



“Análisis de la implementación de un airbag en el capo de vehículos tipo sedan usados en el transporte público y su incidencia en impactos frontales a peatones”

Quiguango Pinchao, Jonathan agosto

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

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

Ing. Msc. Iza Tobar, Henry Heriberto

31 de enero del 2023

Reporte de Verificación de Contenido

Document Information

Analyzed document	TESIS QUIGUANGO JONATHAN.pdf (D158532245)
Submitted	2/13/2023 3:12:00 PM
Submitted by	Juan Carlos Altamirano
Submitter email	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	jc.altamiranoc.uta@analysis.arkund.com

Ing. Henry H. Izquierdo Tabares
 CC: 0502005212
 100013630

Sources included in the report

SA	ANÁLISIS DE LAS LESIONES EN LA CABEZA DEL PILOTO_VUELCO.pdf Document ANÁLISIS DE LAS LESIONES EN LA CABEZA DEL PILOTO_VUELCO.pdf (D110939115)	8
SA	XavierMontaño.pdf Document XavierMontaño.pdf (D110217096)	3
W	URL: https://www.esss.co/es/blog/aplicaciones-de-crashworthiness-utilizando-ls%20dyna/ Fetched: 2/13/2023 3:14:00 PM	2
W	URL: http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15388/1/65T00369.pdf Fetched: 2/13/2023 3:12:00 PM	5
SA	jeffersonarce.docx Document jeffersonarce.docx (D110375737)	3
W	URL: https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6848/1/T2931-MRI-Moreno-Estrategias.pdf Fetched: 2/13/2023 3:14:00 PM	6
SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / Tesis - Acosta Ramón Diego Hernán.pdf Document Tesis - Acosta Ramón Diego Hernán.pdf (D136338928) Submitted by: dacosta7767@uta.edu.ec Receiver: ch.arroba.uta@analysis.arkund.com	1
SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / TESIS_REMACHE_AGUSTIN.pdf Document TESIS_REMACHE_AGUSTIN.pdf (D158300041) Submitted by: danilo.remache@esPOCH.edu.ec Receiver: ch.arroba.uta@analysis.arkund.com	1
SA	TRL Tesis 21JUL2022-pinanjota-urk0.pdf Document TRL Tesis 21JUL2022-pinanjota-urk0.pdf (D142585742)	2
SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / Jessenia Niachimba_ Trabajo de Titulacion.docx Document Jessenia Niachimba_ Trabajo de Titulacion.docx (D110671131) Submitted by: jniachimba1404@uta.edu.ec Receiver: ch.arroba.uta@analysis.arkund.com	1



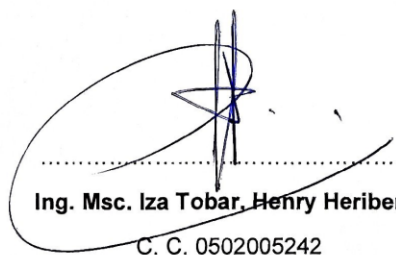
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Título" fue realizado por el señor **Quiguango Pinchao, Jonathan Augusto**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 14 de febrero del 2023



Ing. Msc. Iza Tobar, Henry Heriberto
C. C. 0502005242



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Quiguango Pinchao, Jonathan Augusto**, con cedula de ciudadanía n° 1723486575, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis de la implementación de un airbag en el capo de vehículos tipo sedan usados en el transporte público y su incidencia en impactos frontales a peatones** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 14 de febrero del 2023

Sr. Quiguango Pinchao, Jonathan Augusto

C.C. 1723486575



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de Publicación

Yo, **Quiguango Pinchao, Jonathan Augusto**, con cedula de ciudadanía n° 1723486575, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar al trabajo de titulación: **Análisis de la implementación de un airbag en el capo de vehículos tipo sedan usados en el transporte público y su incidencia en impactos frontales a peatones** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 14 de febrero del 2023

Sr. Quiguango Pinchao, Jonathan Augusto

C.C. 1723486575

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Augusto y Betty, de forma particular a mi madre quien desde mi educación primaria ha estado a mi lado animándome a dar lo mejor y no rendirme.

A mis hermanos Alexis, Andrés y Gabriela, los cuales han estado en cada momento de mi vida dándome su apoyo y cariño. Debo nombrar de forma especial a mi hermano Alexis, el cual no solo me dio su apoyo moral sino al contrario me ayudo de forma económica y permitió que este logro se haga realidad, pero sobre todo le agradezco su amor incondicional y el hecho de inspirarme a seguir adelante.

Quiguango Pinchao, Jonathan Augusto

Agradecimiento

A mis padres por permitirme culminar esta etapa de mi vida y a la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE-L por abrirme sus puertas.

Al ingeniero Henry Iza Tobar por el tiempo brindado para desarrollar y culminar este trabajo.

Quiguango Pinchao, Jonathan Augusto

ÍNDICE DE CONTENIDO

Caratula	1
Reporte de Verificación de Contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de Contenidos	8
Índice de Ecuaciones	15
Índice de Tablas	16
Índice de Figuras	18
Resumen	21
Abstract	22
Capítulo I: Generalidades	23
Antecedentes Investigativos	23
Planteamiento del Problema	24
Descripción Detallada del Proyecto	25
<i>Materiales del Automóvil</i>	31
<i>Resultados</i>	32
Justificación e Importancia	33
Objetivos del Proyecto	36
<i>Objetivo Principal</i>	36
<i>Objetivos Específicos</i>	36
Metas	36

Hipótesis	37
Capítulo II: Marco Teórico.....	38
Programas CAE.....	38
<i>Ansys LSDYNA</i>	38
Historia.....	39
Validación	40
Uso de LSDYNA	40
Pruebas y Valoraciones.....	41
UNECE	43
Protocolos de Atropellamiento	43
<i>Latin NCAP</i>	43
Variables a Tomar en Cuenta para la Calificación Latin-NCAP.....	43
Protección a Peatones y Usuarios Vulnerables de las Vías	44
Ensayos de Protección de Peatones	44
<i>Euro NCap</i>	45
Certificación	45
Mecanismos y Criterios de Lesión.....	45
<i>Cinemática del Impacto VRU</i>	45
<i>Mecanismos y Criterios de Lesiones en la Cabeza</i>	46
Mecanismos de Lesiones en la Cabeza.....	46
Fractura de Cráneo	46
Lesión Cerebral Focal	46
Lesión Cerebral Difusa.....	47
Mecanismo de Lesión por Contacto	47
Mecanismo de Daño por Inercia	47

Criterios de Lesiones en la Cabeza.....	48
<i>Mecanismos y Criterios de Lesión del Tórax</i>	50
Mecanismos de Lesión del Tórax.....	50
Criterios de Lesión Torácica.....	51
<i>Mecanismos y Criterios de Lesión de las Extremidades Inferiores.....</i>	53
Mecanismos de Lesión de la Extremidad Inferior	53
Criterios de Lesión de la Extremidad Inferior	54
<i>Protocolos de Ensayo para la Evaluación de la Seguridad de los Usuarios</i>	
<i>Viales Vulnerables.....</i>	56
<i>Comparación de Normativas para la Protección de los Usuarios Viales</i>	
<i>Vulnerables</i>	56
<i>Procedimiento de Ensayo de Impacto con Simulador de Cabeza en la</i>	
<i>Normativa.....</i>	58
<i>Comparación de los Nuevos Programas de Evaluación de Automóviles para</i>	
<i>la Protección de VRU.....</i>	60
<i>Procedimiento de Prueba de Impacto del Simulador de Piernas en NCAP.....</i>	60
<i>Procedimiento de Prueba de Impacto del Simulador de Cabeza en NCAP</i>	60
<i>Maniqués de Prueba</i>	63
Historia.....	63
Maniquís Para Pruebas de Impactos.....	63
Serie Hybrid III	64
Validación	64
<i>El airbag.....</i>	64
Historia del Airbag.....	65
Componentes del Airbag.....	65

Materiales del Airbag	66
Airbag para Peatones.....	66
<i>Vehículos.....</i>	<i>66</i>
Partes del Vehículo.....	66
Sistemas que Hacen Parte del Chasis.	66
Materiales Estructurales de los Vehículos	66
Propiedades Mecánicas.....	68
Módulo de Elasticidad vs Densidad	69
Resistencia vs Densidad	70
Coeficiente de Poisson	71
<i>Afectaciones a la Salud en Atropellamientos.....</i>	<i>72</i>
<i>Lesiones Ocasionadas por Accidentes.....</i>	<i>72</i>
<i>Tipología del Accidente.....</i>	<i>73</i>
<i>Siniestralidad Nacional.....</i>	<i>74</i>
Datos de la Agencia Nacional de Tránsito	74
<i>Reglamentos y Regulaciones para la Seguridad de Pasajeros y Peatones en Colisiones Automotrices.....</i>	<i>76</i>
Normativa Internacional Relacionada con la Seguridad Vial	76
Normativa Nacional Sobre Seguridad Vial	77
Cifras Ecuatorianas Sobre Siniestros de Tránsito	77
Capítulo III: Procedimiento de Simulación	79
Modelado 3D del Vehículo Tipo SEDAN.....	79
<i>Selección del Vehículo</i>	<i>79</i>
<i>Características del Modelo Base.....</i>	<i>81</i>
<i>Modelado del Vehículo Tipo Sedan.....</i>	<i>82</i>

Preparación del Modelo	84
<i>Creación de la Malla FEM.....</i>	87
Generación de la Malla de Elementos Finitos.....	87
<i>Preparación de la Malla de Elementos Finitos</i>	89
<i>Control de Calidad de la Malla de Elementos Finitos.....</i>	90
<i>Designación de Materiales y Secciones al Vehículo Base.....</i>	92
Material Elástico	93
Material de Plasticidad Lineal Por Partes.....	93
Material Lineal Plástico Modificado	94
Material Fabric	95
<i>Secciones de los Componentes.....</i>	96
<i>Designación de Materiales para los Componentes del Vehículo.....</i>	96
Peso Neto Vehicular del Modelo Sedan.....	98
Dummies para Ensayos	99
<i>Ubicación de Dummies.....</i>	99
<i>Contactos de Superficie.....</i>	101
<i>Contacto de Superficie Simple</i>	102
<i>Contacto entre Dos Superficies</i>	103
Airbag	104
<i>Ubicación de Airbag en el Vehículo Tipo Sedan.....</i>	104
Procesamiento de la Simulación.....	105
<i>Atropellamiento.....</i>	105
<i>Posición para el Ensayo.....</i>	105
<i>Condiciones del Protocolo.....</i>	106
Capitulo IV: Análisis de Resultados	109

Criterios de Comportamiento en Colisión Frontal.....	109
<i>Partes Biomecánicas de Análisis.....</i>	<i>109</i>
<i>Colisión Frontal Contra el Peatón.....</i>	<i>110</i>
<i>Criterio de Lesión en la Cabeza HPC.....</i>	<i>113</i>
<i>Criterio de Lesión del Cuello NIC.....</i>	<i>114</i>
Fuerza de Corte y Tracción	115
Momento de Flexión.....	116
<i>Compresión del Tórax ThCC.....</i>	<i>117</i>
<i>Fuerza sobre la Pelvis PSPF.....</i>	<i>118</i>
<i>Fuerza del Fémur FFC.....</i>	<i>119</i>
<i>Comportamiento de la Tibia.....</i>	<i>120</i>
Fuerza de Compresión.....	121
Momento de Flexión.....	122
Índice de Lesión TI	124
<i>Comparación de los Criterios según la Regulación y Tipo de Colisión.....</i>	<i>124</i>
Gravedad de la Lesión.....	126
Propuesta de Implementación de un Airbag para Peatones	131
<i>Objetivos</i>	<i>131</i>
<i>Aspectos Técnicos.....</i>	<i>131</i>
<i>Daños a la Salud a Reducir con la Implementación</i>	<i>132</i>
<i>Beneficios de Contar con el Airbag</i>	<i>132</i>
<i>Implementación del airbag.....</i>	<i>133</i>
Componentes.....	133
Diseño del Airbag	134
Instalación de elementos electrónicos	135

Cableado del airbag	135
Ubicación del Airbag.....	135
<i>Análisis de Costos</i>	<i>136</i>
<i>Conclusiones.....</i>	<i>138</i>
Beneficios de la Implementación del Airbag	139
Capítulo V: Marco Administrativo.....	141
Recursos	141
<i>Recursos Humanos.....</i>	<i>141</i>
<i>Recursos Tecnológicos.....</i>	<i>141</i>
Presupuesto.....	142
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.....	143
Conclusiones.....	143
Recomendaciones	145
Bibliografía	146
Anexos	154

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Criterio de lesión de la cabeza</i>	49
Ecuación 2 <i>Índice de Trauma Torácico (TTI)</i>	52
Ecuación 3 <i>Criterio Viscoso (VC)</i>	52
Ecuación 4 <i>Índice de la tibia</i>	120
Ecuación 5 <i>Momento de flexión resultante</i>	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características del maniquí de pruebas de impacto HIBRIDO III</i>	28
Tabla 2 <i>Condiciones para el proceso de simulación</i>	30
Tabla 3 <i>No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.</i>	39
Tabla 4 <i>Sistemas de evaluación de la protección UVV en NCAP</i>	42
Tabla 5 <i>Criterios de lesión y tolerancia para el cuerpo humano</i>	55
Tabla 6 <i>El índice de lesión de UVR en leyes y reglamentos</i>	59
Tabla 7 <i>El índice de lesiones de UVR en el programa de evaluación de automóviles nuevos</i>	62
Tabla 8 <i>Tipos de maniquís para impactos</i>	64
Tabla 9 <i>Los materiales: tipos y propiedades</i>	67
Tabla 10 <i>Propiedades mecánicas de los materiales</i>	68
Tabla 11 <i>Cinco pilares de la seguridad vial</i>	76
Tabla 12 <i>Características del modelo uno</i>	80
Tabla 13 <i>Características del modelo dos</i>	81
Tabla 14 <i>Características del modelo tres</i>	81
Tabla 15 <i>Características del modelo Base</i>	82
Tabla 16 <i>Asignación de materiales a los componentes del vehículo</i>	97
Tabla 17 <i>Propiedades mecánicas del airbag frontal</i>	104
Tabla 18 <i>Condiciones para impacto frontal a peatón</i>	106
Tabla 19 <i>Nodos y juntas para medición</i>	109
Tabla 20 <i>Simulación de colisión frontal sin seguridad pasiva</i>	110
Tabla 21 <i>Simulación de colisión frontal con seguridad pasiva</i>	112
Tabla 22 <i>Criterio HIC15-colisión frontal</i>	114
Tabla 23 <i>Criterio NIC fuerza de corte y tracción en colisión frontal</i>	115

Tabla 24 <i>Criterio NIC, momento de flexión en colisión frontal</i>	116
Tabla 25 <i>Criterio ThCC-colisión frontal</i>	117
Tabla 26 <i>Criterio de fuerzas sobre la pelvis-colisión lateral</i>	118
Tabla 27 <i>Criterio FFC-colisión frontal</i>	119
Tabla 28 <i>Criterio TCFC, fuerza de compresión axial-colisión frontal</i>	121
Tabla 29 <i>Criterio TCFC, momento de flexión-colisión frontal</i>	123
Tabla 30 <i>Índice de lesión TI para colisión frontal</i>	124
Tabla 31 <i>Valores obtenidos de simulación en atropellamiento a 30 km/h</i>	125
Tabla 32 <i>Valores obtenidos de simulación en atropellamiento a 40 km/h</i>	125
Tabla 33 <i>Lesiones comunes en atropellamiento presentes en la anatomía corporal</i>	126
Tabla 34 <i>Gravedad de lesiones en atropellamiento sin airbag</i>	127
Tabla 35 <i>Gravedad de lesiones en atropellamiento con airbag</i>	128
Tabla 36 <i>Componentes requeridos para implementación del airbag para peatón</i>	137
Tabla 37 <i>Recursos humanos</i>	141
Tabla 38 <i>Recursos tecnologicos</i>	141
Tabla 39 <i>Presupuesto</i>	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Planteamiento del problema</i>	25
Figura 2 <i>Sistema de airbag para atropellamiento en capo-parabrisas</i>	27
Figura 3 <i>Características de modelo computacional FEM HIBRIDO III</i>	28
Figura 4 <i>Simulación de impacto frontal con LSDYNA</i>	29
Figura 5 <i>Esquema de atropellamiento frontal</i>	31
Figura 6 <i>Criterios de lesiones del maniquí</i>	32
Figura 7 <i>Modelo real y FE de un sedán Toyota Yaris 2010</i>	35
Figura 8 <i>Metal Forming, proceso de fabricación mecánica de un perfil estructural</i>	38
Figura 9 <i>Momentos de un atropello típico</i>	41
Figura 10 <i>Ensayo de protección a Peatones</i>	44
Figura 11 <i>La cinemática de VRU (peatón y ciclista) durante el impacto con un vehículo</i>	46
Figura 12 <i>Curva de tolerancia del estado de Wayne</i>	48
Figura 13 <i>Mecanismos de lesión por cizallamiento y flexión de la articulación de la rodilla</i>	53
Figura 14 <i>Comparación de procedimientos de prueba para la regulación de protección VRU</i>	57
Figura 15 <i>Comparación de procedimientos de prueba para el programa de evaluación de vehículos nuevos de protección VRU</i>	61
Figura 16 <i>ódulo de elasticidad, E, de los materiales en relación a la densidad, ρ, de los mismos</i>	70
Figura 17 <i>Resistencia, S, de los materiales en relación a la densidad, ρ, de los mismos</i>	71
Figura 18 <i>Formula del coeficiente de Poisson</i>	71
Figura 19 <i>Distribución de las lesiones por accidentes de tránsito</i>	73
Figura 20 <i>Datos de la agencia nacional de tránsito</i>	74
Figura 21 <i>Datos por año de la ANT en casos de atropellamiento</i>	75

Figura 22 <i>Base para el diseño del modelo de vehículo tipo Sedan</i>	83
Figura 23 <i>Dimensiones del vehículo modelado</i>	84
Figura 24 <i>Importación del modelo en el software de preprocesamiento</i>	85
Figura 25 <i>Carta de control topo</i>	85
Figura 26 <i>Operación Fuse – Project</i>	86
Figura 27 <i>Corrección de interferencias y secciones duplicadas</i>	87
Figura 28 <i>Distancia entre nodos de la malla</i>	88
Figura 29 <i>Malla completa del vehículo tipo Sedan</i>	88
Figura 30 <i>Distancia aproximada entre nodos</i>	89
Figura 31 <i>Administrador de las cartas de control</i>	89
Figura 32 <i>Inspección de nodos duplicados</i>	90
Figura 33 <i>Criterio Jacobiano de la calidad de malla del vehículo</i>	91
Figura 34 <i>Culminación de preprocesado de la malla</i>	92
Figura 35 <i>MAT 001 Elastic</i>	93
Figura 36 <i>MAT 024 Piecewise Linear Plasticity</i>	94
Figura 37 <i>MAT 024 Modified Piecewise Linear Plasticity</i>	95
Figura 38 <i>MAT 034 Fabric</i>	95
Figura 39 <i>Carta de control para secciones tipo superficie</i>	96
Figura 40 <i>Peso neto vehicular del modelo</i>	98
Figura 41 <i>Dummy rápido H-III 50 percentil</i>	99
Figura 42 <i>Herramienta para posicionar el Dummy</i>	100
Figura 43 <i>Posición de los modelos en el vehículo</i>	101
Figura 44 <i>Carta de control de contactos</i>	102
Figura 45 <i>Carta de control CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE</i>	102
Figura 46 <i>Carta de control CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE</i>	103

Figura 47 <i>Ubicación de airbag</i>	105
Figura 48 <i>Alineación del maniquí de pruebas de impacto respecto al vehículo</i>	106
Figura 49 <i>Vehículo Sedan sin airbag para colisión frontal de peatones</i>	107
Figura 50 <i>Vehículo Sedan con airbag para colisión frontal de peatones</i>	108
Figura 51 <i>Medidas del airbag utilizado en simulación</i>	134
Figura 52 <i>Ubicación del airbag para la propuesta de implementación</i>	136
Figura 53 <i>Criterio del HIC15 del Dummy HIII con la utilización de Airbag a 40km/h</i>	139

Resumen

En esta investigación se analizaron las lesiones de peatones resultantes de atropellamientos producidos por vehículos tipo sedán y el despliegue de bolsas de aire en el capó del vehículo para atenuar el impacto, esto con base en los criterios de lesiones definidos por la *CEPE* (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa) y la *EuroNCAP* (Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos). Utilizando modelos digitalizados en 3D (maniquí de pruebas de impacto *Hibryd III* y vehículo tipo Sedan) y métodos de elementos finitos, se analizó el comportamiento de los nodos de interés que tienen los maniquíes, se diseñó el vehículo se basó en los modelos sedán de las tres marcas de taxis más vendidas en el Ecuador y se modeló en *SolidWorks*. Las pruebas de atropellamiento del *Hibryd III* se llevaron a cabo a dos velocidades, 30 km/h y 40 km/h. La versión de pie del *Hibryd III* para peatones fue analizada en ubicación lateralmente con respecto al frente del vehículo, estos y otros parámetros requeridos para la simulación fueron ingresados en las cartas de control disponibles en el programa *LS-PREPOST*. Los resultados se obtuvieron de acuerdo a los datos utilizados en las cartas de control y se realizó el postprocesamiento en el programa *LS-DYNA*. Se analizó si el atropellamiento resultó en lesiones leves, graves o incluso la muerte del peatón, y luego se realizó el mismo análisis utilizando la bolsa de aire sobre el capó. Se pudo concluir que la velocidad máxima permitida de este tipo de vehículos en zona urbana se puede regular y que la presencia del airbag en el capó reduce la lesión que se produce en la cabeza a determinadas velocidades. Sería adecuado realizar nuevas simulaciones con parámetros específicos como la velocidad del auto o la posición del maniquí para comparar resultados.

Palabras clave: Atropellamiento, Gravedad de lesiones, Modelo computarizado 3d, Método de elementos finitos, Maniquí de pruebas.

Abstract

In this investigation, pedestrian injuries resulting from being run over by sedan-type vehicles and the deployment of airbags on the hood of the vehicle to mitigate the impact were analyzed, based on the injury criteria defined by CEPE (Economic Commission for Nations for Europe) and EuroNCAP (European New Car Assessment Program). Using 3D digitized models (Hibryd III crash test dummy and Sedan type vehicle) and finite element methods, the behavior of the nodes of interest that the dummies have was analyzed, the vehicle was designed based on the sedan models of the three best-selling taxi brands in Ecuador and was modeled in SolidWorks. Hibryd III crash tests were carried out at two speeds, 30 km/h and 40 km/h. The standing version of the Hibryd III for pedestrians was analyzed in location laterally with respect to the front of the vehicle, these and other parameters required for the simulation were entered in the control charts available in the LS-PREPOST program. The results were obtained according to the data used in the control charts and post-processing was carried out in the LS-DYNA program. It was analyzed whether the hit-and-run resulted in minor injury, serious injury, or even death to the pedestrian, and then the same analysis was performed using the hood airbag. It was possible to conclude that the maximum speed allowed for this type of vehicle in urban areas can be regulated and that the presence of the airbag in the hood reduces the session that occurs in the head at certain speeds. It would be appropriate to carry out new simulations with specific parameters such as the speed of the car or the position of the dummy to compare results.

Keywords: Run over, Severity of injuries, 3d computer model, Finite element method, Test dummy.

Capítulo I

Generalidades

Antecedentes Investigativos

Las lesiones relacionadas con los accidentes de tránsito tienen un alto precio, tanto en términos del número de muertes como de las consecuencias a largo plazo de dicho traumatismo. También son la octava causa de muerte en todo el mundo, según la Organización Mundial de la Salud, y lo que es aún más preocupante, encabezan la lista de muerte de jóvenes entre los 15 y los 29 años. (Santos, 2018)

Como indica (Perez, 2016), en 2015, el número de muertes por accidentes de tráfico en todo el mundo alcanzó los 1,3 millones. Casi la mitad de las muertes (49%) estaban relacionadas con usuarios vulnerables de la vía pública: peatones (22%), motociclistas (23%) y ciclistas (4%). Por lo tanto, se debe prestar más atención a las necesidades de estos usuarios de la vía pública desprotegidos.

Una de las principales causas de muerte accidental es una colisión con el parabrisas o el marco que lo rodea. Por este motivo, se han desarrollado sistemas experimentales para vehículos que pueden reducir el número de víctimas mortales y la gravedad de las lesiones en estas situaciones. Esta es una bolsa de aire para peatones.

En 2009, los ingenieros del Cranfield Impact Centre de la Universidad de Cranfield en el Reino Unido desarrollaron un sistema experimental que soltó la bolsa hacia adelante para levantar automáticamente el capó, similar al Volvo V40 unos años más tarde. (Perez, 2016)

La industria automotriz se esfuerza por reducir los niveles de riesgo de muerte y lesiones. Los maniqués de peatones se utilizan para experimentar y evaluar la seguridad frente a impactos de un determinado automóvil. Sin embargo, tales experimentos son costosos y consumen mucho tiempo, además del número limitado de maniqués de choque para peatones.

