



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

**ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA SEGURIDAD DE LOS PASAJEROS DURANTE  
IMPACTOS FRONTALES Y LATERALES EN VEHÍCULOS COMPACTOS Y DE  
CHASIS POR EL MÉTODO DE FEM**

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

**AUTORES: DIEGO CARLOS CAJAMARCA QUITUIZACA**

**DARIO JAVIER MEJIA CHUCARALAO**

**TUTOR: ING. WILSON PATRICIO CALLE GUAMANTARIO, MSc.**

Cuenca - Ecuador

2022

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Diego Carlos Cajamarca Quituzaca, con documento de identificación N° 0105976211 y Dario Javier Mejia Chucaralao, con documento de identificación N° 0302617311; 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, 15 marzo del 2022

Atentamente,



.....  
Diego Carlos Cajamarca Quituzaca

0105976211



.....  
Dario Javier Mejia Chucaralao

0302617311

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

Nosotros, Diego Carlos Cajamarca Quituzaca con documento de identificación N° 0105976211 y Dario Javier Mejia Chucaralao con documento de identificación N° 0302617311, 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 los autores del Proyecto Técnico: “Análisis biomecánico de la seguridad de los pasajeros durante impactos frontales y laterales en vehículos compactos y de chasis por el método de FEM”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 15 marzo del 2022

Atentamente,

.....  
Diego Carlos Cajamarca Quituzaca  
0105976211

.....  
Dario Javier Mejia Chucaralao  
0302617311

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Wilson Patricio Calle Guamantario con documento de identificación N° 0103551057, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el proyecto de titulación: ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA SEGURIDAD DE LOS PASAJEROS DURANTE IMPACTOS FRONTALES Y LATERALES EN VEHÍCULOS COMPACTOS Y DE CHASIS POR EL MÉTODO DE FEM, realizado por Diego Carlos Cajamarca Quituzaca con documento de identificación N° 0105976211 y por Darío Javier Mejía Chucaralao con documento de identificación N° 0302617311, 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, 15 marzo del 2022

Atentamente,



Ing. Wilson Patricio Calle Guamantario, MSc.

0103551057

## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo de titulación a Dios, y a la virgen María Auxiliadora, a mis padres, hermanos, amigos y personas que me han apoyado incondicionalmente, me ayudaron a superar cada obstáculo e hicieron parte de este proceso para llegar a este instante de mi vida.

**Diego Carlos Cajamarca Quituzaca**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, a Dios por bendecirme con vida y salud, para encargarme de culminar todo este proceso universitario lleno de grandes experiencias y guiarme con todas sus bendiciones a alcanzar una de mis más grandes metas. A Don Bosco por su legado, ideas y sistemas y a María Auxiliadora, ella lo ha hecho todo.

A mis padres Miguel y Cristina por brindarme siempre el apoyo necesario en cada etapa de mi vida, por el esfuerzo de sacrificar muchos de sus deseos para brindarme esta oportunidad, y por ser la principal motivación de mis logros, también a mis hermanos por la paciencia y ser parte fundamental de este camino.

A mi querida y prestigiosa Universidad y a los que la hacen grande, a mis profesores, especialmente a mi director de tesis Ing. Wilson Calle un profundo agradecimiento quien en el transcurso de nuestro trabajo nos guio con su conocimiento, profesionalismo y nos brindó su valioso tiempo para el éxito de este proyecto final de toda una maravillosa carrera.

A mi compañero y amigo del proyecto de tesis Darío, con quien hemos compartido muchos momentos y desafiado muchas adversidades con un propósito en común, y a todos aquellos amigos y personas que han aportado cariño, confianza, amistad o alguna otra forma de influir positivamente a este logro, que sepan que también hacen parte de él.

**Diego Carlos Cajamarca Quituzaca**

## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo de titulación a mis padres José Mejía y Blanca Chucaralao quienes han sido el pilar fundamental durante mi etapa de estudios y me supieron brindar todo su apoyo en cada obstáculo que se me presentó durante mi carrera universitaria.

Le dedico también a la memoria de mi hermano: Cristian Fernando, quien me cuidó y guió desde el cielo.

**Dario Javier Mejía Chucaralao**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la vida la fuerza y la oportunidad de culminar este proceso donde tuve grandes experiencias, alcanzar conocimientos para obtener uno de mis más anhelados deseos.

A mis padres, José y Blanca por su sacrificio y su amor todos estos años que siempre me han estado apoyando incondicionalmente, gracias a ustedes por sus palabras sus consejos para guiarme hacia a mi objetivo académico. A mi hermano por estar siempre presente y apoyándome a lo largo de estos años, también a una persona especial en mi vida que me aportado cariño, confianza que de alguna forma influyo positivamente a este logro y a toda mi familia por el apoyo incondicional que supieron brindarme.

A mi director de tesis Ing. Wilson Calle un profundo agradecimiento quien en el transcurso de nuestro trabajo nos guio con su conocimiento, profesionalismo y nos brindó su valioso tiempo para el éxito de este proyecto.

A mi compañero y amigo del proyecto de tesis Diego, con quien hemos desafiado muchas adversidades para cumplir nuestras metas.

**Dario Javier Mejia Chucaralao**

## RESUMEN

El presente proyecto trata del análisis biomecánico de la seguridad de los pasajeros durante impactos frontales y laterales en vehículos compactos y de chasis por el método de FEM, para verificar si cumple con las normativas y reglamentaciones referentes a un diseño estructural seguro que proteja la integridad de sus ocupantes durante un accidente de tránsito del tipo impacto.

En el primer capítulo se analiza el estado actual respecto a estructuras, modelos a utilizar, la comercialización de estos en el Ecuador, pruebas de impacto y finalmente requisitos y métodos de ensayo para estas pruebas, según normativas o reglamentaciones nacionales e internacionales. En el segundo capítulo se muestra el modelado 3D del vehículo tipo compacto y el vehículo ensamblado sobre chasis, además muestra su geometría, materiales y propiedades o parámetros característicos de estos vehículos.

Posteriormente se configura y adapta los maniqués y vehículos en el software de simulación, para ejecutar las pruebas de impacto, según las distintas variables que se presentan para estos tipos de ensayos.

Finalmente, se obtiene, analiza y compara los resultados biomecánicamente por el método de FEM, para verificar que cumpla con los requerimientos exigidos y comprobar que estos requerimientos cumplen con el propósito de proteger la integridad de los ocupantes en caso de accidente de tipo impacto frontal y lateral y en caso de que no las cumpla, concluir y generar propuestas técnicas de solución para el diseño de estructuras que vayan alineadas a mejorar la seguridad de los ocupantes en los vehículos compactos y de chasis que contemplen toda la problemática expuesta.

## **ABSTRACT**

This project deals with the biomechanical analysis of passenger safety during frontal and side impacts in compact and chassis vehicles by the FEM method, to verify if it complies with the norms and regulations regarding a safe structural design that protects the integrity of its occupants during an impact-type traffic accident.

The first chapter analyzes the current state regarding structures, models to be used, their commercialization in Ecuador, impact tests and finally requirements and test methods for these tests, according to national and international norms or regulations. The second chapter shows the 3D modeling of the compact type vehicle and the vehicle assembled on the chassis, also showing their geometry, materials and properties or characteristic parameters of these vehicles.

Subsequently, the dummies and vehicles are configured and adapted in the simulation software, to execute the impact tests, according to the different variables that are presented for these types of tests.

Finally, the results are obtained, analyzed and compared biomechanically by the FEM method, to verify that it complies with the required requirements and to verify that these requirements comply with the purpose of protecting the integrity of the occupants in the event of a frontal impact accident and side and in case it does not comply with them, conclude and generate technical solution proposals for the design of structures that are aligned to improve the safety of the occupants in compact and chassis vehicles that contemplate all the exposed problems.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMA .....	1
ANTECEDENTES .....	1
IMPORTANCIA Y ALCANCE .....	2
DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA .....	2
OBJETIVOS.....	3
OBJETIVO GENERAL .....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
CAPITULO I.....	4
1. DEL ESTADO ACTUAL REFERENTE A COMERCIALIZACION Y SEGURIDAD VEHICULAR NACIONAL E INTERNACIONAL.....	4
1.1 DESARROLLO DE VEHÍCULOS A NIVEL MUNDIAL.....	4
1.1.1 Vehículos compactos. ....	5
1.1.2 Vehículos ensamblados sobre chasis. ....	5
1.2 COMERCIALIZACIÓN DE VEHÍCULOS DURANTE EL AÑO 2020. ....	6
1.2.1 Situación a nivel mundial.....	6
1.2.2 Situación a nivel nacional .....	6
1.2.3 Modelos de vehículos más vendidos en el Ecuador.....	7
1.2.4 Relación de ventas nacionales de vehículos 2020-2021 .....	8
1.3 SEGURIDAD AUTOMOTRIZ A NIVEL MUNDIAL.....	9
1.3.1 Sistemas de seguridad en el automóvil .....	9
1.3.2 La estructura en un impacto. ....	12
1.3.3 Habitáculo de seguridad.....	13
1.3.4 Deformación programada .....	13
1.4 ACCIDENTES DE TRÁNSITO TIPO IMPACTO.....	15
1.4.1 Tipos de impacto.....	17
1.4.2 Impacto frontal.....	17
1.4.3 Impacto lateral .....	19
1.5 Pruebas de impacto .....	21

1.6	NORMATIVAS QUE REGULAN LA SEGURIDAD DE PASAJEROS .....	27
	CAPITULO II.....	32
2.	MODELOS DE MANIQUÍES Y VEHICULOS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN	
		32
2.1	HERRAMIENTAS USADAS .....	32
2.1.2.	SOLIDWORKS STUDENT EDITION .....	32
2.2	EL DISEÑO SE DIVIDE EN DOS ASPECTOS IMPORTANTES. ....	33
2.2.1	Diseño Exterior .....	33
2.2.2	Diseño interno .....	33
2.3	ORIGEN DE DATOS.....	33
2.4	DISEÑO DE LA GEOMETRÍA 3D DEL VEHÍCULO ENSAMBLADO SOBRES CHASIS.....	34
2.4.1.	CARROCERIA .....	35
2.4.2.	Modelado de sistemas del vehículo- .....	35
2.4.3.	EMSAMBLADO COMPLETO DEL VEHICULO.....	36
2.5.	DISEÑO DE LA GEOMETRÍA 3D DEL VEHÍCULO ENSAMBLADO SOBRES CHASIS ...	37
2.6.	DUMMIES .....	39
2.6.1.	Medidas principales del maniquí.....	41
2.6.2.	Modelo Hybrid III (Impacto frontal).....	41
2.6.3.	Modelo EUROSID (Impacto lateral) .....	42
2.7.	INSTALACIÓN DEL MANIQUÍES Y AJUSTES DE LOS SISTEMAS DE RETENCIÓN .....	42
2.7.1.	Montaje de maniquí.....	42
	CAPITULO III .....	43
3.	SIMULACIÓN DE IMPACTOS. ....	43
3.1.	MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS .....	43
3.2.	CONFIGURACION DE LOS VEHICULOS EN EL SOFTWARE CAE .....	44
3.2.1	Unidades en los modelos para la simulación. ....	45
3.2.2	Materiales.....	45
3.2.3	VELOCIDAD INICIAL .....	45
3.2.4	GRAVEDAD .....	46
3.2.5	ACELERÓMETROS .....	46
3.3.	BARRERA DE SEGURIDAD .....	46

3.3.1	Barrera metálica para el impacto frontal.....	47
3.3.2	Materiales.....	47
3.4.	POSTE DE HORMIGÓN PARA EL IMPACTO LATERAL .....	48
3.4.1	GEOMETRÍA .....	49
3.4.2	MATERIALES .....	49
3.5.	REGIONES DE CONTACTO ENTRE LOS ELEMENTOS.....	50
3.5.1	Contacto entre el vehículo y la barrera de impacto.....	50
3.5.2	Contacto entre los neumáticos del vehículo y el suelo .....	50
	CAPITULO IV .....	51
4.	RESULTADOS.....	51
4.1.	ENERGÍA DE HOURGLASS .....	51
4.2.	IMPACTO FRONTAL DE LOS VEHÍCULOS CONTRA UNA BARRERA DEFORMABLE. ....	53
4.2.1.	Esfuerzo de Von Misses.....	53
4.3.	VALORACIÓN DE MEDICIONES DE LOS MANIQUÍES DURANTE EL IMPACTO FRONTAL .....	54
4.3.1.	Criterio de comportamiento de la cabeza HIC durante un impacto frontal.	54
4.3.2.	Criterio de comportamiento del tórax CSI. ....	56
4.3.3.	Criterio de comportamiento de la pelvis .....	57
4.4.	IMPACTO LATERAL DE LOS VEHÍCULOS CONTRA UN POSTE RÍGIDO. 58	
4.4.1.	Esfuerzo de Von Misses.....	58
4.5.	VALORACIÓN DE MEDICIONES DE LOS MANIQUÍES DURANTE EL IMPACTO LATERAL .....	60
4.5.1.	Criterio de comportamiento de la cabeza HIC durante un impacto lateral.	60
4.5.2.	CRITERIO DE COMPORTAMIENTO DEL TÓRAX CSI.....	61
4.5.3.	Criterio de comportamiento de la pelvis .....	62
	CONCLUSIONES.....	64
	RECOMENDACIONES .....	65
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Evolución anual de vehículos producidos a nivel mundial.</i> .....	4
Figura 2. <i>Evolución de los vehículos compactos.</i> .....	5
Figura 3. <i>Venta mensual de vehículos 2021 con respecto al 2020.</i> .....	8
Figura 4. <i>Venta de vehículos por segmento.</i> .....	8
Figura 5. <i>Sistemas de seguridad en el automóvil.</i> .....	10
Figura 6. <i>Sistemas que se activan en caso de un impacto.</i> .....	12
Figura 7. <i>Habitáculo de seguridad en el automóvil.</i> .....	13
Figura 8. <i>Deformación programada en el automóvil.</i> .....	14
Figura 9. <i>Porcentaje de muertes según el tipo de usuario de las vías.</i> .....	15
Figura 10. <i>Choque frontal.</i> .....	16
Figura 11. <i>Colisión frontal.</i> .....	16
Figura 12. <i>Impacto frontal centrado.</i> .....	17
Figura 13. <i>Impacto frontal descentrado.</i> .....	18
Figura 14. <i>Impacto lateral perpendicular.</i> .....	19
Figura 15. <i>Impacto lateral angular.</i> .....	19
Figura 16. <i>Cantidad de accidentes por tipo de accidente a nivel nacional 2018.</i> .....	20
Figura 17. <i>Ensayo de impacto frontal contra una barrera.</i> .....	22
Figura 18. <i>Ensayo de impacto lateral contra vehículo.</i> .....	25
Figura 19. <i>Ensayo de impacto lateral contra poste.</i> .....	25
Figura 20. <i>Rte inen 034.</i> .....	28
Figura 21. <i>Nte inen 2713;2714.</i> .....	29
Figura 22. <i>Modelo del vehículo real.</i> .....	34
Figura 23. <i>Estructura del vehículo compacto.</i> .....	35
Figura 24. <i>Sistemas del vehículo.</i> .....	36

Figura 24. <i>Modelado de dirección y neumático.</i> .....	36
Figura 25. <i>Ensamblado completo del vehículo compacto.</i> .....	37
Figura 26. <i>Planos del vehículo ensamblado sobre chasis.</i> .....	37
Figura 27. <i>Vehículo ensamblado sobre chasis.</i> .....	38
Figura 28. <i>Chasis y cabina del vehículo modelado.</i> .....	38
Figura 29. <i>Unión del chasis y cabina del vehículo modelado.</i> .....	39
Figura 30. <i>Dummies para pruebas de impacto.</i> .....	40
Figura 31. <i>Dummies para pruebas de impacto.</i> .....	40
Figura 32. <i>Medidas principales del dummy.</i> .....	41
Figura 33. <i>Constitución del dummy hybrid iii.</i> .....	41
Figura 34. <i>Dummies con targets para saber la afectación en las zonas coloreadas...</i>	42
Figura 35. <i>Mallado del vehículo compacto.</i> .....	44
Figura 36. <i>Mallado del vehículo ensamblado sobre chasis.</i> .....	44
Figura 37. <i>Vista de la barrera metálica para el impacto frontal.</i> .....	47
Figura 38. <i>Vista de la barrera metálica para el impacto frontal.</i> .....	47
Figura 39. <i>Curva tensión – deformación de la barrera metálica.</i> .....	48
Figura 40. <i>Barrera de hormigón para el impacto lateral.</i> .....	48
Figura 41. <i>Vista del poste rígido para el impacto frontal.</i> .....	49
Figura 42. <i>Curva tensión – deformación del poste de hormigón.</i> .....	49
Figura 43. <i>Energía de hourglass del vehículo ensamblado sobre chasis.</i> .....	52
Figura 44. <i>Energía de hourglass del vehículo compacto.</i> .....	52
Figura 45. <i>Vehículo ensamblado sobre chasis y de compacto.</i> .....	53
Figura 46. <i>Energía de von misses del vehículo ensamblado sobre chasis</i> .....	53
Figura 47. <i>Energía de von misses del vehículo compacto.</i> .....	54
Figura 48. <i>Criterio de comportamiento de la cabeza hic, impacto vehículo chasis.</i> .....	55

Figura 49.	<i>Criterio de comportamiento de la cabeza hic, impacto vehículo compacto.</i>	<b>.55</b>
Figura 50.	<i>Comportamiento del tórax csi, impacto vehículo ensamblado sobre chasis.</i>	<b>56</b>
Figura 51.	<i>Comportamiento del tórax csi, impacto vehículo chasis</i>	<b>56</b>
Figura 52.	<i>Comportamiento de la pelvis, impacto vehículo ensamblado sobre chasis.</i>	<b>57</b>
Figura 53.	<i>Comportamiento de la pelvis, impacto vehículo chasis</i>	<b>57</b>
Figura 54.	<i>Impacto lateral de los vehículos.</i>	<b>58</b>
Figura 55.	<i>Esfuerzo de von misses vehículo ensamblado sobre chasis.</i>	<b>59</b>
Figura 56.	<i>Esfuerzo de von misses vehículo compacto.</i>	<b>59</b>
Figura 57.	<i>Hic del dummy en el vehículo ensamblado sobre chasis.</i>	<b>60</b>
Figura 58.	<i>Hic del dummy en el vehículo compacto.</i>	<b>61</b>
Figura 59.	<i>Csi del dummy en el vehículo ensamblado sobre chasis.</i>	<b>61</b>
Figura 60.	<i>Csi del dummy en el vehículo compacto.</i>	<b>62</b>
Figura 61.	<i>Comportamiento de la pelvis en el vehículo ensamblado sobre chasis</i>	<b>62</b>
Figura 62.	<i>Comportamiento de la pelvis en el vehículo compacto.</i>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Autos vendidos a nivel mundial en el 2020.</i> .....	6
Tabla 2. <i>Base de las diferencias en los crash test frontales.</i> .....	23
Tabla 3. <i>Base de las diferencias en los crash test laterales.</i> .....	26
Tabla 4. <i>Diagnostico respecto a la verificación de seguridad.</i> .....	29
Tabla 5. <i>Dimensiones principales del modelo real.</i> .....	34
Tabla 6. <i>Dimensiones vehículo ensamblado sobre chasis.</i> .....	37
Tabla 7. <i>Unidades utilizadas en los modelos.</i> .....	45
Tabla 8. <i>Criterios de comportamiento del dummy durante el impacto frontal.</i> .....	58
Tabla 9. <i>Criterios de comportamiento del dummy durante impacto lateral.</i> .....	63

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad los siniestros de tránsito han tenido un gran impacto a nivel mundial, comúnmente resultan en daños materiales de los vehículos involucrados, daños a las personas, discapacidad o inclusive la muerte, ante estos hechos los fabricantes de automóviles se han visto en la necesidad de mejorar o incorporar nuevas tecnologías con el fin de proporcionar a los ocupantes del vehículo mayor seguridad en caso de una colisión, garantizando la máxima protección de los ocupantes y del vehículo.

Por lo tanto, este proyecto se enfoca en la ejecución de las simulaciones de impactos frontales y laterales en vehículos compactos y ensamblados sobre chasis, permitiendo así verificar la seguridad y riesgo de daño para los ocupantes del vehículo.

Con la utilización de un software avanzado para cálculo de elemento finitos y herramientas para visualizar y comparar los resultados basados en estándares internacionales, haciendo referencia a lo que establecen los reglamentos número 94 y 95 de la CEPE (Comisión económica para Europa) en lo relativo a protección de sus ocupantes en caso de colisión frontal y lateral.

## PROBLEMA

### Antecedentes

En los últimos años en el Ecuador se han producido accidentes automovilísticos de diferentes tipos de vehículos, en las cuales los pasajeros han sufrido consecuencias catastróficas. Una de las principales causas de los accidentes se da por la imprudencia del conductor (48.07%) seguido por el exceso de velocidad (16.28%) y en tercer lugar por no respetar las señales de tránsito (12.62%) (INEC, 2019), los accidentes de tipo impacto han sido de un total de 15050, los cuales se han dividido en 4291 impactos laterales y 778 impactos frontales, el resto de accidentes han sido de otro tipo (ANT, 2020). Las normativas actuales vigentes exigen que los vehículos brinden la máxima protección a los pasajeros, debido a que un vehículo seguro es el que protege a sus ocupantes y es según este aspecto por el cual se evalúa el nivel de seguridad de un automóvil.

