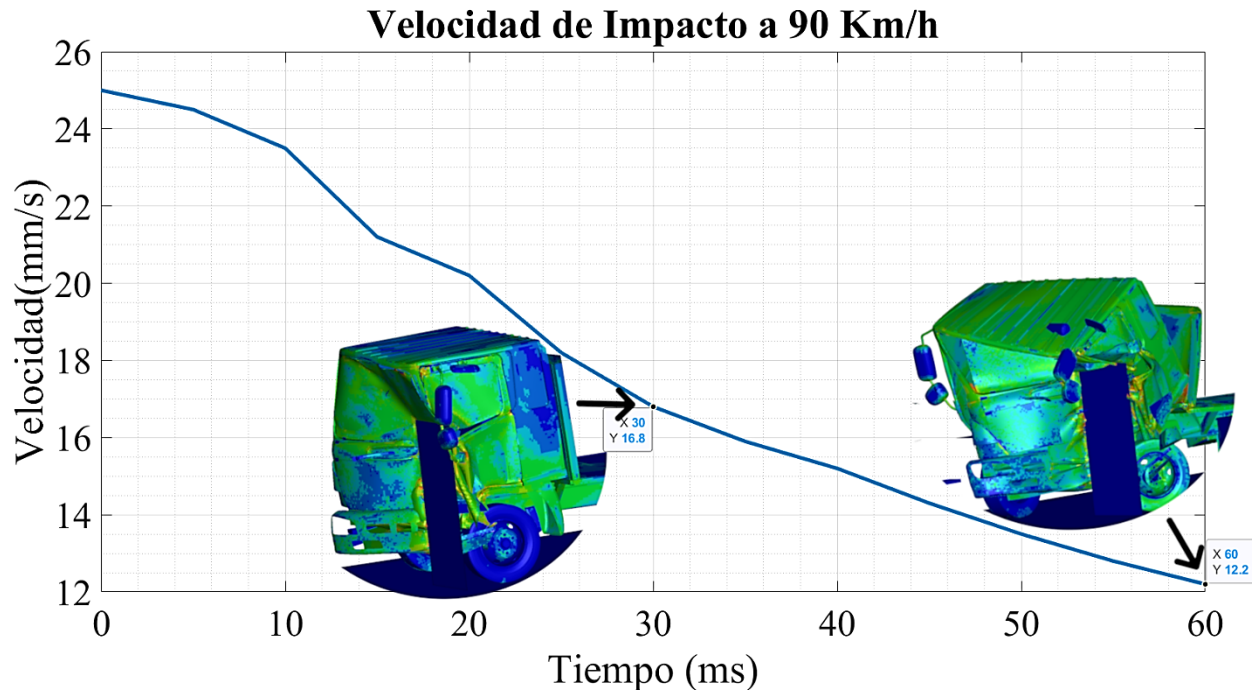
*Figura 47. Velocidad a 30Km/h.  
Fuente: Autores*

Según los resultados obtenidos a una velocidad de 60 km/h se enmarca dos valores principales, existe una desaceleración de 12.3 mm/s a un tiempo de 0.03 segundos y a 8.1 mm/s a un tiempo de 0.060 segundos, ver figura 47, el análisis tiende a daños perjudiciales sobre la seguridad de los ocupantes y agravar los elementos constitutivos del habitáculo del camión.



**Figura 48.** Velocidad a 60Km/h.  
Fuente: Autores

La siguiente directriz de análisis a una velocidad de 90 km/h, son evidentes los daños sobre los sistemas de los elementos de seguridad y daños completos del habitáculo, los cuales dan como resultado altos riesgos de mortalidad de los ocupantes, ver figura 48, como resultados se obtuvo una desaceleración de 16.8 mm/s a 0.030 segundos, y 0.012 mm/s