La creación de un modelo para ser utilizado en la simulación es muy útil para superar las dificultades que surgen con los experimentos físicos. (Elmasoudi, 2015)

Planteamiento del Problema

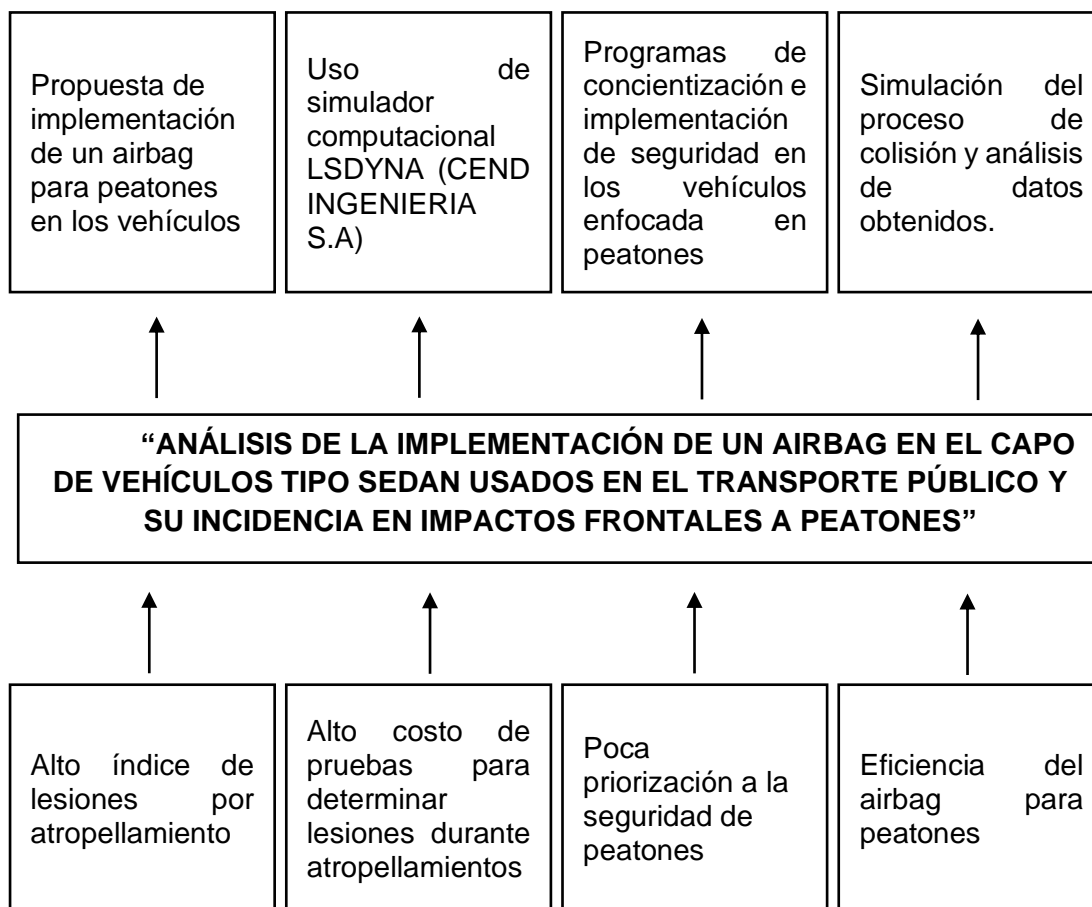
Durante años los accidentes de tránsito han ocasionados lesiones graves en los peatones o en los peores casos la muerte de miles de personas a nivel mundial.

La invención del airbag ayudó a reducir el índice de muerte en conductores durante colisiones, sin embargo, los peatones no han corrido con la misma suerte. La invención del airbag para peatones parece ser una herramienta útil para salvaguardar la seguridad de los transeúntes en caso de colisiones frontales, por lo cual es importante saber que tan efectiva puede llegar y en base a esa información buscar una posible incorporación en el transporte público.

La seguridad que actualmente brindan los vehículos a los peatones es muy reducida, sin embargo, el airbag para peatones se perfila como una opción viable para reducir considerablemente las lesiones de este sector vulnerable.

Figura 1

Planteamiento del problema.



Descripción Detallada del Proyecto

Para desarrollar del presente proyecto se plantea simular por medio del método computacional de elementos finitos FEM colisiones de atropellamiento de vehículos a peatones, se utilizaran programas de ingeniería asistida por computadora CAE avanzados en los que se pueda obtener resultados de deformación plástica de la estructura del vehículo, energías de absorción, inflado de modelos infladores *airbag* y sobre todo que puedan medir las lesiones producidas en el cuerpo de la persona que será impactada. El programa que se utilizara es *LSDYNA* (CEND INGENIERIA S.A.) ya que es uno de los programas más aptos para desarrollo en este tipo de investigaciones.

El modelado 3D es un proceso muy importante dentro del desarrollo de la investigación planteada, debido a que se debe representar con exactitud y de manera realista cada uno de los componentes que se van a simular como autos, autopartes, sistemas automotrices, sistemas de seguridad como cinturones de seguridad, sistemas de *airbag*, maniquís de pruebas de impacto entre otros. El automóvil para esta investigación se modelará con todos los sistemas y componentes considerados importantes analizando su incidencia en la seguridad del impacto de atropellamiento con el maniquí de pruebas de impacto, esto quiere decir que sistemas o componentes como accesorios electrónicos, retrovisores, llanta de emergencia, asientos de los pasajeros entre otros podrían no ser modelados.

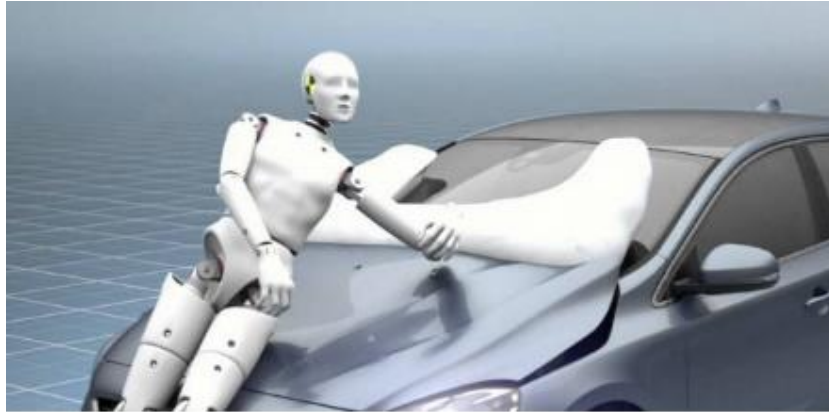
Para la selección del automóvil se analizarán estadísticas de siniestros de atropellamiento ocurrido en el último año publicado en ANT, por medio de este estudio se seleccionará un vehículo que represente características para vehículos tipo SEDAN.

El modelado del vehículo será realizado en el programa de diseño asistido por computadora CAD *Solidworks* (CEND INGENIERIA S.A.), en el que se implementara técnicas de modelado 3d utilizando conocimiento en superficies avanzadas, el objetivo de este modelo es representar de manera realista el vehículo obteniendo un modelo que liviano y de fácil manejo.

Uno de los sistemas más importantes que se van modelar es el sistema de *airbag* en el que se representará los mecanismos de accionamiento del *airbag* que se ubicarán en el capo y parabrisas, de igual manera también se modela el sistema de la bolsa de *airbag* envuelta para esto se utilizará el programa *LS-PREPOST* con el módulo de *DYNAPold* que es un software especializado para este tipo de modelado.

Figura 2

Sistema de airbag para atropellamiento en capo-parabrisas.



Nota. El *airbag* para peatones es un sistema que se despliega al levantarse el capo. (Blanco, 2012)

Para analizar las lesiones producidas en el cuerpo del peatón en las colisiones se utilizará el modelo de maniquí de pruebas de impacto HIBRIDO III 50% hombre que es uno de los modelos más utilizados para analizar impactos biomecánicos para el desarrollo de seguridad en pasajeros automotrices. (Humanetics, 2017)

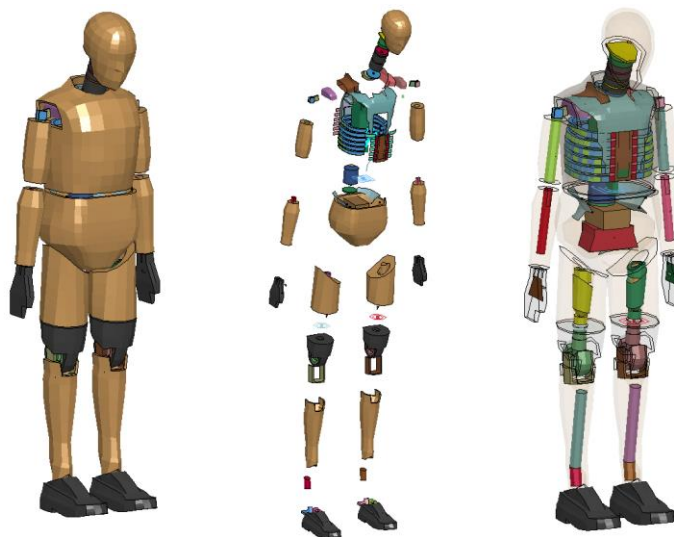
Tabla 1

Características del maniquí de pruebas de impacto HIBRIDO III.

Característica	Denominación
Alto	1700 mm
Ancho	510 mm
Genero	Hombre
Percentil	50 % US
Peso	78.5 Kg
Número de elementos FEM	4299
Tipo de calibración	SAE procedimientos de calibración de maniqués de pruebas de impacto
Desarrollado por	LST Livermore software technology conjuntamente universidad de Washington

Figura 3

Características de modelo computacional FEM HIBRIDO III.



Nota. Maniquí de pruebas de impacto HIBRIDO III en pie, desarrollado por *Livermore software Technology LST.* (Humanetics, 2017)

La malla de elementos finitos se generará en base de la geometría de modelado 3D, se utilizarán programas de procesadores especializados que ayuden a preparar y reparar las geometrías con la finalidad de obtener una malla de elementos finitos sin errores y de buena calidad, se usarán diferentes tipos de malla como por ejemplo elementos *BEAM 1D*, *SHELL 2D* y *SOLID 3D* también se empleara elementos que generen juntas, uniones y sujeciones. El objetivo de generar la malla es representar un modelo matemático adecuado que contenga la menor cantidad de elementos de malla con una calidad óptima para las simulaciones.

Figura 4

Simulación de impacto frontal con LSDYNA.



Nota. Modelo matemático de malla FEM en auto para simulación de impacto frontal con *LSDYNA*. (Ridella, 2013)

La velocidad de impacto del vehículo y todas las condiciones de simulación relacionadas con la dinámica vehicular de la colisión serán basados en los reglamentos, protocolos, leyes de tránsito y estadísticas dados en eventos de atropellamiento de peatones.

Para el presente proyecto se propone realizar simulaciones con las condiciones que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Condiciones para el proceso de simulación

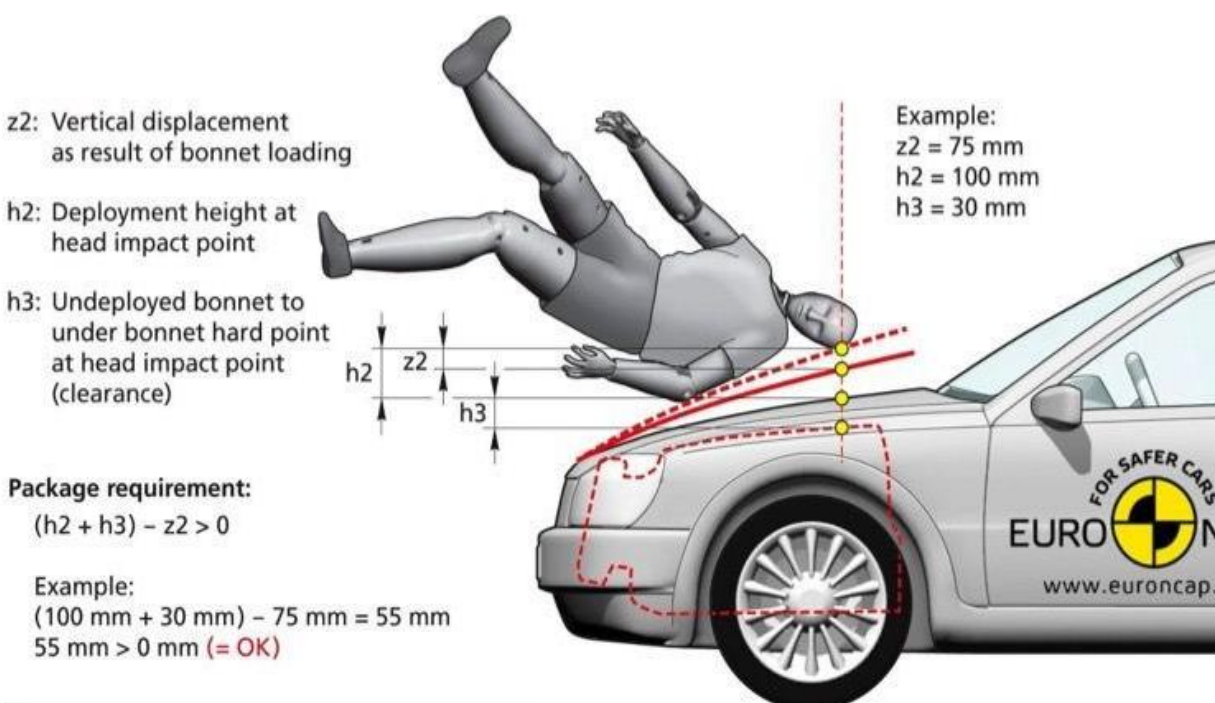
Simulación 1	
Condición	Denominación
Tipo de Automóvil	Modelo SUV
Tipo de airbag	Airbag en capo
Velocidad de del vehículo	Media
Desaceleración del vehículo	4 m/s ²
Tipo de maniquí	Hibrido III 50% masculino
Orientación del maniquí	Lateral postura de caminata.
Zona de impacto del maniquí en el vehículo	Parte central
Simulación 2	
Condición	Denominación
Tipo de Automóvil	Modelo SUV
Tipo de airbag	Sin airbag
Velocidad de del vehículo	Media
Desaceleración del vehículo	4 m/s ²
Tipo de maniquí	Hibrido III 50% masculino
Orientación del maniquí	Lateral postura de caminata.
Zona de impacto del maniquí en el vehículo	Parte central
Simulación 3	
Condición	Denominación
Tipo de Automóvil	Modelo SUV
Tipo de airbag	Airbag en capo
Velocidad de del vehículo	Alta
Desaceleración del vehículo	4 m/s ²
Tipo de maniquí	Hibrido III 50% masculino
Orientación del maniquí	Lateral postura de caminata.
Zona de impacto del maniquí en el vehículo	Parte central
Simulación 4	
Condición	Denominación
Tipo de Automóvil	Modelo SUV
Tipo de airbag	Sin airbag
Velocidad de del vehículo	Alta
Desaceleración del vehículo	4 m/s ²
Tipo de maniquí	Hibrido III 50% masculino
Orientación del maniquí	Lateral postura de caminata.
Zona de impacto del maniquí en el vehículo	Parte central

Materiales del Automóvil

Los modelos materiales que se utilizarán en las simulaciones se basaran en las librerías de los modelos de autos de LSDYNA (CEND INGENIERIA S.A.) publicados por la NHTSA, con estos materiales se podrá caracterizar de manera realista los autos que se van a simular. De igual manera todos los materiales implementados en las simulaciones serán basados de librerías de LSDYNA (CEND INGENIERIA S.A.) que se encuentra disponible.

Figura 5

Esquema de atropellamiento frontal.



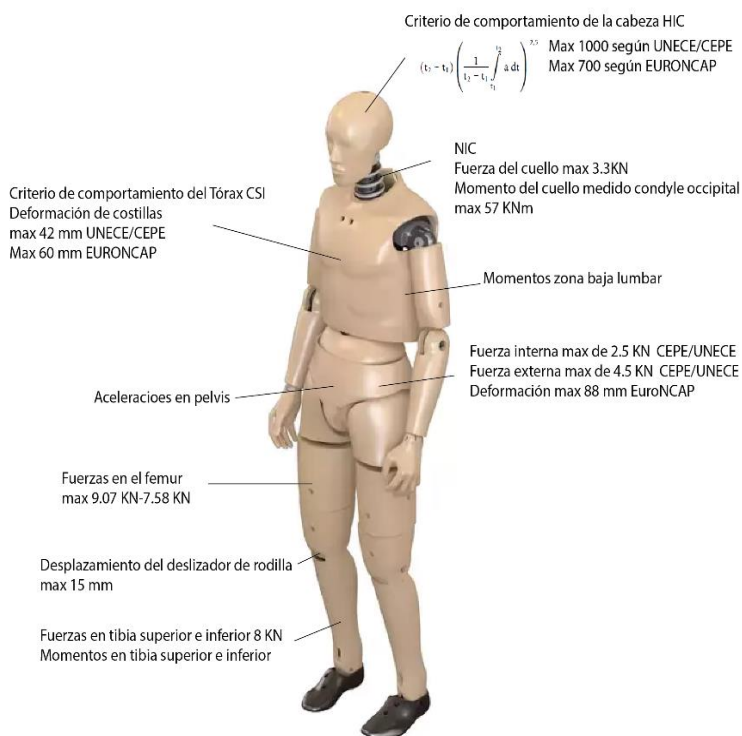
Nota. Esquema de atropellamiento, deflexión del capo requisito de espacio libre total. (Monish, n.d.)

Resultados

El maniquí cuenta con sensores que se encuentran distribuidos en zonas críticas del cuerpo que captaran e identificar posibles lesiones producidas en la colisión, de esta manera se reportarán resultados como fuerzas Gs, fuerzas, momentos, desplazamientos entre otros datos, con estos datos se analizará el tipo de lesión que se produce en el cuerpo humano al comparar estos valores con límites permitidos publicados en regulaciones europeas, protocolos de EuroNCAP, Latin NCAP, NHTSA y artículos SAE entre otros que exponen los valores límites que soporta el cuerpo humano en impactos automotrices. A continuación, se muestra un resumen de los principales criterios para identificar lesiones en el cuerpo humano basado en regulaciones de seguridad para colisiones de automóviles de las Naciones Unidas.

Figura 6

Criterios de lesiones del maniquí.



Nota. Los criterios de lesiones del maniquí hacen referencia a regulaciones CEPE, protocolos EURONCAP. (Humanetics, 2017)

Justificación e Importancia

Como lo menciona (Carrero, 2011), poco a poco se ha ido generalizando el uso del *airbag* en el automóvil, los primeros solo se situaban en el volante del conductor, posteriormente paso a montarse también en el salpicadero frente al copiloto, actualmente se instalan en multitud de zonas del vehículo. Eso debido a que este componente de seguridad permite atenuar el impacto sufrido por el usuario durante un siniestro del vehículo, reduciendo así las lesiones en un gran porcentaje.

Según lo explica (Rodríguez, 2019), el *airbag* del capo podría reducir los daños que sufre un peatón cuando resulta atropellado, sobre todo daños en la cabeza. De allí la importancia de establecer la efectividad del *airbag* implementado en el capo (*airbag* para peatones), y de igual forma determinar su utilidad, tanto en la disminución de lesiones y muertes, durante los siniestros de tránsito.

Este estudio toma importancia ya que en caso de comprobar la efectividad del *airbag* para peatones se puede usar esta tesis para validar el uso e implementación de este sistema en el Ecuador, esto a través de las entidades correspondientes ya sea la Agencia Nacional de Tránsito o entidades gubernamentales.

Se debe tener en cuenta que las pruebas realizadas en los vehículos, se ejecutan desde hace ya varias décadas, ya sea por los propios fabricantes de vehículos en el final del diseño del vehículo o por los organismos de homologación, esto debido a que los vehículos deben superar determinados requisitos respecto de su seguridad para que sea posible su posterior comercialización. (Carrero, 2011)

Además, (Carrero, 2011) indica que el desarrollo de la informática en hardware como software de elementos finitos MEF ha permitido desarrollar nuevas técnicas de cálculo, siendo habitual el uso de este tipo de programas de ingeniería asistida por ordenador, con unos tiempos de cálculo y una fidelidad en los resultados bastante óptimos. Este hecho ha

provocado su empleo para el avance y desarrollo de seguridad pasiva en la estructura del vehículo.

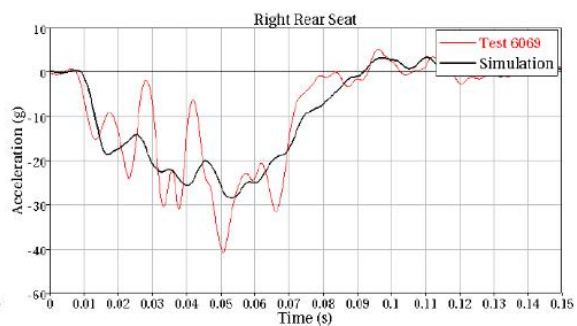
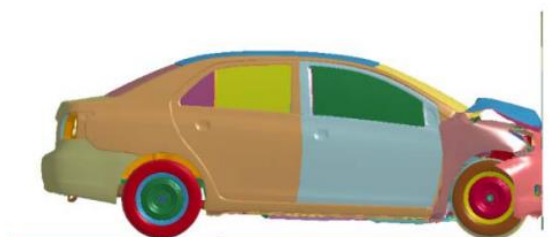
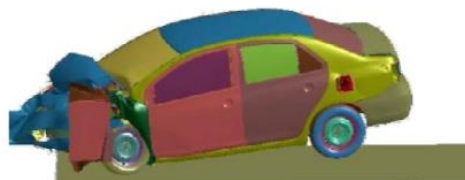
A través del MEF se puede realizar un modelo analítico de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Es imprescindible aplicar el juicio ingenieril del calculista a esta solución aproximada para poder obtener una resolución óptima del problema.(Gálvez, 2011)

Concerniente al programa de simulación, *LS-Dyna* es un programa informático que utiliza el método de elementos finitos capaz de simular problemas complejos del mundo real. El programa en el que se basa *LS-Dyna* es el *software* desarrollado en los años 70 por el *Lawrence Livermore National Laboratory* (LLNL). Desde esa fecha se ha ido mejorando gracias a la inversión de las industrias automovilística, aeroespacial y militar. Dentro de la industria automovilística se ha especializado en la simulación de los accidentes, ahorrando grandes cantidades de dinero gracias a las pruebas por ordenador detectando problemas de diseño.

El programa *LSDYNA* se ha validado a través de varios ensayos y pruebas desde su creación, con lo cual sus programadores lo han mejorado con en pasar de los años. El programa cuenta con el respaldo suficiente para ser empleado, a nivel mundial, en este tipo de simulaciones correspondientes a siniestros de tránsito, pudiendo ser utilizado para sustituir a una prueba de campo real. (J. Sánchez, 2011)

Figura 7

Modelo real y FE de un sedán Toyota Yaris 2010.



Objetivos del Proyecto

Objetivo Principal

- Analizar la implementación de un airbag en el capo de vehículos tipo sedán usados en el transporte público y su incidencia en impactos frontales a peatones.

Objetivos Específicos

- Modelar un vehículo tipo SEDAN que represente un modelo realista comercializado en el país por medio de un programa de dibujo asistido por computadora CAD.
- Modelar sistema de airbag para reducir las lesiones peatones al producirse un atropellamiento por medio de un programa de dibujo asistido por computadora CAD
- Simular colisiones de atropellamiento frontal para identificar las lesiones producidas en el cuerpo humano por medio simulación computacional FEM empleando software de ingeniería asistida por computadora CAE.
- Determinar el grado de incidencia de la colisión frontal con un vehículo respecto de las lesiones al cuerpo humano en base a las condiciones de ensayo computacional.
- Analizar la factibilidad de la implementación del sistema de airbag para reducir lesiones en peatones en colisiones de atropellamiento por medio de los resultados obtenidos de las simulaciones desarrollados por métodos virtuales.

Metas

- Modelar el vehículo tipo SEDAN con la asignación de materiales específicos y válidos para la simulación.
- Conocer las lesiones que se producen en el cuerpo humano en accidentes de atropellamiento, verificando las zonas del cuerpo más y menos afectadas, las misma se medirán utilizando el maniquí de pruebas de impacto.
- Obtener resultados claros que muestren si el sistema de *airbag* implementado aporta a la seguridad de los peatones en accidente de atropellamiento, en el caso que el

sistema de airbag aporte a mejorar la seguridad se enviara un oficio a la entidad competente para que revise este sustento técnico y que se pueda implementar en automóviles comercializados en el país.

- Identificar zonas críticas en los automóviles que pueden lesionar gravemente a los peatones en atropellamientos, estas lesiones se pueden producir por curvas pronunciadas del automóvil, autopartes como faros, parabrisas, plumas limpia parabrisas, mascarillas entre otros accesorios. Una vez que se identifique las zonas que lesionan gravemente a los peatones se documentara estos resultados con lo que se podría realizar investigaciones para mejor su seguridad en futuros proyectos.