En Latinoamérica específicamente en Ecuador las normas y reglamentos son basados en normativas europeas, pero los controles y exigencias no son los mismos que en el mercado Europeo por las pocas y deficientes regulaciones, controles y exigencias hacia los fabricantes de carrocerías e importadores de vehículos, ya que el exigir máxima seguridad en todos los

sistemas, así como mejores prestaciones de los materiales para carrocería y chasis significaría una elevación de precios considerable de los vehículos y haría más difícil la adquisición de este producto en el Ecuador.

### **Importancia y alcance**

Al no conocer el comportamiento mecánico de qué tipo de vehículos (haciendo referencia a los modelos compactos y ensamblados sobre chasis) proporcionan mayor seguridad a los pasajeros en accidentes de tipo impacto, ni el análisis de todos los aspectos para mejora continua de seguridad, por el elevado costo que representa realizar análisis biomecánicos reales y el nulo apoyo de los gobiernos para invertir en estos ensayos.

Este proyecto ayudara a modelar y simular sistemas reales de una serie de impactos que nos genere resultados de un análisis estructural y biomecánico, para medir el grado de seguridad que los vehículos ofrecen a sus ocupantes y que evalúen como actúan las fuerzas o energías sobre las partes del cuerpo del pasajero durante estos impactos, y si estas energías producidas sobrepasan o no los valores máximos permisibles respecto a traumatismos o deformación de las partes involucradas, y basado en esto mejorar las técnicas de producción según como se vean afectados los pasajeros y sus estructuras..

El beneficiario de este proyecto será la Universidad Politécnica Salesiana con su grupo de Investigación en Ingeniería de Transporte (GIIT), en la línea de investigación Diseño Mecánico Automotriz,

### **Delimitación geográfica**

Los resultados pueden ser utilizados más adelante para generar propuestas técnicas de solución para el diseño de estructuras que vayan alineadas a mejorar la seguridad de los ocupantes en los vehículos compactos y de chasis, y regular aspectos necesarios para que las autoridades Ecuatorianas competentes o involucrados en el sector automotriz generen cambios para aumentar la calidad de producción de estructuras, disminuyendo las consecuencias de lesiones en pasajeros en caso de accidentes en las vías del territorio nacional y que contemplen toda la problemática expuesta.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Analizar biomecánicamente la seguridad de los pasajeros durante impactos frontales y laterales en vehículos compactos y de chasis por el método FEM.

### **Objetivos específicos**

- Investigar mediante información bibliográfica para que se conozca el estado actual en comercialización de vehículos y normativas o reglamentos técnicos nacionales e internacionales referente a seguridad, simulación de impactos y de maniqués para análisis biomecánicos.
- Modelar las geometrías 3D utilizando un software CAD para que se definan las condiciones de simulación de impacto frontal y lateral en un vehículo compacto y ensamblado sobre chasis.
- Configurar las simulaciones de impacto frontal y lateral con los parámetros definidos en la reglamentación, para que se ejecuten las pruebas biomecánicas de seguridad del vehículo y sus pasajeros.
- Analizar los resultados obtenidos de las pruebas virtuales por el método FEM, para que se compare con las normativas o reglamentos técnicos vigentes referente a los elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores.

## CAPITULO I

### 1. DEL ESTADO ACTUAL REFERENTE A COMERCIALIZACION Y SEGURIDAD VEHICULAR NACIONAL E INTERNACIONAL.

El objetivo de este capítulo es fundamentar bibliográficamente la situación actual referente a comercialización, desarrollo y seguridad vehicular, mediante la investigación y análisis de vehículos, sus estructuras y normativas o reglamentos que influyen en la seguridad el ocupante del vehículo durante un impacto frontal o lateral.

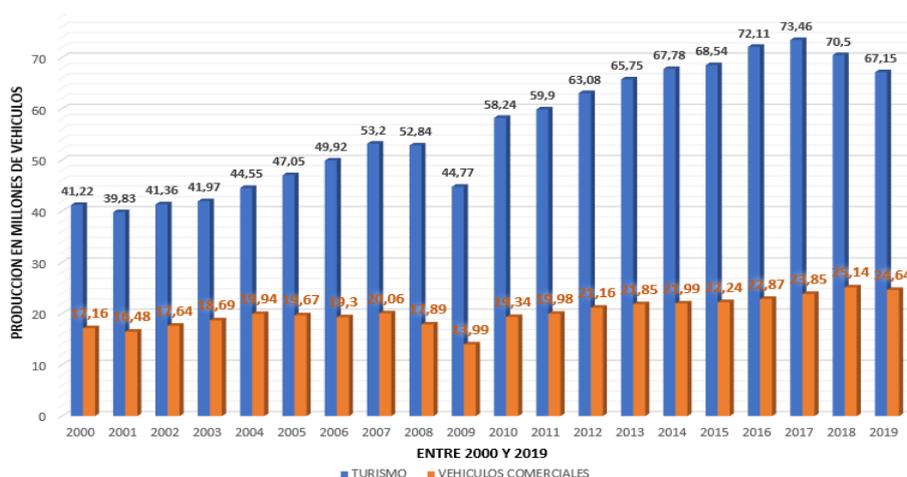
#### 1.1 Desarrollo de vehículos a nivel mundial.

La industria automotriz fue un monopolio estadounidense hasta mediados del siglo XX, con marcas reconocidas, que llegaron a alternar posiciones como paradigmas de la economía norteamericana y mundial (Gracia, 2020). En el año 2006 Japón alcanzó a Estados Unidos en producción, cuando China en el año 2013 supero esas cifras con 13.8 millones de unidades al año y en la actualidad existen grupos constructores de vehículos de motor con una producción anual mayor a 1.000.000 unidades, así como las marcas producidas por cada una (Enciclopedia, 2021).

La figura 1.1 muestra la evolución anual de la producción mundial de vehículos desde 2000 hasta 2019, según el tipo de vehículo. En el año 2019, se fabricó aproximadamente 67 millones vehículos de turismos a nivel mundial, en lo que diferencia a fabricación de vehículos comerciales de más de 40 millones con respecto a la cantidad de vehículos de turismo fabricados durante ese año (Orús, 2020).

**Figura 1.**

Evolución anual de vehículos producidos a nivel mundial.



**Fuente:** Autores

### 1.1.1 Vehículos compactos.

Se caracterizan por tener la estructura metálica con uniones de chapa distintos espesores y formas, para soportar mediante la chapa externa algo o toda la carga estructural del vehículo (INEN, Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores, 2016).

La historia de los primeros vehículos compactos se remota al comienzo de la era del automóvil centrados principalmente en un bajo costo, economía, y seguridad, hasta ahora este tipo de vehículos compactos ha crecido en ventas muy significativas por el favoritismo que tiene con respecto a sus funciones de familiar, utilitario o deportivo a precios accesibles y con mantenimientos inferiores a los de categoría SUV. Es por eso que esa clase de vehículos poseen mayor comodidad que un auto convencional y ayuda a ahorrar combustible por ser más pequeño.

#### Figura 2.

Evolución de los vehículos compactos.



**Fuente:** (coches.com, 2010)

En lo general al momento de hablar de estos vehículos hacemos referencia a lo cuan seguros para los ocupantes son en el momento de un accidente tipo impacto, para esto se realizarán pruebas basadas en organizaciones internaciones y con los resultados de estas se determinará la seguridad de los ocupantes en este tipo de vehículos.

### 1.1.2 Vehículos ensamblados sobre chasis.

Vehículos con una estructura interna que sostiene la mayor parte del vehículo, es la parte más importante en la cual va el armado de los demás componentes del vehículo.

**Chasis.** - EL vehículo está comprendido por un bastidor, la transmisión incluida motor conjuntamente con los accesorios que brindan mayor comodidad a los ocupantes del vehículo (INEN, Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores, 2016).

**Vehículos con chasis independiente.** - Los vehículos todoterrenos, autobuses emplean una carrocería formada por dos estructuras chasis y la carrocería. La evolución de las carrocerías autopartes a lo largo de los años han ido remplazando al chasis independiente. En la actualidad los vehículos con chasis independiente se emplean en camionetas grandes, vehículos todo terreno, así como varios automóviles americanos.

## 1.2 Comercialización de vehículos durante el año 2020.

### 1.2.1 Situación a nivel mundial

La industria automotriz a nivel mundial durante el año 2020 en el mercado automotor mundial se conoce que la marca de vehículo más comercializada es el Toyota Corolla seguida por la marca Ford F series son las dos importantes marcas en el ranking de vehículos más vendidos a nivel mundial superando el millón de unidades comercializadas durante 2020 (Arco, 2021). A continuación, mencionaremos los cinco modelos top de automotores con mayor participación en el mercado.

**Tabla 1.**

Autos vendidos a nivel mundial en el 2020.

<b>Modelos de autos más comercializados a nivel mundial durante 2020</b>	
<b>Modelos</b>	<b>unidades</b>
Toyota Corolla	1,483,120
Ford F-Series	1,070,406
Toyota RAV4	966,971
Honda CR-V	824,897
Honda Civic	817,902

**Fuente:** Autores

### 1.2.2 Situación a nivel nacional

En el año de 1972 se diseñó y ensambló el primer auto en el país como un proyecto de Aymesa, al momento de su estreno ante la sociedad el vehículo fue presentado como BTV (Basic Transport Vehicle) conocido en el territorio como Andino, un vehículo creado para contribuir al sector agrícola en las zonas rurales (Patiodeautos, 2019).

El vehículo diseñado por Carlos Almeida se trató de una camioneta simple, mientras que un segundo modelo diseñado se trató de un tipo jeep. En la actualidad en el Ecuador se producen varias marcas de automóviles según datos de la Cámara de Industria Automotriz del Ecuador (Cinae), la cantidad comercializada de vehículos ecuatorianos representa el 21,3% de todos los vehículos comercializados en el país.

La mayor participación de comercialización de vehículos locales fue en el año 2018 con un total de 27.9% y considerando que esta cifra se redujo en el año 2019 de un -7.9% llegando a producir 21,456 automóviles con una reducción considerable a los demás años que se sabe que en promedio se produjo 40,000 unidades y que al momento la industria ha ido perdiendo participación en el mercado. (Universo, 2019)

Según las estadísticas de la Asociación de las Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE, Asociación de empresas automotrices del Ecuador, 2020). Es que en el año 2016 los vehículos negociados en el Ecuador solo el 2,4% procedían de la UE, En cambio en el 2018 solo en los tres primeros meses la participación de vehículos europeos alcanzó el 6% significando un gran avance en corto tiempo (TECNISEGUROS, 2020).

**Las marcas.** - La mayor oferta de la cantidad de marcas de vehículos que hay en el territorio ecuatoriano es que entre vehículos livianos y pesados existen alrededor de 76 marcas de vehículos de diferentes procedencias con tecnología y accesorios para que los usuarios tengan numerosas opciones en economía, seguridad y comodidad.

En los vehículos livianos se ha dado un decrecimiento (15%) con respecto a los vehículos comerciales (8%) respectivamente. Mientras que en enero del 2021 el decrecimiento es de 4% para vehículos livianos y 7% para vehículos comerciales. Dentro de los vehículos que fueron menos afectados se encuentran los de tipo SUV de vehículos livianos con una caída interanual de 8% (AEADE, Venta de vehículos, 2021).

### **1.2.3 Modelos de vehículos más vendidos en el Ecuador**

Los modelos de vehículos con mayor número de ventas ubican a los vehículos compactos como el más comercializado del 2020, los vehículos ensamblados sobre chasis ocupan la segunda plaza en el Ecuador esto según cifras recopiladas por la (AEADE, Asociación de empresas automotrices del Ecuador, 2020).

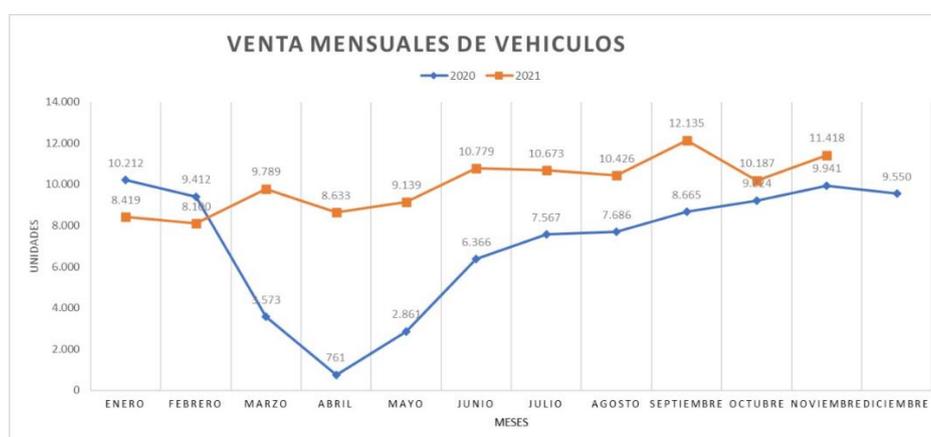
### 1.2.4 Relación de ventas nacionales de vehículos 2020-2021

Las ventas de vehículos nuevos en lo que va del año en el mes de febrero de 2021 registraron que existe un decrecimiento del 14% con referencia a lo que se tenía en el mismo mes de 2020; y un decrecimiento mensual de 5% con relación a enero del 2021 (AEADE, Venta de vehículos, 2021).

En la siguiente tabla podemos observar cómo se ha reducido la comercialización de las unidades respecto al año 2020 con un 14%.

**Figura 3.**

Venta mensual de vehículos 2021 con respecto al 2020.



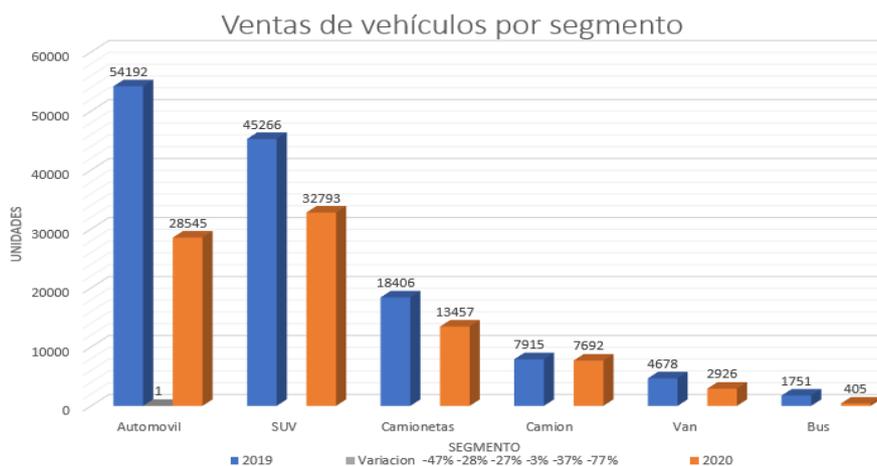
**Fuente:** (AEADE, Venta de vehículos, 2021)

### 1.2.5 Comercialización de vehículos por segmento

La comercialización de los automóviles de acuerdo al segmento se ha visto afectado en el 2020 con respecto a las ventas en el 2019, como es el caso de los vehículos livianos que se ha reducido en un 37%, mientras que los vehículos comerciales en el año 2020 se comercializaron un 23% menos que en 2019. Los automóviles (-47%) y los buses (-77%) fueron los segmentos más afectados en referencia al segmento de los camiones que se vio menor efectucción anual de solo el (3%) con respecto al año 2019.

**Figura 4.**

Venta de vehículos por segmento.



**Fuente:** Autores

### 1.3 Seguridad automotriz a nivel mundial

La OMS está preocupada que debido a las normas y estándares ausentes en empresas productoras de automóviles se siga comercializando vehículos inseguros que incumplen con los requisitos en países bien regulados.

Algunos de los autos con mayor número de ventas en América Latina no cumplen con los estándares recomendados de seguridad, sin embargo, se comercializan versiones menos seguras en la región, de acuerdo al Programa de Evaluación de Autos Nuevos para América Latina LATIN NCAP.

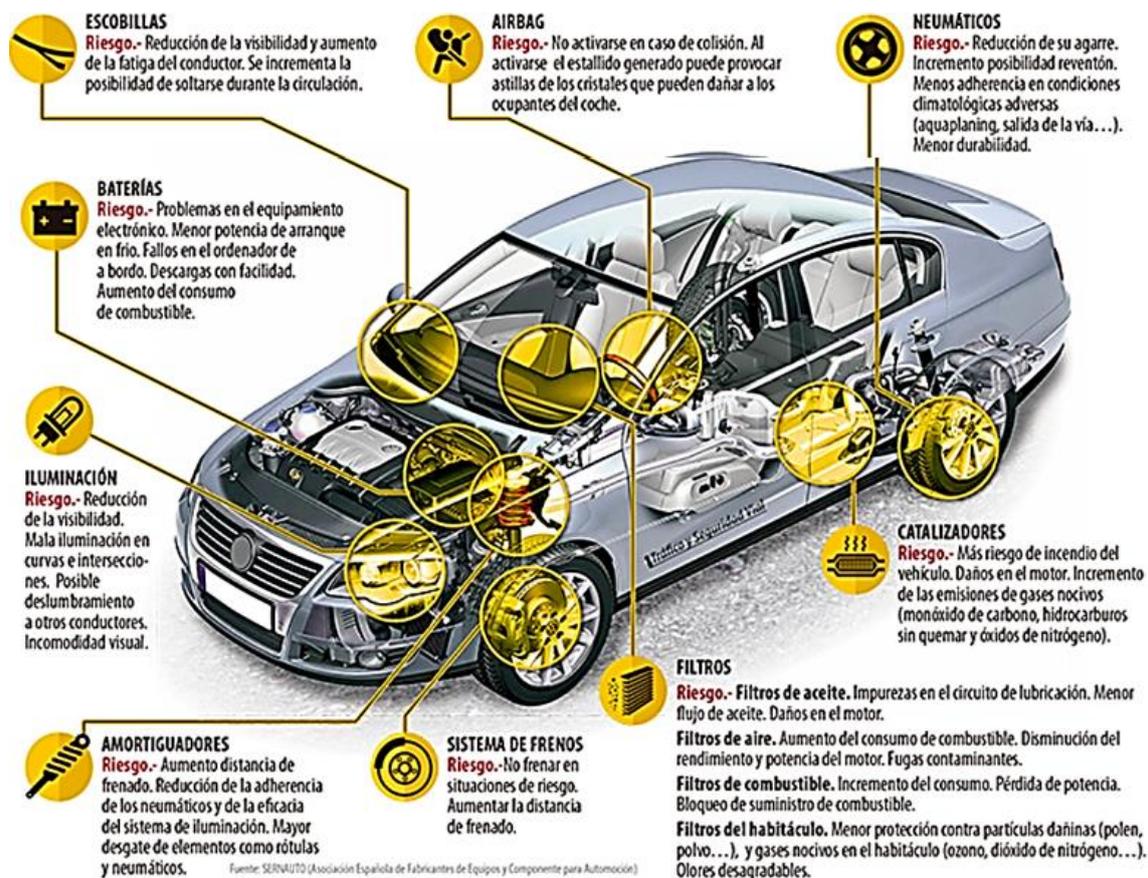
LATIN NCAP da a conocer que durante los últimos años se realizaron 74 pruebas de las cuales se determinó que 13 modelos de vehículos comercializados en América Latina se encuentran en los estándares más bajos de seguridad.

#### 1.3.1 Sistemas de seguridad en el automóvil

Todos los vehículos contienen diferentes tipos de seguridad gracias a estos sistemas el número de lesiones graves y fallecidos por accidentes de tránsito ha disminuido. Este tipo de seguridad en los vehículos se clasifica en dos grupos como son la seguridad activa que previene los accidentes y la seguridad pasiva que reduce los daños a los ocupantes del vehículo durante un accidente.

Figura 5.

Sistemas de seguridad en el automóvil.



Fuente: (Sistemas de seguridad en el automóvil, 2016)

- Seguridad activa.

Son todos los componentes que contribuyen a tener una mayor eficacia y estabilidad al vehículo en marcha y evitar en lo posible un accidente estos son:

- **Neumáticos:** Garantizan una adherencia a la calzada en cualquier clima y condición, para conservar la estabilidad del vehículo, sobre todo al momento de tomar una curva.
  - **Dirección:** Permite mantener el control del vehículo, y al momento de la conducción a altas velocidades se endurece para evitar posibles accidentes.
  - **Suspensión:** Evita en lo posible generar golpes por la irregularidad de las carreteras, se mantenga estable garantizando el contacto de las cuatro ruedas en la calzada y evitando así una salida de la vía.
  - **Sistema de frenado:** En la actualidad los sistemas de frenado incorporados en el vehículo tienen circuitos independientes capaces de frenar con seguridad al momento de que algo falle, entre ellos podemos destacar el sistema de frenos ABS + EBD que trabajan conjuntamente evitando que se bloqueen las ruedas y el vehículo derrape ante un frenado emergente.
  - **Carrocería:** Influye mucho para la estabilidad del vehículo debido a su rigidez y su aerodinámica.
  - **Iluminación:** La iluminación es uno de los más importantes en cuanto a seguridad activa, durante la conducción nocturna toma su importancia, los automóviles poseen luces de amplia visibilidad para la conducción en condiciones climáticas adversas.
- **Seguridad pasiva.**

Es el conjunto de elementos encargados de reducir los daños que se pueden producir sobre los ocupantes cuando el accidente es inevitable, son los sistemas que van actuar al momento de la colisión. Estos elementos de seguridad pasiva reducen al máximo la energía que se produce al momento del impacto sobre la persona. Entre los cuales destacamos los que intervienen para análisis del proyecto:

**Estructura de deformación programada:** durante una colisión esta absorbe la máxima cantidad de energía posible pero siempre protegiendo el habitáculo.

