



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL PILOTO EN COLISIONES DE COMPETENCIAS
AUTOMOVILÍSTICAS UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE CINTURONES DE
SEGURIDAD**

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

AUTORES: JUAN FERNANDO RODRÍGUEZ CRESPO
WILMER ISRAEL QUILLE LANDI

TUTOR: ING. WILSON PATRICIO CALLE GUAMANTARIO, MSc.

Cuenca - Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Juan Fernando Rodríguez Crespo con documento de identificación N° 0302478839 y Wilmer Israel Quille Landi con documento de identificación N° 0105717821; 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.

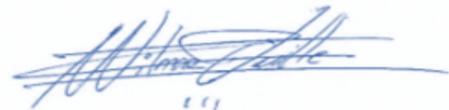
Cuenca, 18 de abril del 2022

Atentamente,



Juan Fernando Rodríguez Crespo

0302478839



Wilmer Israel Quille Landi

0105717821

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

Nosotros, Juan Fernando Rodríguez Crespo con documento de identificación N° 0302478839 y Wilmer Israel Quille Landi con documento de identificación N° 0105717821, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Análisis biomecánico del piloto en colisiones de competencias automovilísticas utilizando diferentes tipos de cinturones de seguridad”, 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, 18 de abril del 2022

Atentamente,

Juan Fernando Rodríguez Crespo

0302478839

Wilmer Israel Quille Landi

0105717821

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 trabajo de titulación: ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL PILOTO EN COLISIONES DE COMPETENCIAS AUTOMOVILÍSTICAS UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE CINTURONES DE SEGURIDAD, realizado por Wilmer Israel Quille Landi con documento de identificación N° 0105717821 y por Juan Fernando Rodríguez Crespo con documento de identificación N° 0302478839, 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, 18 de abril del 2022

Atentamente,



Ing. Wilson Patricio Calle Guamantario, MSc.

0103551057

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación se lo dedico especialmente a mis padres, Daniel y Rosa los cuales siempre con su amor, paciencia, y perseverancia han logrado que yo alcance uno de mis sueños más anhelados.

A mis hermanos, cuñados y sobrinos, quienes siempre estuvieron allí brindándome su apoyo de una u otra manera e hicieron esto posible.

A mis amigos y compañeros de la universidad con quienes he compartido agradables e incluso malos momentos.

A mis profesores por brindarme el conocimiento para poder lograr culminar mis estudios y ser lo que ahora soy.

JUAN FERNANDO RODRÍGUEZ CRESPO

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación se lo dedico especialmente a mis padres José y Carmen por ser un pilar fundamental en el transcurso de mi vida.

A mis hermanos los cuales con sus consejos y aliento me impulsaron a pisar fuerte cada peldaño de la vida.

A mis amigos los cuales confiaron y me dieron su confianza y apoyo en mi formación académica.

A mis profesores por compartir conmigo sus conocimientos y formar de mi un excelente profesional.

WILMER ISRAEL QUILLE LANDI

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios y la Virgen por darme la vida y permitirme alcanzar mis sueños y poder estar donde ahora estoy.

A mis padres Daniel y Rosa, les agradezco por la paciencia, el apoyo, el esfuerzo y sacrificios que han tenido que hacer para que pueda culminar mi carrera.

Gracias a mis hermanos y cuñados por la ayuda y el apoyo incondicional que en todo momento siempre me supieron brindar.

De igual forma agradezco a mi Universidad por ayudarme a culminar una gran etapa de mi vida.

Gracias a todos.

JUAN FERNANDO RODRÍGUEZ CRESPO

“Un sueño no se hace realidad por arte de magia, necesitas sudor, determinación y trabajo duro”. **Colín Powell**

Agradecimiento

Quiero empezar agradeciéndome a mí por creer en mí, quiero agradecerme a mí por hacer todo el trabajo duro con mucha valentía y esfuerzo, quiero agradecerme a mí por no tomar días libres para conseguir lo que quiero, quiero agradecerme por nunca rendirme, por siempre dar más de lo que recibí y esperaba, quiero agradecerme por siempre intentar hacer el bien y nunca el mal. Finalmente quiero agradecer a Dios y a mis padres y hermanos por dejarme ser siempre el mismo.

WILMER ISRAEL QUILLE LANDI

“ El mundo es un lugar terrible y mezquino y por más fuerte y duro que tú seas, la vida te pondrá de rodillas y te tendrá sometida a golpes. Pero lo importante no son los golpes que da. Si no lo fuerte que pueden golpearte y tú lo aguantas mientras avanzas y resistes sin tirar la toalla y sin bajar los brazos. Así es como se gana. Si tú sabes cuánto val, ve exige y consigue lo que te mereces. ”. **Sylvester Stallone**

Resumen

En el presente trabajo de fin de grado se realiza el análisis biomecánico del piloto en colisiones de competencias automovilísticas utilizando diferentes cinturones de seguridad, empleado para las personas que posean vehículos de competencia, por lo que se ha subdividido en 4 capítulos.

En el primer capítulo se desglosa de manera informativa el significado de un cinturón de seguridad, el como ha venido evolucionando en el transcurso del tiempo, las partes del cual está conformado y los tipos de cinturones que existen actualmente y se utilizan el campo de la competencia de vehículos. También como información clave se describe la utilidad de la biomecánica y como actúa el cinturón de seguridad frente a un choque frontal.

En el segundo capítulo se enfoca más en las propiedades mecánicas, resistencias y ubicación del cinturón de seguridad con la finalidad de utilizar los datos en el análisis de elementos finitos.

Para el ensayo y pruebas de colisiones con cinturones de seguridad se emplea en el capítulo tres el método de elementos finitos (MEF), con la finalidad de conocer si los cinturones en el vehículo cumplen con su propósito, que ninguna parte del cuerpo del piloto y copiloto sufra ningún daño al alcanzar la deformación máxima durante una colisión.

Para verificar la metodología aplicada, en el capítulo cuarto se corroborará los resultados de la simulación mediante el análisis de los datos obtenidos con el fin de dar a conocer el mejor tipo de cinturón de seguridad para el vehículo de competencia en choques frontales.

Abstract

In this end of degree project, the biomechanical analysis of the pilot in automobile competition collisions is carried out using different seat belts, used for people who own competition vehicles, for which it has been subdivided into 4 chapters.

In the first chapter, the meaning of a seat belt is broken down in an informative way, how it has been evolving over time, the parts of which it is made up and the types of belts that currently exist and are used in the field of competition vehicular. Also as key information, the usefulness of biomechanics and how the seat belt acts against a frontal crash is described.

The second chapter focuses more on the mechanical properties, strengths and location of the seat belt in order to use the data in finite element analysis.

For the test and collision tests with seat belts, the finite element method (FEM) is used in chapter three, in order to know if the belts in the vehicle fulfill their purpose, that no part of the pilot's body and co-pilot suffers no damage when reaching maximum deformation during a collision.

To verify the methodology applied, in the fourth chapter the results of the simulation will be corroborated by analyzing the data obtained in order to reveal the best type of seat belt for the competition vehicle in frontal crashes.

ÍNDICE

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
Dedicatoria	V
Dedicatoria	VI
Agradecimiento	VII
Agradecimiento	VIII
Resumen	IX
Abstract	X
I. Introducción	1
II. Problema.....	1
II.1. Antecedentes.....	1
II.2. Importancia y Alcances	2
II.3. Delimitación	2
III. Objetivos	2
I.I. Objetivo General.....	3
I.II. Objetivos Específicos	3

IV. Estado del Arte	4
Capítulo 1.....	7
1. Cinturones de seguridad.....	7
1.1. Tipos de sistemas de seguridad para los ocupantes de los vehículos de competencia	7
1.1.1. Seguridad Activa	7
1.1.2. Seguridad Pasiva	7
1.2. HABITÁCULO DE SEGURIDAD.....	7
1.3. Cinturón de Seguridad	8
1.3.1. Historia del cinturón de seguridad	8
1.3.2. Componentes de un cinturón de seguridad	9
1.3.3. Partes Internas	11
1.3.4. Tipos de Cinturón de seguridad	11
1.3.5. Cinturón de seguridad de dos puntos	12
1.3.6. Cinturón de seguridad abdominal y diagonal de tres puntos	12
1.3.7. Cinturón de arnés de cuatro puntos	13
1.3.8. Cinturón de arnés de cinco puntos	14
1.3.9. Cinturones en x.....	15
1.3.10. Cinturones Para competencia tipo Arnés.....	16
1.3.11. Fabricación y materiales	17
1.4. Biomecánica.	18
1.4.1. Utilidad de la biomecánica,.....	18

1.4.2.	Parámetros de la escala SCENE.....	20
1.4.3.	Mecanismos lesivos en accidentes de tráfico	21
1.4.4.	Choques Frontales	21
Capítulo 2.....		24
2.	Propiedades mecánicas, resistencias y ubicación de los cinturones de seguridad. ...	24
2.1.	Propiedades mecánicas de la estructura tubular	24
2.2.	Propiedades mecánicas del material del vehículo	25
2.3.	Propiedades de los cinturones de seguridad.	26
2.3.1.	Propiedades mecánicas utilizadas para los cinturones de 3, 4 y 5 puntos.....	27
2.4.	Resistencias de los cinturones de seguridad.....	28
2.5.	Ubicación de los cinturones de seguridad dentro del vehículo.	28
Capítulo 3.....		30
3.	Pruebas de los cinturones de seguridad el mediante el análisis de elementos finitos.	30
3.1.	Condiciones de contorno.	31
3.1.1.	Velocidad de impacto.....	31
3.2.	Criterio de comportamiento de la cabeza. (HIC).....	31
3.2.1.	Valores de las lesiones del HIC.....	32
3.3.	Deformación de las costillas.....	34
3.3.1.	Valores de la deformación de las costillas.	35
3.4.	Criterio de comportamiento de la pelvis.....	36

3.4.1. Valores para el comportamiento de la pelvis	37
3.5. Pruebas de cinturones de tres puntos.....	39
3.6. Pruebas de cinturones de cuatro puntos.....	42
3.7. Pruebas de cinturones de cinco puntos.....	44
Capítulo 4.....	46
4. Análisis de resultados.....	46
4.1. Obtención de los resultados realizados en la simulación con el cinturón de tres puntos. 46	
4.2. Obtención de los resultados realizados en la simulación con el cinturón de cuatro puntos. 46	
4.3. Obtención de los resultados realizados en la simulación con el cinturón de cinco puntos. 47	
4.4. Obtención del mejor tipo de cinturón de seguridad.....	47
Conclusiones	48
Recomendaciones.....	50
Referencias Bibliográficas	51
Anexos.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Imagen de un habitáculo de seguridad de un vehículo de competencia.....	8
Figura 2: Imagen de Nils Bohlin, creador del cinturón de tres puntos.	9
Figura 3: Pretensor pirotécnico (izquierda) y mecánico (derecha).	10
Figura 4: Partes internas de un sistema de cinturón de seguridad.....	11
Figura 5: Funcionamiento anclaje de este dispositivo.	11
Figura 6: Cinturón de seguridad de dos puntos.....	12
Figura 7: Cinturón de seguridad abdominal y diagonal de tres puntos.....	13
Figura 8: Cinturón o arnés de seguridad de 4 puntos.....	14
Figura 9: Cinturón o arnés de seguridad de 5 puntos.....	14
Figura 10: Cinturón de seguridad en "X".	15
Figura 11: Imagen del cinturón "X" y de una prueba de vuelco con un cinturón "X" y otro con un cinturón de tres puntos convencional.....	15
Figura 12: Puntos de montaje del arnés.	16
Figura 13: Correcta colocación de las correas del Arnés.....	17
Figura 14: Correcta colocación de las correas del hombro.....	17
Figura 15: Elementos del cuerpo que están sometidos a una lesión al momento de una colisión.....	20
Figura 16: Mecanismos de lesión presentes en un Dummy.....	21
Figura 17: Ensayo de choque frontal simulado.....	22
Figura 18: Simulación por colisión frontal.	23
Figura 19: Curva de esfuerzo – deformación del tubo.....	25
Figura 20: Curva de esfuerzo – deformación del material del vehículo.	26

Figura 21: Modelado del Cinturón de seguridad de cuatro puntos.	28
Figura 22: Modelo de Dummy Hibryd III 50Th.	30
Figura 23: Índice del Jacobiano.	31
Figura 24: Grafica del HIC con respecto a la simulación con un cinturón de tres puntos..	33
Figura 25: Grafica del HIC con respecto a la simulación con un cinturón de cuatro puntos.	33
Figura 26: Grafica del HIC con respecto a la simulación con un cinturón de cinco puntos.	34
Figura 27: Grafica de la deformación de las costillas mediante la simulación con un cinturón de tres puntos.	35
Figura 28: Grafica de la deformación de las costillas mediante la simulación con un cinturón de cuatro puntos.	36
Figura 29: Grafica de la deformación de las costillas mediante la simulación con un cinturón de cinco puntos.	36
Figura 30: Grafica del comportamiento de la pelvis en la junta 22 con respecto al cinturón de tres puntos.	37
Figura 31: Grafica del comportamiento de la pelvis en la junta 23 con respecto al cinturón de tres puntos.	38
Figura 32: Grafica del comportamiento de la pelvis en la junta 22 con respecto al cinturón de cuatro puntos.	38
Figura 33: Grafica del comportamiento de la pelvis en la junta 23 con respecto al cinturón de cuatro puntos.	38
Figura 34: Grafica del comportamiento de la pelvis en la junta 22 con respecto al cinturón de cinco puntos.	39
Figura 35: Grafica del comportamiento de la pelvis en la junta 23 con respecto al cinturón	

de cinco puntos.	39
Figura 36: Vehículo ensamblado con cinturón de tres puntos.	40
Figura 37: Simulación del vehículo con un cinturón de tres puntos antes del impacto.	40
Figura 38: Simulación del vehículo con un cinturón de tres puntos durante el impacto. ...	41
Figura 39: Simulación del vehículo con un cinturón de tres puntos después del impacto..	41
Figura 40: Vehículo ensamblado con cinturón de cuatro puntos.	42
Figura 41: Simulación del vehículo con un cinturón de cuatro puntos antes del impacto. .	42
Figura 42: Simulación del vehículo con un cinturón de cuatro puntos durante el impacto.	43
Figura 43: Simulación del vehículo con un cinturón de cuatro puntos después del impacto.	43
Figura 44: Vehículo ensamblado con cinturón de cinco puntos.	44
Figura 45: Simulación del vehículo con un cinturón de cinco puntos antes del impacto. ..	44
Figura 46: Simulación del vehículo con un cinturón de cinco puntos durante el impacto. .	45
Figura 47: Simulación del vehículo con un cinturón de cinco puntos después del impacto.	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades mecánicas del tubo	24
Tabla 2: Propiedades Mecánicas del material del vehículo.	25
Tabla 3: Propiedades físicas de los cinturones.....	26
Tabla 4; Fuerzas máximas que soportan según normas.	27
Tabla 5: Propiedades Mecánicas del material para el cinturón de seguridad.	27
Tabla 6: Anclajes a la carrocería.....	29
Tabla 7: Limite de valor de HIC. Fuente [13].....	32
Tabla 8: Valoración de la EuroNCAP según el daño craneal.	32
Tabla 9: Limite de deformación de las costillas. Fuente: [13]	34
Tabla 10: Valores para probabilidad de una lesión en las costillas.....	35
Tabla 11: Limite de criterio de comportamiento de la pelvis. Fuente [13].....	36
Tabla 12: Valores del comportamiento de la pelvis.....	37
Tabla 13: Resultados de la simulación con un cinturón de tres puntos.	46
Tabla 14: Resultados de la simulación con un cinturón de cuatro puntos.	47
Tabla 15: Resultados de la simulación con un cinturón de cinco puntos.....	47
Tabla 16: Comparación de resultados de las simulaciones.	47

I. Introducción

En el presente trabajo de fin de grado se realizara un análisis biomecánico del piloto en colisiones de competencias automovilísticas utilizando diferentes cinturones de seguridad, mediante la Reglamentación Técnica No. 16 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), aplicando el método de elementos finitos, debido a que en los últimos años la modernización del parque automotor de los vehículos de competencias ha llevado a la modificación de diferentes tipos de vehículos para competición, siendo estos propensos a colisiones o volcamientos, provocando que al no contar con los debidos cinturones de seguridad el piloto y copiloto sufran daños en su biomecánica, razón por la cual, es importante realizar un análisis biomecánico del piloto mediante el uso de diversos tipos de cinturones de seguridad, teniendo como finalidad salvaguardar la vida tanto del piloto como del copiloto. En el país la certificación de cinturones de seguridad homologados es necesaria, ya que se enfoca en varios aspectos de la seguridad tanto pasiva como activa del vehículo al sufrir un accidente.

II. Problema

II.1. Antecedentes

La necesidad de seguridad hacia los pilotos y copilotos en los vehículos de competencia es esencial, en especial si hablamos de cinturones de seguridad, porque al estar sometidos a situaciones de peligro se necesita que estos estén seguros y fijos dentro del habitáculo del vehículo, ya que algunos tipos de cinturones de seguridad que se los aplican no soportan los accidentes además de que no son situados estratégicamente como deberían ser.

Hoy en día lo que se busca con los diferentes estudios científicos relacionados con la seguridad del piloto y copiloto en carreras automovilísticas es de disminuir el riesgo de accidentes biomecánicos y el número de lesiones en caso de colisión, es por eso que nace el

estudio de analizar el elemento de seguridad que está en primer contacto con el piloto, el cinturón de seguridad.

II.2. Importancia y Alcances

En una competencia los cinturones de seguridad deben evitar que tanto el piloto como el copiloto sufran daños o lesiones, aumentando la confiabilidad al momento de conducir y reduciendo el peligro que se puede ocasionar en una pista de competición.

En la actualidad al contar con diversos tipos de cinturones de seguridad la manera más efectiva de aplicar a los vehículos de competencia sería mediante la aplicación de simulaciones, en las cuales se determina cuáles son los más seguros y necesarios para aplicarlos, dependiendo del tipo de competencia a la cual el vehículo vaya a ser participe.

Se pretende que con este análisis científico, profesionales, docentes, estudiantes, empresas de venta de vehículos, y personas que se dedican a competir en diferentes disciplinas automovilistas, puedan hacer uso de la investigación y resultados obtenidos para ponerlos en práctica en enseñanzas del tema relacionado o en la construcción y aplicación del mismo.