Hipótesis

El sistema de *airbag* implementando en el capo de automóvil reduce considerablemente las lesiones de peatones al producirse colisiones frontales contra vehículos livianos de tipo SEDAN.

Capítulo II

Marco Teórico

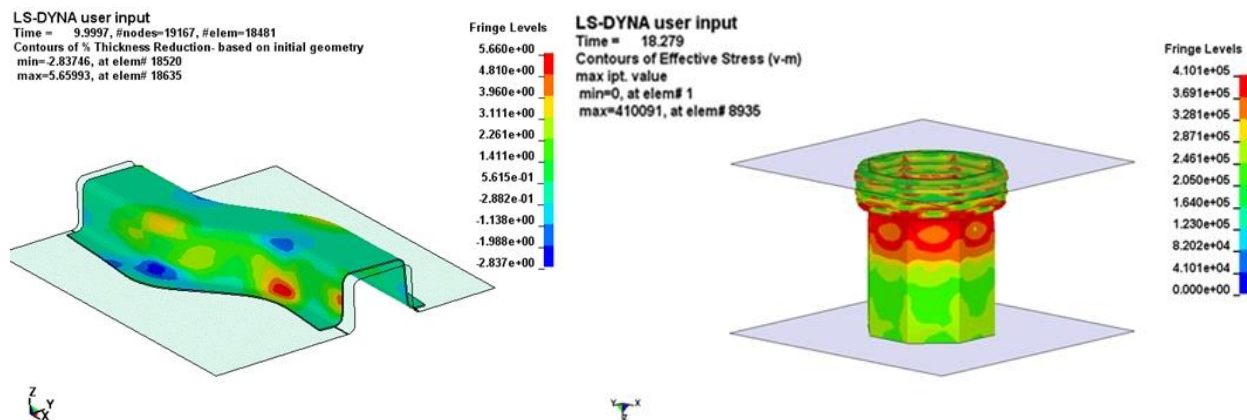
Programas CAE

Ansys *LS-DYNA*

LS-DYNA es un solucionador de análisis estructural de elementos finitos que utiliza un método explícito. Este método se utiliza para resolver problemas transitorios que involucran grandes no linealidades, ya sean geométricas, contactos, grandes deformaciones o relaciones constitutivas de materiales complejos. Las características de las simulaciones que requieren un cómputo explícito suelen significar periodos muy cortos, normalmente inferiores a 1 s. Los modelos de falla que describen el daño permanente o la falla completa del material que se analiza son fáciles de implementar. Se pueden simular varias situaciones de diseño complejas con *LS-DYNA*, como procesos de fabricación mecánica y contactos altamente no lineales (Figura 8). (Nunes, 2023)

Figura 8

Metal Forming, proceso de fabricación mecánica de un perfil estructural.



Historia. El programa LS Dyna se ha desarrollado constantemente con el pasar de los años, su historio es amplia, en la Tabla se presenta de forma resumida la historia y desarrollo del programa.

Tabla 3

Historia y desarrollo de LS-DYNA.

Año	Acontecimiento
1976	En este año <i>DYNA 3D</i> fue desarrollado por el Dr. John O. Hallquist en el Laboratorio Nacional <i>Lawrence Livermore</i> (LLNL), diseñado para simular colisiones y explosiones.
1978	Debido a una solicitud francesa del código <i>DYNA 3D</i> da como resultado una publicación abierta sin restricciones.
1979-1981	Primera versión disponible para la supercomputadora <i>CRAY-1</i> . Desde entonces, <i>DYNA 3D</i> ha sido vectorizado y explícito. <i>DYNA 3D</i> despertó interés en Japón y Europa. Comenzó a ser utilizado por grandes empresas como Rolls-Royce (motores de aviones).
1982	Primeros seminarios de usuarios en Japón y Europa. LLNL comienza a recibir solicitudes de empresas para comercializarlo.
1984	Dra. David Benson se une al equipo de desarrollo (hasta entonces el equipo estaba formado por el Dr. Hallquist). Juntos, desarrollan autotoque de superficie, dinámica de cuerpo rígido con acoplamiento FEM y muchas otras mejoras.
1988	Finales de 1988: se fundó <i>Livermore Software Technology Corporation</i> (LSTC) para comercializar y continuar con el desarrollo de <i>LS-DYNA</i> , un solucionador de código abierto basado en <i>DYNA3D</i> .
1989	El Dr. Hallquist abandona LLNL. <i>DYNA3D</i> ya era en ese momento el código FEM más avanzado para el análisis dinámico de transitorios. Desde entonces, LSTC ha desarrollado ampliamente las capacidades de <i>LS-DYNA3D</i> para crear una herramienta universal para la mayoría de las necesidades de simulación. En 2019 LSTC fue adquirida por <i>LSTC ANSYS, Inc.</i>

Validación

Según lo indica Ntutumu (2018) en su trabajo de maestría, “Los resultados que atrás se muestran sugieren un alto grado de correlación con respecto a los de la simulación original o real. En general, se observa el mismo patrón de deformaciones globales en todo el coche. No hay partes sueltas ni separadas de otras, lo cual implica que el auto contacto 36 definido funcionan según lo previsto. Otro aspecto que destacar de los contactos es que, a pesar de ser un impacto a alta velocidad, no se producen compresiones internas en los sólidos ni se generan volúmenes negativos, lo que quiere decir que el contacto interior 10 responde con una rigidez suficiente.”

Al igual que el estudio antes mencionado, son muchos los trabajos que validan el buen desempeño de *LSDYNA*, al igual que el prestigio que LSTC ha ganado con el pasar de los años. El programa se acerca mucho a una prueba real de vuelco o impacto de vehículos ya se con o sin ocupantes.

Uso de LSDYNA

En la industria Automotriz, *LS – DYNA* se utiliza para el análisis del diseño de vehículos, el mismo que se caracteriza por predecir valores altamente confiables con precisión en colisiones del mismo modo permite analizar los efectos de dicha colisión en los ocupantes del vehículo, con *LS – DYNA* la industria automotriz puede probar el diseño de sus distintos modelos de vehículos en la parte estructural y de seguridad sin tener que experimentar de forma real lo cual beneficia el ahorro de tiempo y costos. (Carrero, 2011)

A continuación, se señalan algunas características especiales que ofrece *LS – DYNA* en el área automotriz:

- Bolsas de aire.
- Modelos ficticios híbridos III.
- Modelos de infladores.

- Sensores.
- Pretensores.
- Cinturones de seguridad.
- Anillos colectores.
- Acelerómetros.
- Retractares.

Pruebas y Valoraciones

Los estudios de accidentes de peatones han demostrado que la causa más común de lesiones graves son los pies que golpean los parachoques. la parte superior de las piernas, las caderas o el estómago con el borde delantero del capó y los guardabarros del coche; así como la cabeza y el cofre y la parte superior y las alas del capó, el marco y el piso del parabrisas tal como lo muestra la figura 9. Para reducir esta alta tasa de accidentes, el Departamento de Transporte del Reino Unido estableció un Laboratorio de Investigación del Transporte para investigar formas de reducir las lesiones de los peatones al hacer que los automóviles sean menos agresivos en los accidentes.

Figura 9

Momentos de un atropello típico.



Tabla 4

Sistemas de evaluación de la protección UVV en NCAP.

Descripción	Versión	Contenidos de evaluación	Referencias
Euro-NCAP/A-NCAP	V8.5	Forma de cabeza; FlexPLI; Impactador simulador de pierna superior	Euro NCAP (Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos) es un programa de seguridad automotriz respaldado por varios gobiernos europeos, fabricantes y organizaciones vinculadas a la industria automotriz.
C-NCAP	V2021	Forma de cabeza; APLI	C-NCAP tiene como objetivo promover el desarrollo de tecnologías de vehículos en busca de un concepto superior de seguridad y proporcionar a los consumidores información sobre seguridad.
J-NCAP	V2018	Forma de cabeza; FlexPLI	Evaluación de automóviles nuevos de Japón: JNCAP es un proyecto conjunto del Ministerio de Tierras, Infraestructura, Transporte y Turismo: MLIT y la Agencia Nacional para la Seguridad Automotriz.
K-NCAP	V2021	Forma de cabeza; FlexPLI; Impactador simulador de pierna superior	Desde 2003 Korean NCAP ha alentado a los fabricantes a desarrollar vehículos más seguros y ha contribuido a la seguridad del automóvil en Corea al prevenir accidentes y mitigar los daños relacionados.
ASEAN-NCAP	V1.2	Forma de cabeza; FlexPLI; Impactador simulador de pierna superior	El Programa de Evaluación de Autos Nuevos para los Países del Sudeste Asiático (ASEAN NCAP), tiene como objetivo elevar los estándares de seguridad de los vehículos y fomentar un mercado para vehículos más seguros en la región.
Latin NCAP	V1.1.2	Forma de cabeza; FlexPLI; Impactador simulador de pierna superior	Latin NCAP es el nuevo programa de evaluación de automóviles para América Latina y el Caribe basado en pruebas de choque definidas en los protocolos Euro NCAP.

Nota. Global NCAP es una organización no gubernamental del Reino Unido la cual sirve como plataforma global para programas de evaluación de nuevos vehículos en todo el mundo. Global NCAP tiene estado consultivo ante las Naciones Unidas, es miembro del *United Nation Road Safety Collaboration* y de la Iniciativa *Bloomberg* para la Seguridad Vial. Global NCAP apoya los objetivos globales de la ONU y la Década de Acción para la Seguridad Vial. (*Global NCAP*, 2022)

UNECE

La Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas establece reglas uniformes para la homologación de vehículos para proteger a sus ocupantes en caso de colisión frontal con la Regla N° 9 y se aplica a la categoría M1 con la masa máxima admisible. no más de 2,5 toneladas. También define el procedimiento y las especificaciones para la evaluación de la seguridad de los maniqués tipo *Hybrid III* en relación con la conformidad de la producción en virtud de las disposiciones transitorias. (Diario Oficial de la Unión Europea, 2018)

La OUN/CEPE tiene disposiciones específicas para impacto frontal de 100% de extensión, impacto frontal de extensión de 40%, impacto lateral con barrera móvil deformable y poste rígido contra impacto lateral.

Protocolos de Atropellamiento

Latin NCAP

El nuevo Protocolo de Evaluación cambia de una calificación de estrellas para adultos y niños por separado a una calificación de estrellas única, integrando cuatro aspectos de evaluaciones en áreas clave: Protección de Ocupante Adulto, Protección de Ocupante Infantiles, Protección para Peatones y Usuarios Vulnerables de las Vías y Tecnologías de Asistencia a la Conducción. Es probable que aquellos modelos de automóviles sin ESC estándar y con poca protección para peatones tengan una calificación de estrellas baja. (*LATIN NCAP*, 2019)

Variables a Tomar en Cuenta para la Calificación Latin-NCAP. En esta primera etapa del Protocolo, para lograr un resultado de cinco estrellas, será necesario simultáneamente: al menos un 75% de puntaje en Protección de Ocupante Adulto, al menos un 80% en Protección de Ocupante de niños, al menos un 50% en Protección de Peatones y VRU y al menos un 75% en Tecnologías de Asistentes a la Seguridad. LatinNCAP aumentará los

porcentajes de puntos necesarios en cada aspecto a lo largo de los años para alcanzar los niveles de calificación de estrellas.

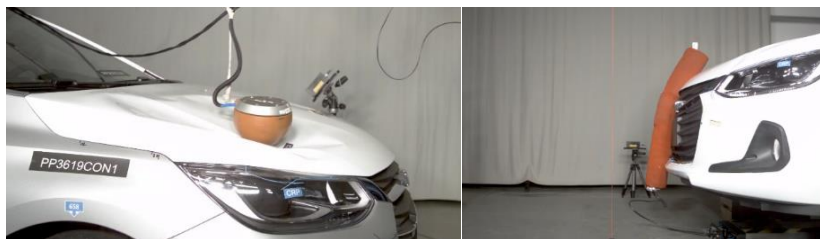
Protección a Peatones y Usuarios Vulnerables de las Vías. Este proceso de protección se analiza a través de dos ensayos, los cuales buscan reducir las lesiones producidas durante el choque frontal de un vehículo contra un peatón. Estos ensayos son los presentados a continuación.

- Atropellamiento de Peatones
- Frenado Autónomo de Emergencia (para Usuarios Vulnerables de las Vías)

Ensayos de Protección de Peatones (Pasiva). Latin NCAP evalúa la protección para los usuarios más vulnerables de las vías, los peatones. El criterio es la norma ONU 127 o GTR 9. En ellas se detalla cual es el máximo nivel de lesiones permitido (aceptable) que puede causar un vehículo en caso de atropellamiento de un peatón para ser aprobado por la norma. Para ello se evalúa las lesiones en diferentes partes del cuerpo de un *dummy* y en distintas zonas del frente del vehículo de forma de considerar peatones de distintos tamaños incluyendo niños. (LATIN NCAP, 2019)

Figura 10

Ensayo de protección a Peatones.



Nota. La imagen muestra el proceso y mecanismos de ensayo real implementado por la Latin NCAP para analizar casos de atropellamiento.

El nuevo Protocolo entro en vigencia a finales del año 2019 y dura hasta finales de 2024.

Euro NCap

Se requerirá que el fabricante del vehículo proporcione a EuroNCAP datos de simulaciones realizadas con el capó en la posición no desplegada. Las simulaciones se realizarán con una velocidad del vehículo de 40 km/h con todas las estaturas de los peatones que resulten en contacto de la cabeza con el capó. Los modelos de peatones deben seleccionarse de las siguientes estaturas, un niño de 6 años, una mujer del percentil 5, un hombre del percentil 50 y un hombre del percentil 95. La posición y postura del peatón a utilizar en el modelo está definida en el Boletín Técnico TB 024. (EuroNCAP, 2018)

Certificación. Los procedimientos de certificación se detallan en el Reglamento de la ONU No. 127 Revisión 2, Anexo 6, Capítulo 1.4.

El simulador de pierna se volverá a certificar después de un máximo de 20 impactos y al menos una vez cada 12 meses. En caso de supera cualquiera de sus límites inferiores de rendimiento, deberá volver a certificarse de acuerdo con los procedimientos prescritos en el Reglamento de la ONU No. 127 Revisión 2, Anexo 6, Capítulo 1.2 al menos una vez al año.(EuroNCAP, 2018)

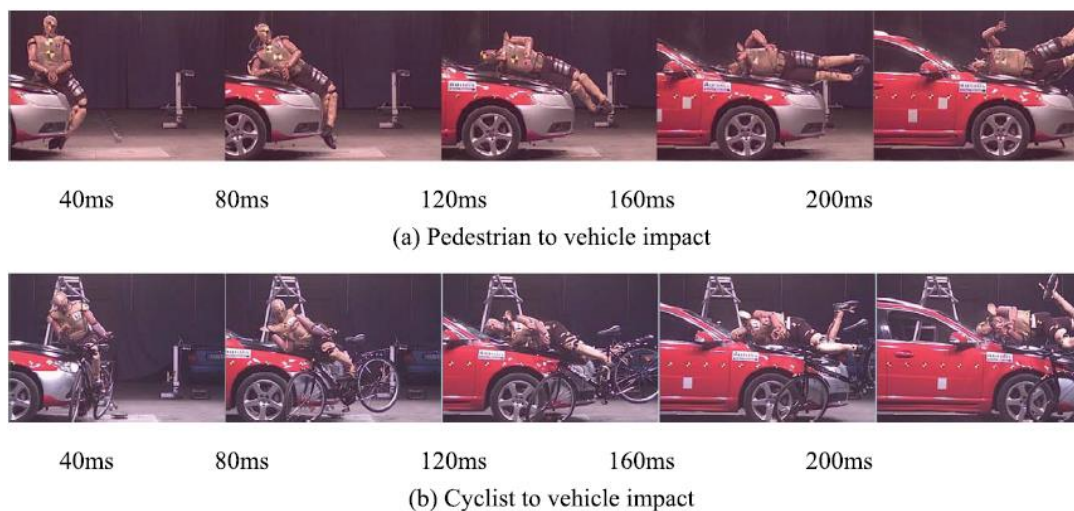
Mecanismos y Criterios de Lesión

Cinemática del Impacto VRU

Cuando los peatones cruzan la calle, es posible que se vean afectados por los vehículos que se encuentran al costado. Como se muestra en Figura 11(a), en una colisión entre un peatón y un sedán, el cuerpo humano a menudo gira alrededor de las estructuras del extremo delantero. La parte inferior de la pierna siempre hace contacto primero con el parachoques, luego la parte superior de la pierna y la cintura impactan contra el capó delantero, luego el tórax choca con la parte superior del capó y finalmente la cabeza golpea la parte superior del capó o el parabrisas o el pilar A. (Fredriksson et al., 2014)

Figura 11

La cinemática de VRU (peatón y ciclista) durante el impacto con un vehículo.



Mecanismos y Criterios de Lesiones en la Cabeza

Mecanismos de Lesiones en la Cabeza. Las lesiones en la cabeza incluyen daños en el cuero cabelludo, el cráneo y el cerebro. La laceración del cuero cabelludo se considera una lesión menor, mientras que las lesiones más graves son cráneo y lesión cerebral. Las lesiones en la cabeza se dividen en diferentes tipos según el mecanismo y la gravedad de la lesión.

Fractura de Cráneo. Las fracturas de cráneo se producen como resultado de un impacto violento en la cabeza. Si el área de impacto en la cabeza es pequeña, el cráneo se deforma principalmente localmente; pero si el área de impacto es grande, podría ocurrir el aplastamiento general y la fractura del cráneo, a menudo acompañado de una lesión cerebral extensa. (Hong et al., 2015)

Lesión Cerebral Focal. Podría haber diferentes tipos de lesiones cerebrales bajo cargas de impacto, que generalmente se pueden dividir en lesiones focales y lesiones difusas. La lesión cerebral focal se limita a un área local y, por lo general, tiene menos efecto en todo el cerebro. Dicha lesión puede confirmarse mediante un método de imágenes médicas. La lesión

cerebral focal incluye hematoma epidural, hematoma subdural (SDH), hemorragia subaracnoidea (HSA), contusión cortical y hematoma intracraneal (ICH). (Zhao et al., 2015)

Lesión Cerebral Difusa. La lesión cerebral difusa significa que el cerebro está dañado en un amplio rango y es propenso a dejar secuelas residuales. La lesión cerebral difusa se puede dividir en dos tipos: conmoción cerebral y lesión axonal difusa (DAI). (Jang, 2020)

La conmoción cerebral es una lesión neurológica transitoria sin cambios biológicos severos en el cerebro, que normalmente se puede recuperar. Los síntomas de conmoción cerebral incluyen confusión, pérdida del sentido de dirección y pérdida del conocimiento.

DAI es una lesión cerebral difusa con pérdida de conciencia por más de 24 h. Aunque no existen lesiones ocupantes de espacio en el cerebro, la perturbación de la conciencia podría durar. DAI es un estado en el que se lesiona una amplia gama de axones cerebrales y vainas de la médula espinal, acompañado de disfunción del tronco encefálico. (Angelova et al., 2021)

Mecanismo de Lesión por Contacto. La lesión por contacto se puede dividir en lesión por contacto local y lesión por contacto remoto. Las lesiones por contacto local incluyen lesión del cuero cabelludo, fractura de cráneo, hematoma epidural y contusión. La fractura de cráneo puede determinarse por la magnitud de la fuerza de contacto, la distribución de la fuerza de contacto, las propiedades locales del material del cráneo y el grosor del cráneo. La lesión por contacto remoto incluye fractura de casquete craneal, fractura de la base del cráneo y lesión por contragolpe lejos del sitio de contacto. Una vez que la tensión supera la resistencia máxima del hueso, se producirán fracturas remotas incluso en las partes alejadas del punto de carga. (Weaver et al., 2018)

Mecanismo de Daño por Inercia. Cuando la cabeza se somete a una aceleración de traslación, el tejido cerebral se desplaza dentro del cráneo. Como resultado, el lado del impacto del cerebro estará en un estado de presión positiva y producirá una tensión de compresión, mientras que el lado opuesto del cerebro estará en una presión negativa y producirá una

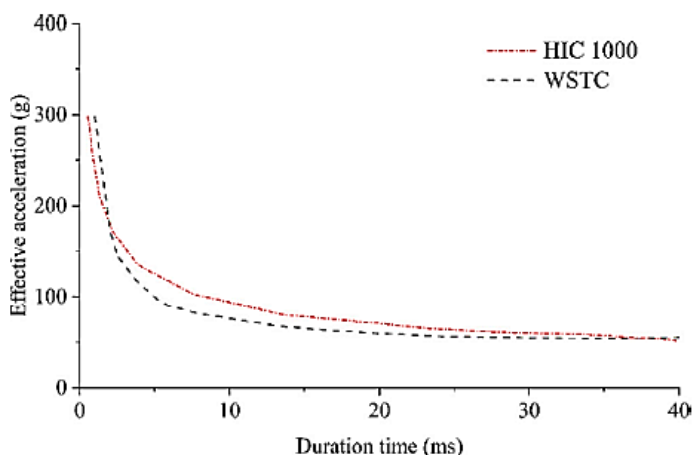
tensión de tensión (efecto de contragolpe), lo que resultará en una contusión cerebral y lesiones intracerebrales hematoma. (Zhao & Ji, 2016)

Si la aceleración angular actúa sobre la cabeza, el cráneo y el cerebro producirán ciertos desplazamientos relativos, que pueden romper la vena puente entre el cráneo y el cerebro por una fuerza de tracción severa, lo que resulta en un hematoma subdural agudo. (Zhao et al., 2015)

Criterios de Lesiones en la Cabeza. Desde la década de 1950, la Wayne State University ha llevado a cabo una serie de estudios sobre la tolerancia de la cabeza. Los investigadores usaron la cabeza cadavérica colocando una placa de acero para medir la aceleración y explorar si había una fractura de cráneo lineal. De acuerdo con los resultados experimentales se obtuvo la Curva de Tolerancia del Estado de Wayne (WSTC), como se muestra en Figura 12. El WSTC representa la relación entre la aceleración traslacional de la cabeza, la duración y la lesión. Cuando la aceleración traslacional de la cabeza está por encima de la curva, puede ocurrir una fractura lineal del cráneo. (King, 2017)

Figura 12

Curva de tolerancia del estado de Wayne.



Para que el WSTC sea aplicable a varios tipos de pulsos de aceleración de la cabeza, Versace definió el Criterio de lesión en la cabeza (HIC) usando la aceleración promedio entre momentos de tiempo 1 y 2 ($t_1 < t_2$), como se muestra a continuación. (Versace, 1971)

Ecuación 1

Criterio de lesión de la cabeza

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

Donde:

$a(t)$ = es la aceleración resultante (m/s²) en el centro de gravedad de la cabeza,
 t_1, t_2 = son los momentos del tiempo en que el HIC alcanza los valores máximos. Tenga en cuenta que el intervalo de tiempo ($t_2 - t_1$) no debe exceder los 15 ms. (Prasad & Mertz, 1985)

En el impacto de la cabeza de un peatón, 1000 se usa comúnmente como el umbral de 15, que corresponde al 16 % de la probabilidad de lesión del nivel 4+ del AIS. Como el HIC solo considera el movimiento de traslación, no puede predecir adecuadamente la lesión cerebral causada por el movimiento de rotación. Además, Newman sugirió un valor máximo equivalente mediante la combinación de la aceleración de traslación de la cabeza y la aceleración de rotación como criterio de lesión cerebral en 1985, que se define como GAMBITO, Modelo de aceleración generalizada para el umbral de lesión cerebral. (Prasad, 2003)

Newman y Shewchenko obtuvieron el WSTC aproximado multiplicando el cuadrado de la aceleración promedio y la duración del contacto, demostraron que la gravedad de la lesión cerebral puede expresarse mediante la tasa de cambio de la energía cinética y, finalmente, propusieron los criterios de lesión en la cabeza definidos por su aceleración lineal y aceleración angular. (Newman et al., n.d.)

Mecanismos y Criterios de Lesión del Tórax

Mecanismos de Lesión del Tórax. El tórax consiste en la caja torácica y los órganos internos de los tejidos blandos. Las lesiones laterales en el tórax son más comunes en las colisiones entre vehículos, peatones y ciclistas. La compresión, la carga viscosa y la inercial son tres mecanismos principales de lesión del tórax; mientras que la fractura aislada de una o dos costillas se considera una lesión menor. Las lesiones torácicas más graves son: tórax batiente, contusiones pulmonares, hemo neumotórax y lesiones del corazón y grandes vasos. (King, 2017)

La compresión torácica es un factor decisivo para la fractura de costillas. Cuando se fracturan varias costillas, la pared torácica pierde el soporte local de la costilla, y la pared torácica puede colapsar hacia adentro a medida que se crea un vacío al inhalar y sobresale hacia afuera al exhalar, lo que forma el tórax inestable. La contusión pulmonar está relacionada con el tórax inestable o las fracturas de costillas durante el impacto. (Lopez-Valdes et al., 2018)

La perforación y laceración del tejido pulmonar también pueden causar neumotórax con acumulación de aire en la cavidad pleural. Tanto el hemotórax como el neumotórax pueden interferir con la respiración normal. Un impacto contundente en el pecho puede comprimir el corazón. La lesión cardíaca incluye contusión miocárdica, laceración miocárdica y paro cardíaco. (Weaver et al., 2018)

En los accidentes automovilísticos, la velocidad del impacto suele ser de 5 a 30 m/s. La respuesta al impacto torácico caracteriza a la viscoelástica en este rango de velocidad, y la compresión torácica y la velocidad de compresión son algunos factores clave que afectan la lesión torácica.