**Reposacabezas:** Ayuda al momento de un impacto que la cabeza no tenga un latigazo cervical, por lo cual su posición es fundamental para minimizar su movimiento.

**Lunas y ventanillas:** La luna delantera formado de un cristal laminado aporta un 30% de la resistencia del chasis ante vuelcos, la parte de las ventanillas formada de vidrio templado que al momento del impacto se rompen en miles de pedazos sin filo para evitar cortes y que sea fácil salir del vehículo tras el accidente si las puertas se encuentran bloqueadas.

**Figura 6.**

Sistemas que se activan en caso de un impacto.



**Fuente:** (Sistemas de seguridad en el automovil, 2016)

### 1.3.2 La estructura en un impacto.

La carrocería debe ser resistente y a la vez soportar las fuerzas y deformaciones producidas por un impacto evitando el ocupante pueda ser alcanzado, se ha visto en la necesidad de experimentar una profunda evolución, para lo cual dispone de tres zonas en lo relativo a su comportamiento ante una colisión. Su comportamiento debe analizarse como un solo conjunto al momento de un óptimo diseño basado en los estudios y cálculos de las diferentes piezas de la carrocería (formas, secciones, tipo de material, proceso de fabricación, facilidad de reparación o sustitución, etc.), culminado todo ello con los ensayos prácticos de choque (ÁGUEDA CASADO, 2009).

Las técnicas de realidad virtual son procesos de diseño que ofrecen la posibilidad de concebir nuevas formas de acotar los ciclos de desarrollo de vehículos, una mejora en el control de los costos y una mayor creatividad. Para lo cual con ayuda de herramientas CAD de choques virtuales predicen el resultado de las comprobaciones físicas antes de la prueba final del vehículo sin necesidad de costosos prototipos de fabricación, permitiendo visualizar mediante los ordenadores en tiempo real el diseño creado en tres dimensiones, como va a sufrir deformaciones en la estructura al momento de simular un impacto del vehículo (ÁGUEDA CASADO, 2009).

### 1.3.3 Habitáculo de seguridad

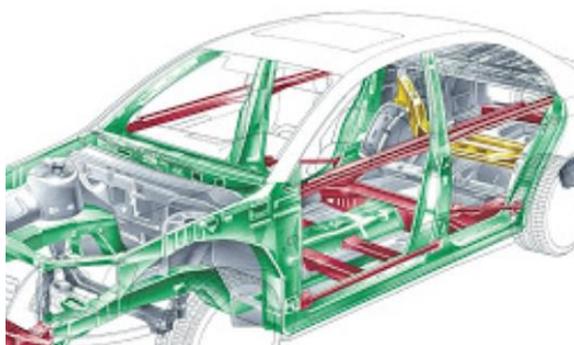
El concepto Habitáculo de Seguridad hace referencia a que proporciona un espacio seguro del vehículo, zona interior de la carrocería del vehículo donde viajan los ocupantes.

La misión es que al momento de un accidente la deformación debe ser lo menos posible a fin de tener una mayor protección hacia los ocupantes. El habitáculo de seguridad debe ser complementado por los sistemas de retención, la eficacia de estos sistemas conservara la integridad de los ocupantes en el interior, pero no evitara que al momento de un accidente violento el cuerpo de los ocupantes colisione con el interior del vehículo.

En la actualidad las carrocerías han ido evolucionado a la incorporación sistemas más rígidos, pero a la vez más ligeros, con los avances con respecto en el diseño y forma de las estructuras. Para que los vehículos lleguen a tener estabilidad mejor y menores coeficientes aerodinámicos que ayude al vehículo a un excelente comportamiento dinámico durante la conducción a elevadas velocidades, mayor protección del habitáculo en caso de accidente.

#### Figura 7.

Habitáculo de seguridad en el automóvil.



Fuente: (Blogger.com, 2011)

### 1.3.4 Deformación programada

Actualmente existen varios sistemas de seguridad para protección, el nuevo sistema aumenta la capacidad de absorción de energía con volumen y peso reducidos, al momento de una colisión frontal la estructura alcanza menor deformación debido a que las fuerzas van actuar en toda la superficie frontal con esto ayuda a que en el interior del habitáculo se genere daños menores. Debe evitar que ingrese en el interior diferentes elementos que puedan perjudicar a los ocupantes del vehículo

La deformación programada es capaz de absorber hasta cierto punto la energía generada durante un impacto, a través de la deformación en puntos concretos diseñada para que al momento de una colisión pueda deformarse y proteja a los ocupantes de posibles golpes que el vehículo sufre. La mayoría de partes para la deformación suelen ser los elementos que soportan la mayoría de esfuerzos. De este modo absorbe la energía en el accidente, para aprovechar al máximo otros espacios destinados a absorber energías.

**Figura 8.**

Deformación programada en el automóvil.



**Fuente:** (TOYOTA, 2011)

- **Carrocería con chasis independiente**

Este tipo de carrocería ayuda a que el vehículo tenga gran versatilidad para mejorar la robustez al momento que se tenga grandes esfuerzos estáticos y dinámico, estos chasis (bastidores) separados de la carrocería tienen más resistencia que el conjunto de una carrocería autoportante, por lo cual aún se emplean para vehículos de carga. Estos bastidores son de acero y se colocan longitudinal y transversalmente formando una estructura muy sólida y resistente.

- **Carrocerías de chasis autoportante (monocasco)**

En la actualidad este tipo de carrocería aún se sigue desarrollando para la fabricación de automóviles debido a que ayuda considerablemente en la reducción de peso, flexibilidad y costo la carrocería que se soporta ella misma. Casi todas las piezas de acero de las carrocerías monocasco están unidas por medio de puntos de soldadura, aunque hay infinidad de modelos que gran parte de esas piezas van unidas por medio de tornillería para una sustitución menos problemática y rápida.

#### 1.4 Accidentes de tránsito tipo impacto

Los accidentes de tráfico representan una tragedia interminable son la principal causa de mortalidad en la población joven de los países industrializados, constituyen una emergencia sanitaria, y los gobiernos deben encontrar soluciones como: la prevención, la disuasión, y la responsabilización de la industria automovilística. (Geneviève Jurgensen, Fundadora y portavoz de la Liga contra la Violencia Vial, Francia, 2015)

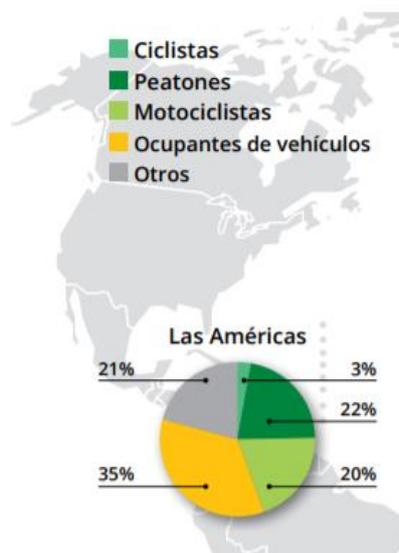
Según informes de la OMS sobre la situación mundial de la seguridad vial y sobre la prevención de los traumatismos causados por el tránsito, se estima que en el mundo cada año mueren 1,2 millones de personas a causa de accidentes de tránsito tipo impacto en la vía pública y hasta 50 millones resultan con heridas.

En la mayoría de continentes y específicamente en América los ocupantes de vehículos se ubican con el mayor porcentaje de muertes a causa de accidentes de tránsito, en la figura 9. se muestra el porcentaje de muertes en función del tipo de usuario y evidencia que las medidas de seguridad vial adoptadas para proteger a los diferentes usuarios de la vía pública y las formas de movilidad no protege a los ocupantes de los vehículos.

En el año 2019, en Ecuador se registró 24.595 accidentes de tránsito, de estos accidentes los resultados fueron 19.999 heridos y 2.180 fallecidos. Lo que equivale que, por cada 100 mil habitantes, la tasa es de 115,8.

#### Figura 9.

Porcentaje de muertes según el tipo de usuario de las vías.



**Fuente:** (OMS, 2015)

Sin intervenciones como la aplicación de legislación para controlar la velocidad y el consumo de alcohol, el uso obligatorio de cinturones de seguridad, un diseño estructural seguro, mejores prestaciones de la carrocería y chasis y un uso más seguro de la vía pública, estas cifras aumentarán en torno al 65% en los próximos 20 años.

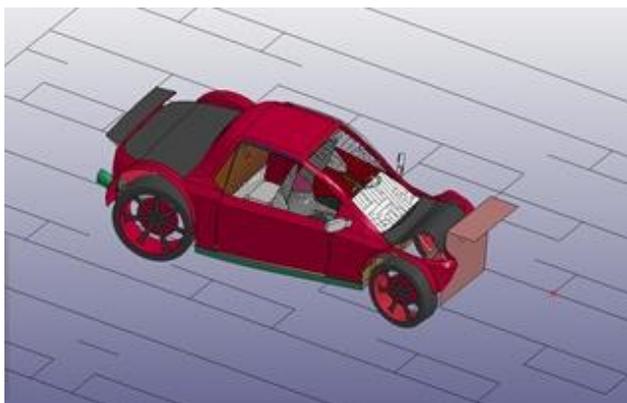
Durante el impacto de un vehículo la estructura de este debe tener un comportamiento de deformación programada que brinde la máxima seguridad a sus ocupantes, esta deformación dependerá de la parte de la estructura que haya sufrido el impacto y según esto variara el nivel de seguridad brindado por cada vehículo y el nivel de riesgos de traumatismos que puedan sufrir los ocupantes.

Dentro de los accidentes de tránsito por impactos pueden presentarse dos tipos:

Choque: es el impacto de un vehículo en movimiento con un objeto estático

**Figura 10.**

Choque frontal.

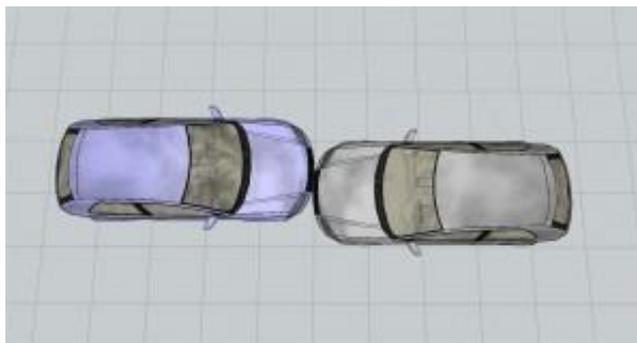


**Fuente:** Autores.

Colisión: es el impacto entre dos vehículos en movimiento.

**Figura 11.**

Colisión frontal.



**Fuente:** (IPSUM, Reconstrucción accidentes de tráfico, 2021)

### 1.4.1 Tipos de impacto

Podemos clasificarlos según la dirección del impacto en:

- Frontales.
- Laterales.
- Por alcance o trasera.

Este proyecto tendrá como objeto de análisis los dos primeros tipos de impacto mencionados anteriormente.

### 1.4.2 Impacto frontal

Los impactos frontales presentan dos variantes un impacto frontal total que se genera cuando la totalidad del frontal del vehículo sufre el impacto o un impacto frontal descentrado que ocurre cuando el impacto se concentra solo en una porción del total de la parte frontal del vehículo, estas dos variantes generaran diferentes comportamientos del vehículo, diferentes deformaciones de su estructura y diferentes riesgos hacia los ocupantes del vehículo.

**Impacto totalmente frontal:** la estructura alcanza una menor deformación, puesto que la fuerza del impacto se reparte en toda la superficie frontal del vehículo y, por tanto, actúan todos los elementos resistentes de la estructura de igual forma. En estos casos, la estructura puede aguantar mejor el impacto, consiguiendo menores deformaciones con lo que el habitáculo de seguridad tiene un menor riesgo de verse afectado, pero no significa que los pasajeros tengan un menor riesgo de sufrir traumatismos.

#### **Figura 12.**

Impacto frontal centrado.



**Fuente:** (Wikispaces, 2014)

**Impacto frontal descentrado:** la estructura del vehículo se ve sometida a un mayor esfuerzo, puesto que toda la fuerza del impacto se concentra en una zona. La energía de la colisión es absorbida por menos elementos resistentes y, por tanto, sufren una mayor deformación aumentando la posibilidad de dañar el habitáculo de seguridad, ya que los elementos de la estructura del lado contrario del choque no se ven afectados y no absorben energía. Para esto es necesario emplear elementos estructurales que puedan transmitir parte de las energías al lado opuesto del impacto, para que estos esfuerzos se repartan entre ambos lados.

**Figura 13.**

Impacto frontal descentrado.



**Fuente:** (Wikispaces, 2014)

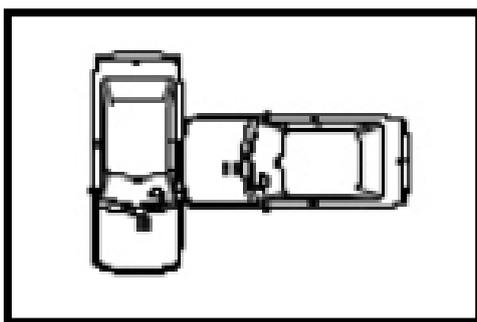
### 1.4.3 Impacto lateral

Los impactos laterales también presentan dos variantes:

**Impacto lateral perpendicular:** Es el impacto de la parte frontal de un vehículo contra la parte lateral de otro, que al momento del impacto sus ejes longitudinales forman un ángulo de 90 grados.

**Figura 14.**

Impacto lateral perpendicular.

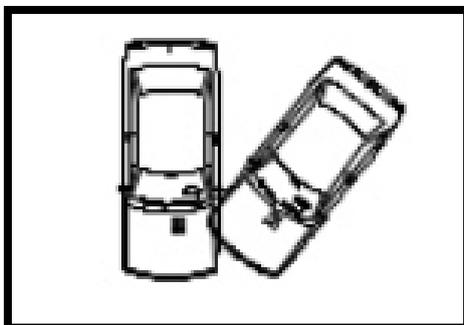


**Fuente:** (Ecuador vial, 2015)

**Impacto lateral angular:** Es el impacto de la parte frontal de un vehículo con la parte lateral de otro, que al momento del impacto sus ejes longitudinales forman un ángulo diferente a 90 grados.

**Figura 15.**

Impacto lateral angular.



**Fuente:** (Ecuador vial, 2015)

Para analizar el nivel de seguridad que un vehículo ofrece a sus ocupantes en caso de accidente, se ensaya con impactos laterales modificando tanto el ángulo como la zona de colisión ya que según estas modificaciones se evidencia que es mucho más difícil la protección de los ocupantes del vehículo. Este tipo de impactos provoca graves lesiones sobre los ocupantes debido a la baja capacidad de absorción de las piezas de la estructura y del revestimiento, y a la gran deformación resultante en el habitáculo.

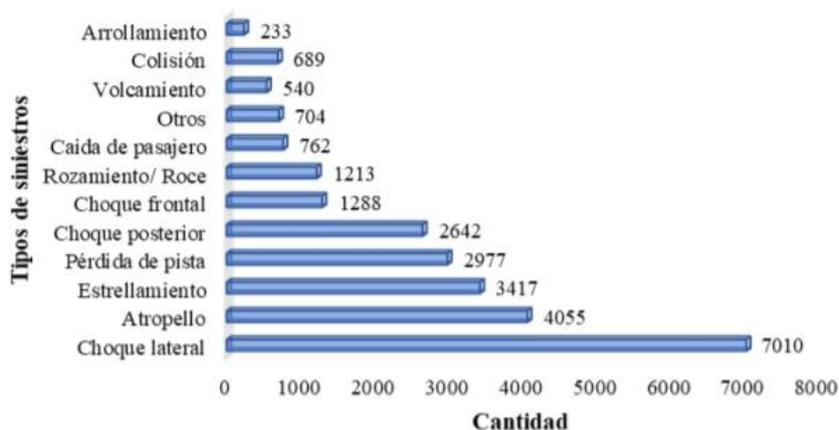
El punto crítico son las puertas que, para proporcionar una protección eficaz, deben mantenerse sujetas a las columnas por medio de mecanismos de cierre y bisagras extremadamente robustas. Además, la rigidez de las puertas, así como la solidez de los largueros que las unen y el techo, son también factores determinantes a la hora del impacto.

En los impactos laterales el propósito es evitar la intrusión en el habitáculo y buscar la forma más óptima de alejar al ocupante de la zona del impacto. Debido a que, en este tipo de impactos, el espacio entre elementos de la estructura y ocupantes del vehículo es pequeño.

En la figura 16 se muestra los siniestros de tránsito por tipo, además se evidencia que los accidentes por impacto en sus tres tipos son de los que más se producen, el impacto lateral es el que más se produce con 7010 siniestros, los impactos frontales con 1288 siniestros es el tercero de los accidentes tipo impacto que más se producen, esto según el OIAT (Oficinas de investigación de accidentes de tránsito) y SIAT (Servicio de investigación de accidentes de tránsito) con datos oficiales del 2018.

**Figura 16.**

Cantidad de accidentes por tipo de accidente a nivel nacional 2018.



**Fuente:** (Maldonado Saquisare & Neira Vivanco, 2019).

## **1.5 Pruebas de impacto**

Los traumatismos generados por el tránsito integran un problema de salud pública creciente, que afecta a los grupos vulnerables usuarios de la vía pública, en particular a los pobres, los traumatismos causados por el tránsito representan, para los países de ingresos bajos y medianos, un costo del 1% al 2% de su producto nacional bruto. Pero los traumatismos e impactos en las vías públicas son prevenibles.

En los países de ingresos altos, mediante una serie de intervenciones de reconocida eficacia se ha contribuido a reducir significativamente la incidencia y las repercusiones de los traumatismos causados por el tránsito, entre esas intervenciones están las pruebas o ensayos de impactos para evaluar los diseños estructurales de las diferentes marcas fabricantes de automóviles y verificar si estas protegen a sus ocupantes en caso de accidente y en caso de no pasar estas pruebas, sugerir un diseño más seguro de la estructura o mejores prestaciones de su carrocería o chasis, o simplemente evitar que estos vehículos inseguros salgan al mercado.

En Europa, el organismo encargado de ello es la EuroNCAP, aunque lo cierto es que hay laboratorios oficiales asociados como el IDIADA en España o el ADAC alemán. En Estados Unidos, sin embargo, los encargados son 2 organismos: la NHTSA (pública) y el IIHS (privado), los japoneses en Japan New Car Assessment Program (JNCAP), los fabricantes chinos en el C NCAP los ciudadanos de Australia y Asia, en el Australasian New Car Assessment Program (ANCAP). Así mismo, los fabricantes realizan sus propias pruebas en cualquier

Los ensayos tienen fundamentos en las reglamentaciones presentadas por la ONU, pero todos difieren según los fabricantes, siendo los realizados por EuroNCAP más exigentes, actualmente en el mundo existen nueve programas, todos ellos apoyados por gobiernos de cada región, tanto políticamente como financieramente. La única excepción por el momento es latín NCAP que cuenta únicamente con financiamiento externo

Para el análisis tomaremos como referencia algunas variables de los programas NCAP ya que estos proponen una evaluación de la seguridad de los automóviles basado en los Reglamentos ONU detallados, pero con algunas amplitudes de exigencias que han demostrado que generan una gran diferencia en las pruebas.

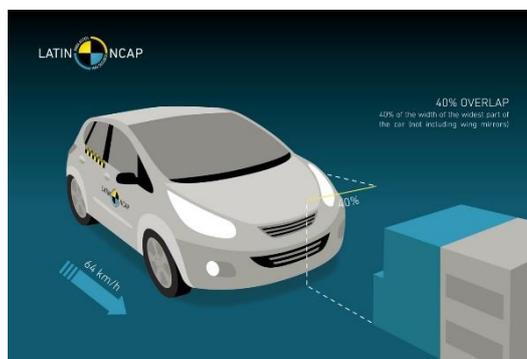
### **1.5.1 Ensayos de impacto frontal**

Se las realiza a una velocidad de 64 km/h. Además de los maniqués de piloto y copiloto, se colocan dos maniqués en los asientos posteriores, uno que representa a un niño de 18 meses, y otro que representa a uno de 3 años, ambos sentados en sillas con sistemas de retención infantil recomendadas por los fabricantes.

El impacto se la realiza de dos formas uno contra el 100% de la superficie frontal y otro con un solapamiento del 40% por el lado del conductor en ambos ensayos se puede hacer impactar contra una barrera rígida, una barrera deformable (simular un impacto en el cual el otro vehículo involucrado también se deformará para absorber energía del impacto) o contra otro vehículo, las barreras tienen dimensiones de 1 metro de ancho y 0,54 metros de grosor.

**Figura 17.**

Ensayo de impacto frontal contra una barrera.