II.3. Delimitación

En comparación con otros programas, el programa de elementos finitos que vamos a utilizar genera mayor confiabilidad al momento de generar un análisis en sistemas con comportamiento dinámico, ya que al poseer conocimientos específicos del programa este se vuelve amigable con el usuario. Además este programa genera resultados más precisos y certeros a comparación de cualquier otro software de análisis dinámico.

III. Objetivos

I.I. Objetivo General

- Analizar mediante un software FEM los diferentes tipos de cinturones de seguridad, para la determinación del cinturón más apropiado y seguro al momento de sujetar y mantener al piloto en su sitio durante una competencia.

I.II. Objetivos Específicos

- Analizar los cinturones de seguridad utilizando sus características y propiedades para la determinación del efecto que se produce en la biomecánica del piloto al momento de sufrir una colisión en un vehículo de competencia.
- Determinar las propiedades mecánicas de los cinturones de seguridad para el vehículo de competencia, empleando sus resistencias reales en el uso de datos en las simulaciones bajo el software LS - DYNA.
- Realizar pruebas con distintos tipos de cinturones de seguridad para la aplicación en colisiones de vehículos de competencia mediante el análisis computacional FEM.
- Analizar los resultados obtenidos en el software seleccionando el mejor diseño de cinturón de seguridad para aplicarlo al vehículo de competencia

IV. Estado del Arte

Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, la Biomecánica es la "ciencia que estudia la aplicación de las leyes de la mecánica a las estructuras y órganos de los seres vivos" (Diccionario RAE, 2001). Con esta definición se puede desglosar que se trata de una ciencia que engloba no solo a seres humanos, sino, a todo ser vivo, dada su aplicación con posibilidad de generar movimiento y transmitir fuerza.

En la actualidad las investigaciones al referirnos a biomecánica, engloban temas específicos como el de deportes, construcción y diseño de prótesis o como lo es para nuestro tema la biomecánica de impacto en colisiones.

Proteger al piloto y copiloto en competencias automovilísticas de lesiones graves o hasta de la muerte mediante medidas de seguridad como los cinturones, es sin duda la mayor prioridad y meta del análisis biomecánico de impacto en colisiones. Esta investigación, basada en el conocimiento y manejo del software de análisis de elementos finitos, así como de la Biomecánica del ser humano después de haber sufrido el impacto y de haber actuado el cinturón de seguridad, se ha centrado en el análisis de criterios mayormente afectados en el uso de cinturón los cuales son:

- Criterio de comportamiento de la cabeza.
- Criterio de deformación de las costillas.
- Criterio de comportamiento de la pelvis

Sin embargo, las investigaciones realizadas en el Ecuador mediante el análisis biomecánico con diferentes cinturones de seguridad mediante análisis FEM en el campo de competencias automovilísticas son muy escasas, debido a la falta de conocimiento de manejo del programa.

IV.1. Análisis de elementos finitos en vehículos de competencia.

Conforme a las necesidades y accidentes (choques) en el campo automotor las investigaciones se han ido incrementando con el afán de verificar los análisis de los efectos que

producen. En la tesis titulada "Análisis Estructural mediante el método de elementos finitos del chasis del vehículo Formula SAE eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana" realizada por B. Ricardo (2017), tiene como objetivo analizar la estructura de esfuerzo - deformación de un vehículo Volks Wagen Polo haciendo uso del método FEM en ANSYS.

IV.2. Análisis en otros vehículos

En la tesis " Análisis del comportamiento de los cinturones de seguridad en base a la edad de los pasajeros de furgonetas de transporte escolar de la zona urbana del cantón de Cuenca " por C. Mauro (2016), se realiza una investigación acerca de cómo se desempeñan los cinturones de seguridad en vehículos de competencia, enfocándose en la simulación en ANSYS de los impactos frontales y laterales que sufre el conductor, cada uno con el uso del cinturón de seguridad.

En la tesis realizada por Mucino (2021) que titula "Comportamiento al choque de los vehículos algunas investigaciones relacionadas" se describen tres fuentes de análisis realizados acorde a los choques de vehículos. El primer trabajo trata sobre índices de valores que se obtienen al momento de que el choque surge y las estructuras reaccionan, su desempeño mecánico y su papel en la protección de los personas en el vehículo. En el segundo trabajo se describe brevemente las características más importantes del código DYNA3D utilizados en la simulación de vehículos pesados. Finalmente, en el tercer trabajo se centra en el análisis de la respuesta dinámica del conductor que choca de frente contra una barrera de protección. Haciendo uso de elementos finitos, como el uso o no del cinturón de seguridad.

En el trabajo " Modelado de diferentes tipos de cinturones de seguridad y estudio de su efecto en caso de colisión frontal mediante para el ensayo " realizado por M. Jaime (2011), el objetivo principal del proyecto es desarrollar, a partir de un modelo de simulación de choque frontal formado por un piloto y un asiento, varias situaciones con diferentes tipos de cinturones de seguridad, mediante los FEM. Y también es demostrar la diferencia de efectividad de los

diferentes tipos de cinturones de seguridad que se usan, sea de dos, tres o cuatro puntos.

IV.3. Análisis realizado con Dummy

En el trabajo "Simulación de un choque lateral con Dummy sin cinturón mediante LS-DYNA" realizado por S. Jesús (2011). el objetivo de este trabajo de investigación es analizar un modelo 3D de simulación del impacto lateral entre dos vehículos con diferentes condiciones iniciales mediante el uso de los programas para cálculo de FEM enfocándose en el reglamento 95 de la Unión Europea.

Capítulo 1.

1. Cinturones de seguridad.

1.1. Tipos de sistemas de seguridad para los ocupantes de los vehículos de competencia

1.1.1. Seguridad Activa

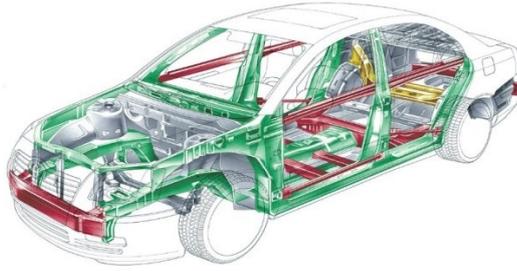
Esta seguridad Activa hace referencia al conjunto de mecanismos o dispositivos con el fin de disminuir el riesgo de que se produzca un accidente. Que es comandado por una unidad de control que actúan en base de información de datos que es enviado por sensores. C. Pablo (2020).

1.1.2. Seguridad Pasiva

Aquí podemos encontrar aquellos elementos que se activan cuando, incluso con la acción de los elementos de seguridad activa, el vehículo ha perdido el control entonces se desarrollan estos sistemas que cuyo fin es el de reducir las lesiones o minorar el daño que sobre los ocupantes de un coche tiene un accidente. Estos elementos van desde el diseño de la carrocería hasta el cinturón de seguridad. C. Pablo (2020).

1.2. HABITÁCULO DE SEGURIDAD

Se conoce a toda la zona interior de la carrocería o estructura del vehículo donde viajan los pasajeros. En caso de un accidente, debe dañarse y deformarse lo menos posible, puesto que de éste depende en gran medida la protección de los ocupantes. De hecho, se considera, junto al cinturón de seguridad, como los principales sistemas de seguridad pasiva que posee un vehículo, pero para que el nivel de protección sea adecuado y funcionen; deben trabajar y prestar sus propiedades conjuntamente, es decir, se deben complementar el uno al otro. En la figura 1 vemos la imagen de un habitáculo de seguridad. C. Pablo (2020).



*Figura 1: Imagen de un habitáculo de seguridad de un vehículo de competencia.
Fuente: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12468/1/UPS-CT006473.pdf>*

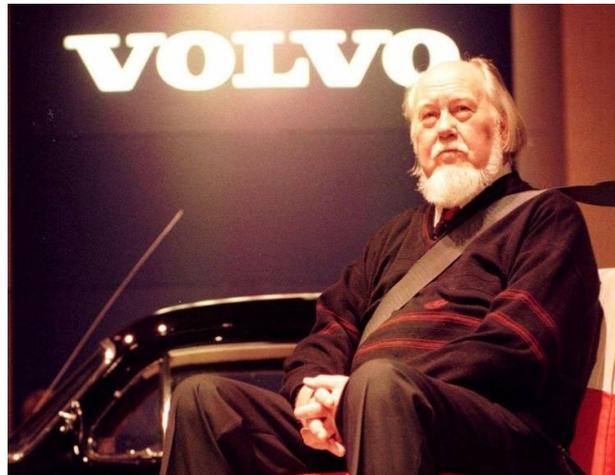
1.3.Cinturón de Seguridad

1.3.1. Historia del cinturón de seguridad

La historia del cinturón de seguridad comienza en el año de 1885 debido a la necesidad de salvaguardar la vida de las personas que ocupan un vehículo automotor, con el propósito de evitar los baches para que los pasajeros de los coches de caballo se mantuvieran sujetos a él y no se cayeran. El mismo fin se dio en los primeros automóviles que empezaron a aparecer en aquella época, tras transcurrir el tiempo se fue extendiendo tocando campos como la aviación por el año de 1911, Benjamín Foulois implemento un cinturón de seguridad muy rudimentario a un avión elaborado y diseñado por los hermanos Wright; en definitiva lo que se buscaba era la retención del cuerpo humano ante los movimientos de los transportes tanto aéreo y terrestre en caso de sufrir colisiones, accidentes o algún percance. Gustav Desiré es quien en el año de 1903 crea el primer cinturón de seguridad con una patente en los años 30 en las aeronaves con la finalidad de asegurar a los pilotos que se encontraban expuestos a situaciones de peligro; años más tarde se implementaría en vehículos de transporte terrestres. C. Pablo (2020).

En el año de 1956 la empresa norte americana Ford ofrece la implementación del cinturón de seguridad como una opción en sus vehículos; sin embargo, en el año de 1958 se da lugar el apareamiento del cinturón de seguridad tal como es en la actualidad por un ingeniero de Suecia

llamado Nils Bohlin, como se muestra en la figura 2, que lo perfeccionó en muchas de sus adaptaciones hasta la forma en que la conocemos en el día de hoy dando paso a otras empresas para que puedan fabricar los mismos e implementar en sus vehículos para garantizar una correcta seguridad vial con el uso del cinturón de tres puntos. C. Pablo (2020).



*Figura 2: Imagen de Nils Bohlin, creador del cinturón de tres puntos.
Fuente: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12468/1/UPS-CT006473.pdf>*

El uso consiente de los cinturones de seguridad logran evitar alrededor de unas 12.000 muertes al año, además de que el cinturón de seguridad puede reducir entre el 40 y el 50 por ciento de los decesos en las vías por causa de los accidentes de tránsito. C. Pablo (2020).

1.3.2. Componentes de un cinturón de seguridad

Con solo ver las partes de un cinturón de seguridad solo serían correa, hebilla y anclaje, pero estos dispositivos están compuestos de otras piezas, las cuales son:

- Correa

Compuesto de un material flexible el cual fue diseñado para mantener al conductor en el asiento y transmitir las fuerzas a los anclajes del cinturón. M. Jaime (2011).

- Hebilla

Dispositivo de apertura rápida que permite que el conductor o copiloto se mantenga en el asiento gracias al cinturón de seguridad. M. Jaime (2011).

- Dispositivo de ajuste

Dispositivo que permite ajustar el cinturón a las necesidades de cada usuario y a la posición del asiento, este dispositivo puede ser un retractor o formar parte de la hebilla. M. Jaime (2011).

- Dispositivo de ajuste de altura del cinturón
- Pretensor

Ya se ha recalcado lo importante que es el uso del cinturón de seguridad por ayudar a reducir lesiones en un accidente. Los pretensores como se muestra en la figura 3, en los cinturones son más eficaces en impactos a cierta consideración. En caso de impacto, estos ayudan a que el piloto o acompañante se mantengan fijos en su asiento y evita que se desplacen. M. Jaime (2011).

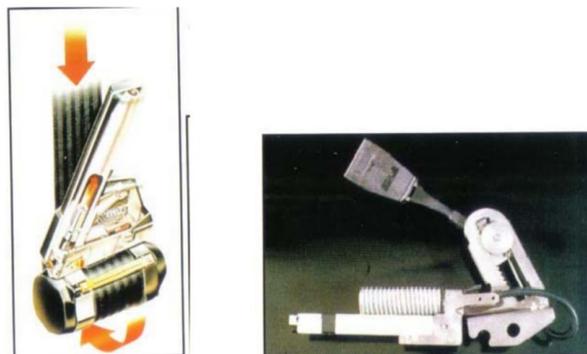


Figura 3: Pretensor pirotécnico (izquierda) y mecánico (derecha).
Fuente: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12468/1/UPS-CT006473.pdf>.

- LIMITADOR DE TENSIÓN

Al momento de que el vehículo sufre una colisión, el cinturón de seguridad entra en acción inmediatamente para la protección del piloto, pero, si bien lo protege de una gran cantidad de lesiones graves, también puede causar algunas heridas en la región del tórax. Que son producidas al momento que se ejerce una fuerza en la retención del piloto y el cinturón. Es entonces donde interviene el limitador de tensión que permite el estiramiento controlado del cinturón de seguridad. Disminuyendo fuertemente el riesgo de fracturas en las costillas. Zaragoza (2003)

1.3.3. Partes Internas

En la figura 4 se ilustra las partes internas de un cinturón de seguridad básico de una manera didáctica tanto externas como internas.

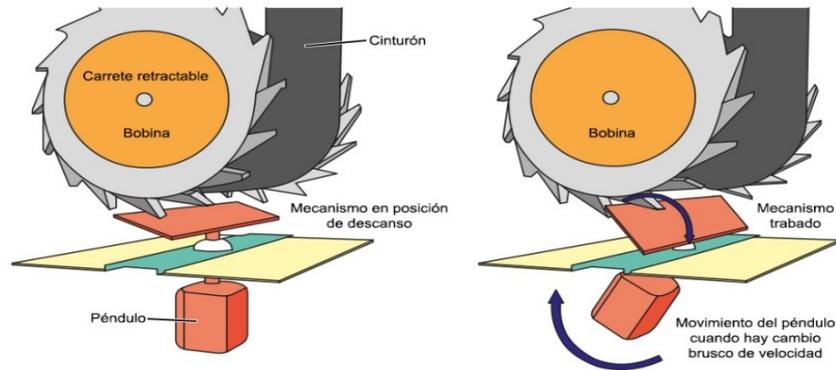


Figura 4: Partes internas de un sistema de cinturón de seguridad.
Fuente: <https://buscadordealleres.com/blog/el-cinturon-de-seguridad/>

En la figura 5 se observa en cómo funciona internamente el bloqueo del dispositivo de seguridad utilizando un mecanismo de contrapesos, que al momento de que se produce un movimiento brusco al piloto, un engrane se inclina a uno de sus lados y levantando una placa pequeña la cual a su vez se introduce entre los dientes del dispositivo permitiendo así que el ocupante se mantenga fijo en si sitio. M. Jaime (2011).

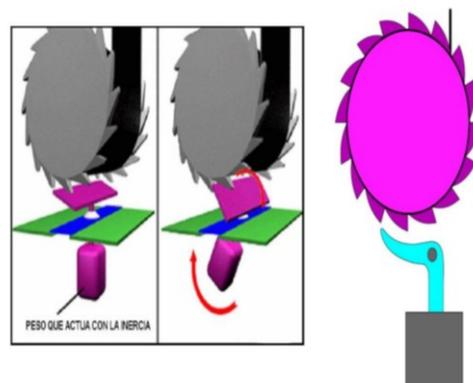


Figura 5: Funcionamiento anclaje de este dispositivo.
Fuente: Ing. ZUMÁRRAGA Andrés. Escuela Politécnica Nacional EPN.

1.3.4. Tipos de Cinturón de seguridad

A medida de que pasa el tiempo las necesidades de los pasajeros y más aun de los pilotos

de competencia ha ido evolucionando en cuanto al uso de los cinturones de seguridad. En el campo automotor el cinturón ha ido adaptándose y tomando diferentes formas según la necesidad del piloto. Los mismos que se encuentran clasificados de la siguiente manera según la organización mundial de la salud. M. Jaime (2011).

En seguridad vial para decisores y profesionales: el cinturón de tres puntos es el más utilizado dentro del campo automotor ya que nos brinda un mejor manejo y fácil uso en cuanto transitar día a día por nuestras calles, mientras que el cinturón de dos puntos es el más habitual para pasajeros de autobuses, enfocándonos en nuestro tema de investigación para vehículos de competencia, los cinturones de 4, 5 y hasta 6 puntos de anclaje son idóneos para su empleo. Las normas para cinturones de seguridad determinan requisitos para el ancho de la correa y la hebilla, así como para la facilidad de operación y ajuste. M. Jaime (2011).

Para nuestro estudio nos enfocaremos más en los cinturones de tres, cuatro, cinco puntos, ya que estos presentan propiedades de sujeción adaptables para vehículos de competencia como sea formula SAE, de Rally, de montaña, etc. M. Jaime (2011).

1.3.5. Cinturón de seguridad de dos puntos

Como se había mencionado con anterioridad el cinturón de dos puntos como se muestra en la figura 6, es mayormente utilizado por los conductores de buses y aviones, la forma de diseño no es más que una correa que se ajusta en la cintura del piloto. M. Jaime (2011).



Figura 6: Cinturón de seguridad de dos puntos.

Fuente: <https://noticias.coches.com/wp-content/uploads/2013/10/Cintur%C3%B3n-autob%C3%BAs-650x488.jpg>

1.3.6. Cinturón de seguridad abdominal y diagonal de tres puntos

Este modelo es el más utilizado desde el año 1958 que se lo patentó. Su uso es el más simple

ya que generan tres puntos en los lugares del Hombro, y los dos extremos de la cadera, haciéndolo idóneo para vehículos de turismo, no provoca ninguna dislocación de algún miembro del cuerpo y mantiene con mayor fijación al ocupante. La lengüeta se puede insertar en la hebilla con una sola mano y mantiene al ocupante en su asiento, como se presenta en la figura 7. M. Jaime (2011).



Figura 7: Cinturón de seguridad abdominal y diagonal de tres puntos.

Fuente: Autores

1.3.7. Cinturón de arnés de cuatro puntos

Este tipo de arnés son los más utilizados para competencia y para los que nos centraremos mayormente en nuestro análisis, es necesario un asiento diferente y apto para este tipo de cinturón, ya que son más gruesos que los cinturones antes mencionados, porque tienen que soportar fuerzas mayores a las que soporta un vehículo normal, por lo que en un caso de colisión este tenga más agarre del piloto y el daño por lesiones sea menor. En la figura 8 se observa el tipo de cinturón. M. Jaime (2011).