Una gran compresión torácica puede dañar las costillas cuando su deformación supera los límites, incluso a una velocidad de impacto baja. Sin embargo, es más probable que ocurra una lesión bajo una alta velocidad de impacto, incluso con una pequeña compresión torácica.

Criterios de Lesión Torácica. El primer criterio de tolerancia torácica para el impacto frontal fue un criterio de aceleración basado en el famoso paseo en trineo del Coronel Stapp, quien experimentó una aceleración torácica máxima estimada en 45g. En FMVSS 208, se utilizó como valor umbral la aceleración torácica de 60g obtenida a partir de experimentos con voluntarios. El criterio más utilizado es la deformación del tórax (desplazamiento del esternón con respecto a la vértebra torácica), que tiene una fuerte correlación con el grado de lesión torácica causada por la compresión, como una fractura torácica o una lesión pulmonar. (Sunnevang et al., 2014)

El modo de deformación del tórax y el riesgo de fractura asociado varían con la forma de carga. El criterio de compresión fue propuesto en base a la relación lineal entre AIS y la compresión torácica por Nahum. Neathery recomienda un límite de compresión torácica de 75 mm para un impacto frontal. (Paucar et al., 2022)

Cuando General Motors (GM) solicitó el permiso de la NHTSA para usar el maniquí en FMVSS 208, Mertz recomendó que el IARV (valor de referencia de evaluación de lesiones) de compresión torácica se estableciera en 50 mm para el maniquí Hybrid III 50 con cinturón de tres puntos.

El análisis de extensos datos biomecánicos reveló que las lesiones en la caja torácica y los órganos están fuertemente relacionadas con la aceleración lateral máxima de la caja torácica lateral golpeada y la columna torácica inferior. La edad y la masa del sujeto también tienen cierta influencia en la lesión torácica. Por lo tanto, se propuso el Índice de Trauma Torácico (TTI) para evaluar las lesiones torácicas en impactos laterales, como se indica a continuación. (Eppinger et al., 1984)

Ecuación 2*Índice de Trauma Torácico (TTI)*

$$TTI = 1.4Age + 0.5(T12Y + RIBY) \frac{MASS}{M_{ref}}$$

Donde:

T12Y = aceleración lateral máxima (en g) en la vértebra torácica T12,

RIBY = aceleración máxima (en g) de las costillas 4 y 8 en el lado golpeado,

Age = edad del sujeto en años, y

MASS = masa del sujeto en kg, y

Mref = masa de referencia de 75 kg para un hombre de tamaño mediano.

Él ITT Se han propuesto valores umbral de 85g y 60g para adultos y niños, respectivamente.

Basado en el mecanismo de lesión viscoelástica, también se propuso el Criterio Viscoso (VC) en términos del producto del porcentaje de compresión y la velocidad de compresión. (Lau & Viano, 1986)

Ecuación 3*Criterio Viscoso (VC)*

$$VC = \frac{d[D(t)]}{dt} * \frac{D(t)}{D_0}$$

Donde:

D(t) = Compresión torácica en el momento,

D₀ = Grosor inicial del torso.

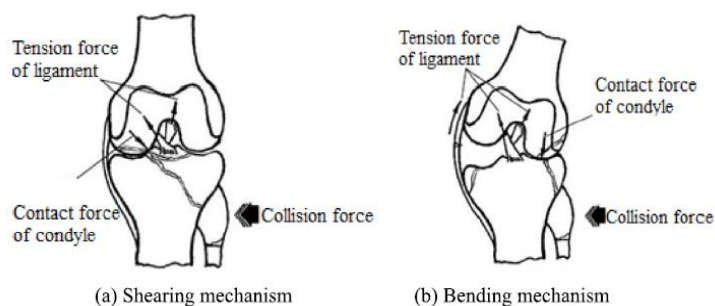
Se ha recomendado la tolerancia torácica VC para adultos con velocidad de 1 m/s.

Mecanismos y Criterios de Lesión de las Extremidades Inferiores

Mecanismos de Lesión de la Extremidad Inferior. Las lesiones de rodilla suelen incluir la fractura del cóndilo femoral/tibial, la fractura patelar, el desgarro y la ruptura del ligamento. La articulación de la rodilla suele sufrir lesiones por cizallamiento y flexión durante los impactos entre un automóvil y un peatón, como se muestra en la Figura 13. El mecanismo de corte normalmente aparece al comienzo de la colisión entre el coche y la pierna del peatón. El estiramiento excesivo del ligamento (ACL o PCL) causado por la dislocación por cizallamiento que se presenta entre el fémur y la tibia provocará el desgarro y la ruptura del ligamento. (Yang, 2010)

Figura 13

Mecanismos de lesión por cizallamiento y flexión de la articulación de la rodilla.



La fuerza de contacto se presenta entre el cóndilo del fémur medial y la eminencia intercondílea tibial debido a la resistencia a la luxación por cizallamiento de la articulación de la rodilla. Las fuerzas de contacto dan como resultado una tensión concentrada en la faceta de contacto de la eminencia intercondilar y el cóndilo femoral medial. La fractura de la eminencia intercondílea tibial y/o la falla del cartílago femoral pueden ocurrir cuando la tensión de contacto excede su fuerza. (Walmsley, 1997)

Criterios de Lesión de la Extremidad Inferior. La resistencia de los huesos largos bajo el momento de flexión y el impacto transversal se ha investigado ampliamente mediante el uso de PMHS (Post Mortem Sujeto humano) experimentos en las últimas décadas. (Pak et al., 2019)

Los criterios de seguridad de los huesos largos se expresan comúnmente en términos de momento de flexión y fuerza de impacto lateral. La fractura de fémur se comprobó con una fuerza de impacto máxima que oscilaba entre 3 y 10 kN, y el momento de flexión de aproximadamente 320 N·m. La fuerza de impacto máxima para la fractura de tibia se informó de 2,5 a 8 kN y en un momento de 200 a 400 Nm. En la investigación de Kerrigan et al., (2003), determinaron la resistencia del fémur y la tibia en pruebas dinámicas de flexión de tres puntos con especímenes aislados de fémur y tibia. Según sus experimentos, los momentos de fractura del fémur y la tibia fueron de 412 y 310 Nm, respectivamente.

La fractura de peroné también se investigó y se informó con una fuerza de impacto de 0,44 kN y un momento de 27 N·m (Levine, 2002)

La ruptura del LCA y la fractura de intercondylar de la tibia fueron identificadas en las pruebas de cizallamiento puro. La carga que sufrió la articulación de la rodilla cuando se produjeron las lesiones fue de 2,6 kN (15 km/h) y 3,2 kN (20 km/h), respectivamente. Los momentos de flexión de la articulación de la rodilla cuando se produjo el desgarro del MCL en las pruebas de flexión pura resultaron ser de 101 Nm (15 km/h) y 123 Nm (20 km/h), respectivamente.(Kaj et al., n.d.)

Para obtener la tolerancia a lesiones de la articulación de la rodilla en condiciones de carga de alta velocidad, se realizaron ensayos de corte puro y flexión pura a la velocidad de impacto de 40 km/h. Se encontraron fracturas epifisarias y fracturas metafisarias a partir de las pruebas de corte puro en la articulación aguda con desplazamientos de corte de 16 y 28 mm, respectivamente.(Kajzer et al., 1997)

Para las diferentes partes del cuerpo humano, los criterios de lesión y sus umbrales de tolerancia se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5

Criterios de lesión y tolerancia para el cuerpo humano.

Partes del cuerpo	Criterios de lesión	Tolerancia	Tipo de lesión
Cabeza	HIC 15	1000	16% de la probabilidad de lesiones de nivel 4 + de AIS
Tórax	Aceleración	60 g	Para un impacto frontal
Tórax	deformación del pecho	75mm	Para un impacto frontal
Tórax	deformación del pecho	42mm	Lesión AIS 3 + en un impacto lateral
Tórax	ITT	85 g	Para adultos en un impacto lateral
Tórax	ITT	60 g	Para niños en un impacto lateral
Tórax	CV	1 m/s	Para un impacto frontal/lateral
Extremidad baja	Fuerza de impacto	3~10 kN	Fractura de fémur
Extremidad baja	Momento de flexión	320 N·m	Fractura de fémur
Extremidad baja	Fuerza de impacto	2.5~8kN	fractura de tibia
Extremidad baja	Momento de flexión	200~400 N·m	Fracturan de tibia
Extremidad baja	Momento de flexión	412 N·m	Fractura de fémur
Extremidad baja	Momento de flexión	310 N·m	Fractura de tibia
Extremidad baja	Fuerza de impacto	0,44 kN	Fractura de peroné
Extremidad baja	Momento de flexión	27 N·m	Fractura de peroné
Extremidad baja	Ángulo de flexión	16°	Lesión en la rodilla
Extremidad baja	Momento de flexión	100 N·m	Lesión en la rodilla
Extremidad baja	Desplazamiento de corte	20mm	Lesión en la rodilla

Protocolos de Ensayo para la Evaluación de la Seguridad de los Usuarios Viales

Vulnerables

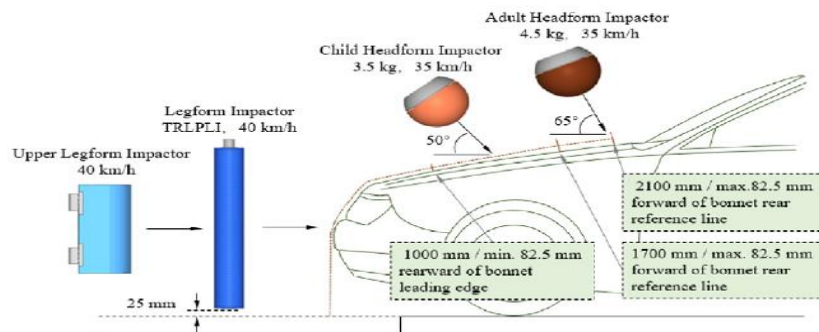
La evaluación de la agresividad de la parte delantera del automóvil contra los peatones generalmente se realiza mediante pruebas de subsistemas, porque generalmente son menos costosas, más simples y más repetibles que las pruebas ficticias de peatones a gran escala. En la práctica, se propusieron tres pruebas de subsistemas en EEVC/WG17: la prueba del simulador de piernas al parachoques, la prueba del simulador de piernas superior al borde de ataque del capó y la prueba del simulador de cabeza a la parte superior del capó. Estas pruebas se desarrollaron para evaluar el rendimiento de seguridad de la estructura frontal de un automóvil a una velocidad de impacto de peatones de 11,1 m/s (40 km/h).

Comparación de Normativas para la Protección de los Usuarios Viales Vulnerables

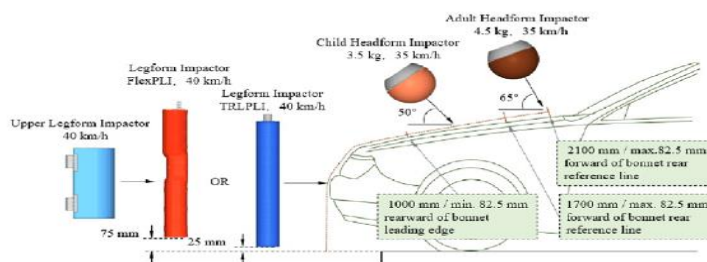
Con la profundización del conocimiento biomecánico y la comprensión de las lesiones humanas vehiculares, las normas para la protección de los usuarios vulnerables de la carretera (VRU) se actualizan constantemente. En la actualidad, las regulaciones de protección de VRU implementadas a nivel mundial incluyen principalmente el impacto del simulador de piernas contra el parachoques y el impacto del simulador de cabeza contra el capó, como se muestra en Figura 14.

Figura 14

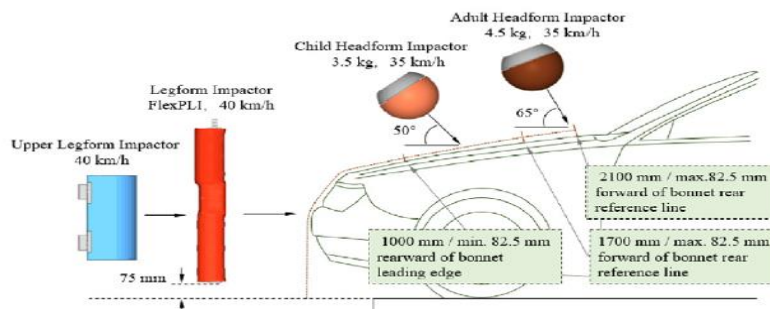
Comparación de procedimientos de prueba para la regulación de protección VRU.



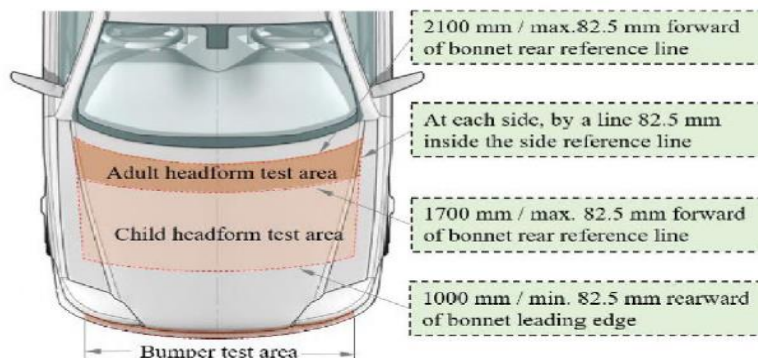
(a) GB/T 24550-2009



(b) TRIAS 18-J099(2)-1 / KMVSS 102-2 / AIS-100 Amendment No.2



(c) GTR No.9 Amendment No.2 / ECE R127.2



(d) Test area

Procedimiento de Ensayo de Impacto con Simulador de Cabeza en la Normativa

Las pruebas de impacto con simuladores de cabeza representan un área importante de estudio para diferentes propósitos relacionados con las lesiones en la cabeza. De estas diferentes leyes y reglamentos que se están implementando, como GB/T 24550–2009, TRIAS 18-J099(2)-1 y GTR N° 9 Enmienda N° 2, condiciones de prueba con simulador de cabeza que incluyen ángulo de impacto, velocidad de impacto y área de prueba, son bastante consistentes, como se muestra en Figura 14 (a) y (c). El ángulo de impacto de la cabeza de un niño es de 50° al suelo y la velocidad de impacto es de 35 km/h. El ángulo de impacto de la cabeza adulta es de 65° al suelo y la velocidad de impacto es de 35 km/h. (Liu et al., 2016)

El área de prueba del simulador de cabeza consta del área de prueba del simulador de cabeza infantil y el área de prueba del simulador de cabeza para adultos, como se muestra en la Figura 14 (d). Basado en el área de prueba del simulador de cabeza, el criterio de lesión en la cabeza (HIC) se usa comúnmente para evaluar la gravedad de la lesión en la cabeza, como se muestra en Tabla 6.(Wang et al., 2020)

Tabla 6

El índice de lesión de UVR en leyes y reglamentos.

Descripción		GTR No. 9 Enmienda No. 2/ECE R127.2	TRIAS 18-J099(2)-1/KMVSS 102-2/ AIS-100 Enmienda No. 2	GB/T 24550-2009
Área de prueba del simulador de cabeza infantil	Impactador simulador de cabeza de niño	Más de 1/2 área de prueba del simulador de cabeza infantil: HIC \leq 1000; Más de 2/3 de las	Más de 1/2 área de prueba del simulador de cabeza infantil: HIC \leq 1000; Más de 2/3 de las	Más de 1/2 área de prueba del simulador de cabeza infantil: HIC \leq 1000; Más de 2/3 de las
Área de prueba del simulador de cabeza de adulto	Impactador simulador de cabeza de adulto	áreas de prueba combinadas del simulador de cabeza de niños y adultos: HIC \leq 1000; Resto de áreas: HIC \leq 1700	áreas de prueba combinadas del simulador de cabeza de niños y adultos: HIC \leq 1000; Resto de áreas: HIC \leq 1700a	áreas de prueba combinadas del simulador de cabeza de niños y adultos: HIC \leq 1000; Resto de áreas: HIC \leq 1700
Área de prueba de parachoques	TRLPLI	-	Ángulo de flexión de la rodilla \leq 19°; Desplazamiento por cizallamiento de rodilla \leq 6,0 mm; Aceleración tibial \leq 170 g	Ángulo de flexión de la rodilla \leq 19°; Desplazamiento por cizallamiento de rodilla \leq 6,0 mm; Aceleración tibial \leq 170 g
	FlexPLI	MCL \leq 22mm ACL/PCL \leq 13mm T1~T4 \leq 340 N·m	MCL \leq 22mm ACL/PCL \leq 13mm T1~T4 \leq 340 N·m	-
	Impactador simulador de pierna superior	Suma de las fuerzas de impacto \leq 7,5 kN; Momento de flexión \leq 510 N·m	Suma de las fuerzas de impacto \leq 7,5 kN; Momento de flexión \leq 510 N·m	Suma de las fuerzas de impacto \leq 7,5 kN; Momento de flexión \leq 510 N·m

Nota. Solo hay un área de prueba con simulador de cabeza de niño, el HIC registrado no debe exceder 1000 en dos tercios del área de prueba. Para el área restante, el HIC no excederá de 1700. El fabricante puede designar anchos de prueba de parachoques hasta un máximo de 264 mm en total donde el valor absoluto del momento de flexión de la tibia no debe exceder los 380 N·m. El fabricante puede designar anchos de prueba de parachoques hasta un máximo de 264 mm en total donde la aceleración medida en el extremo superior de la tibia no debe exceder los 250g.

Comparación de los Nuevos Programas de Evaluación de Automóviles para la Protección de VRU

Para verificar aún más el rendimiento de seguridad de los VRU de los vehículos, muchos países y regiones han introducido un nuevo programa de evaluación de automóviles sobre la base de las regulaciones, que han presentado requisitos más altos para la seguridad de los VRU.(Xiaojiang et al., 2016)

Procedimiento de Prueba de Impacto del Simulador de Piernas en NCAP

En Euro-NCAP, se suele seleccionar el impactador simulador de pierna o FlexPLI para llevar a cabo las pruebas de impacto de parachoques, y el impactador simulador de pierna se utiliza a menudo para realizar las pruebas WAD 775. (EuroNCAP, 2017)

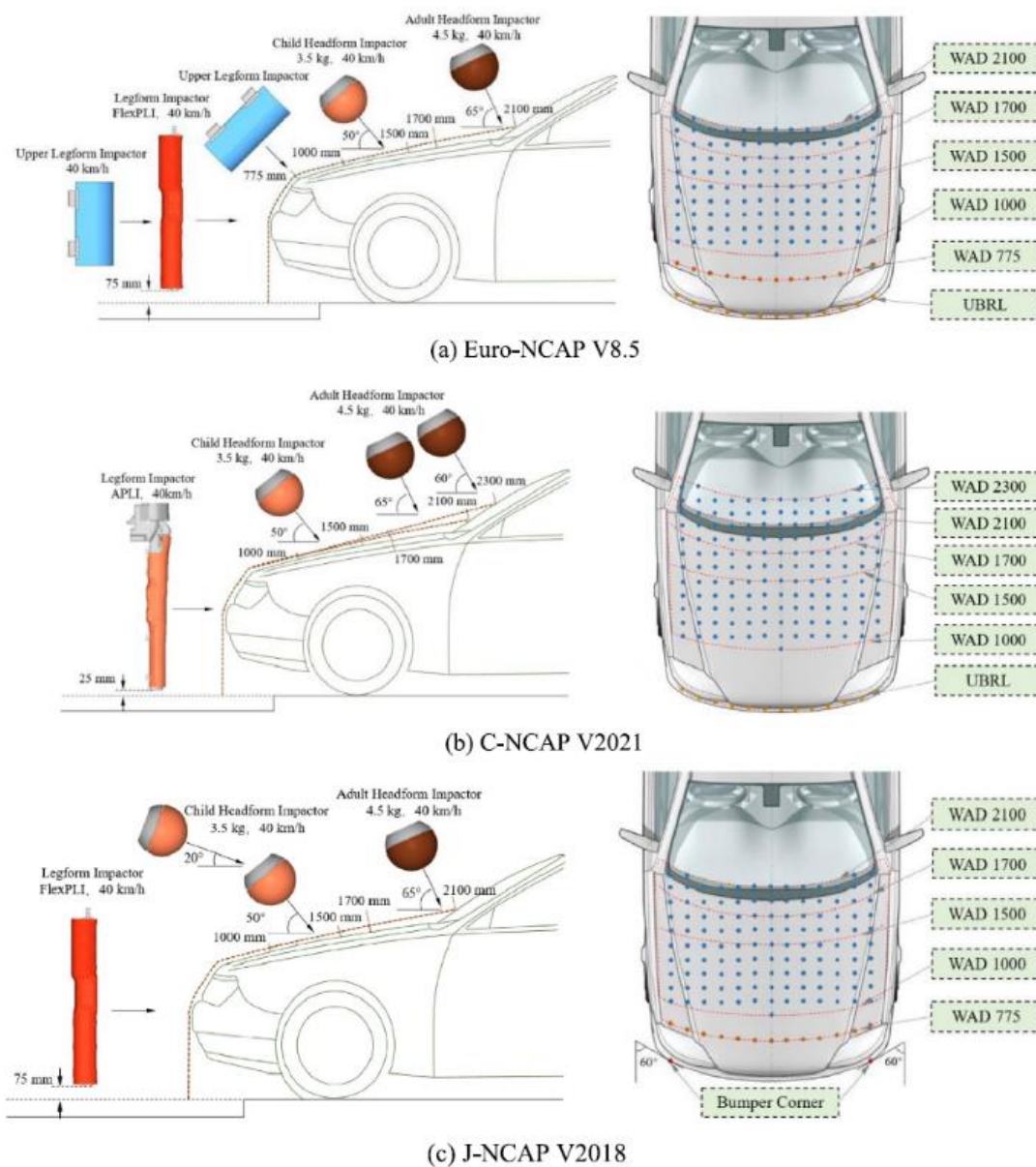
En Euro-NCAP y C-NCAP, la zona de prueba del parachoques se define como el área confinada por las esquinas del parachoques o los extremos exteriores de las estructuras de la viga del parachoques, los rieles inferiores o la viga transversal, lo que sea más grande. En J-NCAP, la zona de prueba del parachoques se define como el área limitada por las esquinas del parachoques. Los criterios de evaluación utilizados para las pruebas de impacto del simulador de piernas, así como los límites de rendimiento superior e inferior, se resumen en Tabla 7.(Xiaojiang et al., 2023)

Procedimiento de Prueba de Impacto del Simulador de Cabeza en NCAP

Con respecto al impacto del simulador de cabeza en NCAP, el nodo de la cuadrícula es el punto objetivo del impacto de la cabeza, y la distancia entre dos nodos de la cuadrícula adyacentes es de 100 mm, se puede ver en la Figura 15 que la velocidad de impacto del simulador de cabeza es de 40 km/h en NCAP, que es superior a la reglamentaria. Sin embargo, en diferentes NCAP, las áreas de prueba del simulador de cabeza y los ángulos de impacto son diferentes.

Figura 15

Comparación de procedimientos de prueba para el programa de evaluación de vehículos nuevos de protección VRU.



Los criterios de evaluación utilizados para las pruebas de impacto con el simulador de cabeza, expresados como color de acuerdo con los límites de color correspondientes para HIC, se resumen en Tabla 7.

Tabla 7

El índice de lesiones de UVR en el programa de evaluación de automóviles nuevos.