*Figura 49. Velocidad a 90Km/h.  
Fuente: Autores*

## 10. Conclusiones

- El análisis mediante elementos finitos facilita el estudio sobre el comportamiento de la estructura y las energías durante un impacto frontal en el habitáculo de un camión tipo N3 sin recurrir a ensayos destructivos, sin embargo, la normativa nacional carece de parámetros normalizados para la manufactura y reglamentación de dispositivos de seguridad estructural en vehículos comerciales y de carga pesada. En el transcurso de la investigación, la segmentación de velocidades admitidas por la normativa nacional en las vías del país nos permite evaluar la deformación del habitáculo del camión y como este afecta directamente a los miembros de la misma. A velocidades de 30km/h se observa que la deformación máxima alcanza es de 0,4m, suponiendo una deformación leve que tiene mayor incidencia en el conductor y/o acompañante, los valores de deformación para

velocidades de 60 y 90 km/h son elevados y pueden ocasionar lesiones graves a corto plazo o definitivamente en los ocupantes del camión con valores de 0,72m y 1,07m respectivamente; los valores de deformación o desplazamientos ocasionados por el impacto frontal causan una deformación en la parte frontal del habitáculo que pueden causar lesiones en los ocupantes, la estructura principal del camión absorbe parte de la energía causando la deformación de la cabina del camión.

- Los ensayos realizados en base al Reglamento N°29 de la CEPE, aproximan el estudio a situaciones reales de conducción, donde se tiene énfasis en la cabina del conductor, puesto que la pared se coloca con un desfase del 40% desde el ancho del camión sin tomar en cuenta los retrovisores; los impactos frontales a diferentes velocidades muestran el desplazamiento que podría suceder en dicho impacto, la deformación a 30km/h muestra una deformación que no procede a realizar un daño grave sobre el habitáculo, sin embargo para velocidades de 60 km/h y 90 km/h la vida de los ocupantes alcanza niveles de críticos donde inclusive podría haber un aprisionamiento mediante el hundimiento del habitáculo.
- Las normativas nacionales e internacionales poseen parámetros de ensayo que se aplicaron y validaron en el estudio, adicional, empleando los cálculos establecidos en el reglamento 66, para la energía de Hourglass, los valores máximos de error aprobados son del 5%, por lo que, los cálculos realizados en el estudio y los obtenidos mediante simulación muestran valores de 1.43-3.64% en las simulaciones, proporcionando resultados admitidos para el mismo.

## 11. Recomendaciones

- La normativa nacional e internacional carecen de estándares normalizados y regularizados para camiones, por lo cual mediante el estudio se constató la insuficiente seguridad que posee el conductor en caso de colisiones frontales, donde según las estadísticas nacionales, hasta diciembre del año 2021 se han reportado un total de 223 fallecidos, lo cual demuestra la carente seguridad que poseen los camiones en colisiones frontales a velocidades superiores a 60 km/h.
- El estudio realizado mediante elementos finitos (MEF), debe tener como contraparte la realización de un ensayo destructivo del camión, que permita realizar comparaciones y verificar un margen de error más aproximado a la realidad.