Figura 8: Cinturón o arnés de seguridad de 4 puntos.

Fuente: <https://noticias.coches.com/wp-content/uploads/2013/10/Cintur%C3%B3n-autob%C3%BAs-650x488.jpg>

1.3.8. Cinturón de arnés de cinco puntos

A diferencia del cinturón de cinco puntos de anclaje a este se añade una sujeción entre las piernas, haciéndolo más seguros, pero más restrictivos, se suelen utilizar en sillas para niños y en automóviles de competición, como lo muestra la figura 9. M. Jaime (2011).



Figura 9: Cinturón o arnés de seguridad de 5 puntos.

Fuente: <https://www.solostocks.com.mx/venta-productos/otros-automoviles-vehiculos/cinturon-de-seguridad-marca-takata-para-auto-de-5-puntos-para-competencia-1197179>

1.3.9. Cinturones en X

Este tipo de cinturones de seguridad aún no se lo ve muy seguido en vehículos del día a día o en el campo de competencia, por lo que este tipo de cinturones está siendo estudiado aún. Su diseño consta de dos hebillas de dos puntos y uno de tres los cuales sujetan al piloto. En la figura 10 se observa cómo se coloca este tipo de cinturón. Volvo (2008)



*Figura 10: Cinturón de seguridad en "X".
Fuente: Informe Volvo de seguridad vial 2008" – www.volvo.com (abril 2021)*

En la figura 11 se observa el fin de implementar este tipo de cinturón de seguridad, ya que de hacerlo uso en caso de vuelco el piloto no se despegaría de su asiento disminuyendo fracturas o lesiones cuando el vehículo tenga algún volcamiento, a comparación del de dos y tres puntos. Sin embargo, se dice que la mayoría de las personas no utilizan este tipo de cinturón, ya sea por su incomodidad al momento de un viaje o por lo complicado que se vuelve al momento de abrocharlo. Autoliv (2021)



Figura 11: Imagen del cinturón "X" y de una prueba de vuelco con un cinturón "X" y otro con un cinturón de tres puntos convencional.

Fuente: Beneficios del cinturón "X" en caso de impacto frontal, lateral y vuelco" - www.autoliv.com (Abril, 2021)

1.3.10. Cinturones Para competencia tipo Arnés

Se trata de un cinturón de seguridad para mantener sujeto al conductor a su vehículo. Es un elemento de seguridad pasiva que fue utilizado desde 1930 en la aviación, y posteriormente se extendió su uso a la carrera de autos. Schroth (2004).

En la figura 12, muestra los puntos de montaje del arnés de acuerdo a la norma 8888 - 1999

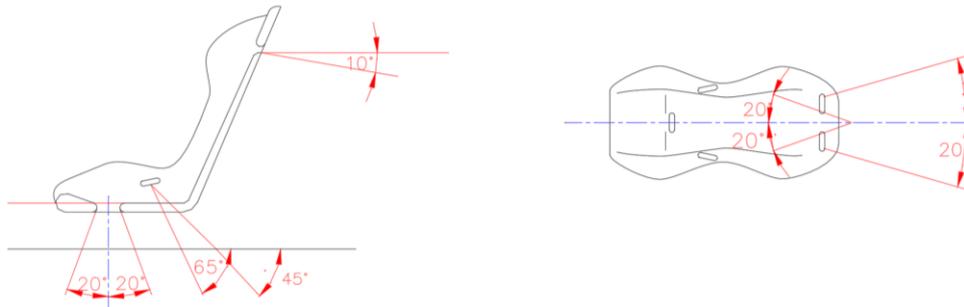


Figura 12: Puntos de montaje del arnés.
Fuente: FIA, norma 8888-1999

Para lograr una óptima restricción, según Schroth (2004) la correa del cinturón de seguridad que rodea la pelvis (Lap Belt Strap) o correas del arnés debe ser lo más corta posible. Este requerimiento se puede lograr siguiendo las siguientes instrucciones:

- La distancia que existe entre los diferentes puntos donde van anclados los cinturón de seguridad que rodea el regazo, no debe ser mayor que la anchura de la pelvis del conductor o de la anchura exterior del asiento de carrera es recomendada una distancia aproximada de 400 mm.
- Las correas del cinturón de regazo deben tenderse sobre el hueso pélvico y la parte superior del muslo.

Es esencial que las correas del arnés sean colocadas correctamente, tal como se muestra en la figura 13:

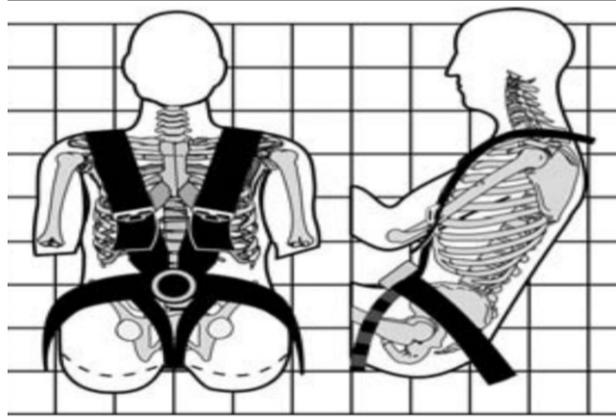


Figura 13: Correcta colocación de las correas del Arnés.

Fuente: <https://www.tillett.co.uk/shop/documents/downloads/seat-belt-fitting-information-2012.pdf>

La parte del cinturón que rodea los hombros debe ajustarse a los mismos de manera horizontal o hacia abajo, y no más de 20 grados de ángulo como se muestra en la figura 14. Para mejor efecto de retención del torso, los puntos de anclaje superiores no deben estar a más de 200mm de la parte posterior del asiento del usuario:

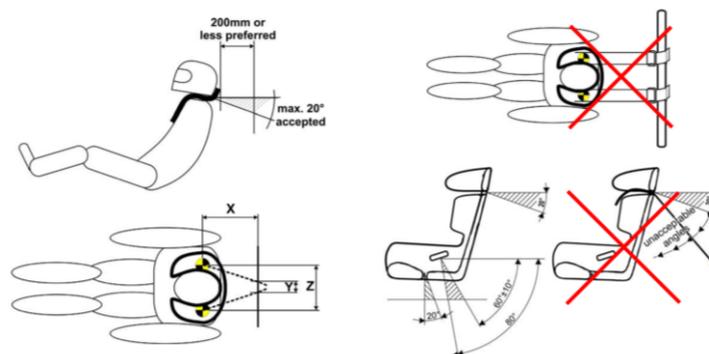


Figura 14: Correcta colocación de las correas del hombro.

Fuente: <https://www.tillett.co.uk/shop/documents/downloads/seat-belt-fitting-information-2012.pdf>

1.3.11. Fabricación y materiales

En cuanto a la fabricación de los cinturones de seguridad usualmente están fabricados de materiales duraderos y flexibles, en la mayoría de los casos de poliéster o nylon. Para el armazón, poseemos materiales como plásticos moldeados o estructura metálica los cuales van al asiento de seguridad. L. Hernando (2013)

Las correas que mantienen a la persona apegada al asiento, es la encargada de distribuir las fuerzas del choque. Estas están siendo fabricadas de preferencia en fibra sintética, especialmente poliéster, se pueden fabricar también de un 70% poliéster y 30% algodón según Norma FR 49-571, ya que este material ofrece, además de comodidad, una gran resistencia elástica. El ancho mínimo será de 500 mm y la resistencia a la tracción de las correas será igual o superior a los 18150N. La elasticidad máxima que deben tener estos elementos no debe superar el 0.0.5% de la longitud total, según norma FR 49-571. L. Hernando (2013)

1.4.Biomecánica.

La biomecánica, explica aplicaciones de conocimientos para determinan las producciones de lesiones ocasionadas en el ser humano por accidentes automovilísticos, la dirección e intensidad de la fuerza la cual es determinada al momento del choque frontal, en cuanto al airbag, cinturones de seguridad, tejidos del cuerpo humano, etc. Se puede observar la resistencia que se presenta. Sin embargo, en la mayoría de los casos se podrá dar una explicación de los productos que causen al cuerpo humano al momento de producirse una lesión, además de delimitar probabilidades certeras de que las lesiones se produzcan concretamente, así como también se explicara los factores que podrían haber intervenido al momento del estudio del accidente. L. Hernando (2013)

El cinturón de seguridad de tres puntos se inventa en 1959 en Suecia por un ingeniero llamado Nils Bohlin, el cual trabajaba en la casa de Volvo. L. Hernando (2013)

1.4.1. Utilidad de la biomecánica,

El estudio de la biomecánica en lesiones producidas en accidentes se da en diferentes tipos de elementos del cuerpo que están sometidos a una lesión al momento de una colisión como se muestra en la figura 15, por lo que se puede aplicar en casos como:

- a. Al momento de una lesión determinar conociendo las circunstancias (tipo de accidente, hora y lugar de su producción, tipo, modelo y número de vehículos involucrados,

número, edad, sexo, etc.), la posición que ocupaban las personas lesionadas, en el interior del vehículo. Si fueron encontradas fuera del vehículo, -eyección-, trata de explicar la importancia de no utilización de dispositivos de fijación, de uso obligatorio.

L. Hernando (2013)

- b. Asimismo, en colisiones entre vehículos o colisión con vehículo único, según el tipo de colisión, frontal con o sin oblicuidad, fronto-lateral, alcance, vuelco -con choque de rueda contra obstáculo o sin él-, atropello, accidente con vehículos de dos ruedas, se podría tratar de determinar la posición que ocupaban las víctimas, conductor y pasajero, en el momento de producirse el accidente. L. Hernando (2013)
- c. Se podría también tratar de determinar si se produjo la utilización o no de cinturón de seguridad o casco por alguno de ellos y las lesiones correspondientes, tanto las que se hubiesen debido a estos dispositivos de seguridad pasiva, como el nivel de protección que habrían conferido, caso de haber sido usados correctamente. L. Hernando (2013)
- d. Sería posible en determinados casos, establecer la influencia de determinados tóxicos sobre la conducción. L. Hernando (2013)
- e. Los factores humanos (atención, percepción, etc.,) alterados por condiciones fisiológicas o provocadas, así como por enfermedades, podrían explicar en determinados casos su influencia sobre la producción y efectos del accidente, debido a alteraciones en el rendimiento y en el comportamiento. L. Hernando (2013)
- f. Existiría la posibilidad de determinar, en el caso de colisiones múltiples, y bajo determinadas circunstancias, la producción de lesiones determinadas en fases diferentes del accidente. L. Hernando (2013)

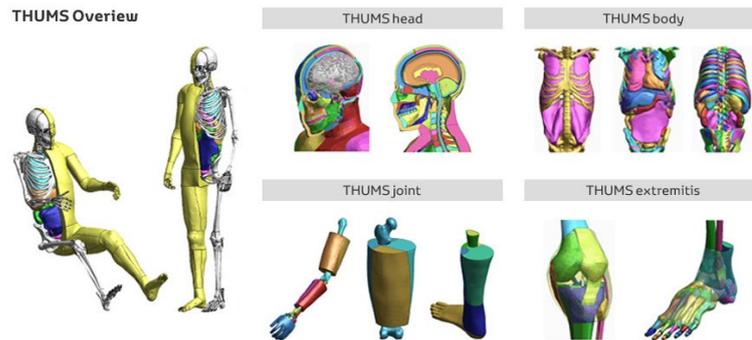


Figura 15: Elementos del cuerpo que están sometidos a una lesión al momento de una colisión
Fuente: <https://www.toyota-latam.com/safety/>.

1.4.2. Parámetros de la escala SCENE.

En cuanto a los parámetros que toma los mecanismos de lesión presentes en un Dummy como se muestra la figura 16, según L. Hernando (2013) a la escala SCENCE se puede dar una definición desglosando y definiendo lo que engloba cada letra, por lo tanto:

S: steering wheel deformation (deformación del volante). Si el volante se deforma al momento de la colisión, quiere decir que hubo un impacto con presencia de una gran energía.

C: close proximity of driver to wheel, o frontal collisions. Se da al momento de que el conductor está demasiado cerca del vehículo, ya que el airbag se activa y produce lesiones, peor aún si las personas son de baja estatura o ancianos,

E: energy, (energía de la colisión). Desde los 40 centímetros en adelante de hundimiento un indicador no dice que la energía del impacto fue alta, de la misma forma se da en una colisión lateral con una medida que va desde los 25 centímetros.

N: no seat belt. Al no estar con el cinturón de seguridad puesto se eleva el factor de riesgo en una colisión.

E: eyewitness report. Al momento de haber presencia de testigos el momento del accidente aun estando inconscientes y después reaccionar también es un riesgo.

Los mecanismos de lesión corresponden a uno de los cinco siguientes, sean aislados o

combinados. L. Hernando (1999)

Flexión: Provocan fracturas o lesiones transversales.

Extensión: Se producen luxaciones articulares, de igual forma lesiones o fracturas transversales.

Tracción: Se provocan desgarres.

Compresión: Se produce al momento de existir una fuerza en sentido longitudinal.

Torsión: Produce fracturas espiroideas. L. Hernando (1999)



Figura 16: Mecanismos de lesión presentes en un Dummy.

Fuente https://www.autobild.es/noticias/software-toyota-para-pruebas-virtuales-accidentes-258217#modal_27

1.4.3. Mecanismos lesivos en accidentes de tráfico

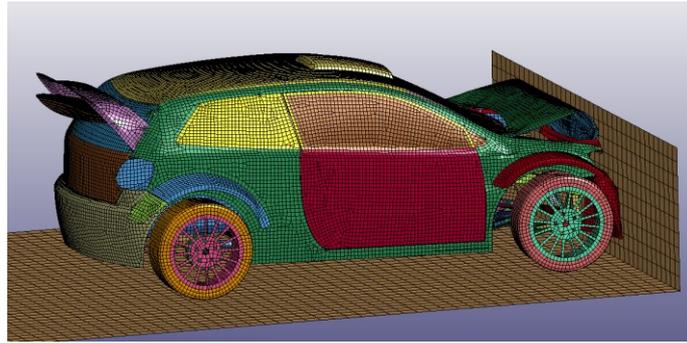
Los accidentes de tráfico se describen clásicamente según el vehículo aplicado, ya sea en camionetas, jeeps, sedanes o vehículos de carga pesada, etc.

Conforme se verifique la posición del vehículo accidentado, se determina si fue un impacto frontal, lateral, vuelco, etc. L. Hernando (2013)

1.4.4. Choques Frontales

Basados en las estadísticas de accidentes de tránsito más de las dos terceras partes son frontales, presentando un porcentaje de entre 30 y 50 por ciento de cobertura en la parte frontal, figura 17.

Esta prueba se regula mediante la legislación vigente en la directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo. M. Jaime (2011)



*Figura 17: Ensayo de choque frontal simulado.
Fuente: Autores*

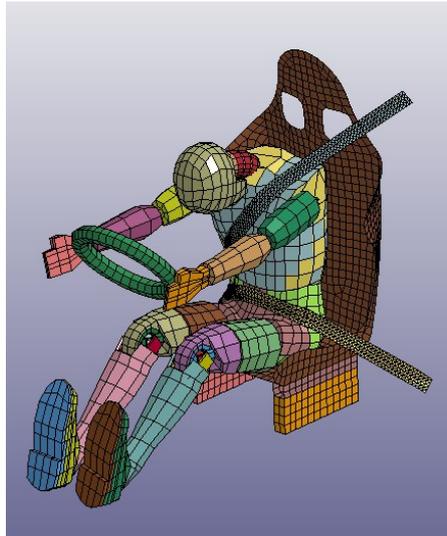
Existen dos formas del desplazamiento tanto del conductor como del acompañante ya sea que estén o no con el cinturón de seguridad como son:

- El desplazamiento abajo y debajo (inmersión): Se da al momento en que las rodillas se impactan contra el salpicadero, provocando fracturas de rótula, luxación de cadera, fractura diafisaria del fémur en varios niveles además fracturas en la rótula. Las fracturas más comunes que se dan en los pies son, fracturas uni, bi, trimaleolares de tobillo, esto se da por que al momento de la colisión los pies se quedan atrapados entre los pedales. L. Hernando (1999)

En un choque frontal como se ve en la figura 18, el vehículo se detiene en una medida aproximada de 130 a 150 metros sobre segundo, al analizar este periodo los miembros inferiores sufren el daño al golpearse contra el salpicadero, luego el tórax se golpea contra el volante, y al final mediante la compresión y desaceleración del vehículo se producen lesiones de órganos internos, además de fracturas esternales. L. Hernando (1999)

- Desplazamiento tipo arriba y encima: Al darse el impacto el piloto o copiloto tiende a golpearse la cabeza, ya sea contra el parabrisas, el marco interno o espejo retrovisor, ya que este al colisionar el vehículo tiende a salirse hacia arriba en una dirección oblicua. Dependiendo del tipo de persona y también de su posición dentro

del habitáculo del vehículo se provocarán diversas lesiones como fracturas craneales, lesiones de la columna (cervical, medular o discal), por lo que al usar el cinturón de seguridad podría evitarse el desplazamiento tipo arriba y encima disminuyendo el nivel de daño producidas por las lesiones ya mencionadas. L. Hernando (1999)



*Figura 18: Simulación por colisión frontal.
Fuente: Autores.*

Capítulo 2.

2. Propiedades mecánicas, resistencias y ubicación de los cinturones de seguridad.

En el capítulo 1, se da cita ciertas propiedades mecánicas, resistencias y ubicación del cinturón de seguridad por lo que este elemento es tan importante dentro del habitáculo del vehículo que las propiedades del mismo deben ser idóneas para la protección del ocupante.

2.1. Propiedades mecánicas de la estructura tubular

Para poder realizar las pruebas y simulaciones es necesario conocer las propiedades de los materiales tanto de la estructura o chasis que va estar en contacto con el dummie y del vehículo en sí, es por eso que para la estructura tubular va a ser el material NTE INEN 2415 (Ver Anexo 1) que hace referencia a la norma **ASTM A500**. En la tabla 1 se puede apreciar las propiedades mecánicas para la estructura, es decir, el tubo a utilizar para la simulación del vehículo mediante elementos finitos.

GRADO	A
DESCRIPCIÓN	Tubos estructurales Sección Circular
LIMITE DE FLUENCIA min (MPa)	230
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN min (MPa)	310
ELOGACION % min \geq 3.05mm DE ESPESOR	25

Tabla 1: Propiedades mecánicas del tubo

Fuente: Autores.