Descripción		EuroNCAP V8.5	J-NCAP V2018	C-NCAP V2021	
Área de prueba del simulador de cabeza infantil	Impactador simulador de cabeza de niño	Límites de color	Verde: HIC<650 amarillo: $650 \leq \text{HIC} < 1000$ Naranja: $1000 \leq \text{HIC} < 1350$	Verde: HIC<650 amarillo: $650 \leq \text{HIC} < 1000$ Naranja: $1000 \leq \text{HIC} < 1350$	
			Marrón: $1350 \leq \text{HIC} < 1700$ Rojo: $1700 \leq \text{HIC}$	Marrón: $1350 \leq \text{HIC} < 1700$ Rojo: $1700 \leq \text{HIC}$	
Área de prueba del simulador de cabeza de adulto	Impactador simulador de cabeza de adulto				
Área de prueba de parachoques	APLI	Límite de rendimiento superior	-	-	Flexión del fémur: 390 N·m Flexión de la tibia: 275 N·m
		Límite inferior de rendimiento	-	-	Flexión del fémur: 440 N·m Flexión de la tibia: 320 N·m MCL: 32 mm
	FlexPLI	Límite de rendimiento superior	Flexión de la tibia: 282 N·m MCL: 19 mm LCA/LCP: 10 mm	Flexión de la tibia: 202 N·m MCL: 14,8 mm LCA/LCP: 0 mm	-
		Límite inferior de rendimiento	Flexión tibial: 340 N·m MCL: 22 mm LCA/LCP: 10 mm	Flexión de la tibia: 306 N·m MCL: 19,8 mm LCA/LCP: 13 mm	-
	Impactador simulador de pierna superior	Límite de rendimiento superior	Momento flector: 285 N·m Suma de fuerzas: 5 kN	-	-
		Límite inferior de rendimiento	Momento flector: 350 N·m Suma de fuerzas: 6 kN	-	-
Área de prueba WAD 775	Impactador simulador de pierna superior	Límite de rendimiento superior	Momento flector: 285 N·m Suma de fuerzas: 5 kN	-	-
		Límite inferior de rendimiento	Momento flector: 350 N·m Suma de fuerzas: 6 kN	-	-

Maniqués de Prueba

Historia. Debe entenderse que antes de utilizar el maniquí en pruebas de choque, se obtuvo información sobre el vehículo en caso de accidente, pero en ningún caso sobre el comportamiento o daño que puede recibir el cuerpo humano en este tipo de colisiones.

Las primeras sondas utilizadas fueron cadáveres y animales. Se pretendía construir un simulador de asiento remoto y arneses de seguridad para pilotos de aeronaves. Este proyecto fue realizado por la empresa "Sierra" junto con el laboratorio "Alderson" en 1949. El nombre del maniquí era "Sierra Sam". (Alomaliza, 2021)

Como lo indica Alomaliza (2021), a principios de la década de 1950, esa misma empresa, junto con Grumman Laboratories, construyó el primer maniquí utilizado en pruebas de choque de automóviles y aviones. Anderson Labs produjo más tarde la serie "VIP-50" (construida principalmente para GM y FORD), Sierra reaccionó con un nuevo maniquí "Sierra Stan", pero GM decidió que ninguna de las dos imitaciones cumplía con sus requisitos. requisitos que buscaban, el propio departamento de ingeniería de GM desarrolló su propio maniquí, que combinaba las mejores características de los maniqués "VIP-50" y "Sierra Stan", y así nació el Hybrid I en 1971. Sin embargo, se logró un gran progreso, un adelanto en las pruebas de carrocería mientras desarrollaba estos maniqués, estos maniqués solo eran adecuados para probar los cinturones de seguridad, por lo que en 1976 los ingenieros de GM desarrollaron una nueva generación de maniqués, el Hybrid III, para reducir las lesiones de los pasajeros.

Maniqués Para Pruebas de Impactos. Actualmente, se utilizan varios modelos de prueba según el tipo de choque, los modelos más utilizados son los que se describen en la Tabla 8 a continuación.

Tabla 8

Tipos de maniquís para impactos.

Tipo de colisión	Tipo de maniquí	Regulación
Frontal	Hybrid III, THOR	ONU/CEPE R94
Lateral	World SID, SID-IIS, ES-2, USSID	ONU/CEPE R95
Posterior	BIORID2	UN 94
Vuelco	Hybrid III	FMVSS 208/ 216

Serie Hybrid III. La serie Hybrid III está compuesta de varios modelos/tallas representativas de la sociedad:

- Hybrid III masculino percentil 50: masa 77kg y altura de 168cm.
- Hybrid III masculino percentil 95: masa de 100kg y altura de 188cm.
- Hybrid III femenino percentil 50: masa de 50kg y altura de 152cm.
- Hybrid III infantil 6 años: 21kg.
- Hybrid III infantil 3 años: 15kg.

Validación. Antes de validar los modelos computacionales, es necesario conocer el proceso por el cual se debe entregar cada prototipo, en el cual se minimicen los costos de producción, pues con base en el análisis anterior se puede concluir si el prototipo será utilizable, y si los resultados muestran datos desfavorables, se detiene la producción del prototipo.

Este proceso debe seguirse estrictamente porque asegura la confiabilidad y factibilidad del análisis antes de una gran inversión en el prototipo. Los diseñadores siguen el mismo proceso para cualquier

El airbag

El *airbag* es un sistema de seguridad pasiva diseñado para reducir el riesgo de lesiones para el conductor o los pasajeros, principalmente en la cabeza y la parte superior del cuerpo. El sistema de bolsas de aire está controlado por un dispositivo electrónico que lo activa en función de las señales recibidas por el sensor del sistema, que detecta las

paradas repentinas causadas por colisiones. La bolsa se expande debido a la activación de los interruptores y la liberación de químicos formados entre los gránulos de nitrógeno; Aunque actualmente se utiliza aire comprimido, no significa que los pasajeros no sufran lesiones en un accidente grave, y proporciona un riesgo de muerte del 40-50%. Su uso es adicional, no sustituto, del cinturón de seguridad. (Orbea et al., 2017)

Historia del Airbag. Su inicio se basó en un estándar de seguridad publicado por los estadounidenses en 1967 junto con el Federal Motor Vehicle Safety Standard. Esta norma anima a algunos fabricantes de vehículos a empezar a desarrollar nuevos sistemas de seguridad para los habitáculos, como los airbags, y desde entonces. cuando se desarrolle este sistema de seguridad. (Jeréz et al., 2017)

Componentes del Airbag. Como lo indica Rodríguez (2019), todos los airbags constan de tres partes: las bolsas propiamente dichas, una unidad de control del airbag y un conjunto de sensores distribuidos en diferentes zonas del automóvil.

- **Los sensores:** Están repartidos por todo el coche, aunque la concentración es mayor en la parte delantera y laterales. Se trata de acelerómetros, giroscopios y sensores de presión que miden diversas variables: la intensidad y el origen de la colisión.
- **La unidad de control del airbag (UCE):** es el cerebro del airbag, analiza los datos recogidos por los sensores y actúa en consecuencia. Se ubica en una localización lo más segura posible.
- **Las bolsas:** Fabricados en material muy resistente, quedan ocultos en varios puntos del vehículo: volante, asiento lateral, zona de pasajeros, etc. Se activan fácilmente debido al material inflamable que produce gas al arder dentro de la bolsa. Dicho "disparador" de combustión es un sistema eléctrico conectado a un panel de interruptores que puede llenar las bolsas en unos 30-55 milisegundos desprendido a 240 bares aproximadamente de presión.

Materiales del Airbag. Habitualmente, los materiales utilizados en la fabricación de los airbags son tejido de nylon o poliamida, y pueden estar lubricados con talco o almidón, mientras que su activación requiere igualmente un propulsor consistente en ácido sódico. el gas producido durante la combustión reacciona con un oxidante (oxígeno, cobre u óxido de hierro) a nitrógeno y puede llenar la bolsa. (HELLA TECH WORLD, 2021)

Airbag para Peatones. La bolsa de aire para peatones (Peadestrian Airbag) está instalada debajo del capó junto al parabrisas. En ciertas colisiones frontales con un peatón, los sensores en el parachoques delantero reaccionarán y la bolsa de aire se desplegará si la fuerza del impacto se considera lo suficientemente alta. Los sensores están activos a velocidades de 20-50 km/h (12-30 mph) y a una temperatura ambiente entre -20 y +70 °C. (VOLVO, 2020)

Los sensores están diseñados para detectar una colisión con un objeto con características parecidas a las piernas de una persona.

Vehículos

Partes del Vehículo. Una forma de entender el funcionamiento del vehículo puede ser separándolo en dos grandes partes, una, la "Carrocería" que es la parte visible del carro donde se ubican los pasajeros y la carga, la otra es el "Chasis" o "Autobastidor" que es el conjunto de sistemas que producen el movimiento y luego lo transmiten a las ruedas

Sistemas que Hacen Parte del Chasis.

- Motor
- Sistema de Transmisión
- Sistema de Frenos
- Sistema Eléctrico
- Sistema de Dirección
- Sistema de Suspensión

Materiales Estructurales de los Vehículos. Para el diseño y la fabricación de productos, es necesario seleccionar el material que mejor se adapte a sus exigencias de

uso y desde el punto de vista para la viabilidad del proyecto, que resulte más económico. A continuación, conoceremos los tipos de materiales que pueden ser empleados.

Tabla 9

Los materiales: tipos y propiedades.

Clasificación	Materiales naturales	<ul style="list-style-type: none"> • Se encuentran en la naturaleza. • Construyen los materiales básicos para fabricar los demás. • El reciclaje es una buena solución para preservar el medio natural y ahorrar recursos naturales y reducir costes. • Son madera, lana, oro, etc.
	Materiales artificiales	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtienen a partir de los naturales sin sufrir transformación previa. • Son hormigón, acero, etc.
	Materiales sintéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtienen a partir de materiales artificiales. • Son plásticos.
Propiedades	Propiedades sensoriales	<ul style="list-style-type: none"> • Tacto, olor, forma, brillo, textura y color.
	Propiedades ópticas	<ul style="list-style-type: none"> • Reacción del material cuando la luz incide sobre él; opacos, transparentes, translúcidos. • Semiconductores, LDR, placas sola-res, etc.
	Propiedades térmicas	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento del material frente al calor. • Por lo general, los metales son buenos conductores del calor. • Se modifican sus características mecánicas con la temperatura.
	Propiedades magnéticas	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad que tiene un metal ferroso de ser atraído por un imán y que este se pueda imantar
	Propiedades químicas	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la oxidación y a la corrosión. • El acero y sus aleaciones se oxidan con facilidad en contacto con la humedad.
	Propiedades mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> • Elasticidad, plasticidad, ductilidad, maleabilidad

A lo largo de los últimos años, los materiales más utilizados son los mencionados a continuación. (Sánchez, 2018)

- Aleaciones de hierro
- Aleaciones de aluminio

- Aleaciones de magnesio
- Plásticos y aleaciones
- Resinas termoestables con fibra de vidrio o de carbono
- Cristales
- Textiles y Fibras naturales

Propiedades Mecánicas. El desarrollo de los materiales utilizados en la fabricación de automóviles es impresionante, por lo que es importante conocer sus propiedades y características físicas y mecánicas. Por lo tanto, es posible comprender cómo se desarrolla un material y su estructura adaptativa bajo ciertas condiciones, y hacer suposiciones sobre su durabilidad o dureza bajo ciertas tensiones.

Estos esfuerzos son con los que el chapista trabaja para analizar las deformaciones producidas en el vehículo tras una colisión para realizar el posterior conformado y reparación de su estructura.

El conocimiento de los diferentes materiales empleados en la fabricación de carrocerías es fundamental para conformar estructuras y estudiar su comportamiento.

Tabla 10

Propiedades mecánicas de los materiales.

Propiedad	Definición	Unidades
Elasticidad	Es la propiedad que tienen los materiales para doblarse o alargarse cuando son sometidos a un esfuerzo de tracción y por la que recuperan su forma original una vez eliminado el esfuerzo.	GPa, Mpsi
Plasticidad	Es la propiedad que permite a los materiales ser moldeados cuando son golpeados con otro de mayor dureza.	GPa, Mpsi
Resiliencia	Es la resistencia al choque.	MPa
Tenacidad	Capacidad que tienen los cuerpos para resistir el choque, es decir, es la energía requerida para producir la rotura. Un material es más tenaz cuanto mayor es su resiliencia y mayor su alargamiento.	kJ/m ² , Btu/in ²

Propiedad	Definición	Unidades
Maleabilidad	Es la capacidad de deformarse de un material que le permite ser laminado sin fracturas.	MPa
Ductilidad	Es la propiedad que permite que el material se estire antes de romperse.	-
Fragilidad	Es la propiedad opuesta a la ductilidad. Un material frágil se rompe por tener una capacidad de deformación muy pequeña, casi despreciable.	MPa
Tensión	Es la fuerza aplicada por unidad de superficie de un material.	MPa
Dureza	Es la resistencia que ofrece un material a ser rayado por otro. Cuanto más duro es un material, más frágil es, y cuanto más blando, más maleable y dúctil resulta.	H (Rockwell, Brinell, Vickers)
Soldabilidad	Es la propiedad que tienen los materiales de ser trabajados térmicamente	-

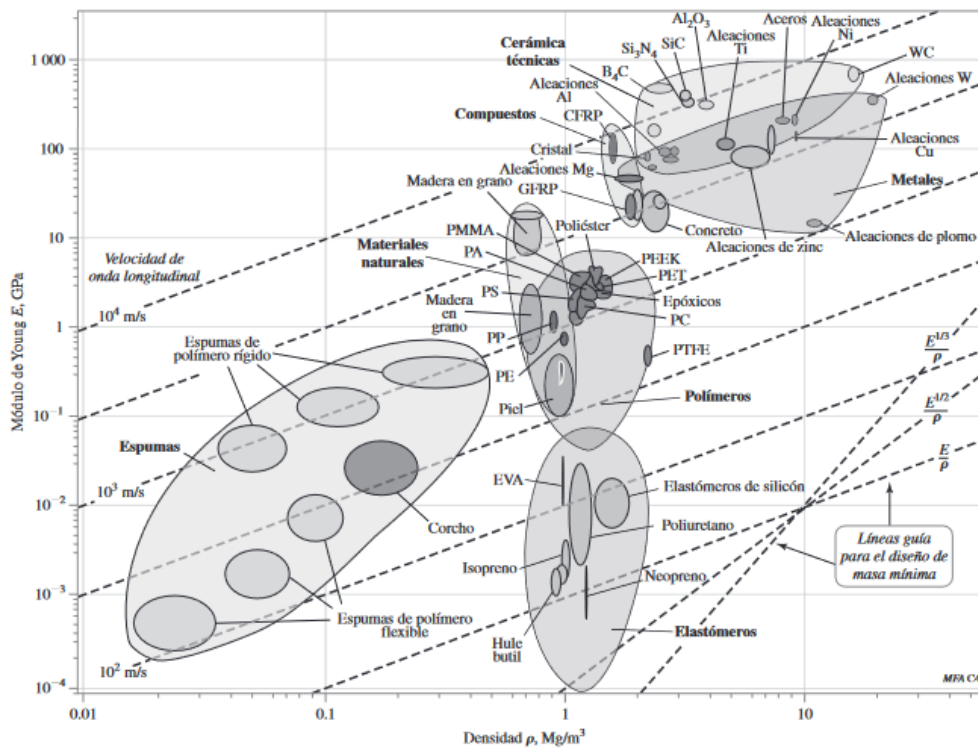
Módulo de Elasticidad vs Densidad. Todas estas propiedades configuran los parámetros a considerar a la hora de la selección de la aleación, lo que podríamos denominar como los criterios de selección de los materiales. Debe considerarse que la selección de una aleación se basa en dos pilares fundamentales:

- Las propiedades intrínsecas de la misma, determinadas principalmente por sus propiedades físicas: densidad, módulo de elasticidad; propiedades mecánicas: tensión de rotura, factor de intensidad de tensiones; etc. Es decir, la función a realizar por el material.
- La forma y tamaño del objeto condicionado muchas veces por la propia aplicación y en ocasiones por el proceso productivo que condiciona igualmente la selección del material, así como la forma, tamaño, precisión y coste de la pieza.

Estas interacciones entre función, material, forma y proceso son las que se han intentado representar a modo de resumen en la figura 16, en la cual se recogen algunas relaciones de las diferentes propiedades de distintos materiales metálicos y no metálicos.

Figura 16

Módulo de elasticidad, E , de los materiales en relación a la densidad, ρ , de los mismos.

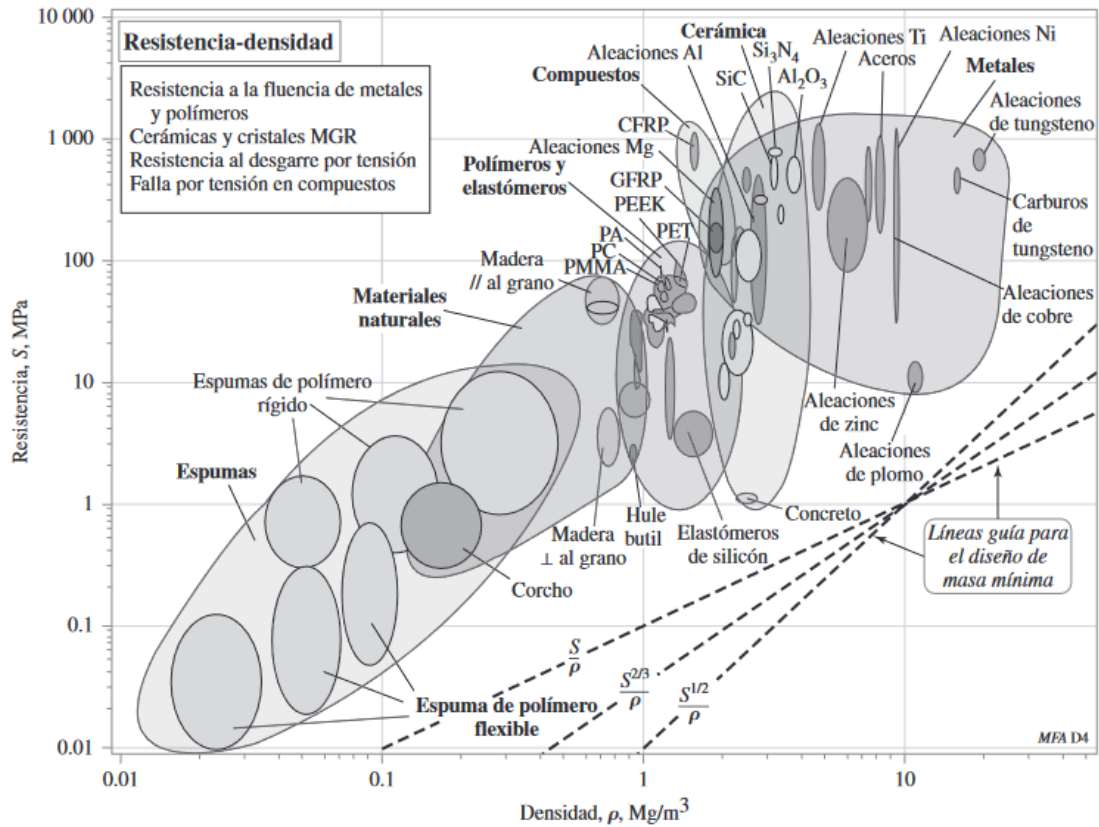


Nota. En la imagen se muestra una agrupación de elastómeros, polímeros, cerámicas, metales, materiales compuestos y naturales con sus mezclas. Tomado de Módulo de Young E contra Densidad ρ de Diferentes Materiales (p.61), por (Budynas & Nisbett, 2012)

Resistencia vs Densidad. Relaciona la resistencia y densidad, figura 17, para metales y polímeros se considera como resistencia a la fluencia, en cerámicas y cristales como resistencia al aplastamiento compresivo, para materiales compuestos la resistencia a la tensión y en elastómeros la resistencia al desgarre.

Figura 17

Resistencia, S , de los materiales en relación a la densidad, ρ , de los mismos.



Nota. Tomado de Resistencia S contra densidad ρ de diferentes materiales, en el caso de los metales, S es igual a 0.2 por ciento de la resistencia a la fluencia por corrimiento, (p.64), por (Budynas & Nisbett, 2012)

Coefficiente de Poisson. El coeficiente de Poisson es una cantidad adimensional, característica de cada material. Es un indicativo de la deformación de un trozo de material ante la aplicación de ciertos esfuerzos.

Figura 18

Formula del coeficiente de Poisson.

$$\mu = - \frac{\epsilon_{transversal}}{\epsilon_{axial}}$$

Coeficiente de Poisson

Afectaciones a la Salud en Atropellamientos

La dinámica de los peatones en una colisión de vehículos y la distribución de las lesiones resultantes están influenciadas por varios factores, como la velocidad del impacto, el tipo de vehículo, la geometría y la rigidez frontal del vehículo, la edad, la altura y la posición del peatón en relación con el punto de impacto con la parte delantera del vehículo. Se ha demostrado que comprender el mecanismo de lesión de los peatones no solo es importante para diseñar mejores sistemas de protección o eliminar materiales que comprometan su integridad física, sino que también es información importante para el manejo de lesiones para peatones. (Seijas et al., 2019)

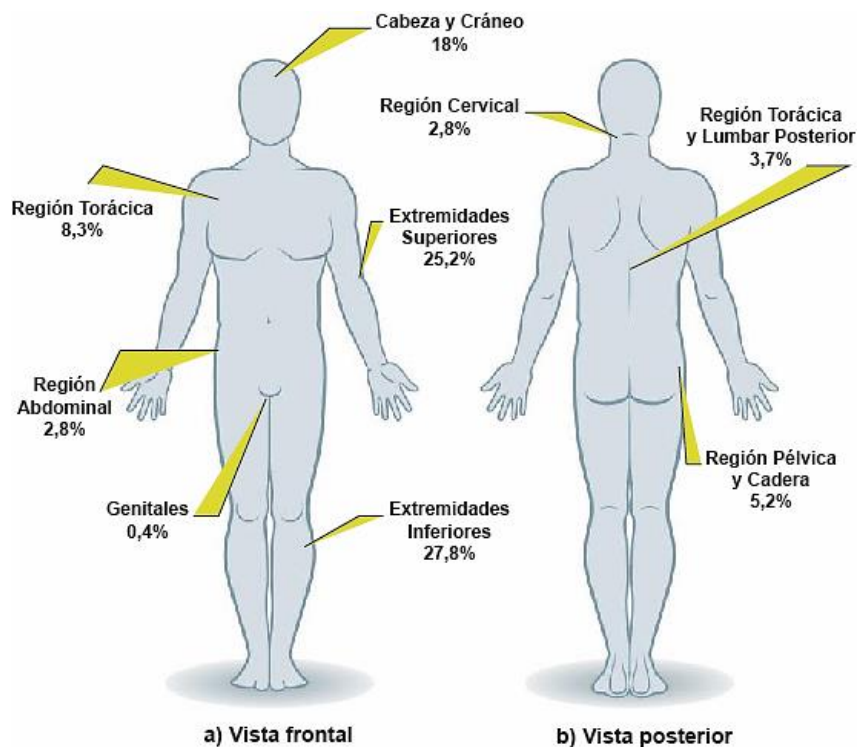
Lesiones Ocasionadas por Accidentes

En la Figura 19 se presentan las lesiones ocasionadas por los accidentes, según el estudio de (Trujillo et al., 2018), en la vista anterior se tiene las extremidades inferiores con un porcentaje del 27,8% de las lesiones, muy cercano a lo presentado en las extremidades superiores con una participación del 25,2%.

Respecto de la cabeza y cráneo se presentan lesiones en un 18%. Las lesiones de la región torácica fueron de un 8,3%, la pelvis y articulación de la cadera presenta un 5,2%. La zona cervical, torácica y lumbar posterior, la región abdominal, los genitales presentaron una prevalencia baja, su interés clínico en relación a la anatomía convierte dichas lesiones en relevantes. Se debe resaltar que se presentó un caso de lesión abdominal, pero fue reportado y discriminado como trauma obstétrico.

Figura 19

Distribución de las lesiones por accidentes de tránsito.



Tipología del Accidente

Nos referimos a las diferentes formas de impacto y las secuencias que se produce en los vehículos como consecuencia de un accidente de tránsito.

Posteriormente dentro de este enfoque se tiene en cuenta los tres factores que intervienen para que se suscite el accidente. (Agencia Nacional de Tránsito, 2022)

- **Arrollamiento.** - Acción por la cual un vehículo pasa con su rueda o ruedas por encima del cuerpo de una persona o animal.
- **Atropello.** - Impacto de un vehículo en movimiento a un peatón o animal.
- **Choque frontal longitudinal.** - Es el impacto de frente entre dos vehículos, cuyos dos ejes longitudinales de los móviles son opuestos y coinciden, formando una línea recta.
- **Choque frontal excéntrico.** - Es el impacto de frente entre dos vehículos, cuyos dos ejes longitudinales de los dos móviles no coinciden en forma de una línea recta.