**Fuente:** (LATIN NCAP, 2016)

El daño en los maniqués se mide en la cabeza, tórax, cadera, piernas y pies este último solo en los conductores ya que es el que mantiene contacto con los pedales.<sup>1</sup>

Todos los crash test coinciden en ciertos aspectos de seguridad tales como:

- Las puertas no se pueden abrir durante el impacto.
- Se permite la rotura de los cristales, aunque se tiene en cuenta su proyección hacia el interior.
- Después del test, al menos una puerta debería poder abrirse por fila de asiento, si la hay, y si no la hay, mover los asientos o inclinar sus respaldos como fuera preciso para permitir la evacuación de todos los ocupantes.
- No puede haber pérdida de combustible.
- La posición final y los daños de los ‘dummies’ son claves.

- Los restos de componentes y piezas que puedan haberse deslizado o desprendido en el interior también son tenidos en cuenta.
- El desplazamiento residual del volante, medido en el centro de éste y en la parte superior de la columna de la dirección no será superior a 80 mm hacia arriba en vertical, ni a 100 mm hacia atrás en horizontal.
- Liberar los maniqués del sistema de retención, el cual deberá poder abrirse, en caso de estar bloqueado, aplicando una fuerza máxima de 60 N sobre el centro del mando de apertura.
- Extraer los maniqués intactos del vehículo sin ajustar los asientos.

Sin embargo todas las marcas fabricantes prueban y evalúan de diferente manera sus estructuras, según sus propios intereses, estudios y estadísticas por ejemplo las pruebas europeas se realizan con la finalidad de fomentar la seguridad activa de los pasajeros, mientras que las de EEUU se basan en estadísticas de accidentes de tránsito emitidas por las aseguradoras y otras simplemente por cumplir un requisito y emitir un certificado puedan ser vendidos en los mercados específicamente de Latinoamérica.

A continuación, en la tabla 2 se presenta las diferencias que presentan las pruebas de impacto según reglamentaciones ONU que son el fundamento de todas las pruebas o de la mayoría de ellas, las reglamentaciones EuroNCAP que ha aumentado la magnitud de las exigencias ONU, pero no son obligatoria para los fabricantes y por último de las reglamentaciones estadounidenses.

**Tabla 2.**

Base de las diferencias en los crash test frontales.

<b>Reglamentación ONU</b>	<b>Reglamentación EuroNCAP</b>	<b>Reglamentación IIHS</b>
Velocidad de la prueba 56 km/h	Velocidad de la prueba 64 km/h	Velocidad 64 km/h
Solapado 40%	Solapado 40%	Solapado 25%

2 dummies adultos (piloto y copiloto)	4 dummies 2 adultos y dos niños de 3 y 1,5 años con sistemas de retención	2 dummies adultos (piloto y copiloto)
Impacto contra: barrera deformable, otro vehículo	Impacto contra: barrera deformable, otro vehículo	Impacto contra: barrera acero indeformable.
Medición de daños en dummies en la cabeza, cuello, pecho, pelvis y parte inferior de las piernas	Medición de daños en dummies en la cabeza, tórax, cadera, piernas y pes	Medición de daños en dummies en la cabeza, cuello, pecho y piernas (fémur).

**Fuente:** Autores

En impactos frontales se busca optimizar los refuerzos de la estructura portante y de los sistemas de retención ya que los ocupantes están sometidos a deceleraciones bruscas. Es importante evitar que se introduzcan en el habitáculo elementos como la columna de dirección, salpicadero, techo, largueros y montantes, pedales, ya que en caso de ingresar dañarían gravemente a los ocupantes.

Es posible apreciar a grandes rasgos si el habitáculo de seguridad se ha visto afectado tras un impacto, mediante la observación del desplazamiento del montante del parabrisas hacia atrás, de pliegues tanto en el suelo como en el techo y también de las puertas si se han desencajado, doblado o abierto. (Manjarres Arias & Santillan Mariño, 2016).

### **1.5.2 Ensayos de impacto lateral**

Este test se realiza de dos maneras diferentes el primero contra un vehículo muy característica de los cruces y la segunda contra un poste para simular un hipotético impacto del coche contra un árbol o una farola en caso de que el vehículo haya sobrevirado Impacto lateral contra un vehículo.

#### **- Impacto lateral contra un vehículo**

El vehículo, que se sitúa inmóvil se lanza contra la puerta del conductor una barrera deformable móvil de 1,5 metros de ancho y 0,5 metros de grosor y 950Kg a una velocidad de 50 km/h.

En esta prueba se coloca un solo dummy en el interior del vehículo que se sitúa obligatoriamente en el lado del conductor en el cual impacta la barrera, se evalúa los daños que presenta el dummy en cabeza, tórax, abdomen y cadera.

**Figura 18.**

Ensayo de impacto lateral contra vehículo.



**Fuente:** (LATIN NCAP, 2016)

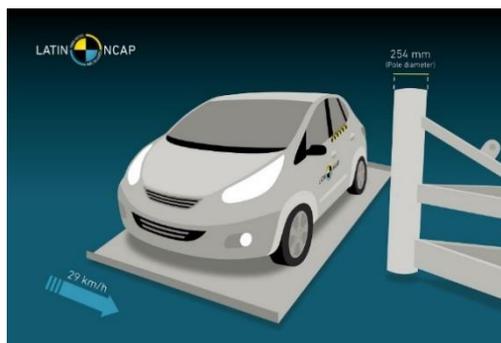
- **Impacto lateral contra un poste**

En este ensayo se coloca el coche en una plataforma móvil en ángulo recto o en un pequeño ángulo alejado de la perpendicular que se lanza a una velocidad de 29 km/h, el vehículo recorre 53 metros y termina impactándose contra un poste rígido y estrecho de acero relleno de hormigón de 2,54 metros de ancho, que está colocada sobre una estructura de concreto de 300 toneladas.

El impacto tiene lugar en la puerta del piloto y su lugar es ocupado por un dummy al que se le examinan los daños que presenta en: cabeza, tórax, abdomen y cadera.

**Figura 19.**

Ensayo de impacto lateral contra poste.



**Fuente:** (LATIN NCAP, 2016)

A continuación, en la tabla 3 se presenta las diferencias que presentan las pruebas de impacto lateral, según las mismas reglamentaciones comparadas anteriormente en los ensayos de impacto frontal.

**Tabla 3.**

Base de las diferencias en los crash test laterales.

<b>Reglamentación ONU</b>	<b>Reglamentación EuroNCAP</b>	<b>Reglamentación IIHS</b>
<b>Ensayo de impacto lateral contra otro vehículo</b>		
Velocidad barrera móvil $50 \pm 1$ km/h	Velocidad barrera móvil 50 km/h	Velocidad 50km/h
Vehículo evaluado inmóvil	Vehículo evaluado inmóvil	Vehículo evaluado inmóvil
1 dummy adulto correspondiente al conductor	1 dummy adulto correspondiente al conductor	2 dummies una mujer adulta como piloto y un niño de 12 años colocado atrás del asiento del conductor
Impacto contra: barrera deformable móvil	Impacto contra: barrera deformable móvil	Impacto contra: barrera deformable móvil.
Medición de daños en dummies en la cabeza, tórax, pelvis, abdomen	Medición de daños en dummies en cabeza, tórax, abdomen y cadera.	Medición de daños en dummies en la cabeza, cuello, pecho, abdomen, pelvis y fémur
<b>Ensayo de Impacto lateral contra un poste</b>		
Este ensayo solo es realizado por la EuroNCAP por lo que no se pueden establecer diferencias.		

**Fuente:** Autores

En estas pruebas la zona de deformación debe estar diseñada para absorber la energía del impacto antes de que el ocupante se lesione. En los impactos laterales el propósito es evitar la

intrusión en el habitáculo y buscar la forma más óptima de alejar al ocupante de la zona del impacto. (Manjarres Arias & Santillan Mariño, 2016).

### **1.6 Normativas que regulan la seguridad de pasajeros**

A nivel Nacional el procedimiento para evaluar y aprobar que un vehículo o lote de vehículos pueda ser vendido en el mercado, debe presentar entre otros varios documentos, los certificados de aprobación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes emitido por los fabricantes, ya que desarrollar unas normas y reglamentos nacionales, similares a los Reglamentos ONU, requiere medios humanos y materiales considerables.

Es por este motivo que de manera legal en el Ecuador se venden vehículos que han obtenido en las pruebas de impacto realizadas por las normativas más exigentes una calificación de seguridad de cero estrellas sobre cinco estrellas, sin embargo en las reglamentaciones más permisibles han obtenido una calificación de tres a cuatro estrellas pudiendo así ser vendidos en el mercado Ecuatoriano , ya que el estado en su reglamentación técnica RTE INEN 034 “Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores” en su punto 7 exige solamente un análisis documental, presentados por el fabricante mediante certificados de aprobación de las pruebas de impacto otorgados por organismos o laboratorios acreditados y reconocidos.

La evidencia de la conformidad con el reglamento técnico se debe efectuar a cada vehículo o lote de vehículos para darle el alta al mercado ecuatoriano, por medio de la presentación de los siguientes documentos:

- Aprobación de tipo “type approval” o carta de cumplimiento de los requisitos señalados en el presente reglamento por un organismo reconocido por la ONU.
- Certificado de evaluación de la conformidad emitido por un organismo de evaluación de la conformidad acreditado por el SAE o designado por el MIPRO.
- Informes de ensayo de laboratorio reconocidos por la ONU
- Informes de ensayo del laboratorio emitidos por organismos de la evaluación de la conformidad acreditado o reconocido por el SAE o designado por el MIPRO

El reglamento técnico ecuatoriano que aplica y regula los procedimientos de aprobación es el RTE INEN 034 “Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores” que se basa en las reglamentaciones internacionales de la ONU, En el punto 4.15 de su contenido muestra que regula la aprobación de la protección en caso de accidente por impacto frontal o lateral:

**Figura 20.**

RTE INEN 034.

**Fuente:** INEN

Los vehículos deben obedecer los requisitos establecidos en la Reglamentación Técnica Ecuatoriana

- Reglamento Técnico No. 94 de la ONU (Organización de Naciones Unidas) — sobre las prescripciones para la aprobación de vehículos relativo a la protección de sus ocupantes en caso de impacto frontal – “PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF VEHICLES WITH REGARD TO THE PROTECTION OF THE OCCUPANTS IN THE EVENT OF A FRONTAL IMPACT”.
- Reglamento Técnico No. 95 de la ONU — sobre las prescripciones para la aprobación de vehículos relativo a la protección de sus ocupantes en caso de impacto lateral – “PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF VEHICLES WITH REGARD TO THE PROTECTION OF THE OCCUPANTS IN THE EVENT OF A LATERAL IMPACT”. (INEN, 2021)

Latín NCAP ha dejado en evidencia que, si bien en la región hay vehículos bien conceptuados desde lo técnico y bien diseñados en el software de simulación, existen problemas graves de control de producción en la región a causa de la falta de la aplicación de Reglamentos como los de la ONU que hacen hincapié justamente en el control de producción. Las consecuencias de la falta de control de producción han sorprendido a los propios ingenieros de seguridad o los propios diseñadores del automóvil, que al entrar en línea de producción en América Latina se produce con controles muy pobres y deficientes dando lugar a niveles de seguridad muy bajos.

En la tabla 1.6 se presenta un diagnóstico sobre el estado actual respecto a la verificación de seguridad de los ocupantes de un vehículo en caso de impactos frontal y lateral, así esta verificación sea solo análisis documental y no experimental.

**Tabla 4.**

Diagnostico respecto a la verificación de seguridad.

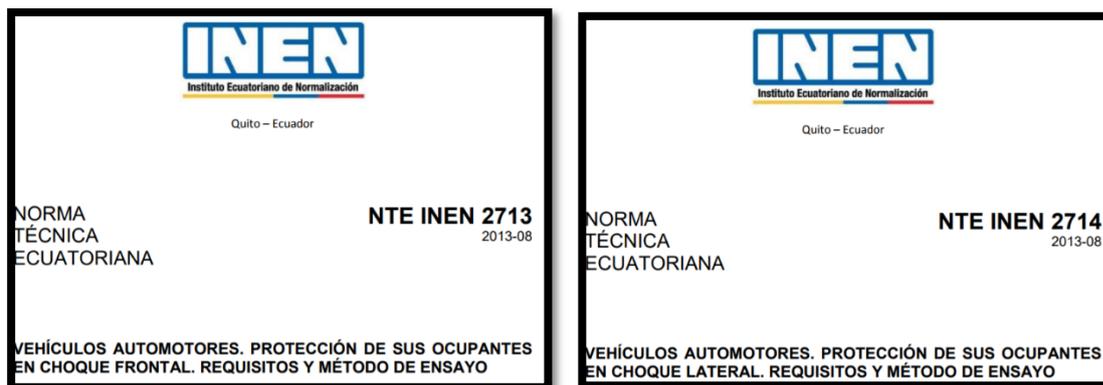
<b>COCEPTO</b>	<b>ECUADOR</b>
Sistema de “homologación/recepción u otro sistema” nacional para matriculación	SI
Documentación exigida	Reporte de ensayos
Emisión de un certificado nacional de homologación	SI
Verificación del certificado de ensayo emitido por un laboratorio	SI
Verificación física del vehículo con la documentación	NO
Control de la Conformidad de la Producción	NO
Los laboratorios nacionales hacen ensayos	NO
Exigencia de la homologación respecto a Reglamentos ONU	NO
Otra regulación/reglamentación aceptada	Nacional, americana, China, Australia, Corea, Japón y Brasil
UN R94 - Protección de ocupantes en caso de un impacto frontal	No indica serie de enmiendas 2 bolsas
UN R95 - Protección de ocupantes en caso de impactos laterales	No indica serie de enmiendas

**Fuente:** Autores

Aunque nuestra regulación nacional menciona los reglamentos ONU, estos reglamentos se han reproducido de manera parcial, eliminándose partes claves de estos, como por ejemplo los requisitos y métodos de ensayos nacionales para la aprobación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de impacto frontal o lateral se encuentran en los documentos de normalización ecuatoriana NTE INEN 2713 Y 2714 respectivamente y estos como se mencionó anteriormente en el reglamento técnico Ecuatoriano RTE 034 se basan en los reglamentos de la ONU R94 R95.

**Figura 21.**

NTE INEN 2713;2714.



**Fuente:** (INEN, 2013)

En otros casos, además como muestra el diagnóstico generado en la tabla se refiere a series de enmiendas antiguas y caducas del Reglamento ONU en cuestión y en algunos casos únicamente se refieren al Reglamento sin indicar la serie de enmiendas. Si no se exige una determinada y reciente serie de enmiendas se corre el riesgo de que el vehículo y su sistema se correspondan con unos requerimientos de más de 30 años.

También se aceptan otras reglamentaciones, siendo las más corrientes las de EE. UU., MERCOSUR, Japón, Corea, China y Australia o entidad reconocida por parte de ISO pudiendo así ser considerado como “normativa” del país. Los laboratorios que realizan los ensayos reglamentarios no están acreditados como lo están los que hacen los ensayos de homologación de los Reglamentos ONU, además no se exige ninguna condición a los laboratorios, en otros se aceptan los ensayos realizados por el propio fabricante y no se exige un sistema de verificación, discusión, elaboración, desarrollo de dicha supuesta normativa, siendo esto un potencial foco de conflicto técnico y comercial.

## **2 Los requisitos y métodos de ensayo**

Los detalles y pasos necesarios para la homologación o para registrar y comprobar de manera oficial que las características de categoría y calidad del vehículo se adapta a la legislación respecto a la seguridad que estos ofrecen a sus ocupantes en caso de accidente tipo impacto frontal o lateral se encuentran regulados por las normas técnicas ecuatorianas NTE INEN 2713 Y NTE INEN 2314 “Vehículos automotores. protección de sus ocupantes en choque. requisitos y método de ensayo” respectivamente, a su vez estos se basan en los reglamentos técnicos de las naciones unidas R94 Y R95 “Prescripciones uniformes sobre la aprobación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión” mencionadas anteriormente.

La implementación de programas NCAP son complementarios al sistema normativo de cada país y no un sustituto de él. Los programas NCAP califican, por sobre el nivel de aceptación de los reglamentos ONU, por lo que para el desarrollo de este proyecto se tomaran en cuenta también ciertos detalles de este programa.

Los requisitos, métodos y prescripciones de las pruebas se irán dando a conocer y detallando en los siguientes capítulos para verificar de manera más óptima qué tanta integridad física ofrece cada vehículo, otorgando una calificación adecuada a aquellos modelos que logran una mayor integridad física de los ocupantes en los ensayos de impacto.

## **CAPITULO II**

### **2. MODELOS DE MANIQUÍES Y VEHICULOS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN**

El diseño de la geometría 3D de los vehículos se centra únicamente en la estructura de su carrocería y chasis, ya que los sistemas de estos no son objeto de análisis en este proyecto.

Los modelos de vehículos utilizados para la simulación son desarrollados por los autores del proyecto y se realizaron en base a características generales o siguiendo patrones comunes de diseños o modelos encontrados en la base de datos del software de simulación tanto de vehículos compactos como de chasis, ya que no contamos con los recursos necesarios para replicar un vehículo real.

Los vehículos modelados y su estructura se han configurado basándonos en las proporciones y ciertos detalles del bastidor de los vehículos más comercializados tanto compacto como ensamblado sobre chasis y sacando un factor común de estos.

#### **2.1 HERRAMIENTAS USADAS**

Par el desarrollo del modelado 3D de vehículos se utilizó el programa, SOLIDWORKS. Este software es utilizado para la modelización mecánica en 2D y 3D como son los automóviles y generar prototipos virtuales de piezas y conjuntos que forman el vehículo para posterior análisis como si fueran prototipos físicos.

##### **2.1.2. SOLIDWORKS STUDENT EDITION**

Creado por SolidWorks Corporation y lanzada al mercado en 1995 con el propósito de tener una mejor tecnología para diseños asistidos por computadora. En la actualidad pertenece a la empresa Dassault Systems. SolidWorks incorpora un conjunto completo de herramientas para modelar de una forma exacta geometría de piezas, gestionar proyectos de innovación es una herramienta más utilizada para la productividad de recursos de ingeniería.

Para el caso del proyecto, la herramienta de SolidWorks nos permite convertir los archivos a un formato compatible con el software de simulación, esta herramienta nos ha permitido el diseño a escala de las piezas y conjuntos de varias partes de los vehículos.

## **PROCESO A SEGUIR PARA EL MODELADO:**

1. Se debe empezar el modelado previo al modelo real del automóvil, analizando los planos de la geometría y características de los automóviles compacto y ensamblado sobre chasis.
2. Se construyen las superficies para piezas y se unen las mismas.
3. Se estimarán cargas debido al no conocer con exactitud dichos valores de inercias y pesos sobre el modelo lo que viene a ser el vehículo.
4. Se selecciona el material dependiendo de la maquinabilidad y físico-mecánicos.
5. La parte de la estructura, compacto, chasis y subsistemas del vehículo echo en SolidWorks son con medidas proporcionales de las geometrías para aproximarlos lo máximo posible a la realidad.

## **2.2 EL DISEÑO SE DIVIDE EN DOS ASPECTOS IMPORTANTES.**

### **2.2.1 Diseño Exterior**

Para el diseño exterior se va en crear las proporciones y superficies del vehículo, para el cual tendremos varios bosquejos de los elementos exteriores con la finalidad de que sea lo más aproximado al modelo real.

### **2.2.2 Diseño interno**

En el diseño interior se toma en consideración, las proporciones del vehículo en su interior, los valores reales para que el maniquí con medidas parecidas a las de un ser humano tenga el espacio y comodidad al momento de adaptarse al vehículo.

## **2.3 ORIGEN DE DATOS**

Las medidas generales de los vehículos y los elementos del mismo han sido obtenidas de manuales procedentes de fabricación encontrados en sitios web. Al ser un vehículo del cual muchos de los subsistemas no van incorporados en el modelado por su complejidad y por qué no son objeto de análisis en este proyecto, se realiza una aproximación de cada uno de los elementos graficados, debido a que no tenemos el acceso a las medidas de varios elementos y no nos ha sido posible encontrar detalladamente estos planos que nos permita acercarnos al comportamiento y medidas de un modelo de vehículo real.

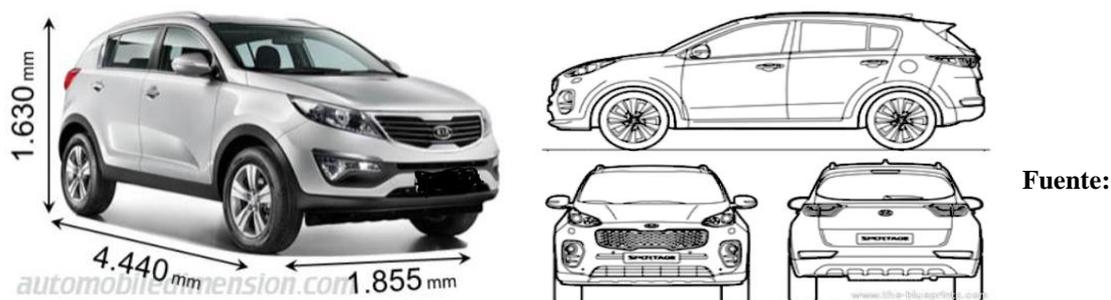
Con esto el comportamiento del modelo desarrollado en SolidWorks, del vehículo tipo compacto será aproximado al modelo real, y así podemos ver el comportamiento del mismo.