En la figura 19 se puede observar la curva de esfuerzo – deformación de este material en la que se aprecia una parte de una recta la cual llega hasta un punto llamado límite de proporcionalidad. Este límite es importante ya que nos indica cuando cierto material puede soportar diferentes cargas hasta el punto de ruptura. Para este caso la deformación máxima del tubo es de 0.31 GPa.

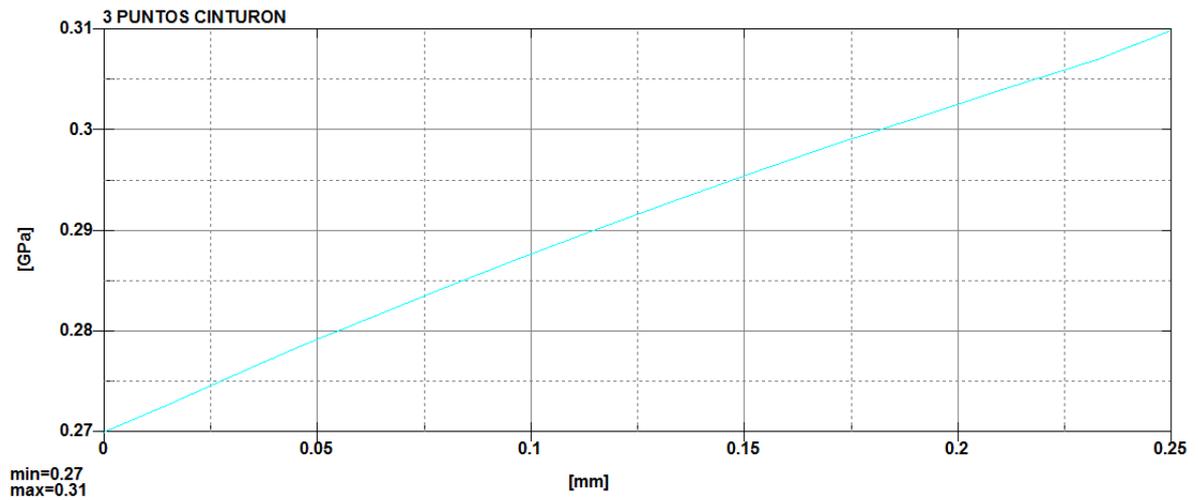


Figura 19: Curva de esfuerzo – deformación del tubo.
Fuente: Autores

2.2. Propiedades mecánicas del material del vehículo

De igual forma para el material del vehículo existe una vasta elección de materiales extensa y de grado ingenieril muy elevada en la librería del programa, para el cual se escoge un modelo de material elastoplástico, basado en Von Mises ya que es un material con endurecimiento isotrópico y efectos de velocidad de deformación. Este es uno de los modelos de materiales más utilizados para análisis con elementos finitos.

En la tabla 2 se puede apreciar los parámetros más básicos, el módulo de elasticidad y la relación de Poisson.

MODULO DE ELASTICIDAD (E)	200.00000 N/m ²
RELACION DE POISSON (PR)	0.3000000

Tabla 2: Propiedades Mecánicas del material del vehículo.
Fuente: Autores.

En el que también se puede apreciar su curva esfuerzo deformación del material del vehículo en la figura 20. La cual se observa que la deformación máxima de este material es de 0.41 GPa.

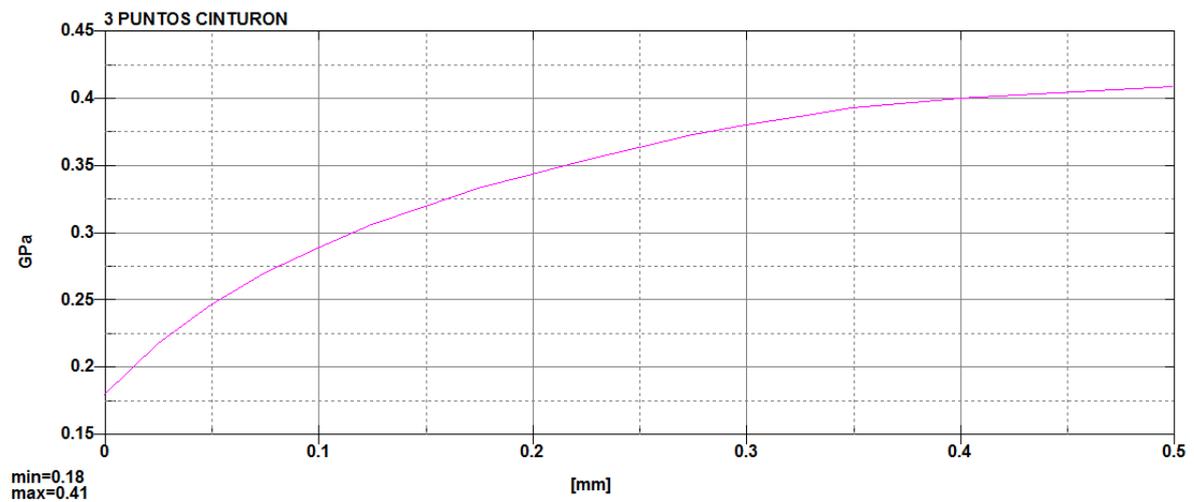


Figura 20: Curva de esfuerzo – deformación del material del vehículo.

Fuente: Autores

2.3. Propiedades de los cinturones de seguridad.

Para obtener una selección de un material idóneo para los cinturones de seguridad, se ha tomado como referencia de un estudio realizado por Victor Villareal en el cual muestra una base de datos escogidos bajo parámetros comparativos entre normas con mayor número de impacto de consumo como FR49-571 de EEUU, TYPE APROVAL CEE, de la unión europea, en conjunto con la UNCE 14, S.R.R.V. de Japón, y las K.M.V.S.S. de Corea.

En la tabla 3 se muestra valores y algunas propiedades las del cinturón de seguridad y material de fabricación. V. Hugo (2016)

	FR 49 – 571	UNECE 14	SRRV/JAPON	KMVSS/COREA
Longitud (mm)	2780	2800	2780	2780
Ancho mínimo (mm)	480	460	460	460
Material	Nylon / Algodón	Nylon / Algodón	Nylon / Algodón	Nylon / Algodón
% según material	70/30	50/50	70/30	70/30

Tabla 3: Propiedades físicas de los cinturones.

Fuente: Victor Villareal.

Por consiguiente en la tabla 4 se muestra valores que se presentan al momento de darse una

colisión y mantener al piloto sujeto al asiento, datos como la fuerza de tensión longitudinal y transversal, porcentaje de elasticidad y un porcentaje de rotura al máximo que son muy importantes al momento de la implementación de un cinturón de seguridad.

	FR 49 – 571	UNECE 14	SRRV/JAPON	KMVSS/KOREA
F. Tensión longitudinal (N)	18150	19000	15600	16000
F. tensión transversa (N)	2	2.5	2.6	2
%Elasticidad	0.05	0.07	0.003	0.003
%de rotura al máximo	+75	+100	+110	+100

Tabla 4; Fuerzas máximas que soportan según normas.

Fuente: Victor Villereal.

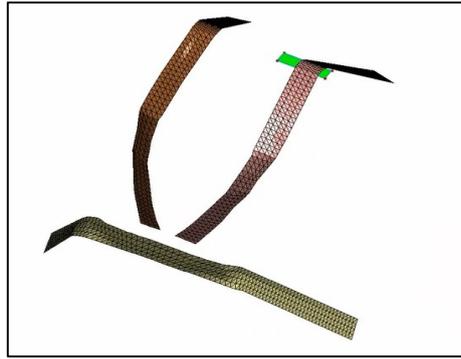
2.3.1. Propiedades mecánicas utilizadas para los cinturones de 3, 4 y 5 puntos

En el caso, para poder asignar las propiedades mecánicas para los cinturones de 3, 4 y 5 puntos como se puede observar un modelo del cinturón de seguridad en la figura 21. En el software, es muy complicado ya que es un material compuesto, un material textil y eso conllevaría a realizar muchas validaciones lo cual para el desarrollo del tema se hizo uso de un espesor de 5 mm para todos los cinturones y se aplicó las mismas propiedades de los tubos del chasis elaborado o bien podría ser el caso de los materiales del auto que vendría siendo un material isotrópico, entendiéndose como isotrópico si las propiedades mecánicas y térmicas son las mismas en todas las direcciones. Para el cual las propiedades para cada cinturón para nuestro desarrollo se toman de la tabla 2 de este capítulo.

MODULO DE ELASTICIDAD (E)	200.00000 N/m ²
RELACION DE POISSON (PR)	0.3000000

Tabla 5: Propiedades Mecánicas del material para el cinturón de seguridad.

Fuente: Autores.



*Figura 21: Modelado del Cinturón de seguridad de cuatro puntos.
Fuente: Autores*

2.4. Resistencias de los cinturones de seguridad.

En cuanto a la resistencia de los cinturones de seguridad nos centramos tanto a la exposición prolongada de temperaturas tanto frías como calientes, la carga o esfuerzo físico que deberá soportar el cinturón que según la norma UNECE no será mayor a 1470daN. V. Hugo. (2016).

El cinturón de seguridad es un elemento que va a soportar una carga muy grande al momento de una colisión por lo tanto se deberá escoger un cinturón acorde a la necesidad y uso que se le vaya a dar, un cinturón de seguridad para transporte de turismo será diferente al que se le emplee a uno de competencia, pero algo muy importante es que este elemento debe proporcionar una seguridad para que el piloto tenga el número de lesiones reducidas.

2.5. Ubicación de los cinturones de seguridad dentro del vehículo.

Por lo general la posición de los cinturones dentro del habitáculo de los vehículos está sujetos directamente a la carrocería.

Dependiendo del número de puntos de sujeción de los cinturones, estos estarán situados en los parantes y el piso de las carrocerías. Si el vehículo es de competencia, deberá poseer un rollbar o jaula antivuelco, que cumpla con las especificaciones de cada tipo de competencia, para que al momento de adaptar un cinturón de cuatro, cinco o más puntos de anclaje, estos puedan ir situados ya sea directamente en la carrocería, o en la jaula antivuelco. En la tabla 6

para verificar como se manifiesta un impacto nos referenciamos en cada anclaje que posee la carrocería ya que así se conoce las características que soportan. V. Hugo (2016)

	FR 49 – 571	UNECE 14	SRRV/JAPON	KMVSS/KOREA
Ancho (mm)	35	46	36	360
Espesor (mm)	15	15	15	15
Largo/Alto (mm)	50	60	55	50
Diámetro de perno (mm)	11	11	11	11
Angulo de formación	135°	135°	-	-

Tabla 6: Anclajes a la carrocería.

Fuente: Victor Villareal.

Capítulo 3.

3. Pruebas de los cinturones de seguridad el mediante el análisis de elementos finitos.

Para realizar las siguientes pruebas de análisis de cinturones de seguridad mediante un impacto frontal se escogió primeramente el tipo de dummy o maniquí a ser utilizado, como es el HYBRID III 50Th (figura 22), el cual simula tener un mecanismo humanoide, consta con partes de máquinas como por ejemplo ejes, pernos, resortes, amortiguadores, entre otros, el cual lo hace que sea muy factible al momento de obtener resultados.

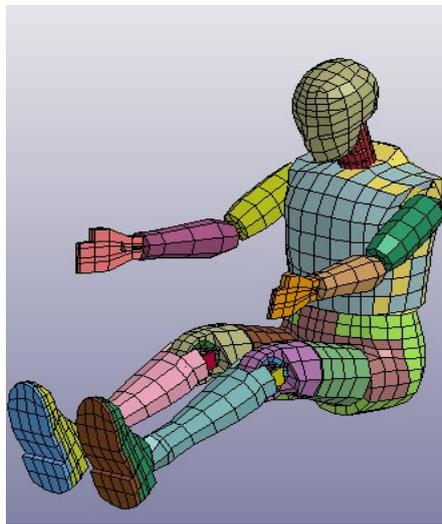


Figura 22: Modelo de Dummy Hibryd III 50Th.

Fuente: Autores

También se revisó el índice del jacobiano como se observa en la figura 23, en el cual se puede determinar si existe o no un correcto mallado del diseño, esto para garantizar que la simulación no presente fallos al momento de generar resultados y para así poder tener una simulación eficaz y sin errores.

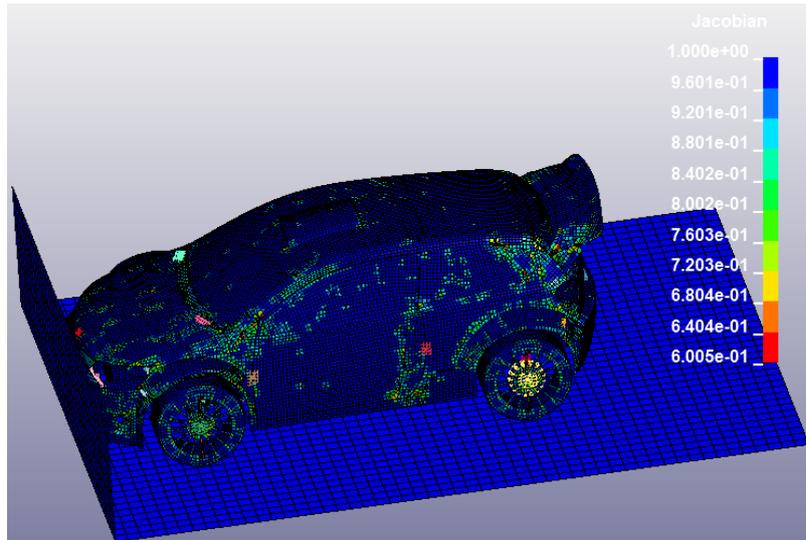


Figura 23: Índice del Jacobiano.
Fuente: Autores.

Para realizar las respectivas pruebas con respecto a los cinturones, lo que primero se hizo fue, identificar los acelerómetros presentes en los maniqués de pruebas, para así poder determinar cada uno de los resultados en base a su ubicación.

En este proyecto los resultados que se obtendrán son:

- El criterio de comportamiento de la cabeza HIC
- La deformación de las costillas.
- El criterio de comportamiento de la pelvis

Los cuales no ayudaran a determinar que cinturón es el más efectivo al momento de realizar la simulación.

3.1. Condiciones de contorno.

3.1.1. Velocidad de impacto.

Para realizar el desarrollo del análisis biomecánico del dummy, lo que se realizó primeramente es, su ensamble con el vehículo y los tres tipos de cinturones de seguridad, a una velocidad representada en el programa de 10 mm/ms.

Esto se realizó para las tres pruebas.

3.2. Criterio de comportamiento de la cabeza. (HIC)

Hay que seguir una serie de procedimientos mediante un programa de análisis de elementos finitos para poder realizar las respectivas pruebas del HIC (Criterio de comportamiento de la cabeza. Head Injury Criterial), estos resultados se calculan mediante la ecuación (1). O directamente en el programa. EuroNCAP (2021).

$$HIC = \max \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

Donde t2 y t1 corresponden al intervalo del tiempo el cual dura la aceleración y la aceleración es medida en múltiplos de la gravedad (g) y el tiempo en segundos.

Para lo que corresponde a los parámetros establecidos del HIC tenemos un valor límite en cual está establecido en la EURONCAP y se muestra en la tabla 7.

Tipo de Dummy	Hibryd III 50Th
Limite HIC ₁₅ ERONCAP	700
Limite HIC ₃₆ UNECE/CEPE	1000

Tabla 7: Limite de valor de HIC. Fuente [13]

Fuente: Autores.

3.2.1. Valores de las lesiones del HIC.

En la tabla 8 se observan los parámetros que se toman en cuenta según la EuroNCAP para la valoración correspondiente a los resultados obtenidos en la simulación, los cuales corresponden al criterio de comportamiento de la cabeza

HIC	AIS CODE	Nivel de Daño Cerebral	Nivel de Daño en el Cráneo	Valoración EuroNCAP
<15	0/1	Sin conmoción	Sin fractura	Verde
150 500	1	Conmoción suave	Sin fractura 500 - 900	Verde <650 verde
500 1800	2/3/4/5	Conmoción severa	Pequeña fractura 900 - 1800 fractura	60 - 767 Amarillo

Tabla 8: Valoración de la EuroNCAP según el daño craneal.

Fuente: EuroNCAP.