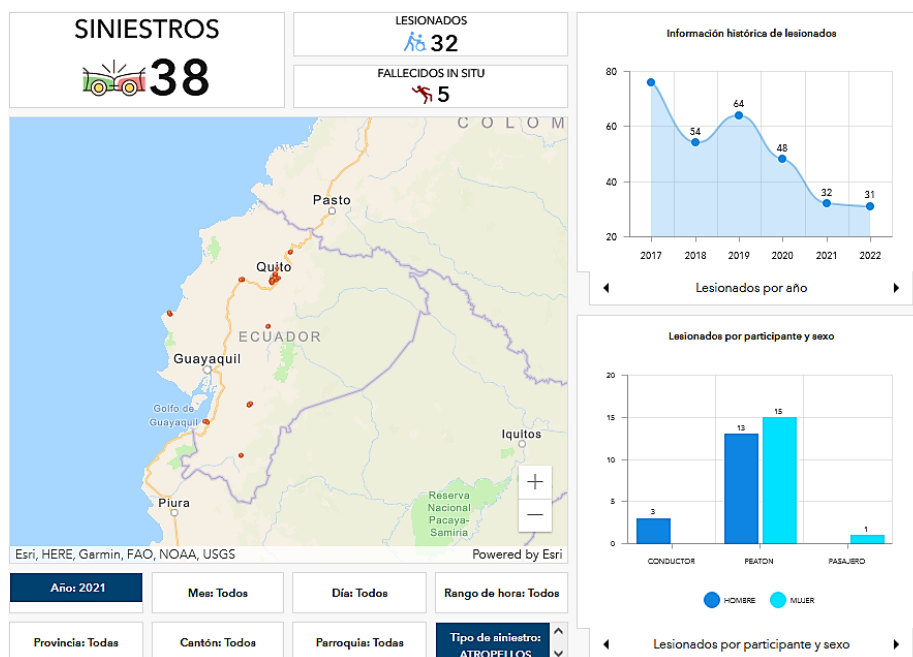
- **Choque lateral perpendicular.** - Es el impacto que se produce entre la parte frontal de un vehículo y la parte lateral de otro, formando un ángulo de 90 grados.
- **Choque lateral angular.** - Es el impacto que se produce entre la parte frontal de un vehículo y la parte lateral de otro, formando un ángulo mayor o menor de 90 grados.
- **Choque por alcance.** - Es el impacto que se produce cuando un vehículo se impacta con la parte frontal en la parte posterior de otro vehículo, siempre y cuando los dos estén en movimiento.
- **Colisión.** - Impacto de más de dos vehículos en movimiento.

Siniestralidad Nacional

Datos de la Agencia Nacional de Tránsito. En la figura 20 se puede observar los datos proporcionados por la ANT respecto de siniestros de tránsito tipo atropellamiento suscitados en el año 2021 en todo el estado ecuatoriano en vehículos tipo automóvil dedicados al servicio comercial.

Figura 20

Datos de la agencia nacional de tránsito.



Nota. Siniestros de tránsito tipo atropellamiento, datos registrados por la Agencia Nacional de Tránsito ANT (Agencia Nacional de Tránsito, 2022)

Para tener una apreciación mayor de los siniestros de tránsito tipo atropellamiento, podemos observar la figura 21, la cual muestra una curva con datos recolectados desde el año 2017 hasta el año 2022. De esta forma se puede apreciar un decremento con el paso de los años, eso se puede adjudicar al aumento de sistemas de seguridad en el vehículo, pasivo y activo, y el mejoramiento de los sistemas ya existentes.

Figura 21

Datos por año de la ANT en casos de atropellamiento.



Nota. Información histórica de Siniestros de tránsito tipo atropellamiento, datos registrados por la Agencia Nacional de Tránsito desde el año 2017 (Agencia Nacional de Tránsito, 2022)

Reglamentos y Regulaciones para la Seguridad de Pasajeros y Peatones en Colisiones Automotrices



Normativa Internacional Relacionada con la Seguridad Vial. “Más de 3.000 personas mueren cada día a causa de traumatismos causados por el tránsito en todo el mundo” (Organización Mundial de la Salud, 2004). El Informe Global de Prevención de Lesiones de Tránsito es el primer informe importante que aborda el impacto significativo en la salud pública de los sistemas de transporte inseguros. En ese momento, las lesiones de tránsito eran la novena causa principal de enfermedad en el mundo. Para 2020, se prevé que el número de accidentes de tránsito sea un tercio en esta escala.




En 2011, la Organización Mundial de la Salud - OMS publicó el Plan Global para la Década de la Seguridad Vial 2011-2020, que pretende ser un documento guía para los países del mundo y pretende facilitar la implementación de medidas coordinadas para alcanzar las metas. en la década. (Moreno, 2019)

El plan tiene como objetivo permitir que todos los estados miembros implementen sus estrategias de seguridad vial dentro de sus territorios y basen sus actividades en los "cinco pilares" de la seguridad vial.

Tabla 11

Cinco pilares de la seguridad vial.

Pilar	Descripción	Grafico
PILAR 1.- Gestión de la Seguridad Vial	“Alentar la creación de alianzas para elaborar estrategias, planes y metas nacionales en materia de seguridad vial y para dirigir su ejecución, basándose en la recopilación de datos y la investigación probatoria para evaluar el diseño de contramedidas y vigilar la aplicación y la eficacia.”	
PILAR 2.- Vías de tránsito y movilidad más segura	“Aumentar la seguridad intrínseca y la calidad de protección de las redes de carreteras en beneficio de todos los usuarios de las vías de tránsito, especialmente de los más vulnerables (por ejemplo, los peatones, los ciclistas y los motociclistas).”	

Pilar	Descripción	Grafico
PILAR Vehículos seguros	3.- “Alentar el despliegue universal de mejores tecnologías de seguridad pasiva y activa de los vehículos, combinando la armonización de las normas mundiales pertinentes, los sistemas de información a los consumidores y los incentivos destinados a acelerar la introducción de nuevas tecnologías”.	
PILAR 4.- Usuarios de vías de tránsito más seguros	“Elaborar programas integrales para mejorar el comportamiento de los usuarios de las vías de tránsito. Observancia permanente o potenciación de las leyes y normas en combinación con la educación o sensibilización pública para aumentar las tasas de utilización del cinturón, casco, reducir la conducción bajo los efectos del alcohol y otros factores de riesgo”.	
PILAR Respuesta tras los accidentes	5.- “Aumentar la capacidad de respuesta a las emergencias ocasionadas por los accidentes de tránsito y mejorar la capacidad de los sistemas de salud y brindar a las víctimas tratamiento de emergencia apropiado y rehabilitación a largo plazo”.	

Normativa Nacional Sobre Seguridad Vial. Este reglamento establece las normas de aplicación a las que están sujetos los conductores, peatones, pasajeros y operadoras de transporte, así como las regulaciones para los automotores y vehículos de tracción humana, animal y mecánica que circulen, transiten o utilicen las carreteras y vías públicas o aquellas privadas abiertas al tránsito y transporte terrestre en el país. (*REGLAMENTO A LEY DE TRANSPORTE TERRESTRE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL, 2012*)

Cifras Ecuatorianas Sobre Siniestros de Tránsito. Según Moreno (2019), la Agencia Nacional de Regulación y Control del Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, bajo las políticas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, toma sus competencias en transporte terrestre, tránsito y seguridad vial a partir del año 2008, junto con la vigencia de la nueva Constitución de la República del Ecuador. Como ente regulador en materia de seguridad vial recopila la información generada por los entes de control

operativo en vías: la Policía Nacional, la Comisión de Tránsito del Ecuador y los Gobiernos Autónomos Descentralizados con Modelo de Gestión.

Ecuador cuenta con un Plan Estratégico de Seguridad Vial 2015-2020, que se alineado al Plan Mundial Para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial y sus cinco pilares; a su vez, este Plan Estratégico se encuentra aterrizado en un Plan Operativo de Seguridad Vial aprobado en el año 2017 que se lleva a cabo actualmente. (Moreno, 2019)

En el Ecuador, entre el año 2004 – 2013 fallecieron aproximadamente 28.000 personas, un promedio anual de 2.817 personas, lo que equivale a una tasa promedio de 19,73 personas fallecidas por cada 100.000 ciudadanos ecuatorianos según datos de la Agencia Nacional de Tránsito (2015-2020).

Capítulo III

Procedimiento de Simulación

Modelado 3D del Vehículo Tipo SEDAN

Selección del Vehículo

Según ANT (2021), en el Artículo 29 de la resolución N° 104, indican que “Para efectuar el servicio de transporte terrestre comercial de taxi convencional se utilizarán vehículos que cumplan con las especificaciones establecidas en las normas técnicas que regulen al respecto, adecuados para brindar este servicio específico”.

Las características que deben presentar los vehículos son las siguientes: Autos Sedan, Station Wagon o Hatch Back – con capacidad de 5 pasajeros sentados incluidos el conductor, desde 1100cc en motores atmosféricos o 900cc en motores turboalimentados hasta 2000cc en ambos casos, con dos filas de asientos, 5 puertas; o cualquier otro vehículo que cumpla con las condiciones antes detalladas. además de disponer de un maletero cuya capacidad se encuentre comprendida entre 0.2m³ (200 litros) hasta 0.52m³ (520 litros).(ANT, 2021)

La normativa de matriculación ecuatoriana reconoce a los segmentos sedán, SUV y camioneta, entre otros. De ahí que a los carros sedan más vendidos en el último año son los siguientes:

- Soluto (Kia)
- Rio (Kia)
- Onix (Chevrolet)
- Sail (Chevrolet)
- Accent (Hyundai)

En mayo se reportaron en el mercado automotor 11.026 vehículos, 3.07 unidades más que en mayo de 2021. Marcas como Chevrolet (18,6%), Kia (10,3%), Toyota (9,7%), Renault (5,9%), Chery (5,5 %), Jac (5,2 %), Hyundai (4,2 %), Volkswagen (2,6 %) y Great

Wall (3,5 %) concentran el 65,5% de las ventas registradas este mes, señala el informe mensual de la Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana (Cinae). (UNIVERSO, 2022)

En base a lo antes planteado el diseño del auto se basa en las características establecidas por la ANT, las mismas que presentan los vehículos de las marcas antes mencionadas y por lo cual se tomara como base de diseño los vehículos Kia Rio, Chevrolet Sail y Hyundai Accent tipo sedan.

Tabla 12

Características del modelo uno.

Vehiculo	Kia Rio Sedan 1.2 MT-LX
Configuracion	Bastidor
	Monocasco
Caracteristicas	Dimenciones
	Largo (mm) 4365
	Ancho (mm) 1720
	Alto (mm) 1455
	Distancia entre ejes (mm) 2600
	Neumaticos 175/70 R14
	Peso neto vehicular (kg)
	1045
	Numero de pasajeros
	5

Nota. Caracteristicas del vehiculo Kia Rio Sedan, por Kia, 2016.

Tabla 13*Características del modelo dos.*

Vehículo	Chevrolet Sail LS AC 1.5L	
Configuración	Bastidor	
	Monocasco	
Características	Dimensiones	
	Largo (mm)	4300
	Ancho (mm)	1735
	Alto (mm)	1504
	Distancia entre ejes (mm)	2500
	Volumen zona de carga (lts)	366
	Neumáticos	195/55 R15
	Peso neto vehicular (kg)	
	1160	
	Numero de pasajeros	
	5	

Nota. Características del vehículo Chevrolet Sail, por Chevrolet, 2021.

Tabla 14*Características del modelo tres.*

Vehículo	Hyundai Accent 1.4 STD	
Configuración	Bastidor	
	Monocasco	
Características	Dimensiones	
	Largo (mm)	4370
	Ancho (mm)	1700
	Alto (mm)	1457
	Distancia entre ejes (mm)	2570
	Neumáticos	175/70 R14
	Peso neto vehicular (kg)	
	1270	
	Numero de pasajeros	
	5	

Nota. Características del vehículo Hyundai Accent, por Hyundai, 2020

Características del Modelo Base

El modelo característico, se basa en una geometría general y simplificada, de acuerdo a la categoría considerada por la Agencia Nacional de Tránsito, correspondiente al

“REGLAMENTO DE TRANSPORTE COMERCIAL DE PASAJEROS EN TAXI CON SERVICIO CONVENCIONAL Y SERVICIO EJECUTIVO”, para lo cual, en la tabla 15 se detalla las características del modelo.

Tabla 15

Características del modelo Base.

Vehículo	Sedan clasico (Diseño personal)	
Configuracion	Bastidor	
	Monocasco	
Caracteristicas	Dimenciones	
	Largo (mm)	4361
	Ancho (mm)	1744
	Alto (mm)	1480
	Distancia entre ejes (mm)	2600
	Neumaticos	175/70 R14
	Peso neto vehicular (kg)	
	1450	
	Numero de pasajeros	
	5	

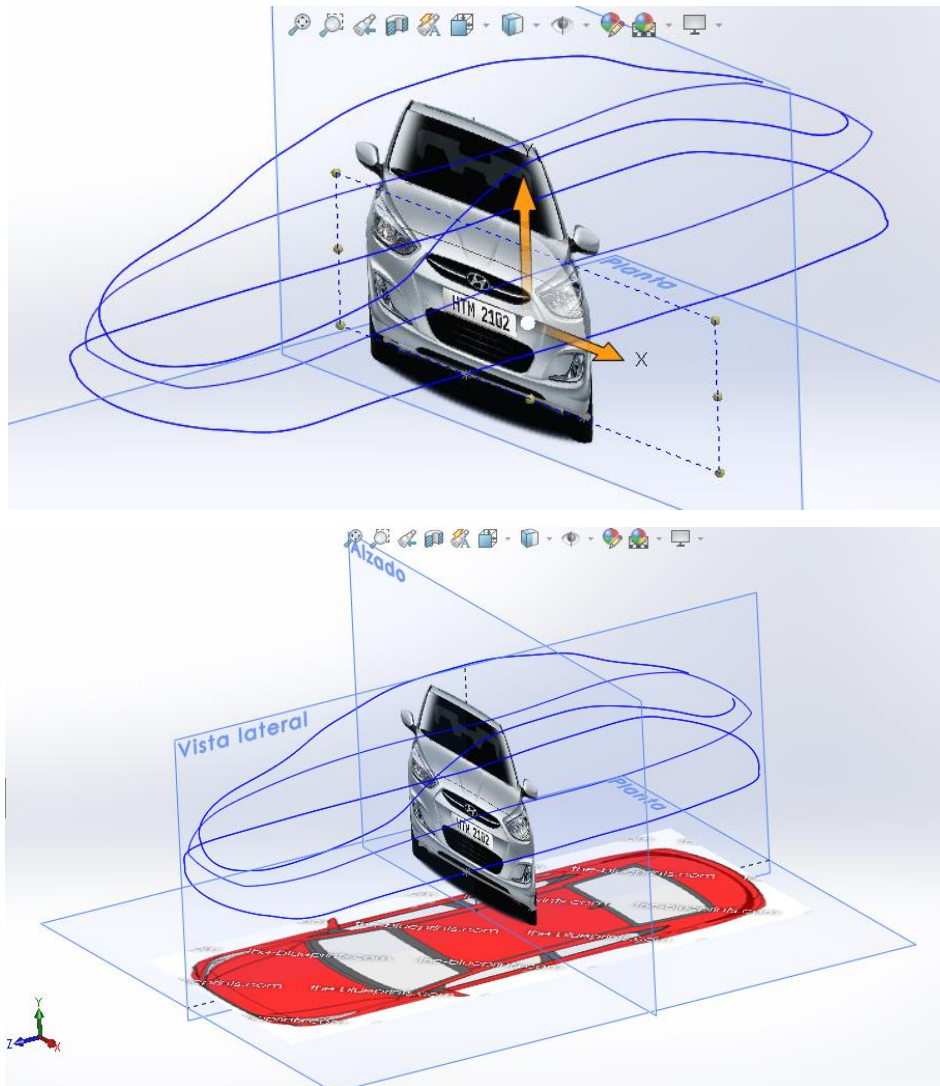
Nota. Características del modelo diseñado, basado en los datos de los modelos anteriores.

Modelado del Vehículo Tipo Sedan

El modelado del vehículo se basa en el croquis 3D mostrado en la figura 22, realizado a través de la proyección de curvas definidas a partir de una geometría 2D, continuando con la aplicación de superficies se define los detalles necesarios para obtener un modelo simplificado para el proceso de análisis.

Figura 22

Base para el diseño del modelo de vehículo tipo Sedan.



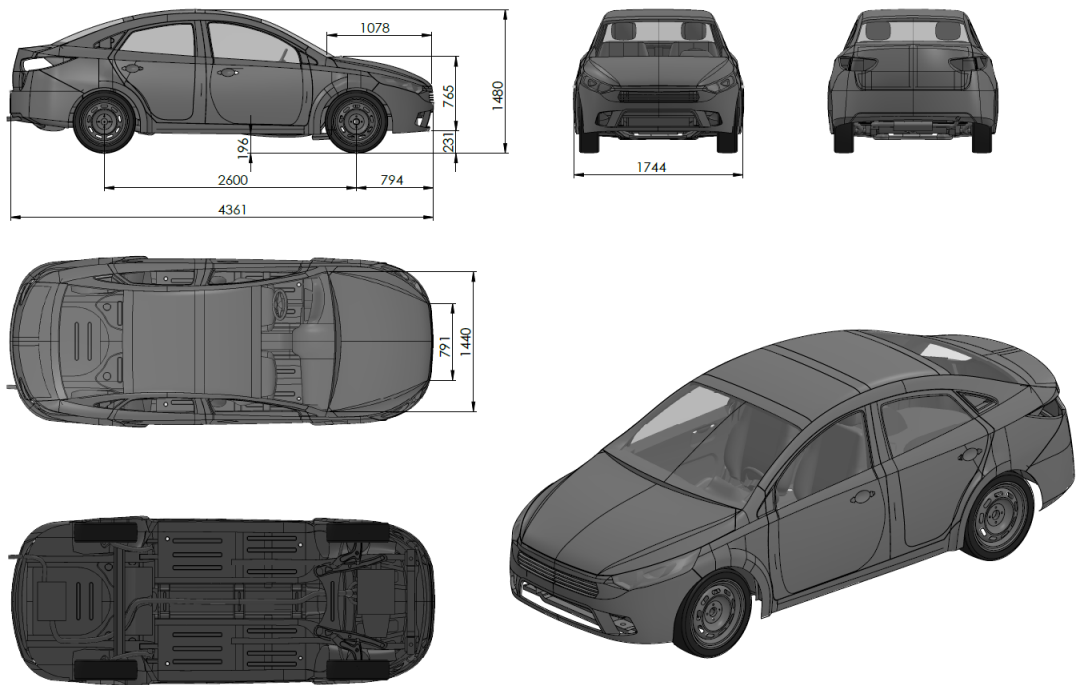
Nota. La figura muestra las imágenes base para iniciar el diseño, de las que se tomarán las curvas características del modelo simplificado, las cuales son la base para el desarrollo de superficies del vehículo.

El modelo final, dispone de la implementación de los sistemas y autopartes automotrices de forma simplificada y representativa, la estructura del bastidor, travesaños longitudinales y transversales tiene refuerzos estructurales, así como se muestra en la figura 23.

Al finalizar el modelado del vehículo las dimensiones principales obtenidas son las mostradas a continuación en la figura 23.

Figura 23

Dimensiones del vehículo modelado.



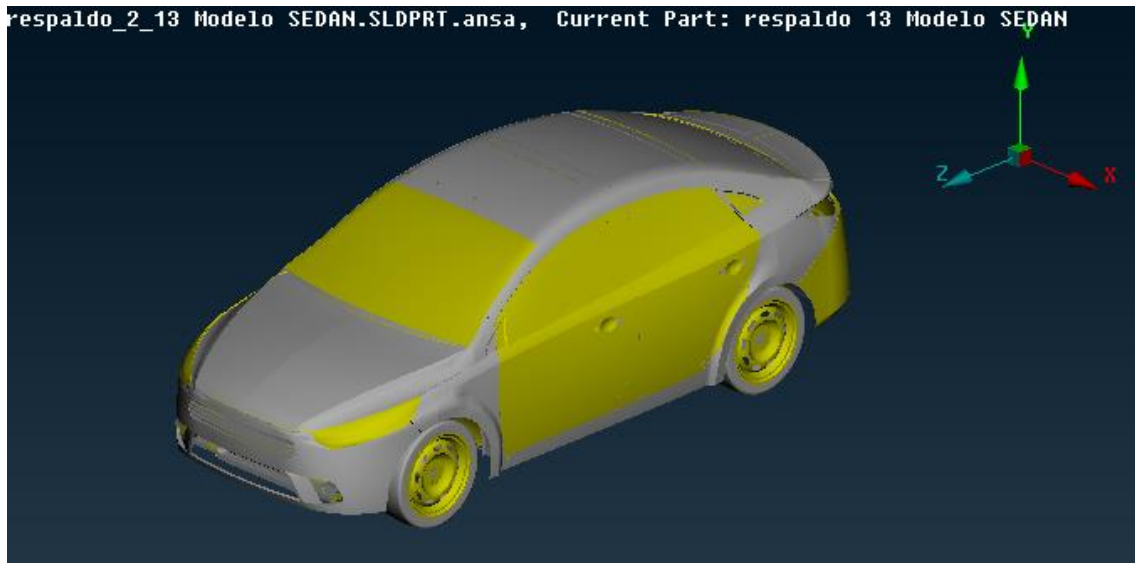
Nota. La figura muestra las dimensiones finales en vista lateral derecha y vista frontal, las cuales varían aproximadamente hasta 100 mm (largo total), producto del diseño de las autopartes en relación a la geometría característica.

Preparación del Modelo

Para preparar el modelo del vehículo tipo Sedan, se utiliza el software de preprocesamiento ANSA (versión para estudiante), para lo cual se procede a importar el archivo en formato “.SLDPRT”, como se observa en la figura 24 con la finalidad de mantener las unidades de longitud (mm) utilizadas en el software de modelado.

Figura 24

Importación del modelo en el software de preprocesamiento.

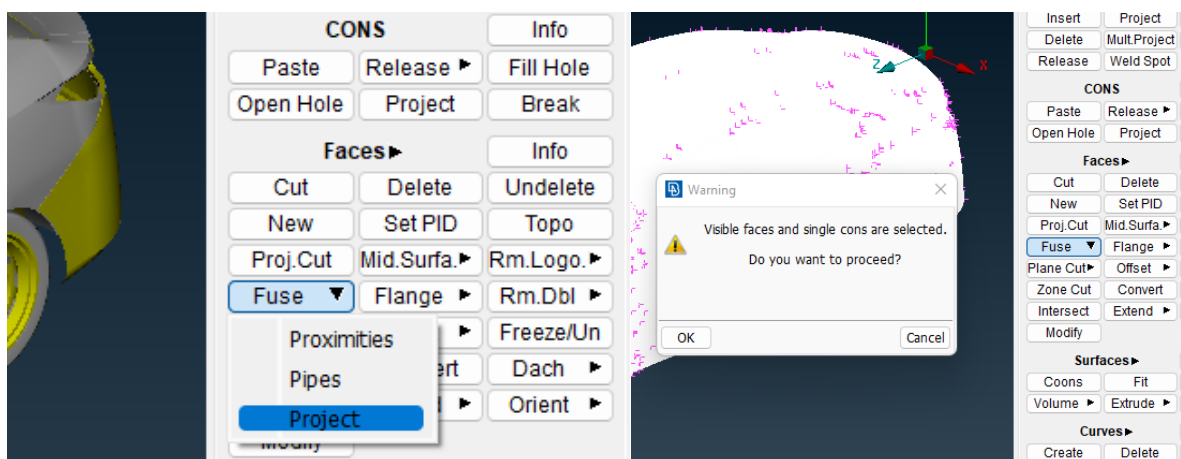


Nota. En la figura se visualiza las superficies cerradas y abiertas con líneas de color amarillas y rojas correspondientemente en la interfaz de ANSA (versión estudiantil).

A continuación, se procede a realizar la fusión de todos los componentes del modelo, con uso del módulo de topología correspondientes a LS DYNA (Licencia obtenida mediante CEND INGENIERÍA S.A detallada en el anexo 1) como se muestra en la figura 25, para lo cual, se utiliza la carta principal *Faces* donde se selecciona la operación “Fuse” y seguido “Project”.

Figura 25

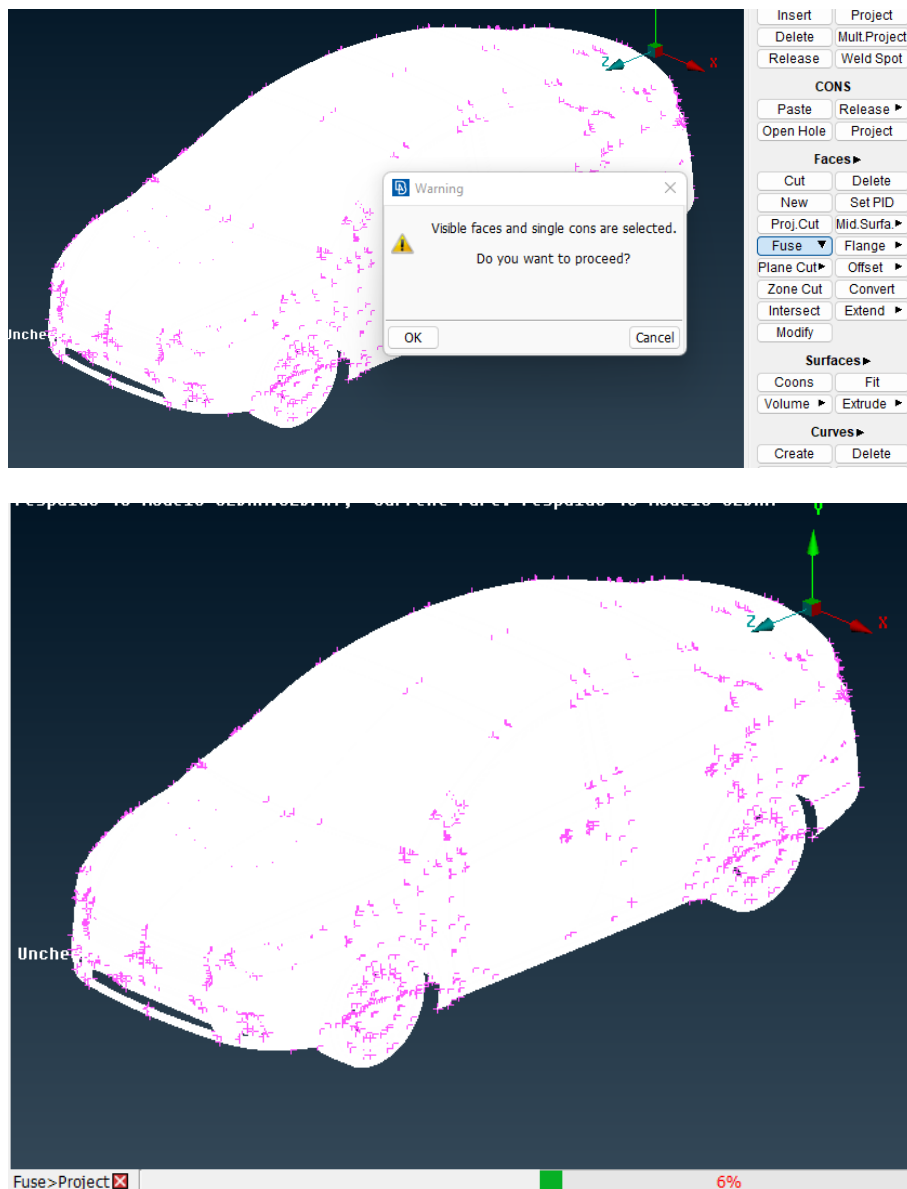
Carta de control topo.