## 2.4 Diseño de la geometría 3D del vehículo ensamblado sobres chasis.

Con el programa SolidWorks se modela el automóvil partiendo de las dimensiones reales a las que tenemos acceso, y diseñando y generando ciertas partes necesarias y de las cuales no tenemos acceso detallado para crearlas, pero que son necesarias para el funcionamiento del vehículo como sus principales subsistemas y características generales de carrocería y chasis.

**Figura 22.**

Modelo del vehículo real.



(Planos\_online, 2016)

A continuación, en la siguiente tabla podemos observar datos de las dimensiones principales del modelo real.

**Tabla 5.**

Dimensiones principales del modelo real.

DIMENSIONES	
Largo total	4,440 m
Ancho total	1,855 m
Altura total	1,630 m
Distancia entre ejes	2,67 m
Espacio para la cabeza (delantero/posterior)	997 / 993 cm
Espacio para las piernas (delantero/posterior)	1,053 (1,129 máx.) / 970 cm
Distancia mínima al suelo	172 cm

**Fuente:** Autores

El modelo consta de su carrocería, motor, elementos internos del habitáculo, rines y llantas. Las diferentes partes de la carrocería del vehículo se modela mediante superficies ya que estas permiten modelar cuerpos complejos como los automóviles, y permite configurar y realizar múltiples operaciones para cualquier tipo de análisis, por el contrario, las operaciones con sólidos son muy limitadas, utilizamos estos para modelar los subsistemas ya que no entran en análisis para el proyecto.

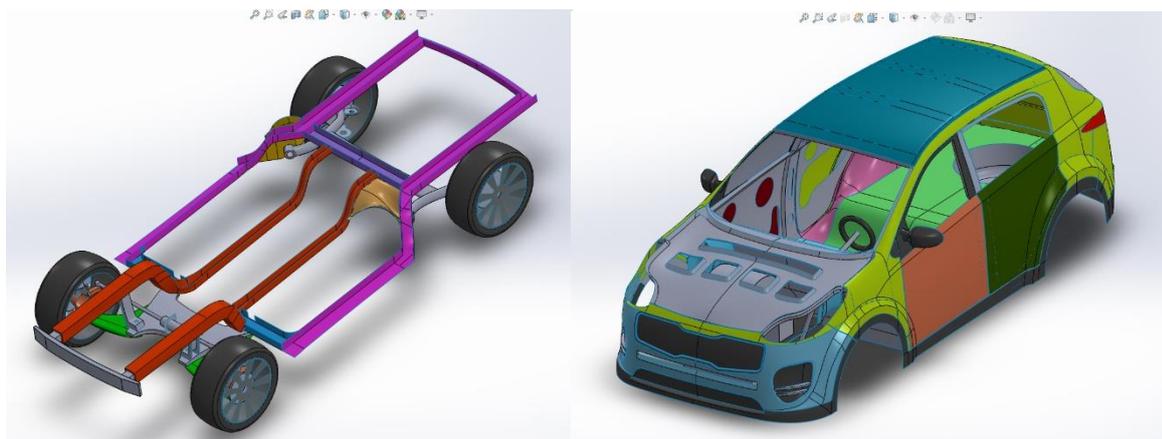
### 2.4.1. CARROCERIA

La carrocería es la parte más importante al proporcionar la estructura básica del automóvil. Se trata del lugar donde van a ir ubicados los ocupantes y las cargas del vehículo como también subsistemas como es el motor, transmisión o dirección, que de todos estos elementos va a depender la seguridad de los pasajeros. En este caso se desarrollará únicamente la carrocería autoportante, de tres volúmenes (motor, habitáculo y maletero) este modelo de carrocería en 3D estará echo con todas las medidas a escala real por lo que no es necesario escalar el diseño. La estructura y cuerpos que componen la carrocería se modela mediante superficies para realizar de manera más simplificada y más real cualquier tipo de análisis.

Finalmente, realizando las respectivas modificaciones y dándole las apariencias necesarias para aproximarlo más al modelo real, tendremos la siguiente forma:

**Figura 23.**

Estructura del vehículo compacto.



**Fuente:** Autores

### 2.4.2. Modelado de sistemas del vehículo-

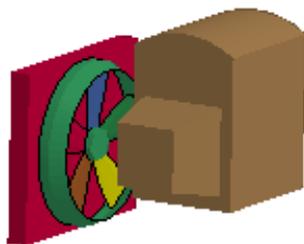
El modelado de nuestro motor y otros subsistemas se desarrollará de manera simplificada, debido a que no son de interés para el análisis planteado en los objetivos de este proyecto.

- **MOTOR:**

estará representado de manera simple, en concreto para modelar estos elementos se generará solidos en tres dimensiones: alto, largo y profundidad que representen y ocupen un espacio del vehículo.

**Figura 24.**

Sistemas del vehículo.



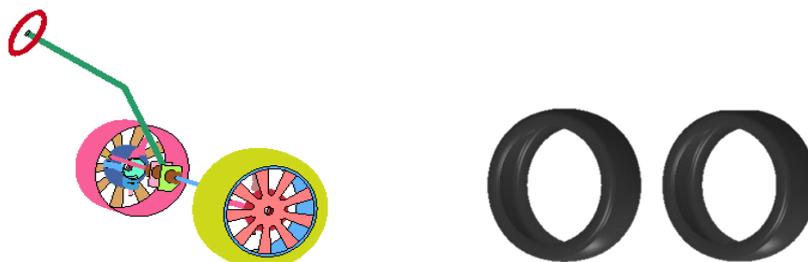
**Fuente:** Autores

- **DIRECCIÓN y NEUMATICOS.**

El desarrollo del modelado en SolidWorks se ira adaptando al modelo real de manera simplificada debido a que es un subsistema que no entrara en el análisis del proyecto.

**Figura 24.**

Modelado de dirección y neumático.



**Fuente:** Autores

### 2.4.3. EMSAMBLADO COMPLETO DEL VEHICULO

El ensamblaje de cada uno de los cuerpos que componen el vehículo generara un solo solido para posteriormente realizar las simulaciones.

Cada elemento esta modificado para que se posicionen y encajen correctamente al momento del ensamblado, evitando que en el proceso de simulación se generen fallos al existir uniones incompletas o mal desarrolladas al momento de realizar el mallado.

**Figura 25.**

Ensamblado completo del vehículo compacto.



**Fuente:** Autores

### 2.5. Diseño de la geometría 3D del vehículo ensamblado sobre chasis

El vehículo ensamblado sobre chasis escogido para el análisis cuenta con las dimensiones de un vehículo tipo camioneta.

**Tabla 6.**

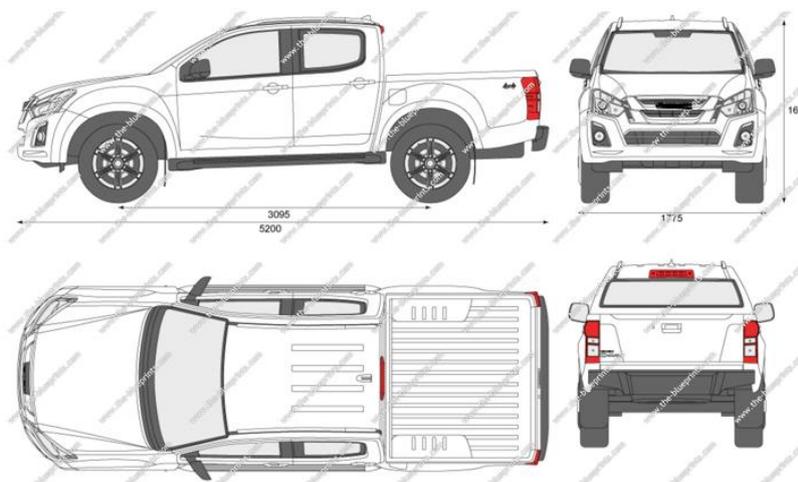
Dimensiones vehículo ensamblado sobre chasis.

DIMENSIONES	
Largo	5200 cm
Ancho	1775 cm
Altura	169 cm
Distancia entre ejes	3095 cm

**Fuente:** Autores

**Figura 26.**

Planos del vehículo ensamblado sobre chasis.

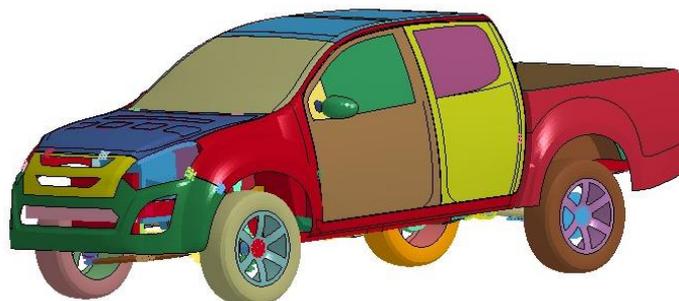


**Fuente:** Autores

El vehículo se modela en el software mediante superficies, a excepción del motor y sus sistemas que son generados mediante sólidos ya que no son objeto de análisis de este proyecto.

**Figura 27.**

Vehículo ensamblado sobre chasis.



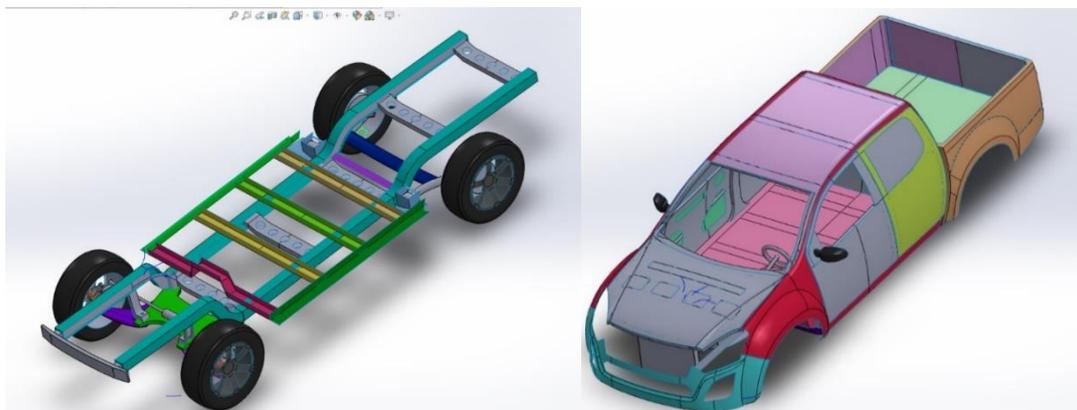
**Fuente:** Autores

El vehículo ensamblado sobre chasis este modelado empíricamente ya que no contamos con los recursos necesarios para replicar un vehículo real, pero nos basamos y centramos en otros modelos que se encuentra en la red para encontrar la estructura común que tenían todos y plasmar en nuestro modelo.

Un vehículo ensamblado sobre chasis está estructurado debajo de su piso, su suspensión, la cabina y parte de la transmisión están todos montados sobre una estructura (chasis). Esta estructura está soportando todos estos elementos.

**Figura 28.**

Chasis y cabina del vehículo modelado.

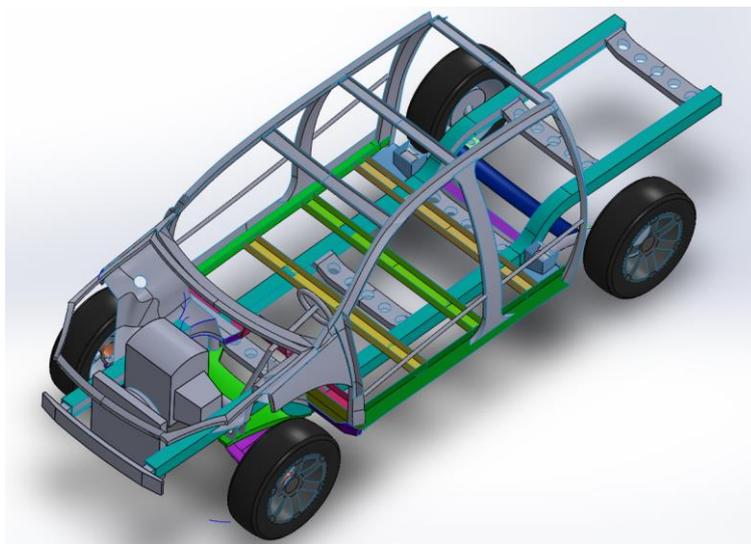


**Fuente:** Autores

La característica o diferencia más grande entre un vehículo ensamblado sobre chasis y un compacto, es que los parantes del chasis se unen a la cabina mediante pernos o mediante soldadura.

**Figura 29.**

Unión del chasis y cabina del vehículo modelado.



**Fuente:** Autores

La evolución de la industria automotriz y en base a estadísticas de accidentes en las que se han visto afectados los pasajeros, se han evidenciado que las columnas de dirección al ser rígidas en un accidente frontal puede incrustarse en el conductor o en caso de un accidente lateral no hay nada que genere una resistencia en el momento del impacto y los pasajeros resulten gravemente afectados, por lo que se han mejorado algunas de las características estructurales de este modelo ensamblado sobre chasis y que se ha plasmado en el diseño, posteriormente se les asignaran las propiedades al material para que cumplan con estas condiciones.

## 2.6. DUMMIES

Para verificar la seguridad pasiva hace referencia a la persona para determinar la seguridad. Con ayuda de unos maniqués con características similares a un cuerpo humano que pueden presentar diferencias con relación de sexo y edades de la persona, capaces de simular los daños del cuerpo humano ante un accidente proporcionando información útil para mejorar las estructuras del vehículo.

Para conocer los daños que se producirá en el ser humano durante un impacto con ayuda de estos maniqués se requiere dispositivos que mantengan los límites establecidos y sean capaces

de evaluar valores extremos de aceleraciones y de los aplastamientos que sufrirá el cuerpo de la persona al momento de realizarse una colisión, con ayuda de un conjunto de sensores implementado en los maniqués se obtendrá datos que serán transmitidos a los equipos de registro entre 31.000 y 37.200 datos durante un impacto de prueba que dura entre 100 a 120 milisegundos (ANEXO1, 2018).

**Figura 30.**

Dummies para pruebas de impacto.

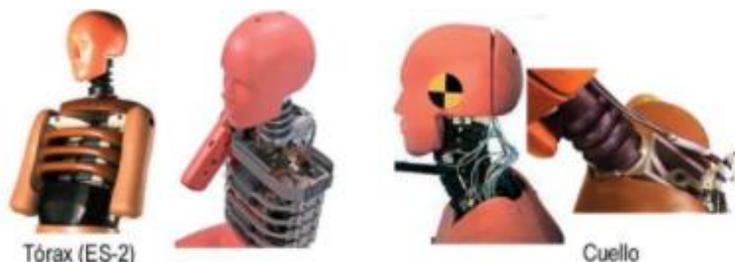


**Fuente:** (Jose, 2009)

Para el proyecto se tomará como modelo al Hybrid III debido a sus características de construcción similar al cuerpo humano constituido en gran mayoría de acero con piezas de aluminio, latón, vinilo, materiales esponjosos, La parte de la cabeza está formada de materiales como el aluminio además para determinar los daños en los órganos internos del cuerpo humano se tiene masas suspendidas cuyo comportamiento se asemeja a los daños ocasionados en la persona durante un accidente. En cuanto a simulaciones de impactos laterales tenemos al ES-2 y el SID (Side Impact Dummy) estos equipos determinan daños en cuanto a columna vertebral, órganos internos, costillas durante una colisión lateral (Gomez Morales , Martin Navarro , Agueda Casado , & Garcia Jimenez, 2009).

**Figura 31.**

Dummies para pruebas de impacto.

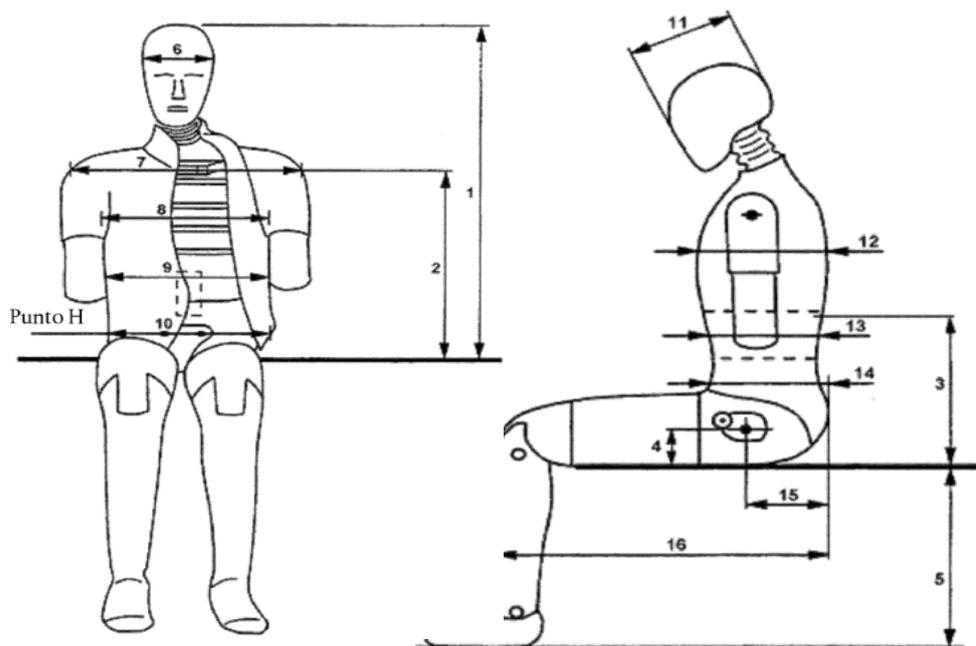


**Fuente:** (Jose, 2009)

### 2.6.1. Medidas principales del maniquí

Figura 32.

Medidas principales del dummy.



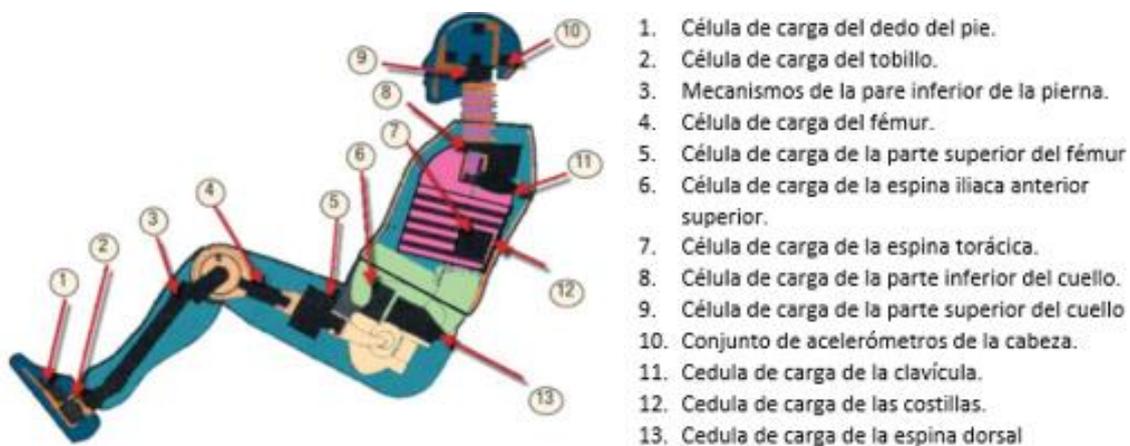
Fuente: (Jose, 2009)

### 2.6.2. Modelo Hybrid III (Impacto frontal)

Está constituido por tres acelerómetros que envían datos individualmente de fuerza y aceleración, determinando los daños del cuerpo humano durante un impacto frontal ya sea en la cabeza o demás partes.

Figura 33.

Constitución del dummy hybrid III.



1. Célula de carga del dedo del pie.
2. Célula de carga del tobillo.
3. Mecanismos de la parte inferior de la pierna.
4. Célula de carga del fémur.
5. Célula de carga de la parte superior del fémur
6. Célula de carga de la espina iliaca anterior superior.
7. Célula de carga de la espina torácica.
8. Célula de carga de la parte inferior del cuello.
9. Célula de carga de la parte superior del cuello
10. Conjunto de acelerómetros de la cabeza.
11. Cedula de carga de la clavícula.
12. Cedula de carga de las costillas.
13. Cedula de carga de la espina dorsal

Fuente: (Jose, 2009)

### 2.6.3. Modelo EUROSID (Impacto lateral)

Para verificar el daño durante un impacto lateral este modelo está constituido por unos dispositivos de grabación para registrar lo que pasa sobre el tórax en la zona lateral y daños en el abdomen producto de fuerzas que causan daños laterales mediante sensores, la parte de la pelvis, fémur y rodilla tiene mecanismos que ayudan a determinar fracturas o dislocaciones de cadera mediante la grabación de fuerzas laterales y en cuanto a los pies tiene de igual manera mecanismos en su interior para verificar su distorsión.

**Figura 34.**

Dummies con targets para saber la afectación en las zonas coloreadas.



Fuente: (Jose, 2009)

## 2.7. Instalación del maniqués y ajustes de los sistemas de retención

### 2.7.1. Montaje de maniquí.

#### Conductor

La posición de la simetría del maniquí coincidirá con el plano vertical atravesando el centro del volante y siendo paralelo al plano longitudinal del vehículo.