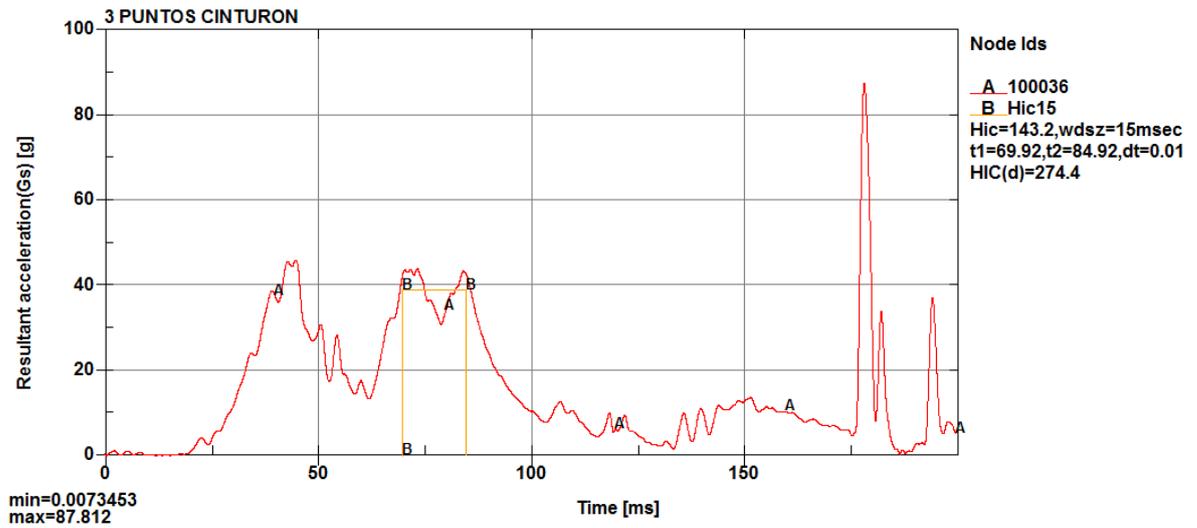


Figura 24: Grafica del HIC con respecto a la simulación con un cinturón de tres puntos.
Fuente: Autores

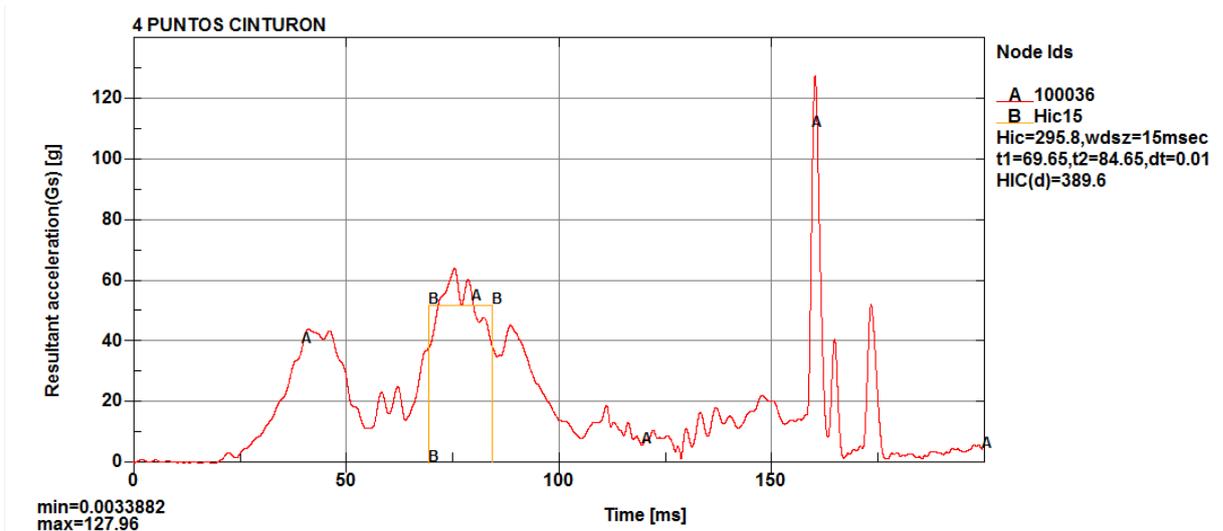


Figura 25: Grafica del HIC con respecto a la simulación con un cinturón de cuatro puntos.
Fuente: Autores

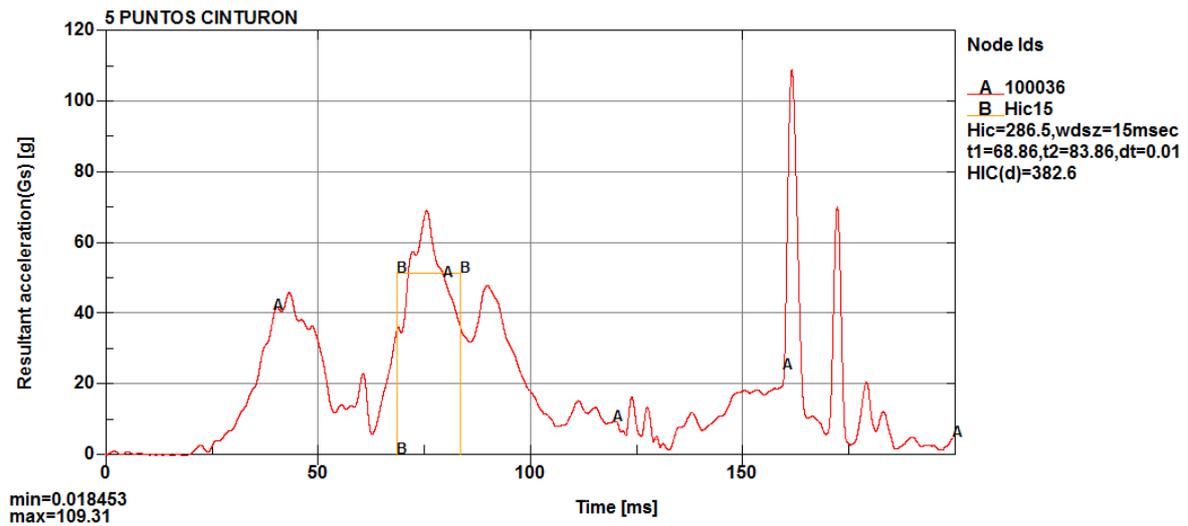


Figura 26: Grafica del HIC con respecto a la simulación con un cinturón de cinco puntos.
Fuente: Autores.

3.3. Deformación de las costillas.

En cuanto a la deformación de las costillas el valor límite que debe soportar para no tener lesiones que puedan producir daños muy fuertes en cuanto a las costillas y los órganos internos se observa en la tabla 8.

Tipo de Dummy	Hibryd III 50Th
Limite EROCAP	60mm
Limite UNECE/CEPE	42mm

Tabla 9: Limite de deformación de las costillas.
Fuente: EuroNCAP

En un maniquí físico, la deflexión se mide a partir de la rotación del brazo del potenciómetro torácico.

El brazo está conectado a un resorte giratorio de muy baja rigidez. Trazar el ángulo de rotación (rad) frente al tiempo para la primavera 10 y luego multiplicar por un factor de linealización predeterminado previamente da la desviación del pecho (mm) frente al tiempo.

Los factores de linealización son 158.0mm, 145.0mm y 96.0mm para los maniqués de percentiles 95, 50 y 5, respectivamente. Tenga en cuenta que estos factores deben dar deflexiones de pecho correctas dentro de 1 mm hasta 50 mm de deflexión de tórax para el 95

y 50 y hasta 40 mm para el 5 (estos están cerca de los límites superiores para los maniqués respectivos según lo permitido por la mayoría de las compañías automotrices).

3.3.1. Valores de la deformación de las costillas.

De igual manera con respecto a la deformación de las costillas, podemos observar en la tabla 10, las probabilidades de los valores a los cuales se asemejan los resultados obtenidos en la simulación y así se compara el tipo de daño ocurrido.

Pronosticador de lesión	25% probabilidades de lesión		50% probabilidades de lesión	
	AIS 3+	AIS 4+	AIS 3+	AIS 4+
Deflexión máxima de costilla (mm)	21mm	48mm	44mm	72mm
Rango estándar de error	0-32 mm	30-70mm	32-54mm	54-100mm
Aceleración máxima, en la columna baja	36 g	70 g	80 g	130 g
Rango estándar de error	0-59g	2-114g	54-112g	96-170g
Aceleración máxima, en la columna alta	15 g	46 g	43 g	74 g
Rango estándar de error	0-30 g	25-65 g	26-60 g	58-114g

Tabla 10: Valores para probabilidad de una lesión en las costillas.

Fuente: C. Mauro

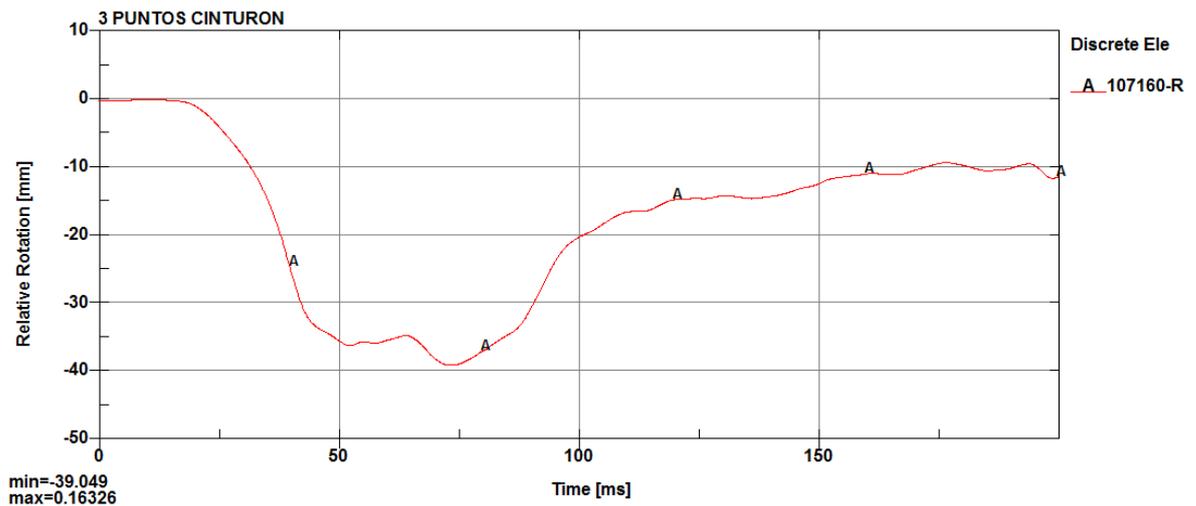


Figura 27: Grafica de la deformación de las costillas mediante la simulación con un cinturón de tres puntos.

Fuente: Autores

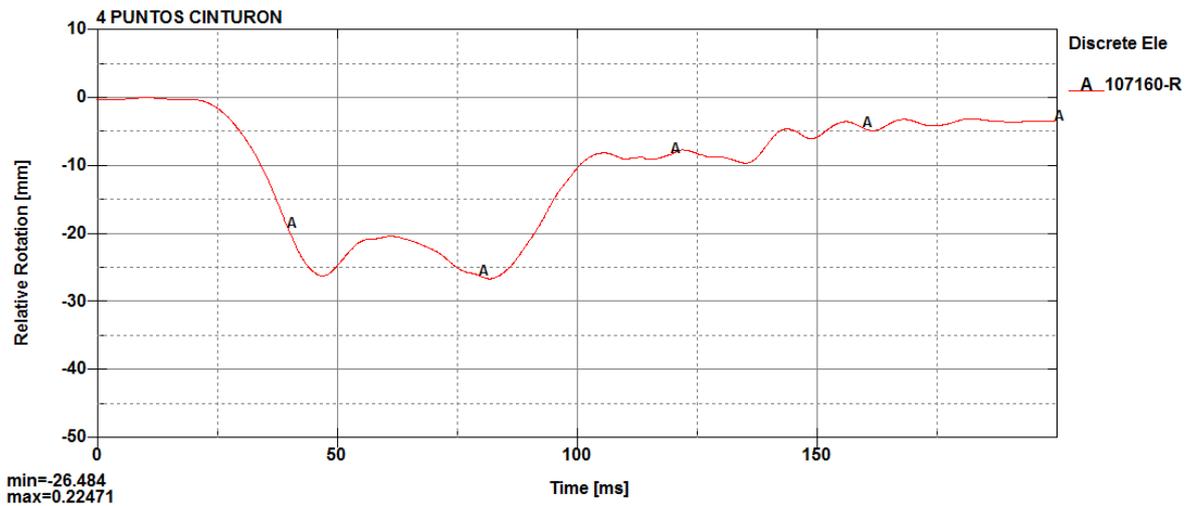


Figura 28: Grafica de la deformación de las costillas mediante la simulación con un cinturón de cuatro puntos.
Fuente: Autores

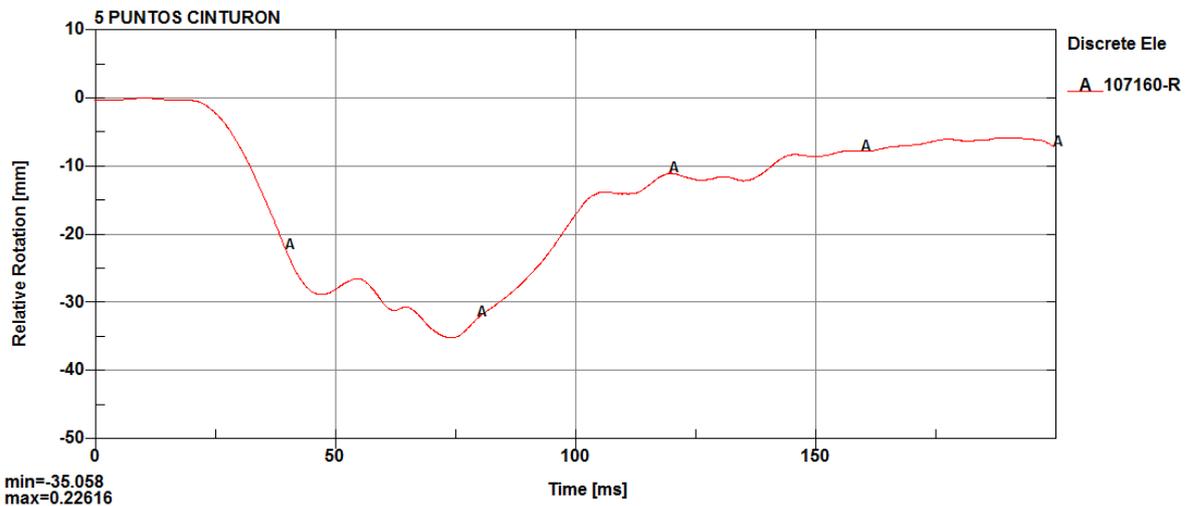


Figura 29: Grafica de la deformación de las costillas mediante la simulación con un cinturón de cinco puntos.
Fuente: Autores

3.4. Criterio de comportamiento de la pelvis.

Para lo que corresponde al criterio de comportamiento de la pelvis, también se tiene un valor límite al cual puede llegar en cuanto a su deformación el cual se puede observar en la tabla 11.

Zona	Limite
Pelvis del conductor	4.10 KN

Tabla 11: Limite de criterio de comportamiento de la pelvis.
Fuente EuroNCAP.

3.4.1. Valores para el comportamiento de la pelvis

Según la EuroNCAP para que la pelvis sufra daños graves, esta tiene que sobrepasar el valor máximo que es de 4.1 KN, una vez sobrepasado este valor, pueden haber deformaciones o rupturas en la pelvis o cadera como se puede observar en la tabla 12.

De 1 a 3 KN	De 3 a 4.1 KN	Mayor a 4.1 KN
Presión mínima contra el cinturón, sin daños en la pelvis	Presión considerable contra el cinturón, presencia de molestias leves en la pelvis.	Al sufrir una fuerza mayor a 4.1 KN hay muchas probabilidad de sufrir daños graves como rotura, etc.

Tabla 12: Valores del comportamiento de la pelvis.

Fuente: EuroNCAP

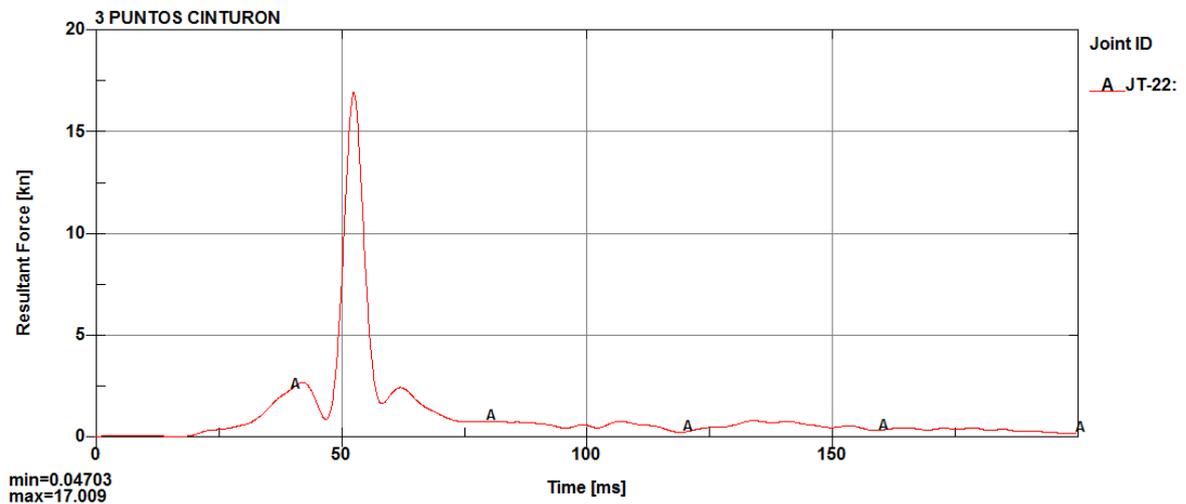


Figura 30: Grafica del comportamiento de la pelvis en la junta 22 con respecto al cinturón de tres puntos.

Fuente: Autores

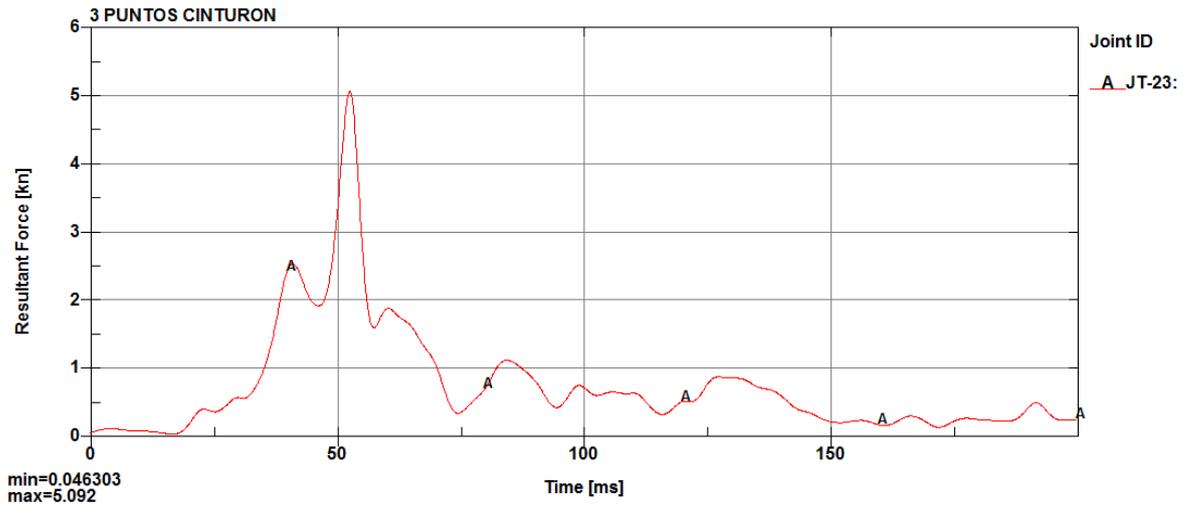


Figura 31: Grafica del comportamiento de la pelvis en la junta 23 con respecto al cinturón de tres puntos.
Fuente: Autores.