A continuación, en la figura 26 se visualiza el procedimiento de fusión de los componentes del modelo, con esto se consigue que las topologías de las distintas superficies del vehículo sean compartidas y permita garantizar un mallado de elementos finitos de forma correcta.

Figura 26

Operación Fuse – Project.

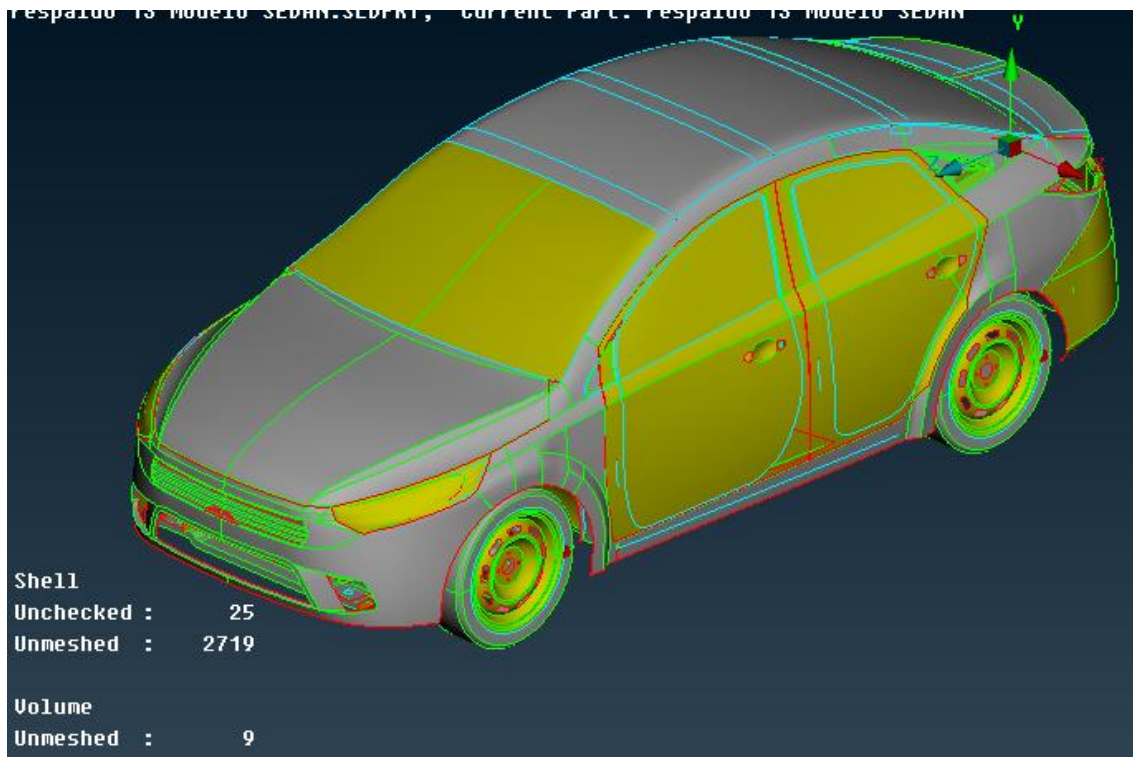


Nota. En la figura se muestra una ventana emergente en la cual al dar clic en "ok" se iniciará la ejecución de la operación, la cual tarda varios minutos debido a la cantidad de detalles que contiene el modelo.

Las operaciones siguientes consisten en solucionar las interferencias y secciones duplicados entre las superficies del modelo a través de la herramienta "Check" del preprocesador, para proceder con la generación del mallado.

Figura 27

Corrección de interferencias y secciones duplicadas.



Creación de la Malla FEM

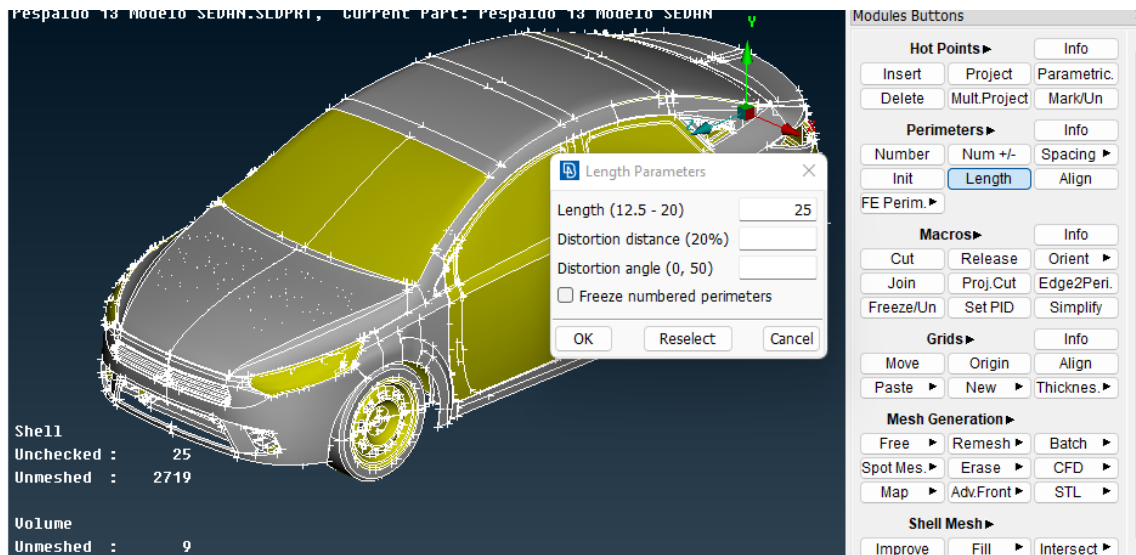
La malla FEM es de discretización y dominio libre, ya que está definida en función del contorno del problema (superficies) debido a que no conlleva un patrón, los elementos generados pueden ser cuadriláteros o triangulares (2D).

Generación de la Malla de Elementos Finitos. Para el proceso de mallado del conjunto de superficies del vehículo modelado tipo Sedan que está compuesto por 2719 elementos, se requiere establecer la longitud aproximada entre cada nodo, por consiguiente, basado en los vehículos de la NHTSA para simulación de colisión, el valor asignado es de 25 milímetros y una longitud de 12 milímetros para las zonas curvas donde se encuentran más detalles, en la figura 28 se muestra el valor establecido como parámetro,

a su vez es importante considerar la relación entre la malla de elemento finitos y el gasto computacional. A menor longitud del elemento, mayor gasto computacional.

Figura 28

Distancia entre nodos de la malla.

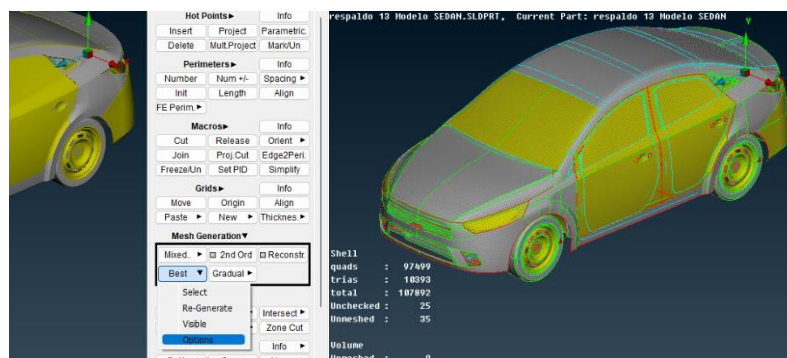


Nota. La figura muestra la longitud de malla, tomando en cuenta que se requiere valores más exactos referenciados en la aplicación real.

La generación de malla es de tipo superficie, una vez realizada mediante el preprocesador de forma automática y manual, en la figura 29 se muestra la malla completa al 100% de 107 892 componentes con matriz de forma cuadrangular y triangular en su mayoría.

Figura 29

Malla completa del vehículo tipo Sedan.



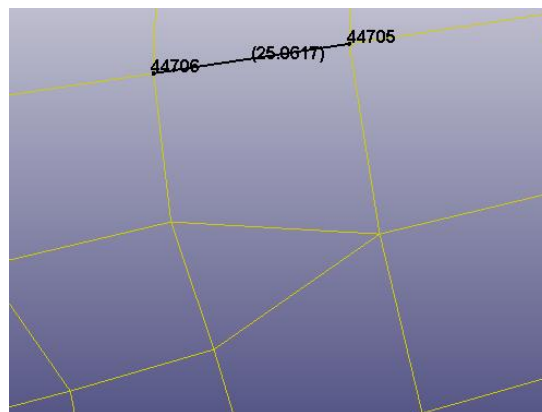
Nota. La figura muestra el tamaño y longitud de la malla.

Preparación de la Malla de Elementos Finitos

Mediante el procesamiento de LS PrePost, procedemos a comprobar la longitud aproximada entre nodos, como se indica en la figura 30, con un valor próximo a los 25.0617 mm, aproximadamente 2 mm definido en el proceso anterior. No debemos olvidar definir las unidades de trabajo en LS-Dyna como se muestra en el anexo 2.

Figura 30

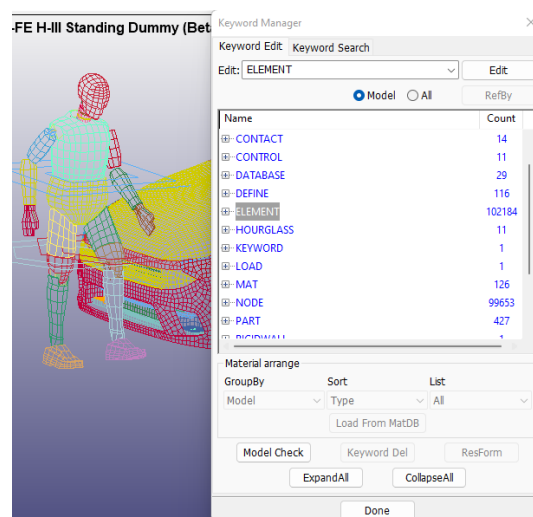
Distancia aproximada entre nodos.



El programa LS PrePost, mostrado en la figura 31, cuenta con cartas de control que muestran datos de la malla de elementos finitos del vehículo, la cual está formada por 427 partes, 120 184 elementos y 99 653 nodos.

Figura 31

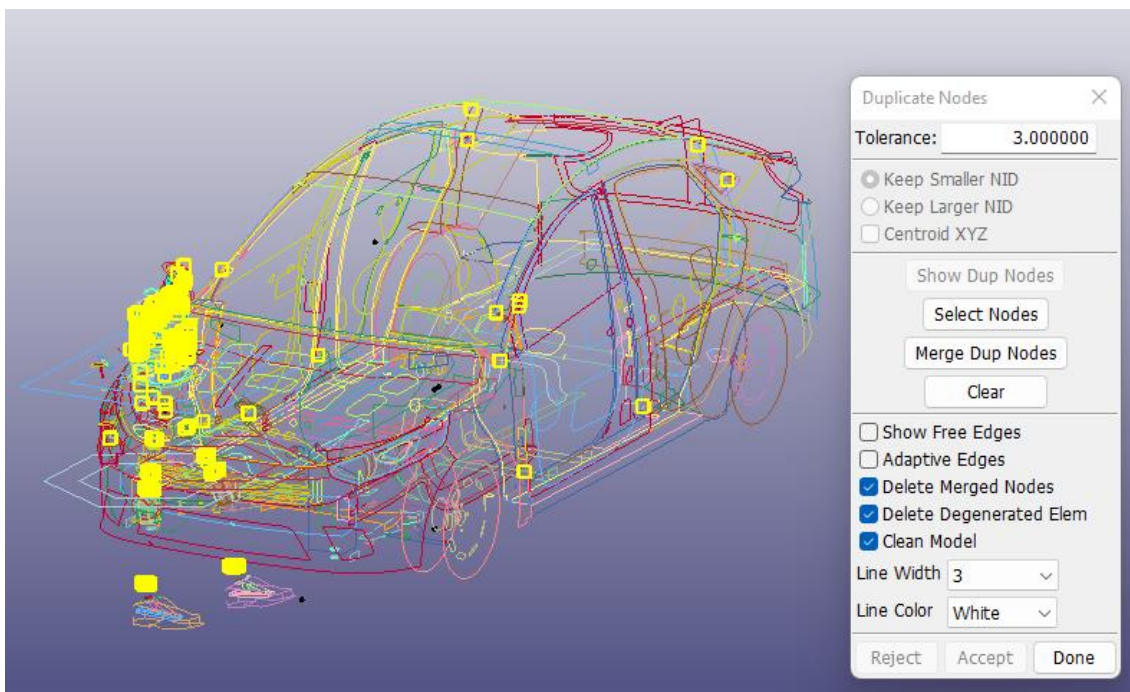
Administrador de las cartas de control.



La preparación consiste en la verificación de nodos duplicados y posteriormente fusionar aquellos que se encuentren en una tolerancia que no afecte a las superficies abiertas presente en la malla de elementos finitos, en la figura 32 se muestra los nodos duplicados en las geometrías.

Figura 32

Inspección de nodos duplicados.



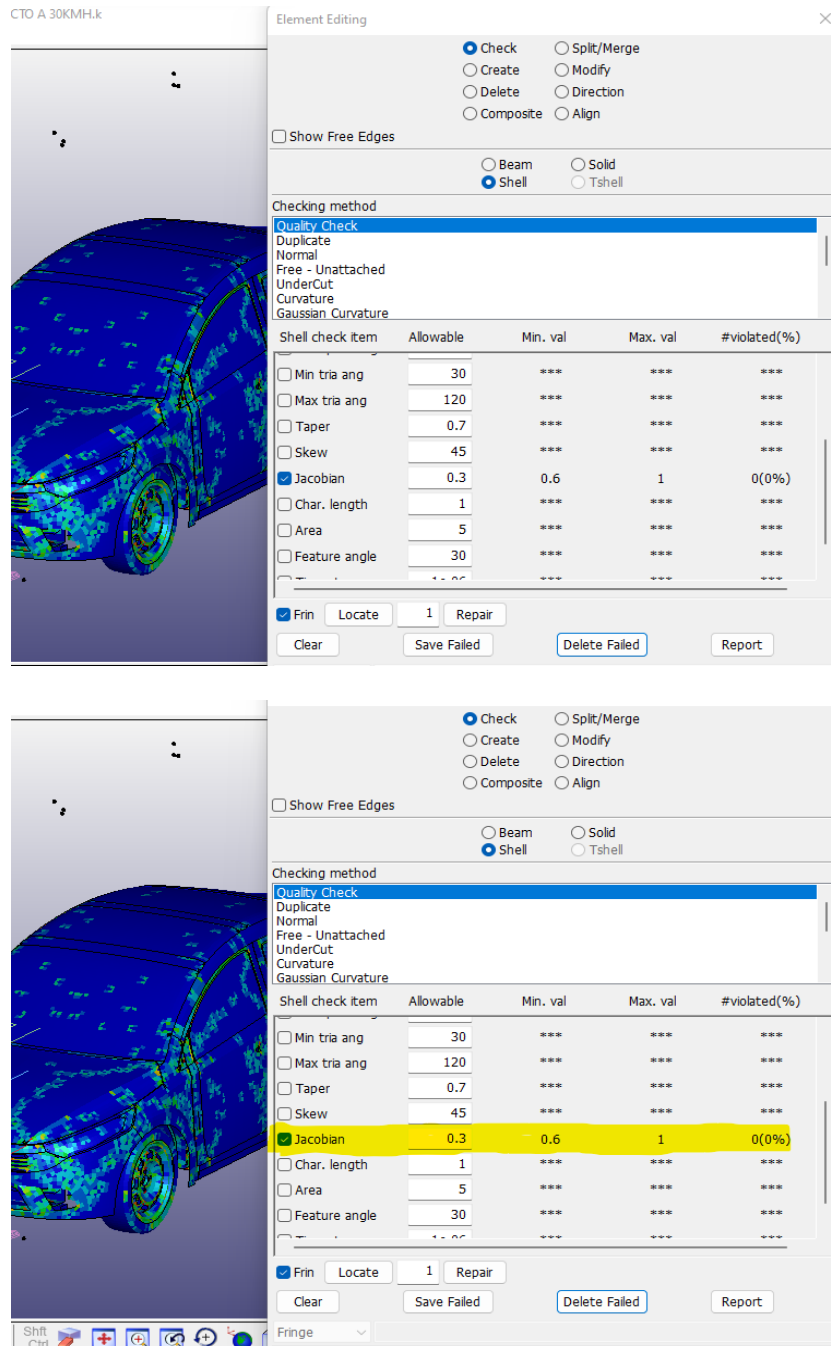
Nota. La figura indica los nodos duplicados en las uniones de los elementos tipo superficie fusionados a 3 mm de tolerancia, considerando la independencia de ciertos componentes.

Control de Calidad de la Malla de Elementos Finitos

El control de la calidad de malla está basado en el índice Jacobiano, según Janzen (2012) establece la fiabilidad en base a la medida de la desviación de un elemento en su forma original sea cuadrilátero o de forma triangular, es aplicado para sólidos y superficies en el rango de 1 hacia -1, en función del desorden de la calidad, para lo cual ANSYS recomienda usar un valor igual o superior a 0.3 para elementos tipo superficie y 0.2 para sólidos. En la figura 33 se muestra el criterio Jacobiano de la calidad de malla del vehículo tipo Sedan para un valor de 0.3 como aceptable.

Figura 33

Criterio Jacobiano de la calidad de malla del vehículo.

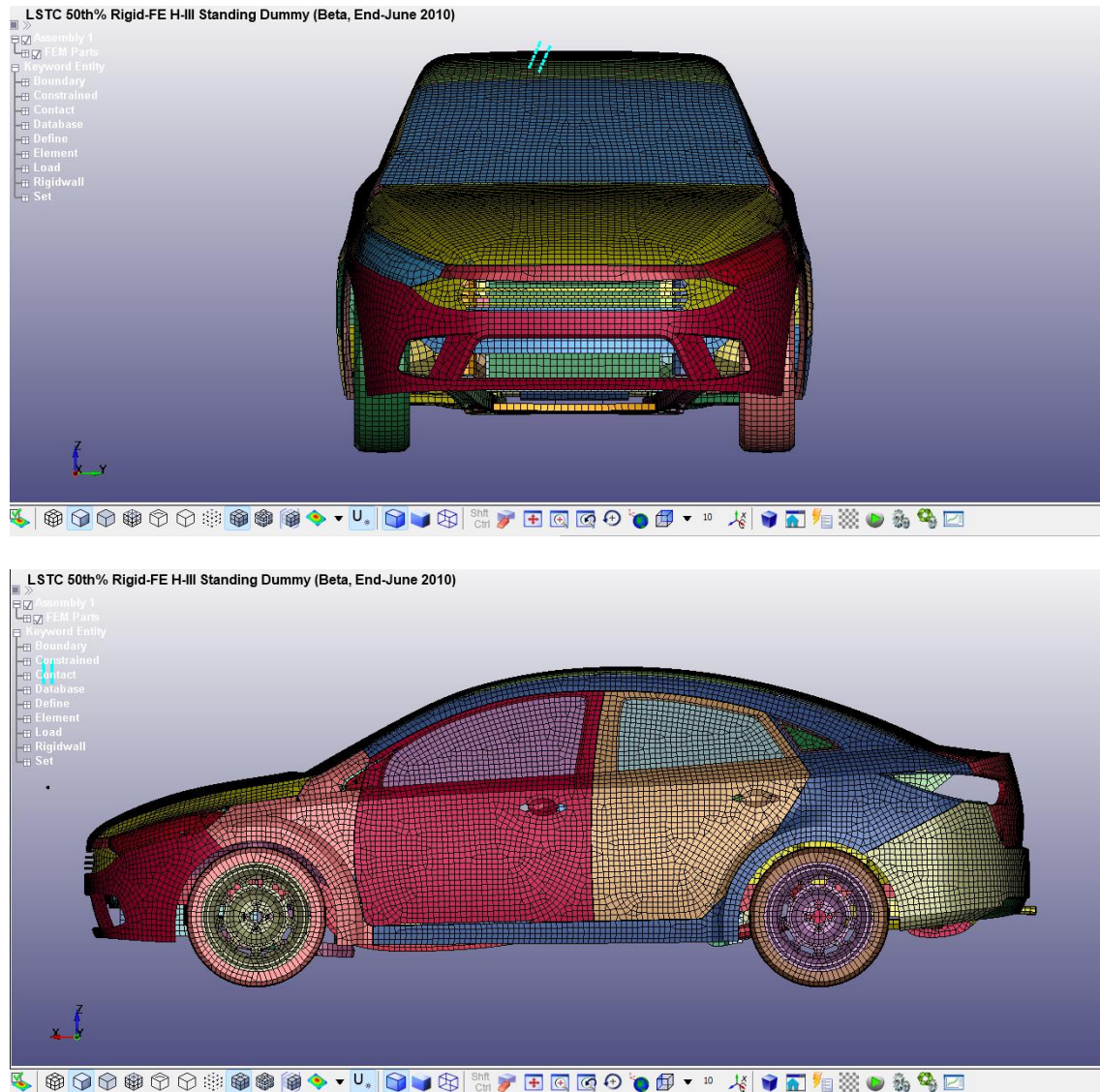


Nota. En la figura se observa la malla de elementos finitos en base al criterio Jacobiano con un valor mínimo de 0.6 y máximo 1.

El procesamiento final de la malla permite tener las condiciones necesarias para el desarrollo de la simulación, esto lo podemos observar en la figura 34.

Figura 34

Culminación de preprocesado de la malla.



Nota. La figura indica la malla preprocesada del modelo, vista frontal y lateral izquierda.

Designación de Materiales y Secciones al Vehículo Base

Se debe tener en cuenta que los datos característicos de los materiales están referenciados del vehículo Toyota Camry y Yaris de la NHTSA (Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras), los cuales se usan para simulaciones de colisión y se pueden descargar de forma gratuita en la página de la NHTSA.

Los materiales que se tomaron en cuenta son los mencionados a continuación:

- MAT 001 Elastic,
- MAT 020 Rigid,
- MAT 024 Piecewise linear plasticity.
- MAT 034 Fabric.

Material Elástico. Corresponde al material MAT_ELASTIC, de tipo elástico isotrópico, disponible para vigas, láminas y elementos sólidos, donde sus propiedades mecánicas no varían con la dirección, es decir sus valores característicos son idénticos en todas las direcciones, tiene suposiciones de linealidad y elasticidad. En la figura 35, se detalla la carta de control correspondiente a sus propiedades mecánicas.

Figura 35

MAT 001 Elastic.

Keyword Input Form

MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 IMPACTO A 30KMH.k) Setting

*MAT_ELASTIC_(TITLE) (001) (19)

TITLE

1	MID	RO	E	PR	DA	DB	NOT USED
	16	1.140e-06	0.5000000	0.3000000	0.0	0.0	0.0

COMMENT:

Total Card: 19 Smallest ID: 16 Largest ID: 256 Total deleted card: 0

16
59
60
61
62
63
64
66
67
70
71
81
82
83
85
87
88
89
256

Nota. La figura muestra las propiedades necesarias de la carta de control del MAT 001, donde MID: Material de identificación; RO: Densidad de masa; E: Módulo de Young; PR: Radio de Poisson; Las propiedades restantes quedan por defecto.