La plataforma transversal de instrumentos de la cabeza se ubicará de manera horizontal con acercamiento de  $2,5^\circ$ . Si la cabeza no se encuentra en la posición correcta se regulará al ángulo pelviano del maniquí sin exceder los límites dispuestos por el reglamento. La posición de los brazos del conductor será junto al torso que será lo más próximo al plano vertical. Las manos del conductor deben tener contacto con el volante en su eje horizontal

La parte del torso del maniquí de ensayo debe reposar sobre el respaldo del asiento. Las piernas en lo que es la parte del muslo del maniquí deberán reposar sobre el almohadón de asiento para que las dos piernas del maniquí se situen en los planos verticales y horizontales. La parte del pie derecho en el extremo posterior del talón reposará sobre el acelerador, o irá ubicada perpendicular a la tibia, y el pie izquierdo ubicado lo más aproximado al reposapiés, o caso

contrario ambos pies deben reposar lo máximo posible pegado al piso paralelamente al eje longitudinal del vehículo.

## **CAPITULO III**

### **3. SIMULACIÓN DE IMPACTOS.**

En el presente proyecto se analizará impactos frontal y lateral de dos vehículos, uno compacto y otro ensamblado sobre chasis, mediante el método de elementos finitos se verificará la seguridad que ofrecen las estructuras de estos vehículos a sus ocupantes.

Este análisis se fundamentará en las reglamentaciones ONU, pero se modificarán algunas variables de esta normativa por las de la normativa europea EuroNCAP que aumenten la exigencia de los resultados obtenidos.

#### **3.1. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

Se realiza el análisis mediante un número finito de variables de forma más fácil sobre cada punto para poder determinar de manera global su comportamiento. En todos los modelos de elementos finitos, el dominio se divide en un número finito de formas simples denominadas elementos, a través de una adecuada función de interpolación, este método permite abordar problemas en los cuales existen contactos entre componentes, grandes deformaciones de los materiales, modos de fallo de los materiales.

#### **Principio básicos y aplicaciones**

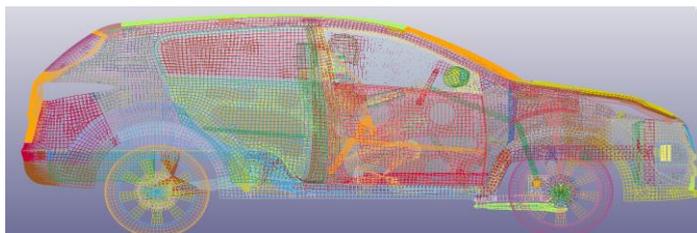
Para ejecutar estas simulaciones es necesario que el elemento se divida en elementos pequeños cuyos vértices denominados nodos se encuentren unidos de manera firme. Los pequeños elementos que se forman adquieren diferentes formas ya sea lineales, triángulos, cuadrados, tetraedros, pentaedros o hexaedros, es recomendable que mientras más pequeñas partes se dividan los elementos la aproximación va a ser más efectiva.

Se realiza el mallado de los vehículos con la herramienta element and mesh y nos genera divisiones con un número de partes y nodos que son los siguientes.

Vehículo compacto: 333 partes y 101288 nodos.

**Figura 35.**

Mallado del vehículo compacto.

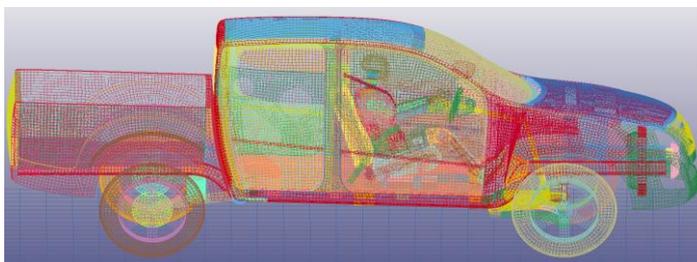


**Fuente:** Autores

Vehículo ensamblado sobre chasis: partes 293 y nodos 115823.

**Figura 36.**

Mallado del vehículo ensamblado sobre chasis.



**Fuente:** Autores

### **3.2. CONFIGURACION DE LOS VEHICULOS EN EL SOFTWARE CAE**

El programa nos permite analizar deformaciones estructurales grandes, para diseños y desarrollos de proyectos donde la seguridad de los ocupantes será el factor principal a mejorar, simulaciones de choques aparentes a la realidad que permitan probar sus diseños sin necesidad de construir un prototipo, lo cual supone un ahorro de tiempo y dinero.

La herramienta preprocesadora tiene la finalidad de alistar datos de entrada al software CAE y ejecuta los datos resultantes del análisis del programa. El preprocesador contiene aplicaciones referentes a la automoción como son los sistemas de seguridad del vehículo, maniqués, acelerómetros, sensores, etc. También tiene la función como post-procesador de posibilitar la

visualización de resultados de velocidades, aceleraciones, tensiones de Von-Misses, y comprobar el nivel de daños que pueden llegar a tener el maniquí durante un impacto.

### 3.2.1 Unidades en los modelos para la simulación.

Otro punto de vista importante es las coordenadas que se definirán para su orientación y las unidades que actúan en el modelo deben ser acorde entre sí, para que los programas puedan leer correctamente las unidades y genere resultados correctos. En la siguiente tabla se puede observar las unidades establecidas de los modelos para las simulaciones.

**Tabla 7.**

Unidades utilizadas en los modelos.

Magnitud	Unidades
Masa	Kg
Tiempo	S
Longitud	mm
Fuerza	N
Presión	MPa

**Fuente:** Autores

### 3.2.2 Materiales

La estructura del vehículo para la simulación está desarrollada de materiales tipo PICEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY. Debido a esto el material entra en plasticidad y desaparece la linealidad entre tensión y deformación, experimentando grandes deformaciones lo cual contribuye a absorber la energía del impacto.

Los parámetros de los materiales que conforman las estructuras de toda la carrocería del vehículo tanto lo que refiere a carrocería, elementos del motor y ruedas se pueden observar en las cartas de control de cada material que genera el propio programa.

Otro tipo de material utilizado en lo que se relaciona con elementos como el sistema de transmisión, sistema de frenos, sistema de dirección, elementos estructurales transversales es el material de tipo \*RIGID utilizado en las piezas mencionadas, los datos de ese material se pueden observar en las cartas de control que genera el software.

### 3.2.3 VELOCIDAD INICIAL

Para realizar las simulaciones debemos dar una velocidad inicial en las cuatro simulaciones en los modelos de vehículos de compacto y otro ensamblado sobre chasis, impacto contra una barrera de protección (frontal y lateral), estos valores a dotar se emplean en la función de LS-PREPOST \*INITIAL\_VELOCITY\_GENERATION.

De acuerdo a las pruebas de impacto por la EuroNCAP estas simulaciones se dan a una velocidad de 64 km/h para los impactos frontales, se estima que el conductor reduce la velocidad antes de la colisión, en el caso del impacto lateral la velocidad es de 29 km/h, siendo estas las velocidades con la cual el vehículo impactara contra la barrera de protección. Al momento de ingresar datos de la velocidad hay que tener presente ciertos parámetros para la ejecución de los comandos. Los parámetros son los siguientes.

- Uno de los factores principales para la introducción de los valores son las unidades, la velocidad de acuerdo a EuroNCAP es de 64 km/h en el sentido frontal del vehículo que según coordenadas del software la velocidad tiene sentido X. por lo tanto la velocidad inicial es:

$$V_x = 64 \frac{km}{h}; V_x = 1.778.10^4 mm/s$$

- En el caso para realizar el impacto lateral tenemos que la velocidad es de 29km/h y el sentido que toma las coordenadas en el software será en el eje Y. siendo la velocidad de:

$$V_y = 29 \frac{km}{h}; V_y = 8.055.10^3 mm/s$$

### 3.2.4 GRAVEDAD

La gravedad actúa como una aceleración en dirección y sentido vertical en el eje de coordenadas -Z, debido a que esta aceleración actuara en todos los nodos del vehículo mediante el comando \*LOAD\_BODY\_Z. la aceleración que se ingrese actuara en función del tiempo y se tomara como un valor constante  $9.8 \cdot 10^3 \text{mm/s}^2$ .

### 3.2.5 ACELERÓMETROS

Los acelerómetros actuaran para medir las aceleraciones en distintas partes de la geometría del vehículo, van instalados en diferentes puntos, En estos modelos se ha instalado un acelerómetro en el centro de gravedad para calcular la severidad del impacto.

### 3.3. BARRERA DE SEGURIDAD

Las barreras de seguridad actúan como un sistema de retención del vehículo al momento que pierda pista de la vía evitando que el vehículo pierda el control, para el trabajo utilizaremos una barrera metálica, donde el vehículo se impactará de manera frontal a una cierta velocidad según la norma euro NCAP, y para el caso del impacto lateral se dará contra un poste de hormigón. A continuación, se describen los mismos.

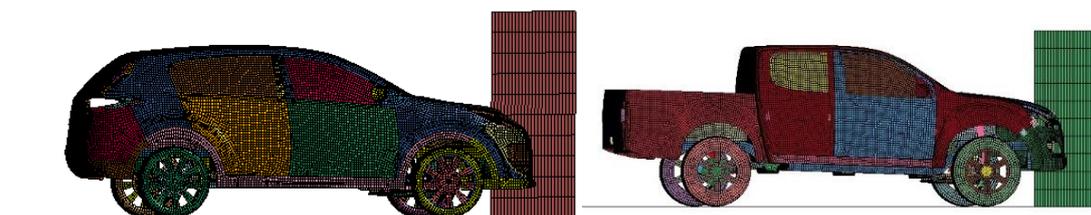
### 3.3.1 Barrera metálica para el impacto frontal

Está formado por materiales capaces de deformables para absorber energías cinéticas producidas por un impacto.

El modelo de barrera para el desarrollo de este proyecto se dará contra una barrera metálica, un modelo de elementos finitos compuesta por (975) nodos, la parte que lo sostiene al suelo va a estar restringido todo sus desplazamientos y rotaciones.

**Figura 37.**

Vista de la barrera metálica para el impacto frontal.



**Fuente:** Autores

## 3 Geometría

La geometría de barrera metálica está formada por elementos tipo SHELL, en forma de una cuadrado con longitud de... y espesor de 2mm donde la barrera metálica esta empotrado al piso, contra esta barrera metálica el vehículo impactara y mediante un proceso de ruptura evitara que las fuerzas cinemáticas afecten al conductor.

**Figura 38.**

Vista de la barrera metálica para el impacto frontal.



**Fuente:** Autores

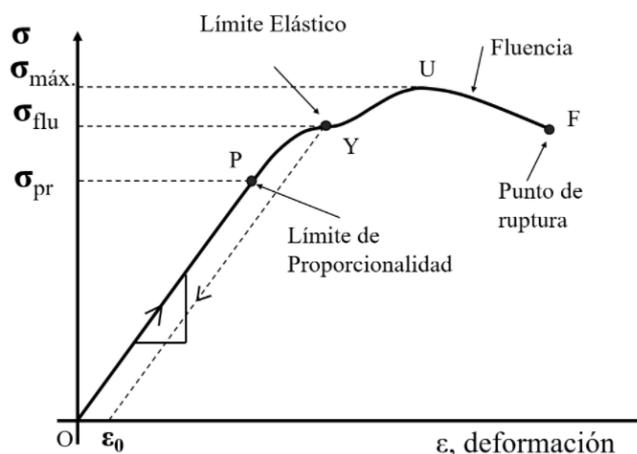
### 3.3.2 Materiales

Para la barrera metálica se ha definido materiales de tipo PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY, otro aspecto a tener en cuenta es el piso que está dado

de un material tipo RIGID. Debido a que se encuentra por ejemplo en contacto con los neumáticos del vehículo y es necesario dar propiedades al material en lo que es el módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson, todos estos materiales tienen propiedades que reducirán el riesgo ante un impacto, ayudando a que las energías producidas durante el impacto puedan disiparse junto a la estructura del vehículo.

**Figura 39.**

Curva tensión – deformación de la barrera metálica.



**Fuente:** (Deingenierias, 2019)

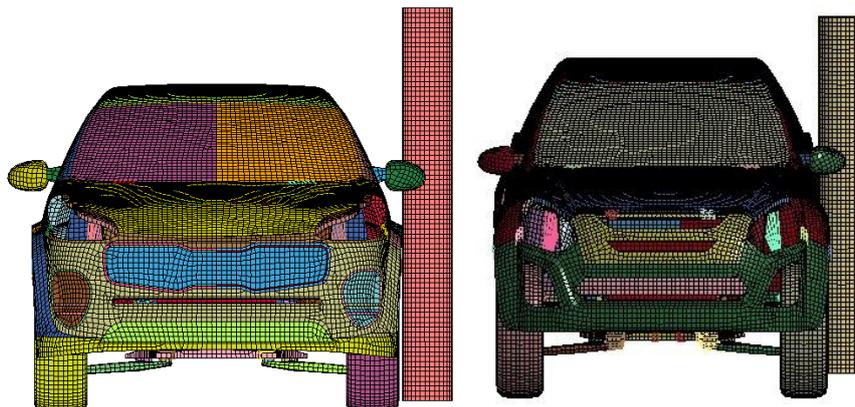
### 3.4. POSTE DE HORMIGÓN PARA EL IMPACTO LATERAL

El poste de hormigón es un elemento tanto de seguridad como también para soporte de alumbrado en las carreteras, al ser una barrera rígida va absorber menor energía, lo cual le hace menos franqueable.

En el siguiente proyecto el poste de hormigón utilizado para la simulación se ejecutará para el impacto lateral del vehículo, este modelo de elementos finitos ese compuesto de (2560) nodos. La siguiente figura muestra el modelo del mismo.

**Figura 40.**

Barrera de hormigón para el impacto lateral.



**Fuente:** Autores

A continuación, se describe características de la geometría utilizadas para el impacto lateral del vehículo.

### 3.4.1 GEOMETRÍA

La geometría para el impacto lateral del vehículo es un poste de hormigón fabricado de elementos de tipo \*SHELL, el material se ha modelado con elementos de tipo \*SOLID, con las siguientes dimensiones (254 mm de ancho) al ser un elemento rígido el ocupante del vehículo tendrá mayor riesgo de lesión al momento del impacto.

**Figura 41.**

Vista del poste rígido para el impacto frontal.



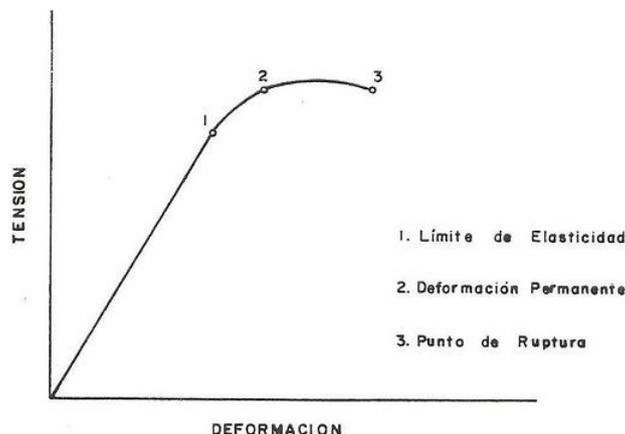
**Fuente:** Autores

### 3.4.2 MATERIALES

El poste de hormigón al estar modelado de materiales tipo RIGID, es un material muy resistente a la abrasión para resistir esfuerzos producidas por el impacto sin que este puede generar grandes deformaciones, por ser un material con endurecimiento cinemático.

**Figura 42.**

Curva tensión – deformación del poste de hormigón.



Fuente: (ARGOS, 2017)

### 3.5. Regiones de contacto entre los elementos.

Para la simulación es importante tener en cuenta los puntos de contacto de los cuerpos que permiten mayor aproximación para que el resultado sea lo más exacto, para el trabajo se han definido dos regiones de contacto entre el vehículo-barrera de impacto y vehículo-suelo, a continuación, indicaremos los contactos utilizados para el proyecto.

#### 3.5.1 Contacto entre el vehículo y la barrera de impacto.

El contacto entre vehículo y barrera metálica utilizada para la simulación de impacto está dado sin la introducción de ambos cuerpos, con el comando `*CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE`, se evita la penetración de las mismas.

#### 3.5.2 Contacto entre los neumáticos del vehículo y el suelo

Para el contacto entre los neumáticos y el suelo se ha utilizado una superficie plana, debido a que los neumáticos del vehículo se encuentran como un cuerpo deformable, y el piso actúa como una superficie rígida, el comando `*RIGIDWALL_PLANAR`.

En el desarrollo de esta simulación se ha tomado como una condición sin humedad, dando un coeficiente de fricción de 0,8.

## **CAPITULO IV**

### **4. RESULTADOS**

Cuando se realiza el ensayo de un choque frontal o lateral se recogen multitud de datos que, posteriormente, se valoran de acuerdo a criterios biomecánicos de aceptabilidad para establecer el alcance de las lesiones provocadas en el ocupante. También se analizan los daños producidos en el propio vehículo.

Una vez procesados los diferentes casos, el programa genera archivos que contienen la información registrada a lo largo de la compilación. Es el usuario del programa el que establece qué datos se registran y con qué frecuencia lo hacen. Estos archivos contienen información de esfuerzos, deformaciones, velocidades, aceleraciones, presión, temperatura, etc.

#### **4.1. ENERGÍA DE HOURGLASS**

Uno de los puntos necesarios es la verificación de la energía total para la validación del análisis computacional, donde el valor de aceptación no debe sobrepasar de 10% para simulaciones dinámicas.

El valor de la energía de Hourglass se calcula marcando dos puntos de referencia a un determinado tiempo de 50 milisegundos de la energía interna y la energía de Hourglass donde

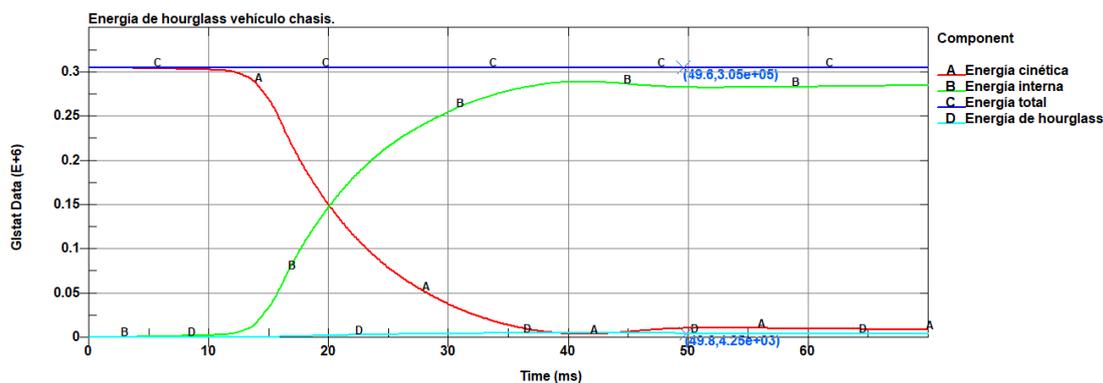
empiezan a estabilizarse las energías, mediante la siguiente expresión matemática se calcula la misma.

- **Energía de Hourglass del vehículo ensamblado sobre chasis.**

$$H_{\%} = \frac{\text{Energía}_{\text{Hourglass}}}{\text{Energía}_{\text{Total}}} * 100 = \frac{0.305E + 04}{4.26E + 04} * 100 = 7.15\%$$

**Figura 43.**

Energía de hourglass del vehículo ensamblado sobre chasis.



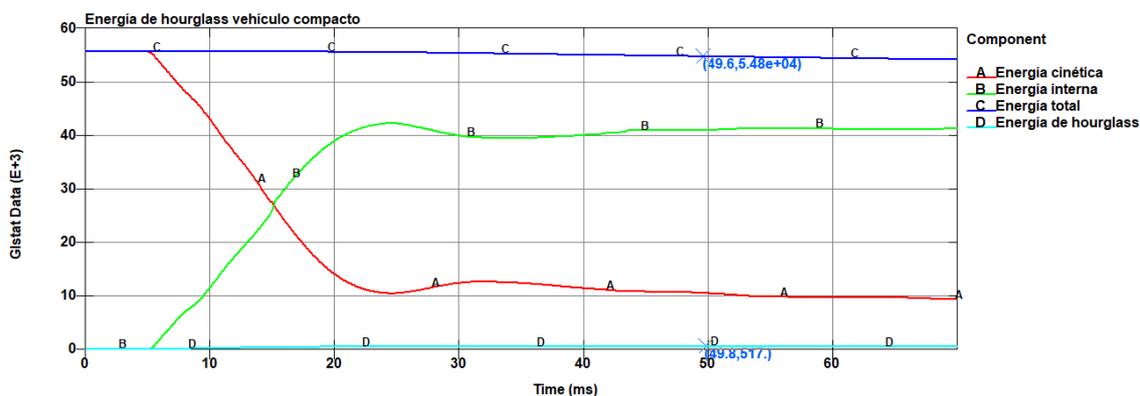
**Fuente:** Autores.

- **Energía de hourglass del vehículo compacto.**

$$H_{\%} = \frac{0.518E + 04}{5.48E + 04} * 100 = 9.45\%$$

**Figura 44.**

Energía de hourglass del vehículo compacto.