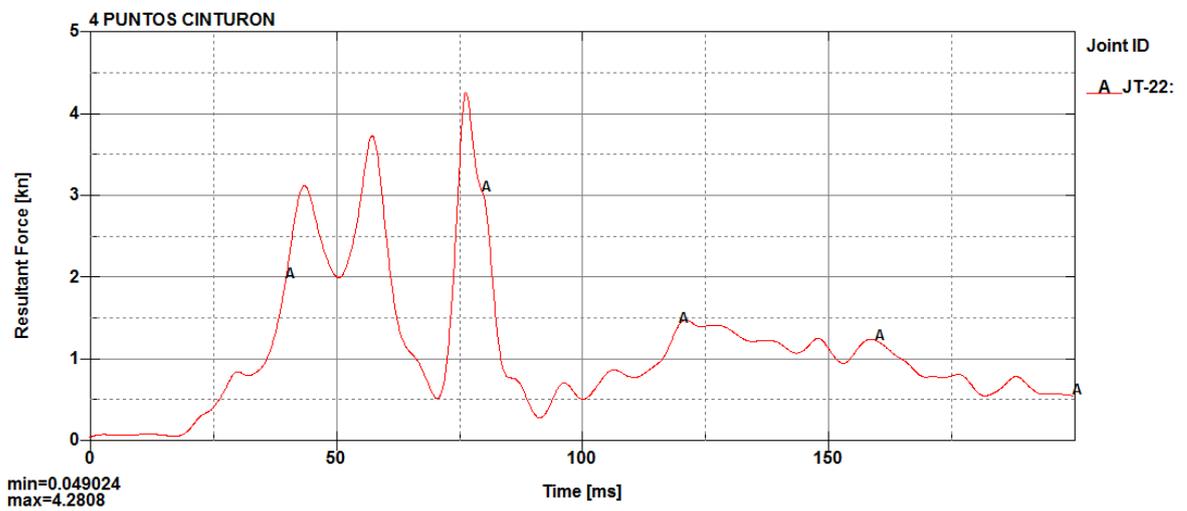


Figura 32: Grafica del comportamiento de la pelvis en la junta 22 con respecto al cinturón de cuatro puntos.
Fuente: Autores

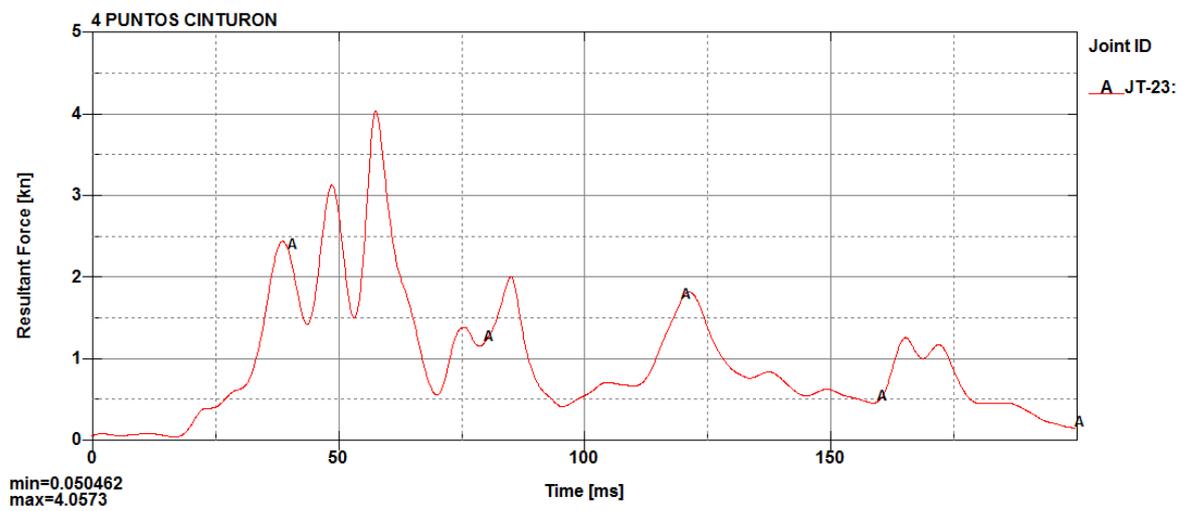


Figura 33: Grafica del comportamiento de la pelvis en la junta 23 con respecto al cinturón de cuatro puntos.

Fuente: Autores

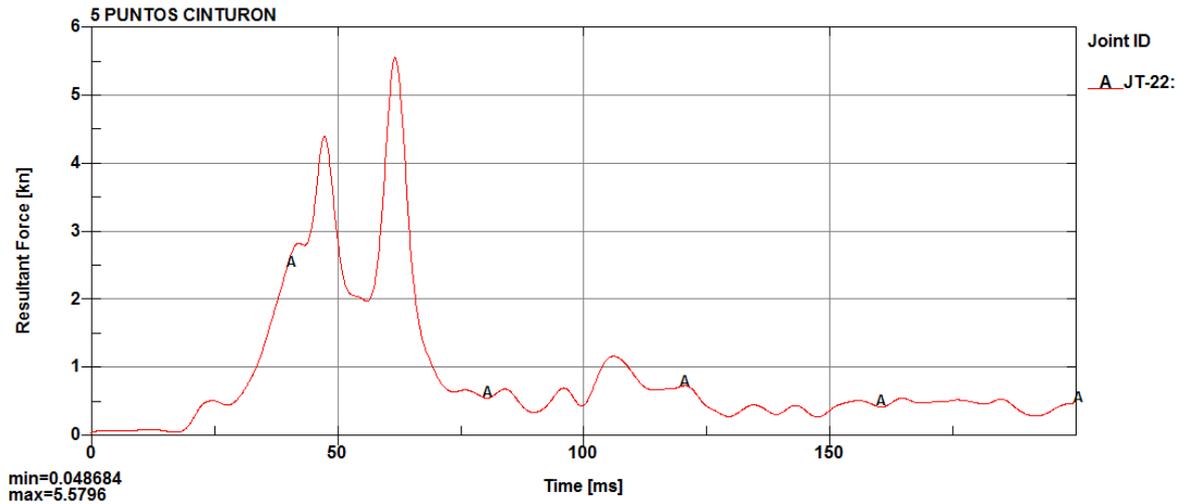


Figura 34: Grafica del comportamiento de la pelvis en la junta 22 con respecto al cinturón de cinco puntos.
Fuente: Autores.

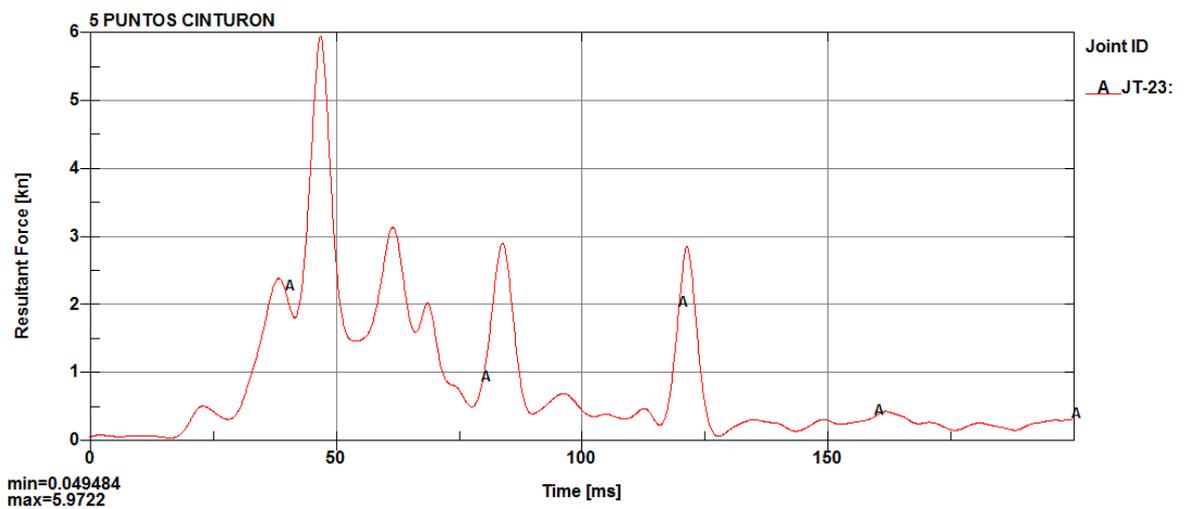


Figura 35: Grafica del comportamiento de la pelvis en la junta 23 con respecto al cinturón de cinco puntos.
Fuente: Autores.

3.5. Pruebas de cinturones de tres puntos.

En este apartado lo que se realiza es la simulación del vehículo en el programa, utilizando primero el cinturón de tres puntos. Como se puede observar en las figuras 36, 37, 38 y 39, como es el comportamiento del Dummy y como se deforma el vehículo.

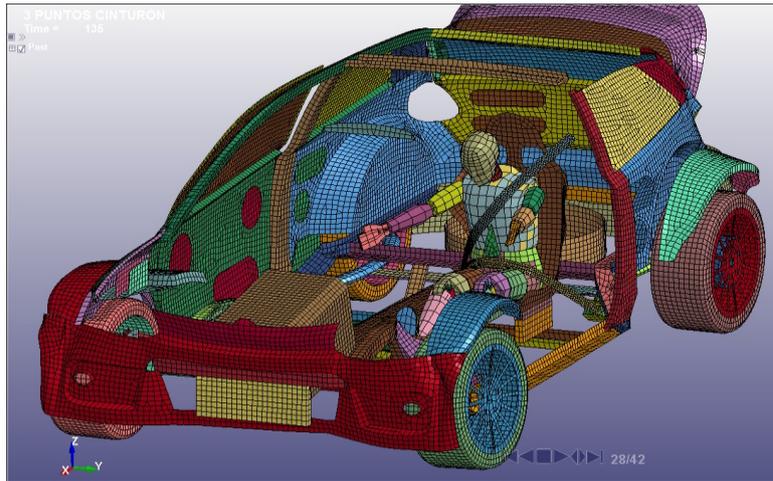


Figura 36: Vehículo ensamblado con cinturón de tres puntos.
Fuente: Autores

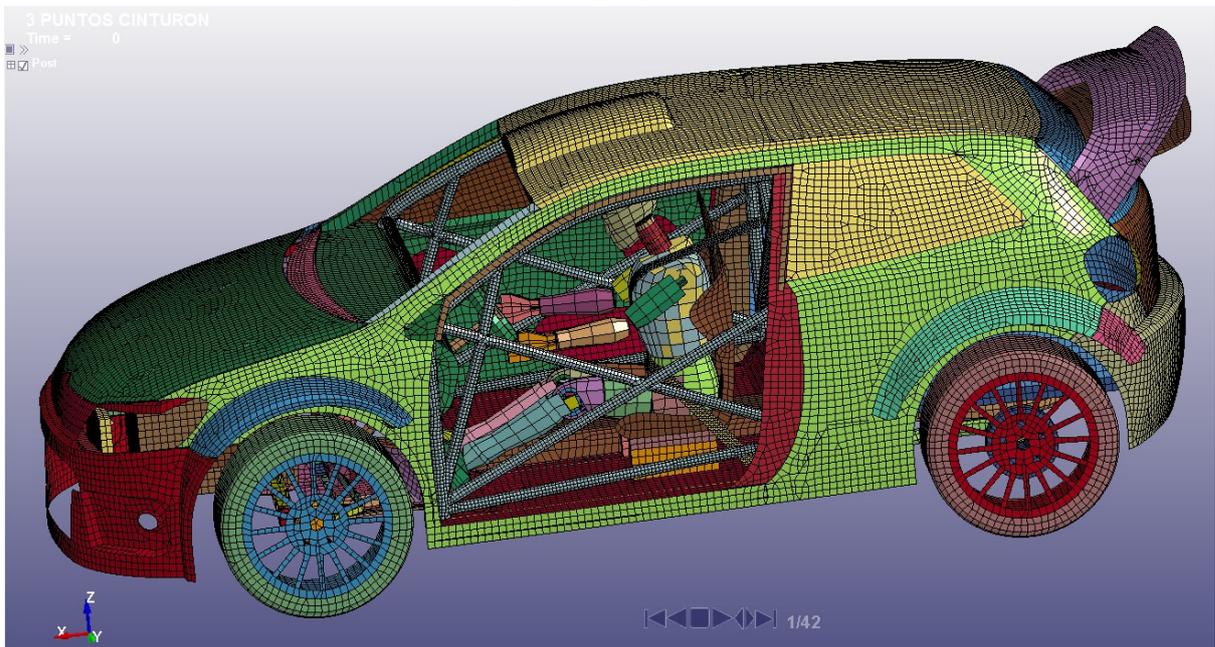


Figura 37: Simulación del vehículo con un cinturón de tres puntos antes del impacto.
Fuente: Autores.

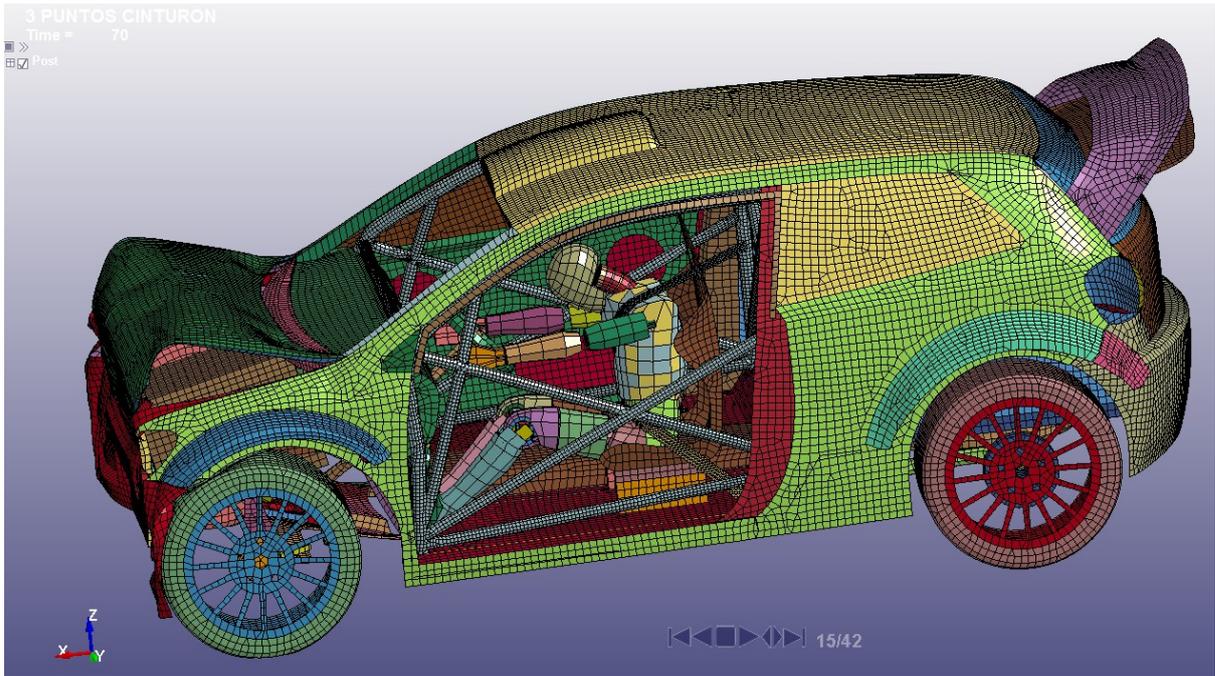


Figura 38: Simulación del vehículo con un cinturón de tres puntos durante el impacto.
Fuente: Autores

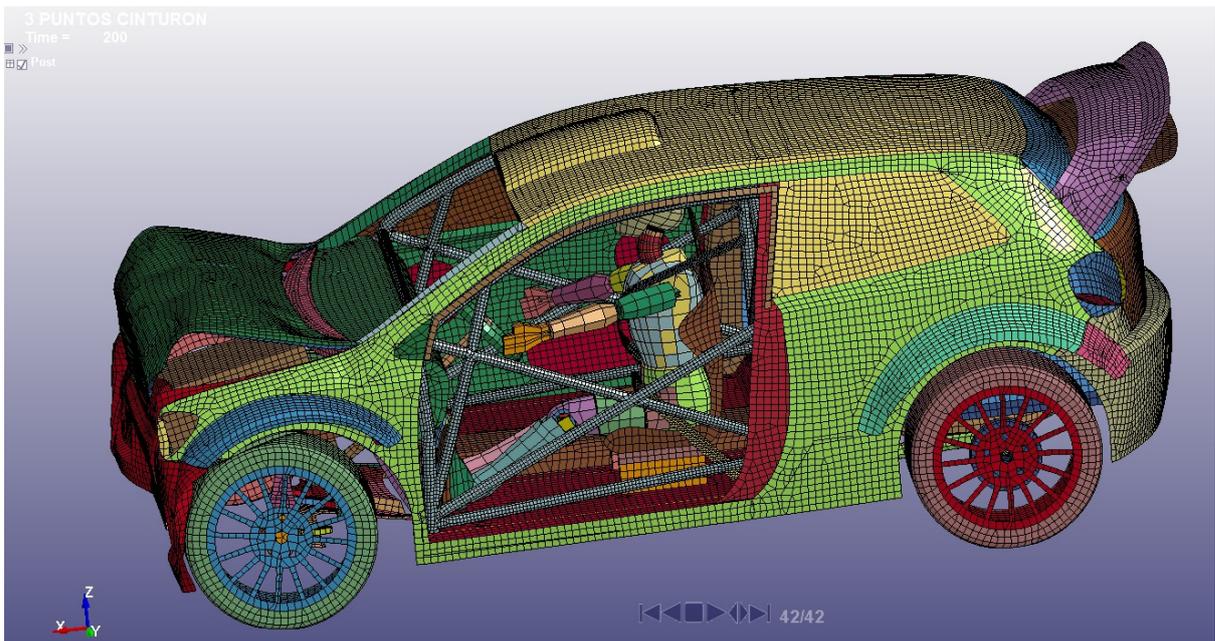


Figura 39: Simulación del vehículo con un cinturón de tres puntos después del impacto.
Fuente: Autores.

3.6. Pruebas de cinturones de cuatro puntos.

En este punto utilizando el cinturón de cuatro puntos en el programa se puede observar en las figuras 40, 41, 42 y 43, como se deforma el vehículo y como es el comportamiento del dummy al momento del impacto.