## 12. Bibliografía

- (2004). En M. Peden, R. Scurfield, D. Sleet, D. Mohan, E. Jarawan, & C. Mathers, *Informe mundial sobre la prevención de los traumatismos causados por el tránsito* (pág. 5). Panama: Organización Panamericana de la salud.
- Accidente de Tránsito*. (s.f.). Recuperado el 19 de January de 2022, de Instituto Nacional de Estadística y Censo - Panamá: <https://www.inec.gob.pa/archivos/P4361CONCEPTOS.pdf>
- ACELERANDO. (13 de Enero de 2021). *Acelerando*. Obtenido de <https://acelerando.com.ec/la-venta-de-vehiculos-en-ecuador-se-contrajo-un-35-en-2020/>
- Adelmann, D. M. (2018). Simulación de colisión y análisis de la seguridad de los ocupantes mediante el método de los elementos finitos. *SAE International*.
- Alvarez, C. A., & Coller, C. D. (1977). Los accidentes de tránsito: creciente problema para la salud pública. *IRIS*, 83(4), 310-311. Obtenido de <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/16146/v83n4p310.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ANT. (28 de diciembre de 2021). El Reporte Nacional de Siniestros de Tránsito. Quito, Pichincha, Ecuador: ANT.
- ANT. (Diciembre de 2021). *Estadísticas siniestros de tránsito*. Recuperado el 23 de January de 2022, de Agencia Nacional de Tránsito: [https://www.ant.gob.ec/?page\\_id=2670](https://www.ant.gob.ec/?page_id=2670)
- Asociación de empresas automotrices del Ecuador. (23 de Diciembre de 2021). Sector Automotor en cifras. 5-6. Obtenido de <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2022/01/12.-Sector-en-Cifras-Resumen-Diciembre.pdf>
- AutoFEM. (s.f.). *Autofem.com*. Obtenido de [https://autofem.com/help/es/purpose\\_and\\_role\\_of\\_meshes.html](https://autofem.com/help/es/purpose_and_role_of_meshes.html)
- Autores. (2021). *ANÁLISIS DEL HABITÁCULO DE UN CAMIÓN TIPO N3*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Ayala Yunga, E. I., & Tacuri Tacuri, L. E. (Octubre de 2021). *Universidad Politecnica Salesiana*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21255/1/UPS-CT009349.pdf>
- Bull, A. (2003). Congestión de tránsito. Santiago de Chile: CEPAL.
- C, S. (16 de 09 de 2020). *UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ASISTENCIA A LA CONDUCCIÓN*. Obtenido de [https://www.cmanuales.com/toyota\\_prius\\_lda\\_advertencia\\_de\\_cambio\\_involuntario\\_de\\_carril\\_con\\_control\\_de\\_la\\_direccig\\_n\\_-61.html](https://www.cmanuales.com/toyota_prius_lda_advertencia_de_cambio_involuntario_de_carril_con_control_de_la_direccig_n_-61.html)

- Cmanuales. (2020). *Segmento C*. Obtenido de [https://www.cmanuales.com/toyota\\_prius\\_lda\\_advertencia\\_de\\_cambio\\_involuntario\\_de\\_carril\\_con\\_control\\_de\\_la\\_direccig\\_n\\_-61.html](https://www.cmanuales.com/toyota_prius_lda_advertencia_de_cambio_involuntario_de_carril_con_control_de_la_direccig_n_-61.html)
- Coba, G. (11 de January de 2022). *Estadísticas del sector automotor muestran una recuperación productiva*. Recuperado el 1 de February de 2022, de Primicias: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/venta-vehiculos-trabajo-recuperacion-economia-ecuador/>
- Comisión Económica Para Europa de la Naciones Unidas Reglamento N°94, ONU. (2010). *Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión frontal*. EUROPA: Diario Oficial Unión Europea.
- D. Y. Chen, L. M. (2015). • Mejora basada en elementos finitos de un camión ligero diseño para optimizar la resistencia a los choques. *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 16, No. 1, 39-49.
- Ec., E. D. (24 de 07 de 2017). Volcamiento de camión militar deja nueve heridos. *Insolito y Virales*, pág. 15.
- Ecuador, E. D. (27 de 07 de 2021). *Carro estrella contra poste en la avenida 4 de Noviembre*. Obtenido de [www.eldiarioecuador.com.ec](http://www.eldiarioecuador.com.ec)
- El Diario. (10 de Marzo de 2016). *El Diario*. Obtenido de <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/384987-carro-se-estrella-contra-un-poste-en-la-avenida-4-de-noviembre/>
- El Diario. (24 de Julio de 2017). Obtenido de Volcamiento de camión militar deja nueve heridos: <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/441331-volcamiento-de-camion-militar-deja-nueve-heridos/>
- ENG-TIPS. (11 de Noviembre de 2018). Obtenido de <https://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=310852>
- EUROLAB. (05 de 04 de 2019). *Laboratuar*. Obtenido de <https://www.laboratuar.com/es/sektorel/otomotiv/ece-r29-ticari-araclarin-kabin-dayanimi-icin-onay/>
- Gocon. (26 de 07 de 2018). *Tipología de los Accidentes de Tránsito*. Obtenido de [https://www.goconqr.com/p/11248141-Tipolog-a-de-los-Accidentes-de-Tr-nsito-mind\\_maps](https://www.goconqr.com/p/11248141-Tipolog-a-de-los-Accidentes-de-Tr-nsito-mind_maps)
- Gonzales Argudo Jose, O. R. (2014). *Estudio de los factores que intervienen en los accidentes e infracciones de tránsito*. Cuenca : UPS.
- Inc, A. (22 de 07 de 2019). *Modelización del riesgo de muerte por atropellos*. Obtenido de [www.agenciasinc.es](http://www.agenciasinc.es)