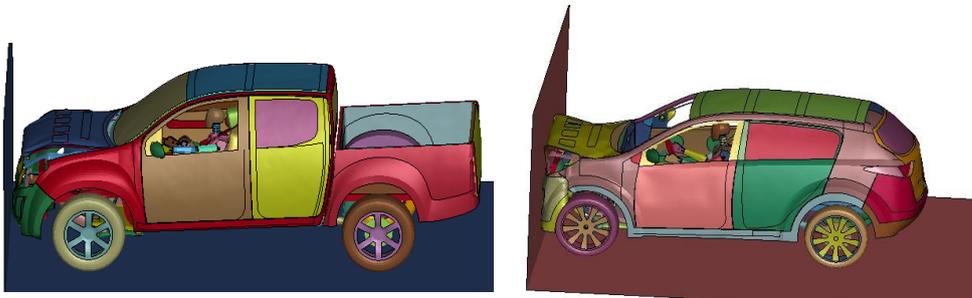


**Fuente:** Autores.

## 4.2. IMPACTO FRONTAL DE LOS VEHÍCULOS CONTRA UNA BARRERA DEFORMABLE.

**Figura 45.**

Vehículo ensamblado sobre chasis y de compacto.



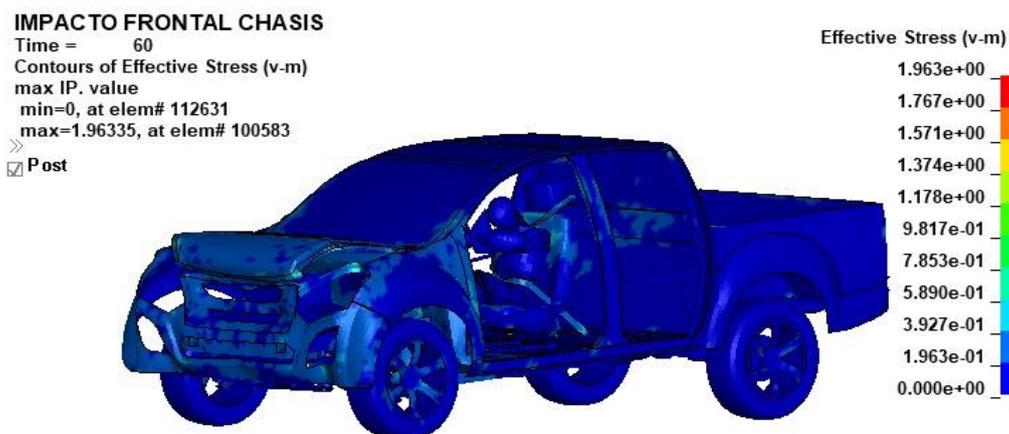
**Fuente:** Autores.

### 4.2.1. Esfuerzo de Von Misses.

Las siguientes figuras de los esfuerzos de Von Misses indican el límite de elasticidad y tensión que tienden los vehículos al momento en que se genera una colisión frontal a una velocidad de 64 km/h a continuación, podemos observar los esfuerzos en los siguientes gráficos.

**Figura 46.**

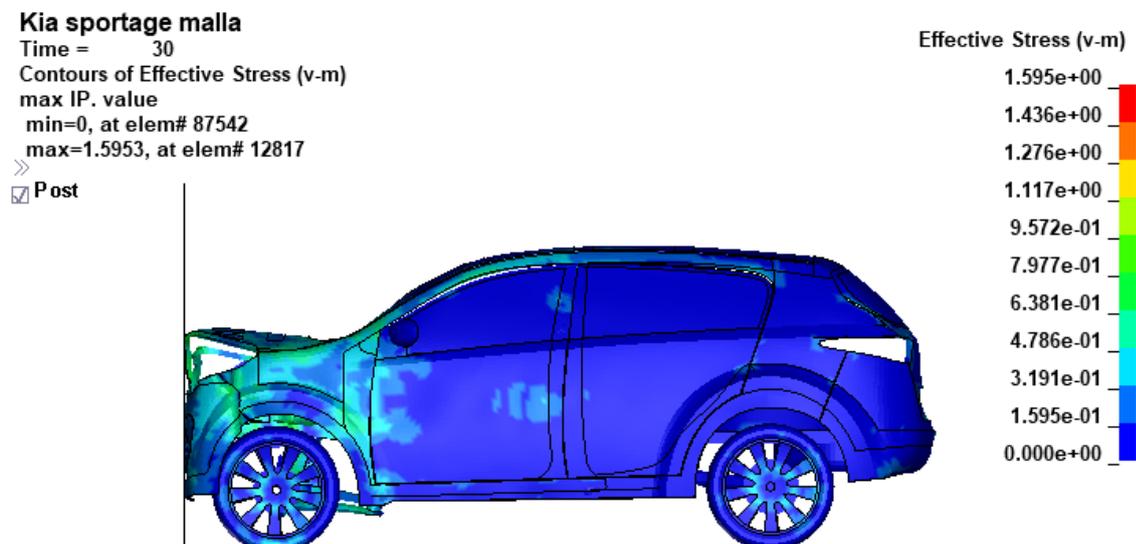
Energía de Von Misses del vehículo ensamblado sobre chasis



**Fuente:** Autores.

**Figura 47.**

Energía de Von Misses del vehículo compacto.



**Fuente:** Autores.

### 4.3. VALORACIÓN DE MEDICIONES DE LOS MANIQUÍES DURANTE EL IMPACTO FRONTAL

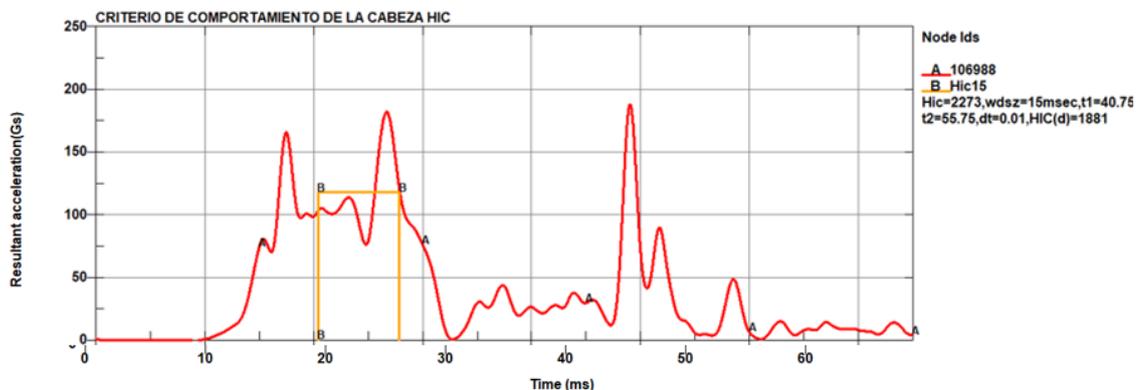
Para evaluar los resultados de los ensayos de impacto en lo referente al comportamiento de la cabeza obtenidos durante un intervalo de tiempo de 15 milisegundos, estos deben estar validado de acuerdo a su normativa respecto a los parámetros que decreta el reglamento RT94 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) sobre la protección de sus pasajeros durante un impacto frontal.

#### 4.3.1. Criterio de comportamiento de la cabeza HIC durante un impacto frontal.

- **HIC del dummy del vehículo ensamblado sobre chasis.**

**Figura 48.**

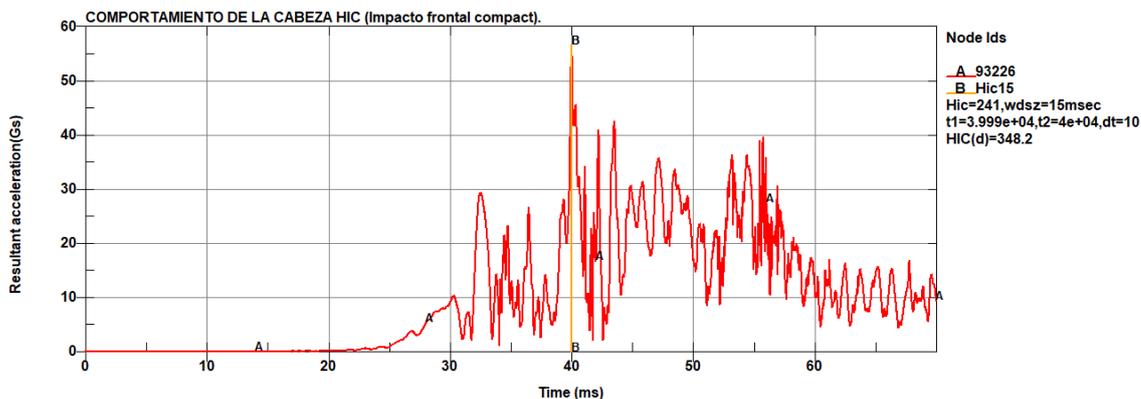
Criterio de comportamiento de la cabeza HIC, impacto vehículo chasis.



Fuente: Autores.

**Figura 49.**

Criterio de comportamiento de la cabeza HIC, impacto vehículo compacto.



Fuente: Autores.

En las gráficas presentadas se puede apreciar el comportamiento de la cabeza del dummy al momento de un impacto frontal tanto como para el ocupante del vehículo chasis y del vehículo compacto dando como resultado que el vehículo ensamblado sobre chasis no cumple con los valores que menciona el reglamento excediendo el valor permitido de 1000 que según el nivel de conmoción cerebral del hci la vida del ocupante del vehículo estará amenazada por una fractura grave, al ser la estructura del vehículo más rígida producto del cual produce que la cabeza del dummy tenga doble contacto contra el interior de la carrocería, por lo tanto los valores de comportamiento del dummy en el vehículo compacto están dentro de los valores que establece el reglamento entre 100-519 por lo que el ocupante del vehículo tendrá un dolor de cabeza o mareo.

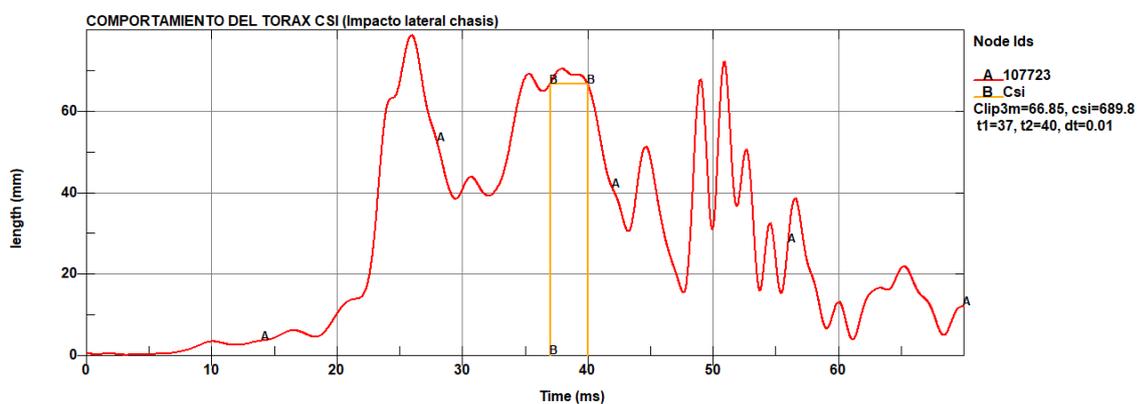
### 4.3.2. Criterio de comportamiento del tórax CSI.

En la gráfica del comportamiento del tórax debe ser por debajo de los 42 mm, a continuación, se observa el valor de la deformación de las costillas al momento del impacto frontal del vehículo a una velocidad de 64km/h.

### Criterio del tórax del dummy durante un impacto frontal del vehículo ensamblado sobre chasis.

**Figura 50.**

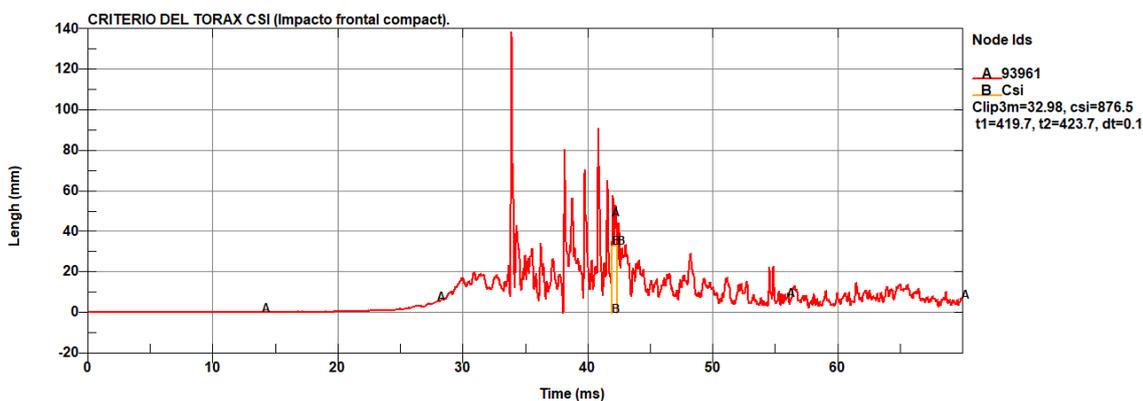
Comportamiento del tórax CSI, impacto vehículo ensamblado sobre chasis.



**Fuente:** Autores.

**Figura 51.**

Comportamiento del tórax CSI, impacto vehículo chasis



**Fuente:** Autores.

En las gráficas se observa que los valores están dentro de los valores que establece el reglamento R94 de la CEPE, para ambos vehículos.

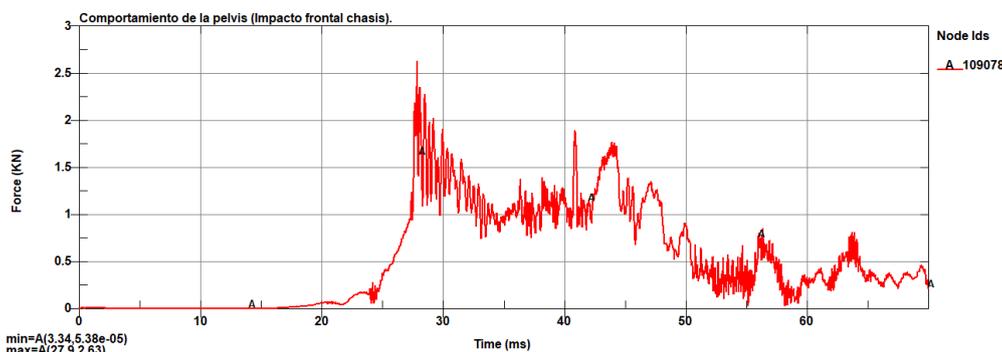
### 4.3.3. Criterio de comportamiento de la pelvis

Los valores para que el ocupante del vehículo no sufra lesiones que puedan afectar su salud debe ser por debajo de los 6 KN, los gráficos siguientes indican el comportamiento de la pelvis al momento de producirse una colisión frontal.

- **Comportamiento de la pelvis del dummy durante el impacto frontal del vehículo ensamblado sobre chasis.**

**Figura 52.**

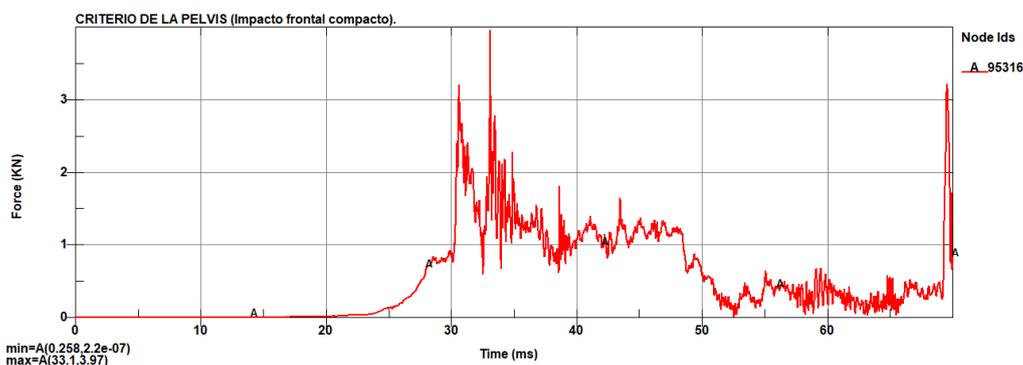
Comportamiento de la pelvis, impacto vehículo ensamblado sobre chasis.



**Fuente:** Autores.

**Figura 53.**

Comportamiento de la pelvis, impacto vehículo chasis



**Fuente:** Autores.

Se verifica que las fuerzas resultantes del comportamiento de la pelvis al momento de un impacto están por debajo de los 6 KN, los valores de ambos modelos cumplen con lo que establece el reglamento.

## CUADRO DE RESULTADOS DEL IMPACTO FRONTAL.

Tabla 8.

Criterios de comportamiento del Dummy durante el impacto frontal.

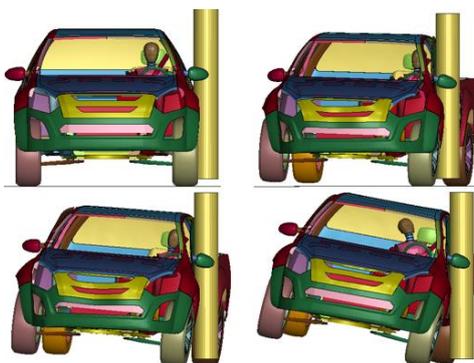
CRITERIOS DE COMPORTAMIENTO PARA EL VEHÍCULO COMPACTO Y EMSAMBLASO SOBRE CHASIS DURANTE UN IMPACTO LATERAL.			
COMPORTAMIENTO a (70 milisegundos).	VEHICULO CHASIS	VEHICULO COMPACTO	Criterio de comportamiento
Von Misses (MPA)	290	159	
Energía de Hourglass (%)	7.15%	9.45%	Menor del 10%
Criterio de la cabeza HIC (Hz)	2273	241	Menor a 1000
Criterio del tórax CSI (mm)	17.2	32.98	Max 60 mm
Criterio de la pelvis (KN)	2.63	3.97	Fuerza Max 6 KN

Fuente: Autores

## 4.4. IMPACTO LATERAL DE LOS VEHÍCULOS CONTRA UN POSTE RÍGIDO.

Figura 54.

Impacto lateral de los vehículos.



Fuente: Autores.

### 4.4.1. Esfuerzo de Von Misses

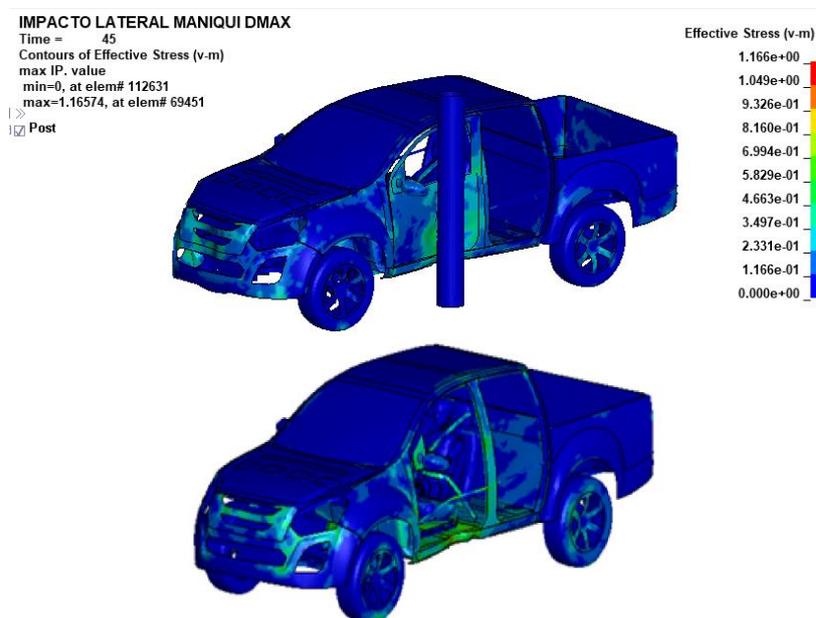
En las siguientes figuras podemos observar el límite elástico de los automóviles analizados durante el impacto lateral a una velocidad de 29 km/h, en el grafico se puede identificar donde

se produce la mayor concentración de fuerza absorbida por el bastidor, los esfuerzos mínimos se presentan en color azul mientras que los puntos máximos se refleja por el color rojo.

• **Esfuerzo de Von Misses del vehículo ensamblado sobre chasis a 29km/h.**

**Figura 55.**

Esfuerzo de Von Misses vehículo ensamblado sobre chasis.

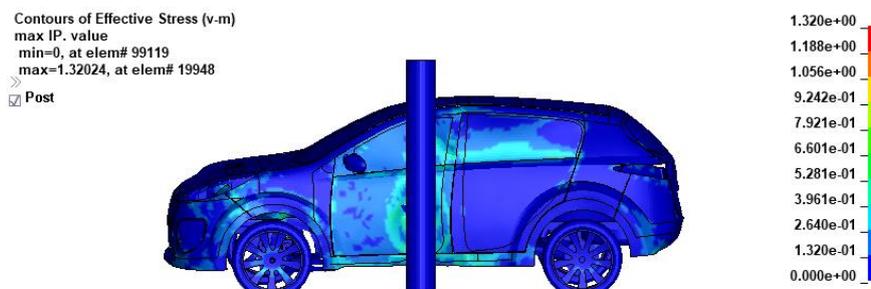


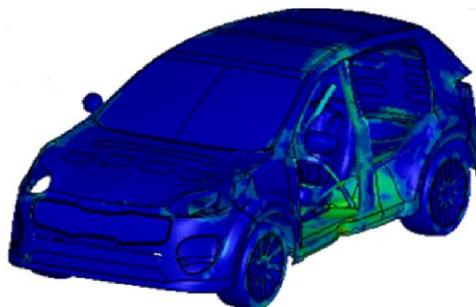
Fuente: Autores.