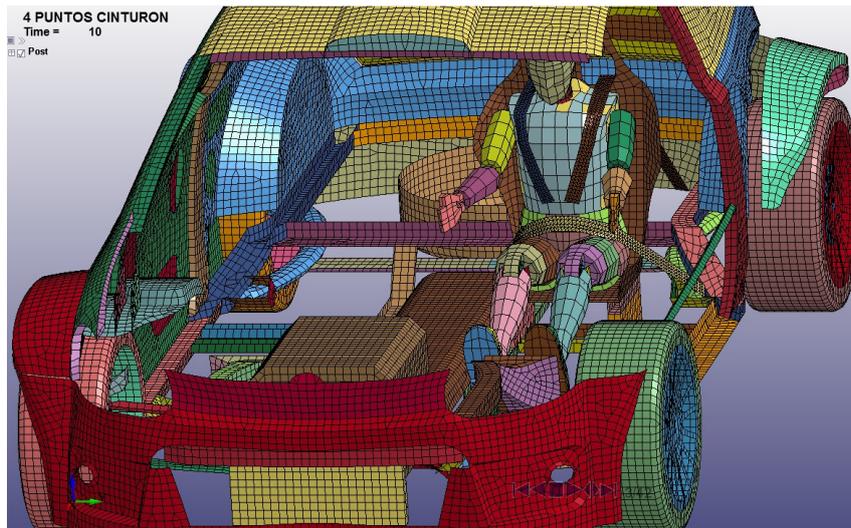


Figura 40: Vehículo ensamblado con cinturón de cuatro puntos.

Fuente: Autores.

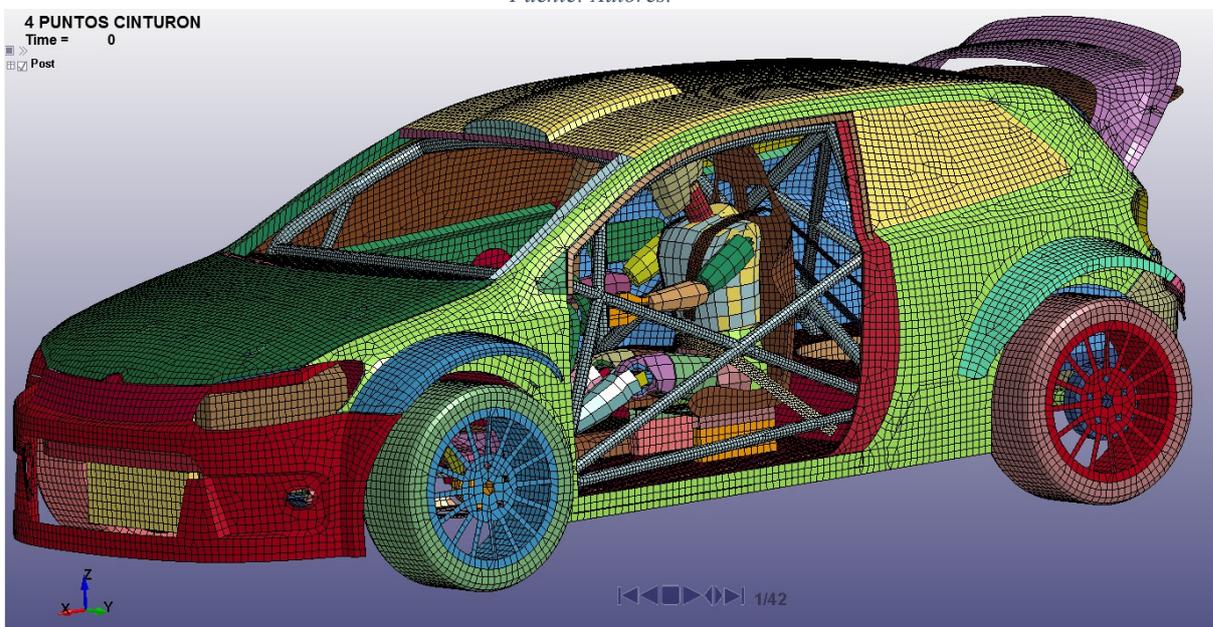


Figura 41: Simulación del vehículo con un cinturón de cuatro puntos antes del impacto.

Fuente: Autores

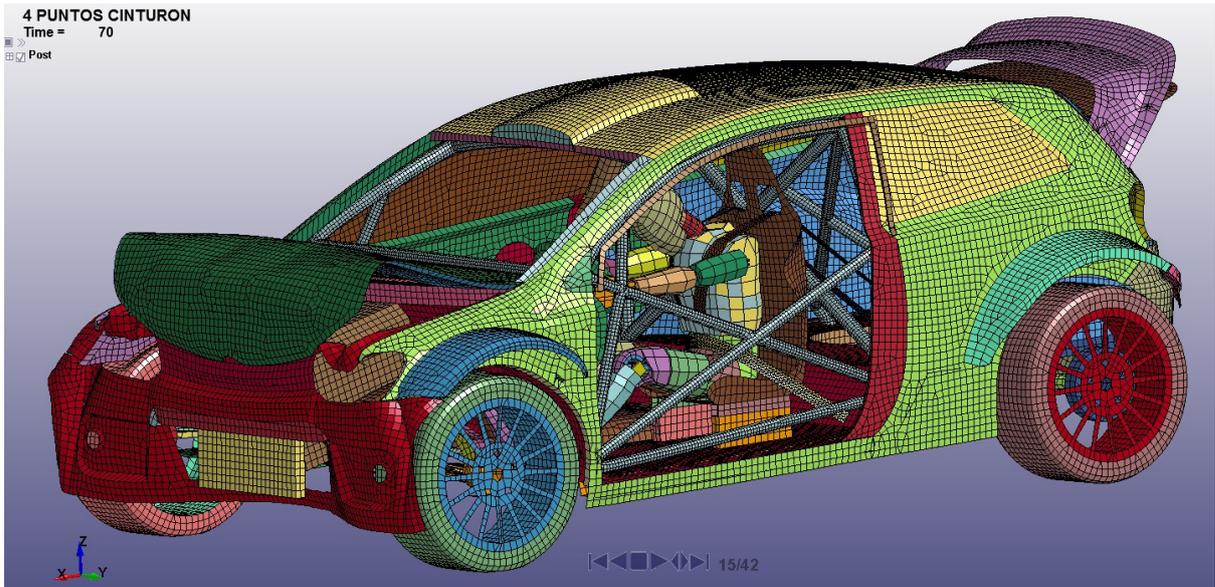


Figura 42: Simulación del vehículo con un cinturón de cuatro puntos durante el impacto.
Fuente: Autores

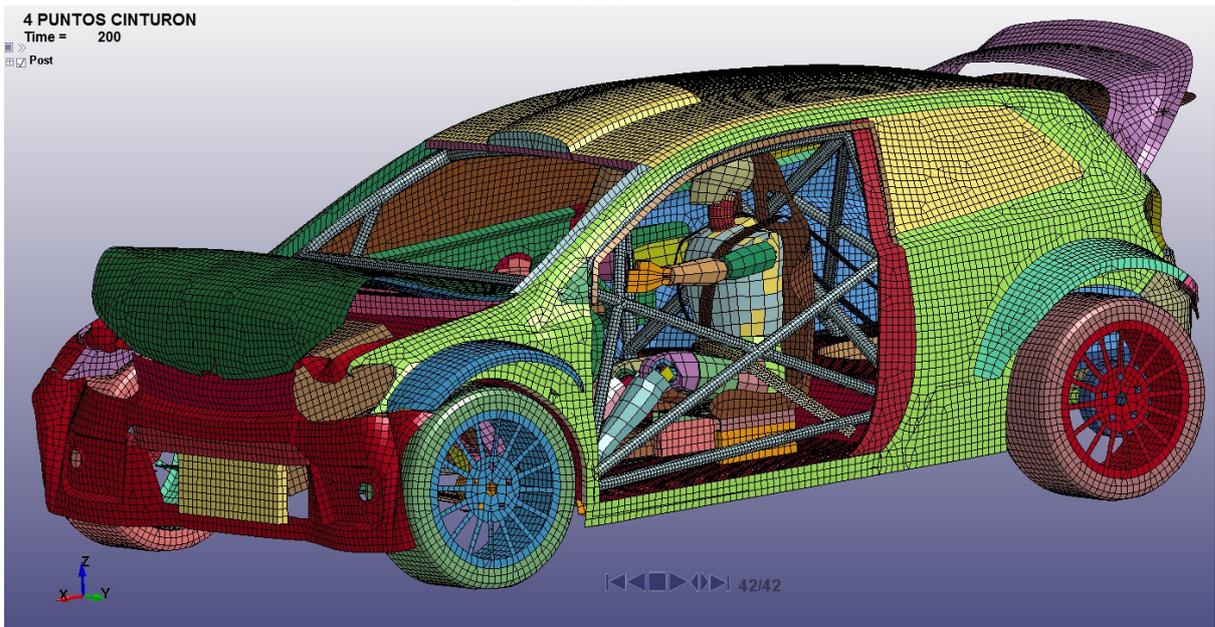


Figura 43: Simulación del vehículo con un cinturón de cuatro puntos después del impacto.
Fuente: Autores

3.7. Pruebas de cinturones de cinco puntos.

Finalmente se aplica la simulación con el cinturón de cinco puntos, observando en las figuras 44, 45, 46 y 47 como se comporta el dummy y el vehículo al momento del impacto.

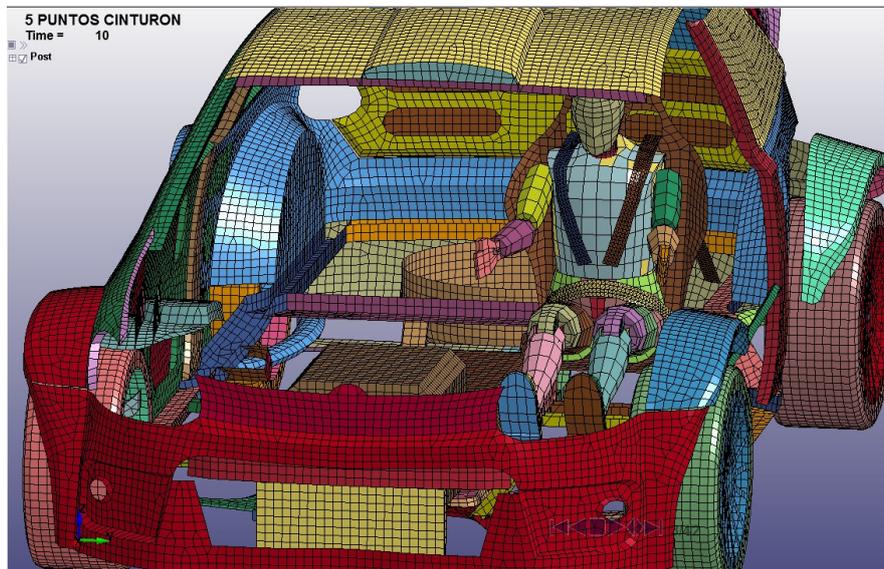


Figura 44: Vehículo ensamblado con cinturón de cinco puntos.

Fuente: Autores

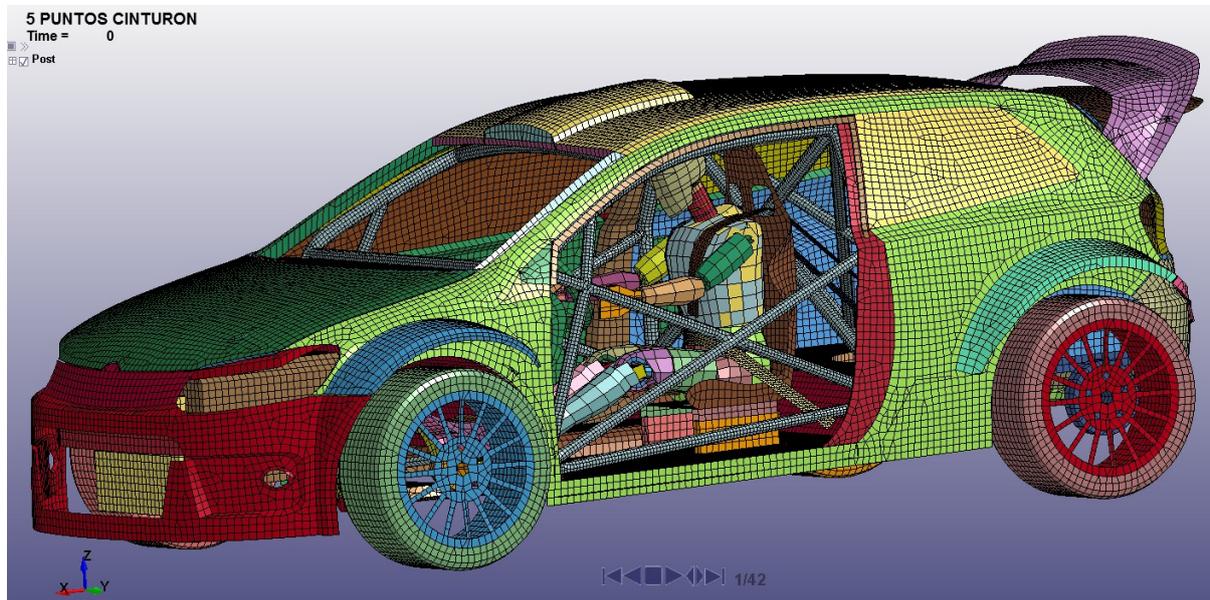


Figura 45: Simulación del vehículo con un cinturón de cinco puntos antes del impacto.

Fuente: Autores

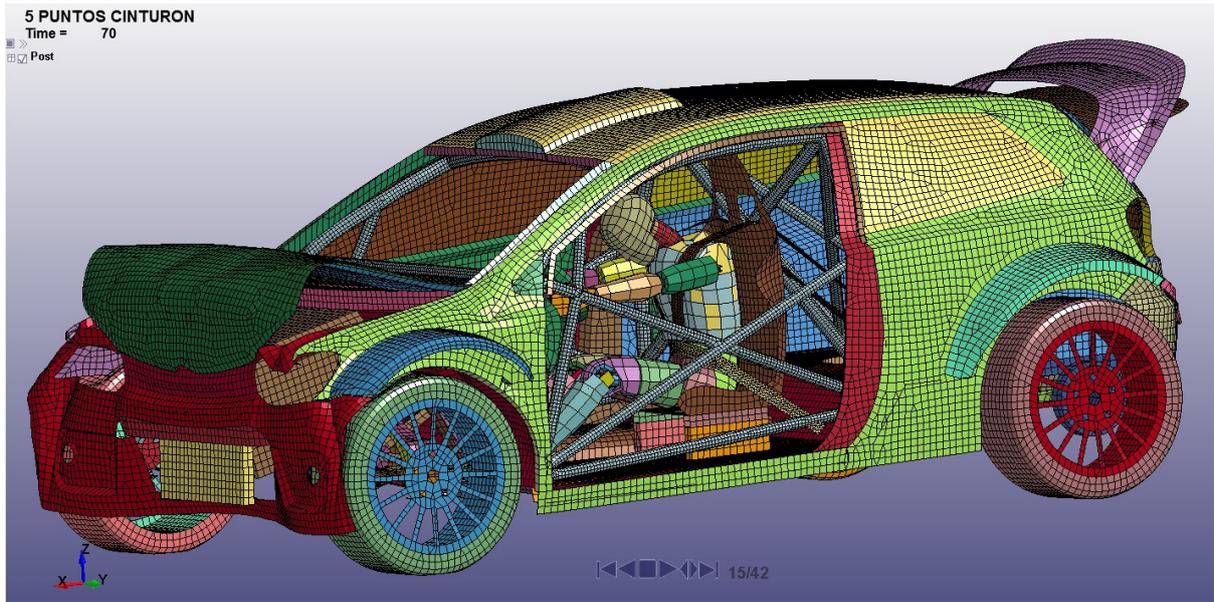


Figura 46: Simulación del vehículo con un cinturón de cinco puntos durante el impacto.
Fuente: Autores

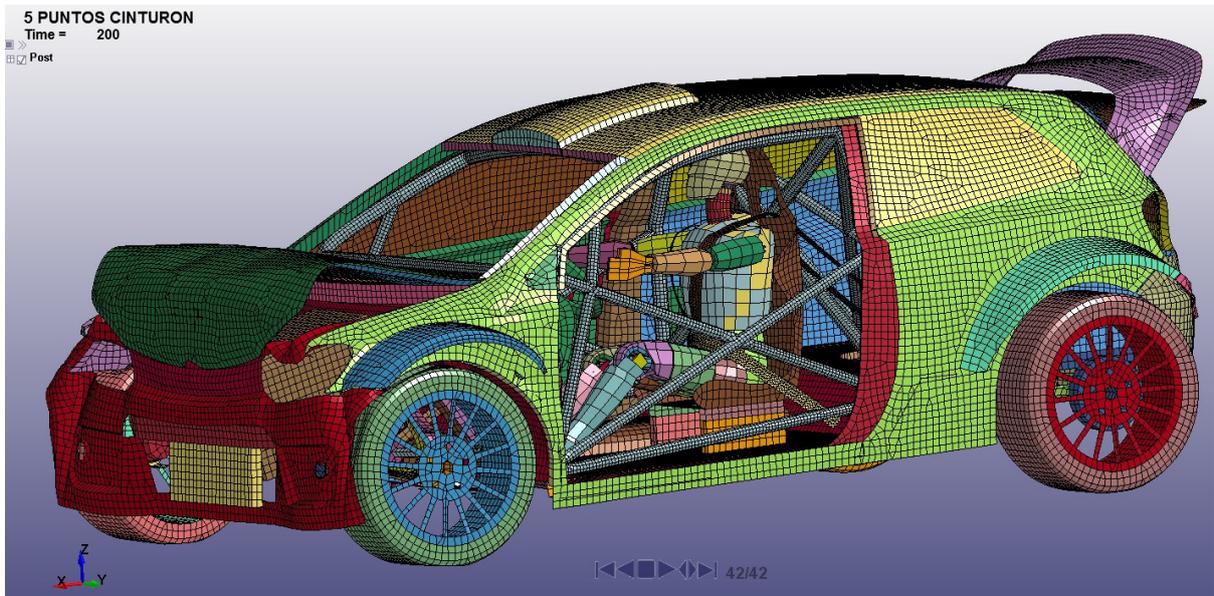


Figura 47: Simulación del vehículo con un cinturón de cinco puntos después del impacto.
Fuente: Autores

Capítulo 4

4. Análisis de resultados.

Una vez obtenidas todas las simulaciones realizadas mediante los análisis de elementos finitos, lo cuales respectan a los cinturones de tres, cuatro y cinco puntos, se pudo obtener los siguientes resultados.

- Criterio de comportamiento de la cabeza HIC.
- Deformación de las costillas
- Criterio de comportamiento de la pelvis.

Recordando los valores máximos que pueden alcanzar, lo cuales se encuentran detallados en las tablas 7, 9 y 11.

4.1. Obtención de los resultados realizados en la simulación con el cinturón de tres puntos.

Los resultados obtenidos en la tabla 13, son producto de las simulaciones que se detallan en las figuras 24, 27, 30 y 31.