- Instituto de Estadística y Geografía. (Agosto de 2009). Síntesis metodológica de la estadística de accidentes de tránsito en zonas urbanas y suburbanas. 1. Obtenido de <https://www.fcfm.buap.mx/jzacarias/cursos/estad2/libros/book4e2.pdf>
- InterRegs. (20 de 06 de 2020). *InterRegs International Regulations* . Obtenido de [https://www.interregs.com/catalogue/details/ECE-29\\_03/regulation-no-29-03/occupant-protection-in-cabs-of-commercial-vehicles](https://www.interregs.com/catalogue/details/ECE-29_03/regulation-no-29-03/occupant-protection-in-cabs-of-commercial-vehicles)
- IPSUM. (19 de 12 de 2019). *PÍLDORAS DE RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO IV- TIPOS DE COLISIÓN ENTRE VEHÍCULOS EN ACCIDENTES DE TRÁFICO*. Obtenido de <https://reconstruccionaccidentestrafico.com/tipos-de-colision-entre-vehiculos-en-accidentes-trafico/>
- Jaume, U. (24 de 06 de 2014). *Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica*. Obtenido de Mecapedia:  
[http://www.mecapedia.uji.es/metodo\\_de\\_los\\_elementos\\_finitos.htm#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20de%20los%20elementos%20finitos%20es%20un,ante%20una%20serie%20de%20condiciones%20de%20contorno%20aplicadas](http://www.mecapedia.uji.es/metodo_de_los_elementos_finitos.htm#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20de%20los%20elementos%20finitos%20es%20un,ante%20una%20serie%20de%20condiciones%20de%20contorno%20aplicadas)
- KPMG. (Abril de 2020). *Impacto de COVID-19 en la industria automotriz*. Recuperado el 27 de January de 2022, de KPMG International: <https://home.kpmg/ar/es/home/insights/2020/04/impacto-de-covid-19-en-la-industria-automotriz.html>
- Latin Ncap. (2011). *LATIN NCAP*. Obtenido de <https://www.latinncap.com/es/nuestros-ensayos/pasajero-adulto/impacto-frontal>
- Los abogados de accidentes. (2021). *Accidentes Choques Frontales | Colisiones de Impacto Frontal*. Recuperado el 1 de February de 2022, de Abogados de Accidentes en Los Angeles: <https://abogadosaccidentes.us/accidentes-de-choques-frontales>
- Mark Alvick, N. R. (2007). Protección contra choques frontales de camiones pesados. *Congreso y Exposición de Ingeniería de Vehículos Comerciales Rosemont*.
- Morocho, J. R. (Septiembre de 2020). *Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19345/1/UPS-CT008845.pdf>
- OMS. (21 de June de 2021). *Traumatismos causados por el tránsito*. Recuperado el 23 de January de 2022, de WHO | World Health Organization: <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/road-traffic-injuries>
- Organización Internacional del trabajo. (13 de May de 2020). *La COVID-19 y la industria automotriz*. Recuperado el 1 de February de 2022, de ILO: [https://www.ilo.org/sector/Resources/publications/WCMS\\_744619/lang--es/index.htm](https://www.ilo.org/sector/Resources/publications/WCMS_744619/lang--es/index.htm)