• **Esfuerzo de Von Misses del vehículo compacto a 29 km/h.**

**Figura 56.**

Esfuerzo de Von Misses vehículo compacto.





Fuente: Autores.

#### 4.5. VALORACIÓN DE MEDICIONES DE LOS MANIQUÍES DURANTE EL IMPACTO LATERAL

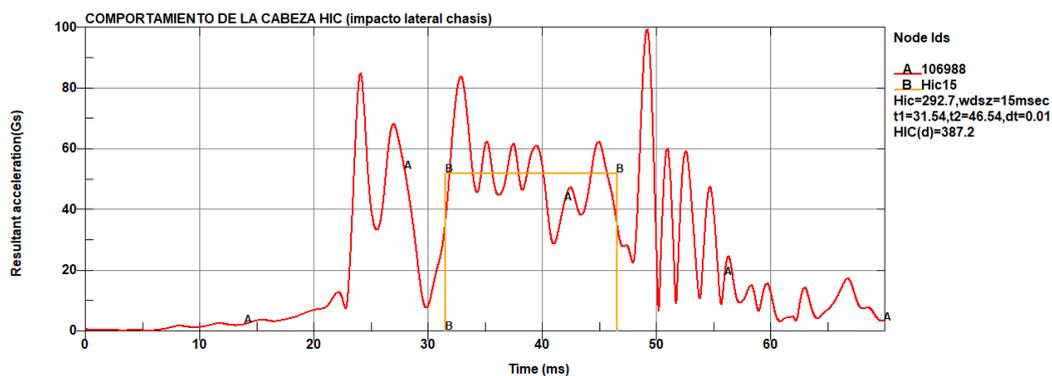
Para evaluar los resultados de las pruebas de impacto de impacto, estos deben estar validados de acuerdo a su normativa, respecto a los parámetros que decreta el reglamento RT95 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) sobre la protección de sus ocupantes durante un impacto lateral.

##### 4.5.1. Criterio de comportamiento de la cabeza HIC durante un impacto lateral.

- **HIC del dummy en un vehículo ensamblado sobre chasis.**

Figura 57.

HIC del dummy en el vehículo ensamblado sobre chasis.

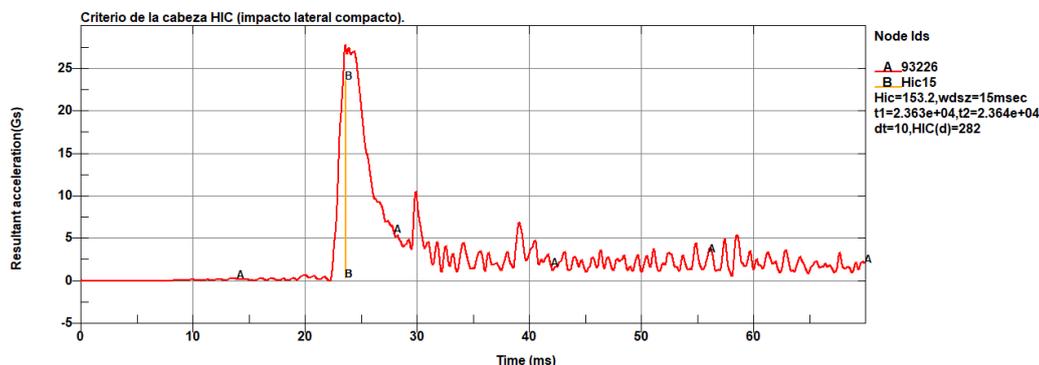


Fuente: Autores.

- **HIC del dummy en un vehículo compacto.**

**Figura 58.**

HIC del dummy en el vehículo compacto.



**Fuente:** Autores.

Podemos observar en las figuras el HIC del vehículo ensamblado sobre chasis y del vehículo compacto, en un intervalo de tiempo de 15 milisegundos. El nivel de conmoción cerebral según el AIS code estos valores representan un dolor de cabeza o mareo dentro del rango de 0 - 519 Hz, el criterio de aceptabilidad biomecánica está dentro de lo permitido por el reglamento que no debe sobrepasar los 1000 Hz.

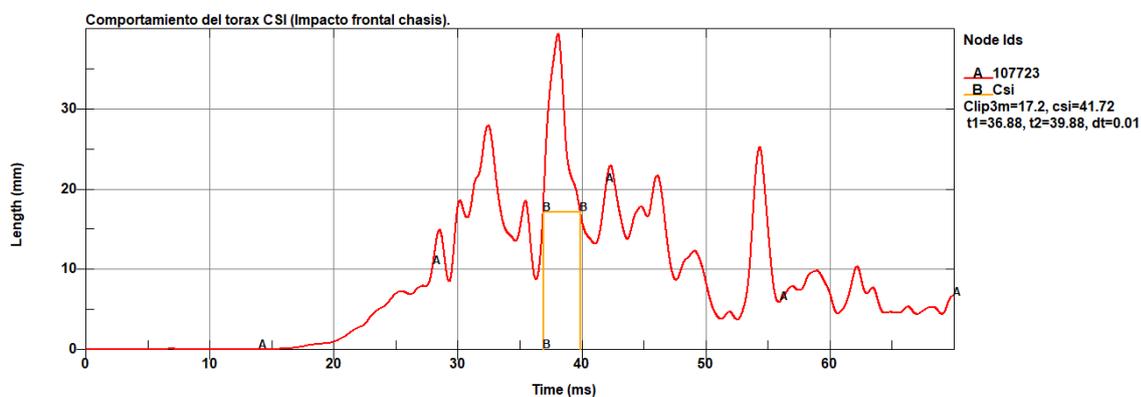
#### 4.5.2. CRITERIO DE COMPORTAMIENTO DEL TÓRAX CSI.

En la gráfica del criterio de comportamiento del tórax se observa el valor de la deformación de las costillas, este valor debe estar por debajo del límite de deformación que rigen en la normativa que es de 42mm.

- **CSI del dummy en un vehículo ensamblado sobre chasis durante un impacto lateral.**

**Figura 59.**

CSI del dummy en el vehículo ensamblado sobre chasis.

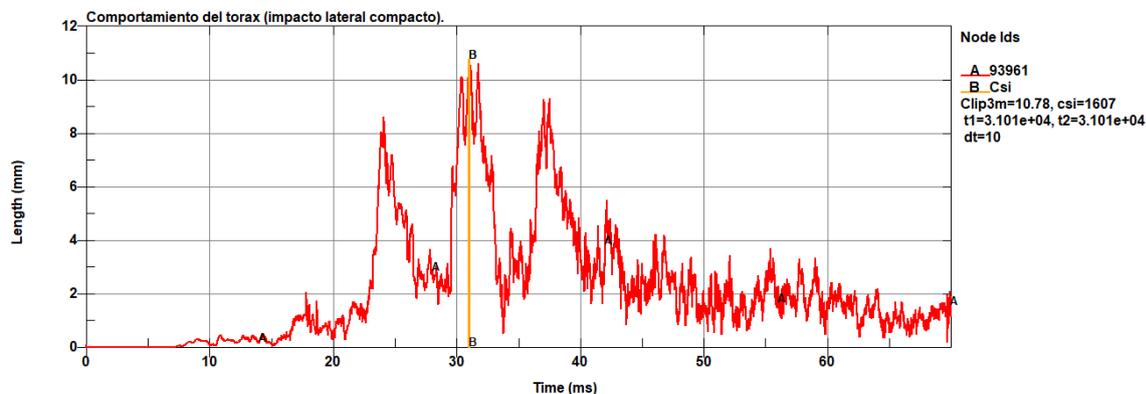


**Fuente:** Autores.

- **CSI del dummy en un vehículo compacto durante un impacto lateral.**

**Figura 60.**

CSI del dummy en el vehículo compacto.



**Fuente:** Autores.

Con las pruebas de impacto lateral a una velocidad de 29km/h, se puede verificar que los valores de deformación de las costillas de los dummies en ambos vehículos están dentro del rango permitido por las normativas, por lo que ambos modelos de vehículos se consideran seguros para el ocupante en caso de impacto lateral.

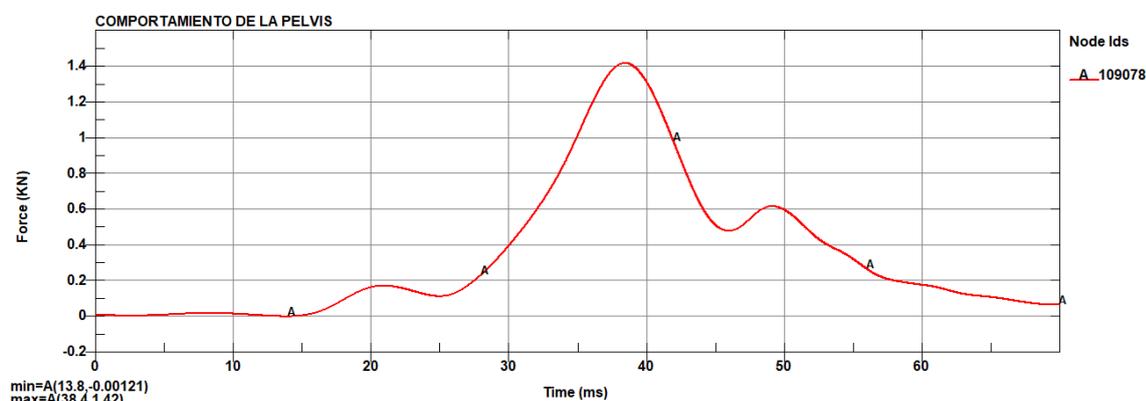
#### 4.5.3. Criterio de comportamiento de la pelvis

La normativa establece que para que un vehículo se considere seguro el valor no debe sobrepasar los 6kN de fuerza durante el impacto, en el siguiente grafico podemos observar este comportamiento al momento de producirse la colisión.

- **Comportamiento de la pelvis del dummy durante el impacto lateral del vehículo ensamblado sobre chasis.**

**Figura 61.**

Comportamiento de la pelvis en el vehículo ensamblado sobre chasis

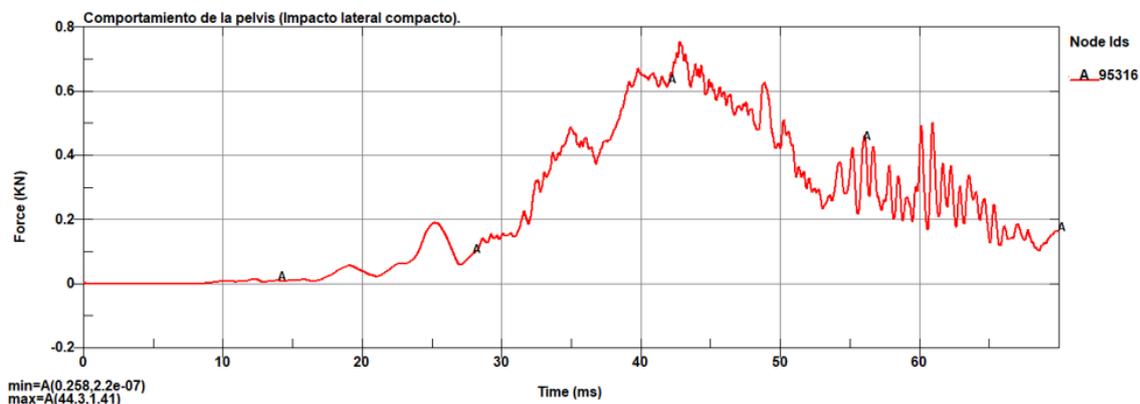


**Fuente:** Autores.

- **Comportamiento de la pelvis del dummy durante el impacto lateral del vehículo compacto.**

**Figura 62.**

Comportamiento de la pelvis en el vehículo compacto.



**Fuente:** Autores.

Con ayuda de los acelerómetros ubicados en la cadera del dummy se determinan los resultados de la simulación estos dicen que las fuerzas resultantes del comportamiento de la pelvis al momento de un impacto lateral estos no sobrepasan los 6KN permitidos por la normativa para verificar que un vehículo es seguro para el ocupante.

### Tabla de Resultados.

**Tabla 9.**

Criterios de comportamiento del Dummy durante impacto lateral.

<b>CRITERIOS DE COMPORTAMIENTO DEL DUMMY EN EL VEHÍCULO COMPACTO Y EMSAMBLADO SOBRE CHASIS DURANTE UN IMPACTO LATERAL.</b>			
<b>COMPORTAMIE NTO</b>	<b>Vehículo Chasis</b>	<b>Vehículo compacto</b>	<b>Criterio de comportamiento (EuroNcap)</b>
Von Misses (MPA)	116.57	132	
Energía de Hourglass (%)	7.15%	9.45%	Menor a 10%
Criterio de la cabeza HIC (Hz)	292.7 Hz	153.2 Hz	Menor a 1000 Hz
Criterio del tórax CSI (mm)	66.95 mm	48,21 mm	Máximo 60mm
Criterio de la pelvis (KN)	1.6 KN	7.4 KN	6KN

**Fuente:** Autores

## CONCLUSIONES

Se llevo a cabo la revisión bibliográfica del estado de arte respecto a la comercialización de modelos de vehículos en el país, así como de las normativas y reglamentaciones vigentes en el Ecuador y el fundamento en normativas Internacionales, se puede concluir que estas presentan una serie de detalles que hacen que estas sean muy permisibles con los fabricantes de vehículos que son comercializados en el Ecuador, detalles que se ven reflejados en la vida real el momento de accidentes de tránsito tipo impacto, ya que en lo relativo a protección de sus ocupantes durante una colisión por lo general el automotor se destruye completamente y los ocupantes sufren los peores niveles de traumatismos.

El modelado 3D de los vehículos en el software CAD se generaron siguiendo características o patrones comunes que presentan los modelos reales tanto ensamblado sobre chasis como compacto, debido a la falta de recursos para generar vehículos similares, sin embargo, estos presentan las partes más importantes y necesarias de su estructura para el análisis.

Los contactos del maniquí-vehículo, vehículo - barrera deformable, vehículo - poste, vehículo - suelo, vehículo y sus sistemas son importantes, para que la simulación no presente errores en los cálculos de los resultados de las pruebas de impactos, además se puede concluir que la

configuración de las variables de simulación en el software CAE son influyentes en los resultados finales y el tiempo o gasto computacional de las simulaciones.

El impacto frontal se realizó contra el 100% de la superficie de la barrera rígida a una velocidad de 64 km/h, y con los diferentes parámetros establecidos como materiales, contactos, velocidades, tiempo de simulación y otros parámetros necesarios, se puede conocer que están dentro de los rangos de criterios de comportamiento biomecánico al estar por debajo del valor de aceptación que establece la normativa

En el impacto lateral del vehículo compacto contra un poste rígido a una velocidad de 29km/h, con los diferentes parámetros necesarios, todos los valores cumplen con lo establecido por la normativa.

Las estructuras de ambos modelos de vehículos resultan seguras en caso de accidentes tipo impacto si estas se usan responsablemente y en conjunto con los sistemas de seguridad de cada vehículo caso contrario los riesgos de sufrir traumatismos aumentan.

El vehículo ensamblado sobre chasis resulta más seguro, por los materiales, dimensiones y forma de su estructura, al ser más rígido absorbe mejor el impacto y protege a sus ocupantes, obviamente depende de la marca fabricante de estos modelos, ya que cada fabricante tiene sus propias características estructurales orientadas a la protección de sus ocupantes en caso de accidentes tipo impacto frontal o lateral, por lo que se pueden dar casos en el que un vehículo compacto sea más seguro que uno ensamblado sobre chasis, para esto entrarían en análisis una serie de detalles y variables que con la ayuda de este software es posible analizarlas mediante simulaciones obteniendo resultados muy similares a los q antes solo parecían posibles con pruebas y modelos reales.

## **RECOMENDACIONES**

Es importante realizar las simulaciones basándose en las normativas o reglamentaciones que presentan las variables más exigentes para las pruebas de impacto tanto frontal como lateral para así obtener resultados que se asemejen más a la realidad que se viven en los accidentes de tránsito en el país, para que de esta manera se puedan generar las mejores propuestas de solución a este problema de salud pública.

La configuración de las variables de simulación tanto de los vehículos como del maniquí deben ser revisadas para que las unidades, materiales, mallado, contacto de los elementos y tiempos de simulación no afecten el resultado final de las pruebas de impacto, debido a que una mala configuración de estas variables generaría falsos resultados, respecto a cuan seguro es el vehículo para su ocupante.

El desarrollo correcto y responsable de las estructuras, así como el uso adecuado y responsable de las vías y de los sistemas de seguridad de los vehículos ayudan a disminuir los riesgos de traumatismos en los ocupantes de estos.

Las exigencias de las normativas ecuatorianas presentan falencias o una serie de enmiendas que son muy permisibles respecto a la seguridad de los vehículos, están deberían ser revisadas y actualizadas para que estos vehículos puedan ser comercializados en el mercado ecuatoriano, además el estado debería exigir un análisis experimental y no solo documental para verificar la seguridad de los ocupantes de los distintos modelos de vehículo comercializados en el país.

### Referencias Bibliográficas

- AEADE. (18 de Junio de 2020). *Asociacion de empresas automotrices del ecuador* . Obtenido de <https://www.aeade.net/>
- ANEXO1. (21 de Septiembre de 2018). *Investigacion a cerca de los Dummies*. Obtenido de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/maldonado\\_j\\_r/apendiceA.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/maldonado_j_r/apendiceA.pdf)
- ANT. (15 de Diciembre de 2020). *Estadisticas de siniestros de transito segun la clase*. Obtenido de [https://www.ant.gob.ec/?page\\_id=2670](https://www.ant.gob.ec/?page_id=2670)
- Deingenierias. (24 de Julio de 2019). *Diagrama esfuerzo deformación*. Obtenido de [www.deingenierias.com/el-acero/diagrama-esfuerzo-deformacion/](http://www.deingenierias.com/el-acero/diagrama-esfuerzo-deformacion/)
- Ecuador vial. (28 de Mayo de 2015). *Slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/Cristina1128/ecuador-connuevatipologadeaccidentesdetransito>
- Enciclopedia. (25 de Febrero de 2021). *Industria automotriz*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Industria\\_automotriz](https://es.wikipedia.org/wiki/Industria_automotriz)
- Gomez Morales , T., Martin Navarro , J., Agueda Casado , E., & Garcia Jimenez, J. (2009). *Estructuras de los vehiculos*. Madrid España.
- Gracia, E. J. (2020). *Situación mundial de la industria automotriz* . QUITO.
- INEC. (2019). *Siniestros de transito segun mes* .

- INEN. (2016). *Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- IPSUM. (Lunes 19 de Noviembre de 2021). Obtenido de <https://reconstruccionaccidentestrafico.com/tipos-de-colision-entre-vehiculos-en-accidentes-trafico/>
- LATIN NCAP. (16 de Junio de 2016). *Crash Test*. Obtenido de [www.latinncap.com/es/nuestros-ensayos/pasajero-adulto/impacto-frontal](http://www.latinncap.com/es/nuestros-ensayos/pasajero-adulto/impacto-frontal)
- Maldonado Saquisare, R., & Neira Vivanco, E. (2019). *Análisis de los accidentes de tránsito provocado por fallas mecánicas en los vehículos de categorías NI*.
- OMS. (2009). *Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito*.
- Orús, A. (24 de Septiembre de 2020). *Evolución anual del número de vehículos producidos a nivel mundial entre 2000 y 2019, por tipo*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/635110/produccion-de-automoviles-a-nivel-mundial/>
- Pauta Solano, J. F., & Sanchez Ramirez, M. L. (2014). *Diseño y construcción de la carrocería de un vehículo de competencia tipo fórmula Sae*.
- TECNISEGUROS. (27 de Septiembre de 2020). *ESTADÍSTICAS SORPRENDENTES DE AUTOS EN ECUADOR*. Obtenido de <https://www.tecniseguros.com.ec/blog/vehiculos/estadisticas-de-autos/>
- TOYOTA, N. (09 de Junio de 2011). *ESTRUCTURA DE DEFORMACIÓN PROGRAMADA*. Obtenido de [http://www.toyocosta.com/blog/estructura-de-deformacion-programada/ihs\\_gallery\\_742\\_2/](http://www.toyocosta.com/blog/estructura-de-deformacion-programada/ihs_gallery_742_2/)
- Universo, E. (7 de Noviembre de 2019). *Carros de siete marcas se ensamblan en Ecuador; los autos son los que más demanda tienen*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/11/06/nota/7591049/autos-producen-ensamblan-ecuador/>
- Wikispaces. (Noviembre de 2014). *Clases de accidente de tránsito*. Obtenido de <http://clasesdeaccidentesdetransito.wikispaces.com>