Cinturones.	Hic	Deformación de las costillas	Criterio de comportamiento de la pelvis	
			Jt: 22	Jt: 23
Tres puntos	274.4	39.049 mm	17.009 KN	5.092KN

Tabla 13: Resultados de la simulación con un cinturón de tres puntos.

Fuente: Autores.

4.2. Obtención de los resultados realizados en la simulación con el cinturón de cuatro puntos.

Los resultados obtenidos en la tabla 14, son producto de las simulaciones que se detallan en las figuras 25, 28,32 y 33.

			Criterio de comportamiento de la pelvis
--	--	--	---

Cinturones.	Hic	Deformación de las costillas	Jt: 22	Jt: 23
Cuatro puntos	389.6	26.484 mm	4.28 KN	4.05 KN

Tabla 14: Resultados de la simulación con un cinturón de cuatro puntos.

Fuente: Autores.

4.3. Obtención de los resultados realizados en la simulación con el cinturón de cinco puntos.

De igual manera podemos observar los resultados obtenidos en la tabla 15, los cuales son producto de las simulaciones que se detallan en las figuras 26, 29, 34 y 35.

Cinturones.	Hic	Deformación de las costillas	Criterio de comportamiento de la pelvis	
			Jt: 22	Jt: 23
Cinco puntos	382.6	35.058 mm	5.57 KN	5.97 KN

Tabla 15: Resultados de la simulación con un cinturón de cinco puntos.

Fuente: Autores.

4.4. Obtención del mejor tipo de cinturón de seguridad.

Según los resultados obtenidos en todas las simulaciones que se han realizado, como se observa en la tabla 16, se determina que para nuestro prototipo de vehículo de rally Volks Wagen Polo, se escogerá el cinturón de seguridad de cuatro puntos.

Ya que este tipo de cinturón es el que le da mejores prestaciones, mayor seguridad y sobre todo hace que el piloto se mantenga fijo en su sitio y evita que su biomecánica sea afectada por la colisión frontal.

Cinturones.	Hic	Deformación de las costillas	Criterio de comportamiento de la pelvis	
			Jt: 22	Jt: 23
Tres puntos	274.4	39.049 mm	17.009 KN	5.092KN
Cuatro puntos	389.6	26.484 mm	4.28 KN	4.05 KN
Cinco puntos	382.6	35.058 mm	5.57 KN	5.97 KN

Tabla 16: Comparación de resultados de las simulaciones.

Fuente: Autores.

Conclusiones

- Mediante el análisis biomecánico del piloto en colisiones de competencias automovilísticas simulado con tres cinturones de seguridad, observamos con la investigación que se encuentra el más común utilizado por todo vehículo que es el de tres puntos, luego con el de cuatro puntos y seguidamente con el de cinco puntos, existen muchos más cinturones de seguridad, cada uno con su respectivo fin, pero para nuestro estudio y enfocándonos en autos de competencia se tomaron estos tres cinturones por el motivo de que al momento de sujetarse con el chasis brinda una protección más efectiva.
- Como sabemos el cinturón de seguridad está elaborado de diferentes tipos de materiales lo cual para nuestro análisis se nos hace muy extenso examinar y simular uno por uno, por lo que tomamos como referencia al modelo de material elastoplástico realizado por Von Mises el cual consta de endurecimiento isotrópico y efectos de velocidad de deformación; uno de los modelos de materiales más utilizados en un software de diseño de elementos finitos para este tipo de simulaciones, este modelo nos sirve para tomar como referencia base a todos los materiales que está compuesto el cinturón de seguridad y los materiales del vehículo. Para la estructura tubular va a ser el material que se usa en nuestro país, la NTE INEN 2415. Cuando hablamos de impactos en autos de competencias existen nueve tipos de colisiones más comunes donde se presenta el contacto pero basados en las estadísticas de accidentes de tránsito más de las dos terceras partes son frontales, presentando un porcentaje de entre 30 y 50 por ciento de cobertura en la parte. Por tal motivo nos enfocaremos en el análisis del choque frontal con respecto al piloto.
- Al simular en el software de elementos finitos analizamos el criterio de comportamiento

de la cabeza con el fin de que el contacto máximo que se da al momento de surgir un impacto según la EURONCAP no sea mayor de los 700 segundos. En este caso para el cinturón de tres puntos obtuvimos un valor de contacto máximo de 274.4 segundos, para el cinturón de cuatro puntos un valor de 389.6 segundos y para el de cinco puntos un valor de 382.6 segundos. En cuanto al criterio de comportamiento de las costillas según la EURONCAP la deformación máxima que se da en la costilla al momento de surgir un impacto es de 60 mm. En este caso para el cinturón de tres puntos obtuvimos un valor de deformación máxima de 39.049 mm, para el cinturón de cuatro puntos un valor de 26.484 mm y para el de cinco puntos un valor de 35.058 mm. Y finalmente para el criterio de comportamiento de la pelvis según la EURONCAP la fuerza de contacto máxima que se da en la pelvis al momento de surgir el impacto es de 4.1 KN. En este caso para el cinturón de tres puntos obtuvimos un valor de fuerza de contacto máximo de 5.092 KN, para el cinturón de cuatro puntos un valor de 4.05 KN y para el de cinco puntos un valor de 5.97 KN.

- Concluyendo que para nuestro análisis con un vehículo de competencia Volkswagen Polo se debe utilizar un cinturón de seguridad de 4 puntos con criterios de comportamiento de 389.6 segundos de contacto, una deformación de costillas de 26.484 mm y una fuerza máxima de contacto pélvico de 4.05 KN cumpliendo con las mejores prestaciones, mayor seguridad y sobre todo hace que el piloto se mantenga fijo en su sitio y evita que su biomecánica sea afectada por la colisión frontal.

Recomendaciones

- Para el desarrollo de la simulación, esta se realiza con un solo pasajero dentro del habitáculo del vehículo, para esto se recomienda crear todo tipo de escenarios más reales que se puedan presentar al momento de la simulación para futuros trabajos; estos escenarios deben tener en cuenta la aplicación de un copiloto al diseño, observando cual es la posibilidad de que este se golpee con los elementos que se encuentren dentro de la carrocería, como ventanas, tablero, jaula antivuelco, o inclusive hasta con el mismo piloto.
- Con respecto al diseño y modelado del vehículo, se recomienda primeramente analizar el correcto funcionamiento y elaboración, tanto del vehículo como de los elementos que serán acoplados o ensamblados después en el programa, como por ejemplo los dummies, ya que estos al no estar bien diseñados pueden generar errores al momento de la simulación o por otro lado generar resultados muy diferentes a los que originalmente deberían presentarse.
- En el desarrollo de la simulación se presentaron inconvenientes con respecto al tema computacional, ya que la simulación requiere varias horas para completarse, tomando en cuenta que se utilizó un procesador de uso personal. Intel Core i7. Por lo que al querer reducir el tiempo de modelado se puede utilizar un equipo con mayores y mejores prestaciones, también se puede reducir el tiempo de modelado implementando un dummy con menos nodos y que presente un modelo geométrico mas sencillo.

Referencias Bibliográficas

[1] B. Ricardo, M. Paul, P. Jonatan. (2017). Análisis Estructural mediante el método de elementos finitos del chasis del vehículo Formula SAE eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca 2017. 7 de abril del 2021, de dspace.ups.edu.ec Sitio web: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15081/1/UPS-CT007439.pdf>

[2] C. Mauro, L. Rafael, M. Paul. (2016). Análisis del comportamiento de los cinturones de seguridad en base a la edad de los pasajeros de furgonetas de transporte escolar de la zona urbana del cantón de Cuenca. 7 de abril del 2021, de Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana Sitio web: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12468/1/UPS-CT006473.pdf>

[3] MUCINO, V SMITJ, J E THOMPSON, G J AIDA, T FABELA GALLEGOS, M J LOZANO GUZMAN, A. (1999). COMPORTAMIENTO AL CHOQUE DE LOS VEHICULOS ALGUNAS INVESTIGACIONES RELACIONADAS. 7 de abril de 2021, de SCIENCIAS ENGINEERING MEDICINE. Sitio web: <https://trid.trb.org/view/947629>

[4] M. Jaime, L. Beatriz. (2011). Modelado de diferentes tipos de cinturones de seguridad y estudio de su efecto en caso de colisión frontal mediante para el ensayo. 7 de abril del 2021, de e-Archivo Principal - Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Mecánica Sitio web: <http://creandoconciencia.org.ar/enciclopedia/accidentologia/modelos-fisicos-matematicos/SIMULACION-DE-CHOQUE-FRONTAL.pdf>

[5] S. Jesús, L. Beatriz. (2011). Simulación de un choque lateral con Dummy sin cinturón mediante LS-DYNA. 7 de abril del 2021, de e-Archivo Principal - Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Mecánica Sitio web: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/13097>

[6] C. Pablo, C. Hernán. (2020). El cinturón de seguridad y el índice de mortalidad por

accidentes de tránsito. 7 de abril del 2021, de Repositorio Institucional UNIANDES Sitio web: <http://dspace.uniandes.edu.ec/bitstream/123456789/12086/1/PIURAB008-2020.pdf>

[7] “Seguridad vial: El cinturón de seguridad” Instituto de investigación sobre reparación de vehículos – Editorial centro Zaragoza, 2ª Edición, 2003.

[8] “Informe Volvo de seguridad vial 2008” – www.volvo.com (abril 2021)

[9] Beneficios del cinturón “X” en caso de impacto frontal, lateral y vuelco” - www.autoliv.com (Abril, 2021)

[10] Schroth. (2004). Installation - and Operating Instructions for Racing Harnesses. 7 de abril del 2021, de SCHROTH Safety Products Sitio web: <https://www.tillett.co.uk/shop/documents/downloads/seat-belt-fitting-information-2012.pdf>

[11] Hernando Lorenzo AE, García-Nieto Gómez-Guillamón F, Menchaca Anduaga A. (2013). Biomecánica de lesiones: utilidad en la valoración del daño corporal. Revista Portuguesa do Dano Corporal, 24, [p. 41-55].

[12] A. Hernando Lorenzo, M. Calvo Menchaca. (1999). Biomecánica del accidente de tráfico. PUESTA AL DÍA EN URGENCIAS, EMERGENCIAS Y CATÁSTROFES, 1, pp 8-13.

[13] Euro NCAP. (2021). ASSESSMENT PROTOCOL – ADULT OCCUPANT PROTECTION. 2021, de Copyright © 2021 Euro NCAP Sitio web: <https://cdn.euroncap.com/media/58227/euro-ncap-assessment-protocol-aop-v912.pdf>

[14] Sarba Guha Dilip Bhalsod Jacob Krebs. (November 30, 2011). LSTC Hybrid III 50th Fast Dummy Positioning & Post-Processing. DUMMYES, 1, 28.

[15] V. Hugo. (2016). Estudio de la eficiencia de los cinturones de seguridad de vehículos categoría M1 y N1 según norma RTE INEN 034. 30 de junio del 2021, de Repositorio.uide.edu.ec Sitio web: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1233/1/T-UIDE-0947.pdf>

Anexos.

ANEXO 1

Propiedades de los materiales.

NTE INEN 2415

2013

TABLA 2. Clasificación y propiedades mecánicas de los tubos ¹

Grado	Descripción	Límite de fluencia mín. (MPa)	Resistencia a la tracción mín. (MPa)	Elongación % mín. $\geq 3,05$ mm de espesor
AC	Tubo Para usos generales	205 a 340	-----	≥ 25
A	Tubos estructurales Sección Circular	230	310	25
B		290	400	23
C		315	425	21
D		250	400	23
A	Tubos estructurales Sección cuadrada, rectangular o especial	270	310	25
B		315	400	23
C		345	425	21
D		250	400	23

¹ ASTM A500/A500M Tabla 2 Tensile requirements.

Creación del material: Como se mencionó anteriormente, el material es 'Acero' y las unidades a considerar deben estar en (g, mm, ms) sistema de unidades.

No	Parámetro	Valor	Unidades
1	Densidad	7.85e-3	g / mm^3
2	El módulo de Young	2.1e + 5	$g / (mm * ms^2)$
3	Ración de Poisson	0,3	Constante
4	Fuerza de producción	350	MPa

Se ha tomado un MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY 24 y los valores de los parámetros en la tabla se han asignado con un MID de 1

Keyword Input Form

NewID MatDB RefBy Pick Add Accept Delete

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 new_crash_box_

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_(TITLE) (024) (1)

TITLE
Crash Box Material (steel)

MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	TDEL
1	1	0.0078500	2.100e+05	0.3000000	350.00000	1.000e+04	1.000e+21
2	C	P	LCSS <input type="checkbox"/>	LCSR <input type="checkbox"/>	VP <input type="text"/>		
3	EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7
4	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7

Plot Raise New Padd

ANEXO 2

Especificación de cinturones y posiciones.

Class	Seating position	Type of seatbelt required	Type of seatbelt anchorages required	Other requirements for seatbelts	Other requirements for seatbelt anchorages
LE1 ³ LE2 ³	Driver's	A ^{2,4,5}	Three-point anchorages for Type A seatbelts	Compliance with general safety requirements in 2.2 and with one or more of the standards listed in <i>Schedule 2, List A or List B</i> , as specified in 2.5	Compliance with general safety requirements in 2.3 For seatbelt anchorages retrofitted before 1 April 2002, refer to 4.1(6) For seatbelt anchorages retrofitted on or after 1 April 2002, refer to 4.1(9) and 4.1(10)
MA	Front outer	A ^{2,4,5}			
MB	Front middle	—			
MC	Rear outer	—			
NA	Rear middle	—			
Other classes and motor vehicles not in <i>Table A</i>	Driver's	—			
	Front outer	—			
	Front middle	—			
	Rear outer	—			
	Rear middle	—			

Class	Seating position	Type of seatbelt required	Type of seatbelt anchorages required	Other requirements for seatbelts	Other requirements for seatbelt anchorages
LE1 ⁴ LE2 ⁴ MA ⁸ MB MC	Driver's	A-ELR ^{2,5,7}	Two-point anchorages for Type B seatbelts	Compliance with general safety requirements in 2.2 and with one or more of the standards listed in <i>Schedule 2, List A or List B</i> , as specified in 2.5	Compliance with general safety requirements in 2.3 For seatbelt anchorages retrofitted before 1 April 2002, refer to 4.1(6)(a), 4.1(7) and 4.1(8) For seatbelt anchorages retrofitted on or after 1 April 2002, refer to 4.1(9) and 4.1(10)
	Front outer	A-ELR ^{2,5,7}	Three-point anchorages for Type A seatbelts		
	Front middle	B ²			
	Rear outer ³	A ^{2,7}	Three- or four-point anchorages ⁶ for Type A-ELR seatbelts		
	Rear middle ³	B ²			
NA	Driver's	A-ELR ^{2,5,7}			
NA	Front outer	A-ELR ^{2,5,7}			
	Front middle	B ²			
	Rear outer ³	–			
	Rear middle ³	–			
	Other classes and motor vehicles not in <i>Table A</i>	Driver's		–	
Other classes and motor vehicles not in <i>Table A</i>	Front outer	–			
	Front middle	–			
	Rear outer ³	–			
	Rear middle ³	–			

Class	Seating position	Type of seatbelt required	Type of seatbelt anchorages required	Other requirements for seatbelts	Other requirements for seatbelt anchorages	
LE1 ⁶ LE2 ⁶ MA ¹⁰ MB MC	Driver's	A-ELR ^{2,7,9}	Two-point anchorages for Type B seatbelts	Compliance with general safety requirements in 2.2 and with one or more of the standards listed in <i>Schedule 2, List A</i> , as specified in 2.5	Compliance with general safety requirements in 2.3 and, if original equipment, one or more of the standards listed in <i>Schedule 3</i> , as specified in 2.7(2), except if 2.7(1) applies	
	Front outer	A-ELR ^{2,7,9}	Three-point anchorages for Type A seatbelts			
	Front middle	B ²				
	Rear outer ⁵	A ^{2,9}	Three- or four-point ⁸ anchorages for Type A-ELR seatbelts			
	Rear middle ⁵	B ²				
MD1 MD2 ³ NA	Driver's	A-ELR ^{4,7,9}				For seatbelt anchorages retrofitted before 1 April 2002, refer to 4.1(7) and 4.1(8)
	Front outer	A-ELR ^{4,7,9}				
	Front middle	B ²				
	Rear outer ⁵	–				
	Rear middle ⁵	–				
Other classes and motor vehicles not in <i>Table A</i>	Driver's	–		For seatbelt anchorages retrofitted on or after 1 April 2002, refer to 4.1(9) and 4.1(10)		
	Front outer	–				
	Front middle	–				
	Rear outer ⁵	–				
	Rear middle ⁵	–				

Class	Seating position	Type of seatbelt required	Type of seatbelt anchorages required	Other requirements for seatbelts	Other requirements for seatbelt anchorages
LE1 ³ LE2 ³	Driver's	A-ELR ⁴	Two-point anchorages for Type B seatbelts	Compliance with general safety requirements in 2.2 and with one or more of the standards listed in <i>Schedule 2, List A</i> , as specified in 2.5	Compliance with general safety requirements in 2.3 and, if original equipment, one or more of the standards listed in <i>Schedule 3</i> , as specified in 2.7(2)
MA MB MC MD1 MD2 NA	Front outer	A-ELR ⁴	Three-point anchorages for Type A seatbelts		
	Front middle	B			
	Rear outer ²	A-ELR ⁴	Three- or four-point ⁵ anchorages for Type A-ELR seatbelts		
	Rear middle ²	B			
NB NC	Driver's	A-ELR ⁴			
	Front outer	A-ELR ⁴			
	Front middle	B			
	Rear outer ²	–			
	Rear middle ²	–			
Other classes and motor vehicles not in <i>Table A</i>	Driver's	–			
	Front outer	–			
	Front middle	–			
	Rear outer ²	–			
	Rear middle ²	–			

ANEXO 3

Hybrid 3, percentil 50%.



PARTE	PESO (Kg)	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN (cm)
Cabeza	4.54	Circunferencia de la cabeza	59.70
Cuello	1.54	Anchura de la cabeza	15.50
Torso Superior	17.19	Longitud de la cabeza	20.30
Torso Inferior	23.04	Estatuta Sentado Erguido	88.40
Brazos Superiores	2.00	Longitud desde hombro a codo	33.80
Brazos inferiores	0.57	Longitud desde codo a muñeca	29.70
Manos	1.70	Longitud desde glúteo a rodilla	59.20
Piernas Superiores	5.99	Altura del piso a rodilla	49.60
Piernas Inferiores	4.29		
Pies	1.16		
Peso Total	77.70		