- Peritos de Accidentes. (25 de August de 2017). *Colisiones entre vehículos: tipos, frecuencia, efectos y más*. Recuperado el 22 de January de 2022, de Peritos de accidentes: <https://www.peritosdeaccidentes.com/colisiones-entre-vehiculos-tipos-efectos/>
- Pradhan, N. K. (2016). Resistencia a la colisión de la cabina de un camión mediante simulación. *International Journal of Structures & Systems*, 250-254.
- PRENSA, L. (12 de 10 de 2020). Se montó en el cofre, quería pago de gasolina y muere arrollado. *Policiaica*, pág. 10.
- Rivas, K. (12 de Octubre de 2020). *La Prensa*. Obtenido de <https://www.la-prensa.com.mx/policiaica/se-monto-en-el-cofre-queria-pago-de-gasolina-y-muere-arrollado-5880665.html>
- Rocha, J. C., & Chamba Monar, E. A. (Febrero de 2018). *Universidad Internacional SEK*. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2787/8/CHAMBA%20%20TESIS.pdf>
- Sekine, Y. (2017). Análisis de las lesiones de los ocupantes en las colisiones entre camiones pesados. *Sociedad de Ingenieria de Automocion de Japon Vol48*.
- Semana. (2018). Alcohol y velocidad en volcamiento en el norte de Bogotá. Obtenido de Semana.
- SEMANA. (15 de 06 de 2018). Alcohol y velocidad en volcamiento en el norte de Bogota . *Nacion* , pág. 22.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (Agosto de 2013). NTE INEN 2707 Apoyacabezas incorporados o no al asiento. Ecuador. Recuperado el 28 de Enero de 2022, de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2707.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2707.pdf)
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (Agosto de 2013). Protección para colisión frontal INEN 2713. Ecuador. Recuperado el 28 de Enero de 2022, de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2713.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2713.pdf)
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2013). RTE INEN 11 Neumáticos. Ecuador. Recuperado el 28 de Enero de 2022, de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-011-1R.pdf>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2015). NTE INEN 1155 VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DISPOSITIVOS PARA MANTENER O MEJORAR LA VISIBILIDAD.REQUISITOS. Ecuador. Recuperado el 28 de Enero de 2022, de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_1155.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1155.pdf)
- Servicio ecuatoriano de normalización INEN. (2016). *Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/>

- Silva, F. (1 de Septiembre de 2016). Obtenido de Goconqr: [https://www.goconqr.com/p/11248141-Tipolog-a-de-los-Accidentes-de-Tr-nsito-mind\\_maps](https://www.goconqr.com/p/11248141-Tipolog-a-de-los-Accidentes-de-Tr-nsito-mind_maps)
- SINC Tecnología. (17 de Enero de 2011). *Agencia SINC*. Obtenido de <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Modelizan-el-riesgo-de-muerte-por-atropellos>
- UNECE. (20 de 11 de 2011). ECE R29.03 para Europa (CEPE). En C. E. Unidas, *Disposiciones uniformes relativas a la homologación de: Vehículos en lo que respecta a la protección de los ocupantes de la cabina de un vehículo comercial*. (pág. 30). Ginebra, CEPE-Naciones Unidas: UNECE.
- Urresta, C. (19 de 10 de 2013). *Planificacion rosamiento positivo*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/danielcarlos16/planificacion-rosamiento-positivo>
- Urresta, C., & Quevedo, J. (19 de Octubre de 2013). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/danielcarlos16/planificacion-rosamiento-positivo>
- V.N. Zuzov, B. S. (2013). Mejora de las cabinas de los camiones en la fase de diseño para cumplir los requisitos de seguridad pasiva. *Universidad Técnica Estatal Bauman de Moscú, Moscú, Rusia105005*.
- Valero, E. F. (2004). *Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos*. Barcelona: Departamento de ingeniería eléctrica UPC.
- Zheng He YanLu, Y. Z. (2018). Análisis de simulación por elementos finitos de la resistencia al choque frontal de un vehículo. *Universidad Tecnológica de Chongqing*, 31-37.