Material de Plasticidad Lineal Por Partes. El material MAT_PIECEWISE LINEAR PLASTICITY, es de tipo elastoplástico, con tensión arbitraria frente a la curva de

deformación, se puede definir una dependencia arbitraria de la velocidad de deformación, se aplica tanto en láminas como en sólidos. En la figura 36, se detalla la carta de control correspondiente.

Figura 36

MAT 024 Piecewise Linear Plasticity.

Keyword Input Form

MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 IMPACTO A 30KMH.k) Setting

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_(TITLE) (024) (3)

TITLE
GUARDACHOQUES

1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	TDEL
	2000527	1.415e-06	1.0000000	0.3000000	0.0200000	0.0100000	1.000e+21	0.0

2	C	P	LCSS	LCSR	VP
	8.0000000	8.0000000	0	0	0.0

3	EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Plot Raise New Padd

Total Card: 3 Smallest ID: 2000527 Largest ID: 2001436 Total deleted card: 0

2000527 GUARDACHOQUES
2000843 ESTRUCTURA
2001436 TANQUE DE COMBL

Nota. La figura muestra las propiedades de la carta de control del MAT 024, MID: Material de identificación; RO: Densidad de masa; E: Módulo de Young; PR: Radio de Poisson; SIGY: Límite de fluencia; LCSS: Curva de deformación; Las propiedades restantes quedan por defecto correspondientes a la tasa de deformación y valores efectivos de la deformación plástica

Material Lineal Plástico Modificado. Corresponde al MAT_ MODIFIED

PIECEWISE LINEAR PLASTICITY, es un material de tipo elastoplástico, que admite una curva de deformación y está en dependencia de la velocidad de la misma, se aplica para elementos de vaciado y macizos. En la figura 37, se detalla la carta de control correspondiente.

Figura 37

MAT 024 Modified Piecewise Linear Plasticity.

1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	IDEL
2001437	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.000e+21	0.0	0.0
2	C	P	LCSS	VP	EPSTHIN	EPSMAJ	NUMINT	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Nota. La figura indica las propiedades necesarias de la carta de control del MAT_123, MID: Material de identificación; RO: Densidad de masa; E: Módulo de Young; PR: Radio de Poisson; SIGY: Límite de fluencia; ETAN: 1 (lineal); Las propiedades restantes quedan por defecto correspondientes a la tasa de deformación y valores efectivos de la deformación plástica.

Material Fabric. Corresponde al MAT_ FABRIC, es un material de tipo ortotrópico, esta específicamente desarrollado para bolsas de aire y se caracteriza por ser un material cuyas sus propiedades mecánicas son diferentes en cada uno de los ejes.

Figura 38

MAT 034 Fabric.

1	MID	RO	EA	EB	PRBA	PRAB		
5001528	8.760e-07	0.30000000	0.20000000	0.30000000	0.20000000	0.20000000		
2	GAB	CSE	EL	PRL	LRATIO	DAMP		
0.04000000	0.04000000	0.04000000	1.0	0.06000000	0.35000000	0.10000000		
3	AOPT	FLC	FAC	ELA	LNRC	FORM	FVOPT	TSRFAC
3.00000000	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0.0
4	UNUSED	RGBRTH	AOREF	A1	A2	A3	X0	X1
0	0.0	1	1.00000000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	V1	V2	V3	BETA	ISREFG			

Nota. La figura indica las propiedades necesarias de la carta de control del MAT_034, MID: Material de identificación; RO: Densidad de masa; EA: Módulo de Young; PR: Radio de Poisson; Las propiedades restantes quedan por defecto correspondientes a la tasa de deformación y valores efectivos de la deformación plástica.

Secciones de los Componentes

Las secciones del modelo son de tipo superficie, por lo cual es necesario definir diferentes secciones en función del espesor ideal para cada conjunto de componentes o elementos. En la figura 39, se indica la carta de control característica para la creación de la misma.

Figura 39

Carta de control para secciones tipo superficie.

Keyword Input Form

NewID Draw RefBy Sort/T1 Add Accept Delete Default Done

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 IMPACTO A 30KMH.k) Setting

*SECTION_SHELL_(TITLE) (39)

TITLE

1	SECID	ELFORM	SHRF	NIP	PROPT	QR/IRID	ICOMP	SETYP
	13	2	0.0	0	1	0	0	1

2	T1	T2	T3	T4	NLOC	MAREA	IDOF	EDGSET
	0.4259000	0.4259000	0.4259000	0.4259000	0.0	0.0	0.0	0

Repeated Data by Button and List

Data Pt. Replace Insert Delete Help

Total Card: 39 Smallest ID: 13 Largest ID: 266 Total deleted card: 0

30
32
34
38
41
44
45
51
53
55
57
77
78
79
81
84
86
90
221
256
257
258
260
261
262
263 2 mm
264 9 mm
265 40 mm
266 5 mm

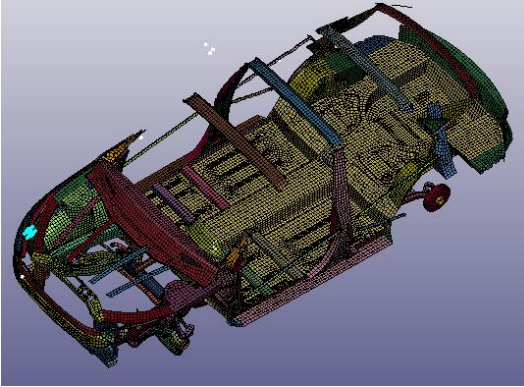
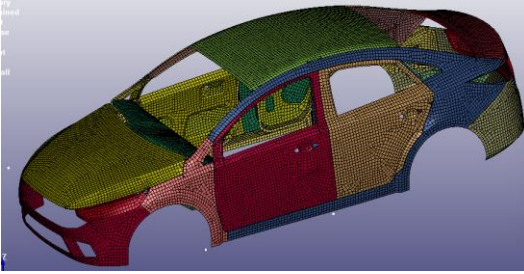
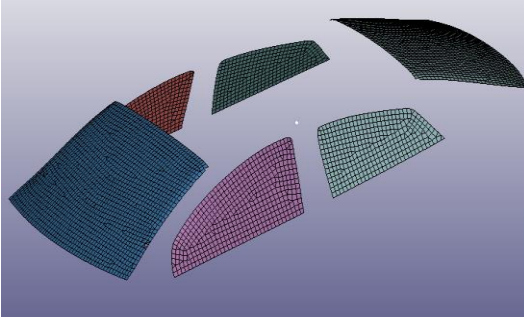
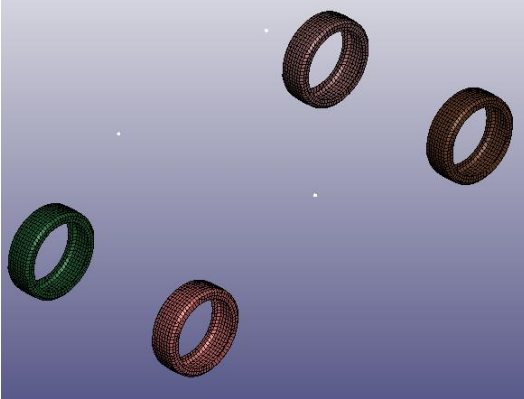
Nota. La figura muestra las propiedades necesarias de la carta de control SECTION SHELL, SECID: Sección ID; ELFORM: Formulación del elemento (predeterminado); T1: espesor en mm; Las propiedades restantes quedan por defecto.

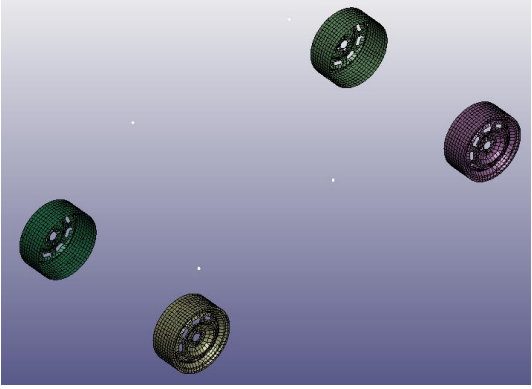
Designación de Materiales para los Componentes del Vehículo

La asignación de materiales a cada grupo de componentes específicos se indica en la Tabla 16, correspondiente a los materiales MAT 001, MAT 02, MAT 024 y MAT 123, al importar los gráficos de control correspondientes de la biblioteca NHTSA. Del mismo modo, es necesario determinar la parte adecuada para cada uno.

Tabla 16

Asignación de materiales a los componentes del vehículo.

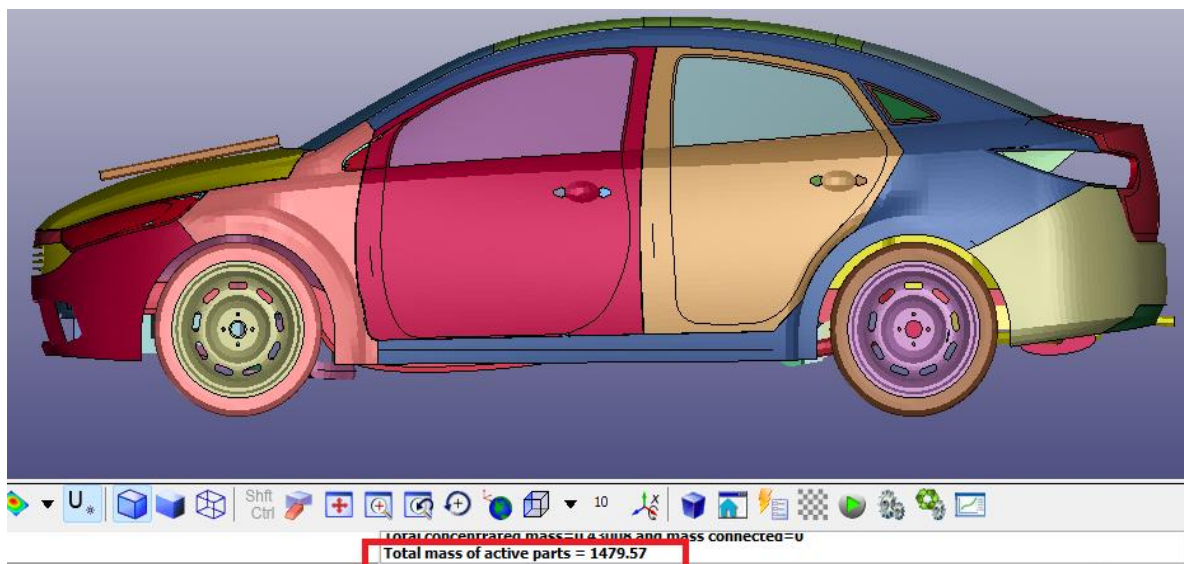
Grupo	Características del material	Figura de la sección
Bastidor estructural	MAT_024 Acero Densidad de masa (kg/mm^3): 7.890e-06 Módulo de Young (GPa): 200 Radio de Poisson: 0.3 Límite elástico (GPa): 0.40 Sección (mm): 4.75	
Elementos estructurales	MAT_024 Acero Densidad de masa (kg/mm^3): 7.890e-06 Módulo de Young (GPa): 200 Radio de Poisson: 0.3 Límite elástico (GPa): 0.271 Sección (mm): 1	
Vidrios y parabrisas	MAT_123 Cerámico Metal Densidad de masa (kg/mm^3): 2.500e-06 Módulo de Young (GPa): 70 Radio de Poisson: 0.22 Límite elástico (GPa): 0.03 Sección (mm): 4	
Ruedas	MAT_024 Acero Densidad de masa (kg/mm^3): 7.890e-06 Módulo de Young (GPa): 200 Radio de Poisson: 0.3 Límite elástico (GPa): 0.271 Sección (mm): 8	

Grupo	Características del material	Figura de la sección
Rines	MAT_024 Acero Densidad de masa (kg/mm^3): 7.890e-06 Módulo de Young (GPa): 200 Radio de Poisson: 0.3 Límite elástico (GPa): 0.271 Sección (mm): 12	

Peso Neto Vehicular del Modelo Sedan. El modelo final que contiene todas las autopartes que incidencia en la simulación de colisión, asignación de materiales, secciones y contactos de unión necesarias, tiene un peso neto vehicular de 1479.57 kg, tal como se muestra en la figura 40.

Figura 40

Peso neto vehicular del modelo.



Nota. La figura indica el valor del peso neto vehicular obtenido mediante la herramienta de medida de elementos en LS PrePost.

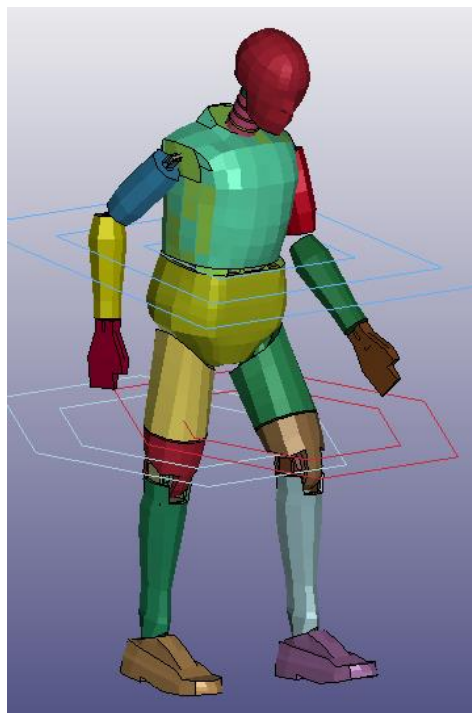
Dummies para Ensayos

Dummy Fast Híbrido III 50 Percentil

Modelos desarrollados por Livermore Software Technology Corporation (LSTC), para el entorno de LS-DYNA. El Dummy utiliza un sistema de unidades en milímetro (mm), milisegundo (ms), kilogramo (kg) y kilo newton (kN). En la figura 41, se observa el modelo de la familia HIII rápido 50 percentil en posición estándar que representa antropomórficamente a un hombre.

Figura 41

Dummy rápido H-III 50 percentil.



Nota. La figura muestra el modelo rápido HIII 50 percentil con calibración estándar, formado por 147 parte con secciones de tipo viga, discretos, superficies y sólidos, así como uniones, articulaciones y contactos con un peso total de 78.987 kg.

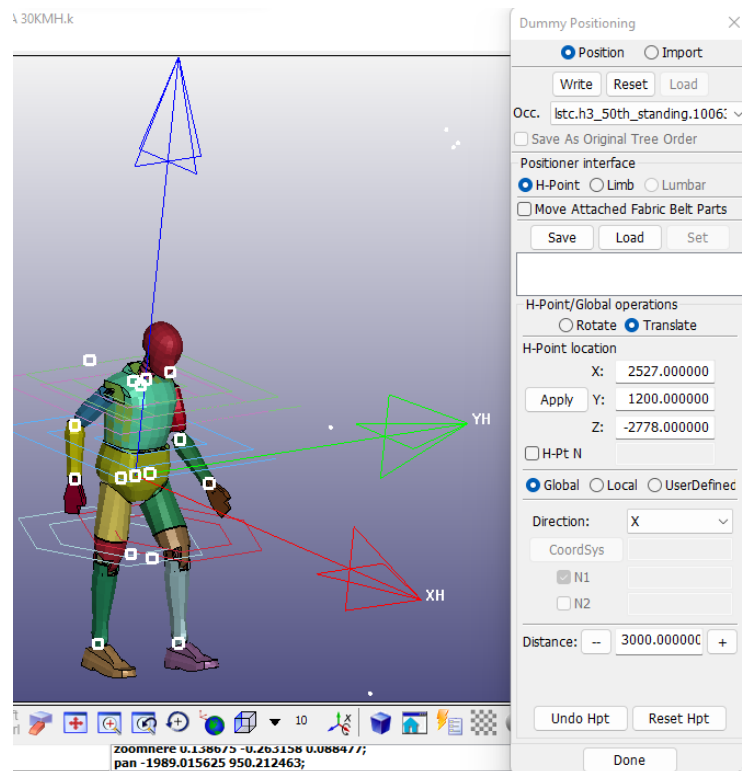
Ubicación de Dummies

La ubicación de los modelos debe ser atendida al espacio designado para el pasajero (HIII 05 percentil) y conductor (HIII 50 percentil), así como también de acuerdo a consideraciones generales de los reglamentos y protocolos de evaluación, para lo cual se

utiliza la herramienta Dummy Positioning, la cual se observa en la figura 42. El procedimiento se realiza en función de la rotación o traslación del punto H y la rotación de las extremidades (Limbs).

Figura 42

Herramienta para posicionar el Dummy.

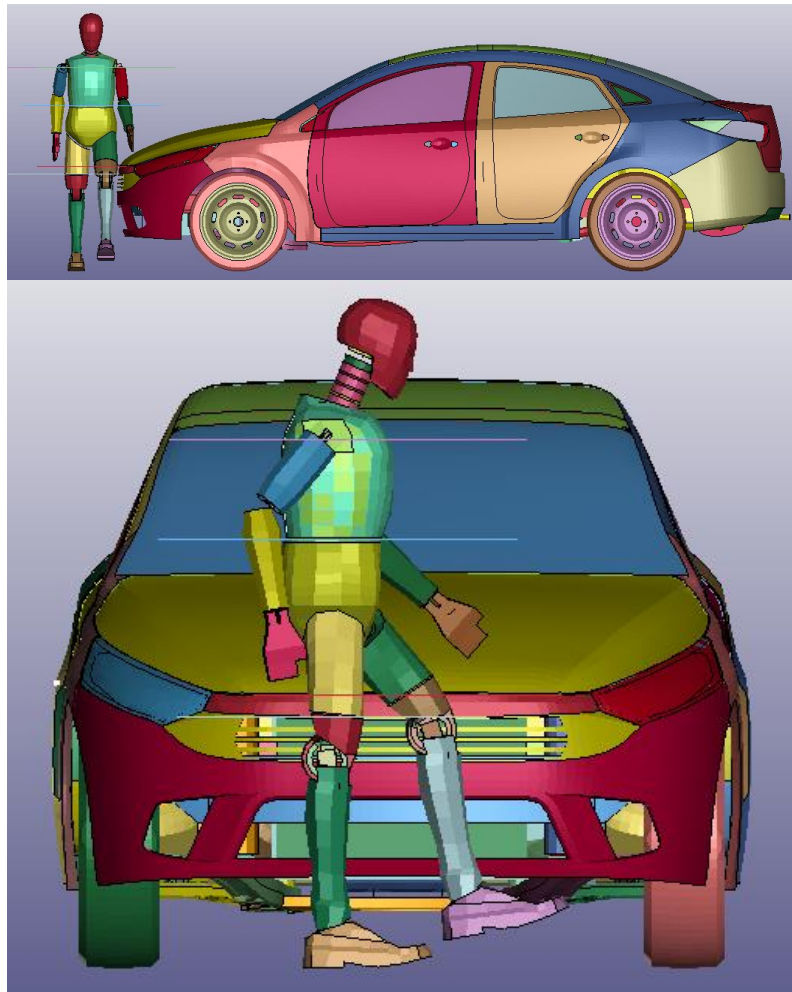


Nota. La figura indica que la posición puede efectuarse mediante Positioner interface, entre las tres opciones indicadas, y seguidamente la traslación o rotación adecuada.

El Dummy HIII 50 percentil en el vehículo debe atender a una posición de manejo, en relación a las extremidades del cuerpo, cabeza, cuello y lumbar, mientras que el Dummy HIII 05 percentil debe tener una posición normal arbitraria, como se indica en la figura 43 para ambos casos.

Figura 43

Posición de los modelos en el vehículo.



Nota. La figura muestra la posición de los dummies, tanto del conductor como acompañante en el vehículo base mediante las vistas: lateral izquierda, lateral derecha y frontal.

Contactos de Superficie

Trata la forma de interacción entre partes inconexas, específicamente entre superficies según el requerimiento del modelo, puede ser mediante set de: segmentos, elementos tipo superficie, partes o nodos. De la misma manera, partes individuales, para lo cual se utiliza dos tipos de contactos los cuales se observan en la figura 44.

Figura 44

Carta de control de contactos.

Name	Count
BOUNDARY	1
CONSTRAINED	182
CONTACT	14
AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE	1
AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE	13
CONTROL	11
DATABASE	29
DEFINE	116
ELEMENT	102184
HOURGLASS	11
KEYWORD	1
LOAD	1

Contacto de Superficie Simple

En análisis de impactos, donde la deformación varía demasiado y no existe la predeterminación de los contactos, se recomienda implementar un CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE, para detectar automáticamente los mismos, correspondiente a un mismo conjunto de superficies, en la figura 45 se indica la carta de control respectiva.

Figura 45

Carta de control CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE.

Keyword Input Form

NewID Draw Pick Add Accept Delete Default Done 14 (14) AUTO ENTRE SI

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 IMPACTO A 30KMH.k) Setting

*CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE_(ID/TITLE/MPP) (1)

1	CID	TITLE						
	14	AUTO ENTRE SI						
			<input type="checkbox"/> MPP1	<input type="checkbox"/> MPP2				
2	IGNORE	BCKET	LCBCKT	NS2TRK	INITITR	PARMAX	UNUSED	CPARMB
	0	200		3	2	1.0005		0
3	UNUSED	CHKSEGS	PENSE	GRPABLE				
		0	1.0	0				
4	SSID	MSID	SSTYP	MSTYP	SBOXID	MBOXID	SPR	MPR
	24	0	2	2	0	0	0	0
5	ES	FD	DC	VC	VDC	PENCHK	BT	DT
	0.3000000	0.2000000	0.0	0.0	0.0	0	0.0	1.000e+20

Total Card: 1 Smallest ID: 14 Largest ID: 14 Total deleted card: 0

Nota. La figura indica la carta de control para el contacto entre un solo conjunto de superficies. La configuración se basa en posicionar un valor en SURFATYP y SURFBTYP, el cual indica el tipo de set a utilizar. En SURFA o SURFB seleccionar el conjunto único de elementos. Los coeficientes de fricción estática FS y dinámica FD corresponden a un valor específico de aplicación. Los demás valores quedan por defecto.

Contacto entre Dos Superficies

Del mismo principio, al ser un análisis de impacto se recomienda el CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE, para detectar automáticamente los mismos, correspondiente a dos conjuntos de superficies, en la figura 46 se indica la carta de control respectiva.

Figura 46

Carta de control CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE.

Keyword Input Form

NewID Draw Pick Add Accept Delete Default Done

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 IMPACTO A 30KMH.k) Setting

*CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE_(ID/TITLE/MPP)_THERMAL (13)

CID	TITLE	MPP1		MPP2				
13	AUTO VS MANIQUI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
2	IGNORE BCKET LCBCKT NS2TRK INITITR PARMAX UNUSED CPARM8	0	200	3	2	1.0005		0
3	UNUSED CHKSEGS PENSEF GRPABLE		0	1.0	0			
4	SSID MSID SSTYP MSTYP SBOXID MBOXID SPR MPR	3	24	2	2	0	0	0
5	FS FD DC VC VDC PENCHK BT DT	0.3000000	0.3000000	0.0	0.0	20.000000	0	0.0

Total Card: 13 Smallest ID: 1 Largest ID: 13 Total deleted card: 0

1 (0)
2 (0)
3 (0)
4 (0)
5 (0)
6 (0)
7 (0)
8 (0)
9 (0)
10 (0)
11 (0)
12 (0)
13 (13) AUTO VS MANIQUI

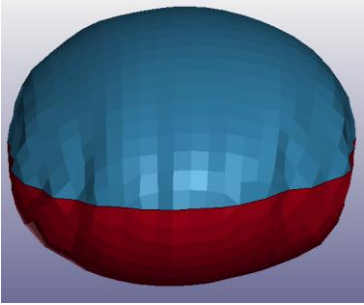
Nota. La figura muestra la carta de control para el contacto entre dos conjuntos de superficies. La configuración se basa en posicionar un valor en SURFATYP y SURFBTYP, el cual indica el tipo de set a utilizar, mientras en SURFA y SURFB se asigna un conjunto o parte para cada uno. Los coeficientes de fricción estática FS y dinámica FD corresponden a un valor específico de aplicación. Los demás valores quedan por defecto.

Airbag

Para el airbag se utilizó el material denominado MAT_FABRIC_ (034), esta específicamente desarrollado para bolsas de aire y se caracteriza por ser un material ortotrópico, cuyas sus propiedades mecánicas son diferentes en cada uno de los ejes. A continuación, en la tabla 17 se muestra las características principales del material basado en cartas de control de bolsas de aire presentadas por la NTHSA.

Tabla 17

Propiedades mecánicas del airbag frontal.

Propiedades	Detalle
Densidad de masa (kg/mm^3): 8.760e-07	
Módulo de Young Longitudinal (GPa): 0.3	
Módulo de Young Transversal (GPa): 0.2	
Radio de Poisson: 0.2	
Capacidad calorífica a volumen constante (C_v): 1023.	
Capacidad calorífica a presión constante (C_p): 1320.	
Temperatura del gas de entrada: 781.90 K	
Diámetro del airbag (mm): 711	
Sección tipo Shell (mm): 0.33	

Nota. Al implementar el airbag se debe considerar algo importante, esto es el plegado adecuado que se ajuste a la superficie en el capo del vehículo, mediante el apartado de Airbag Folding de Ls PresPost.

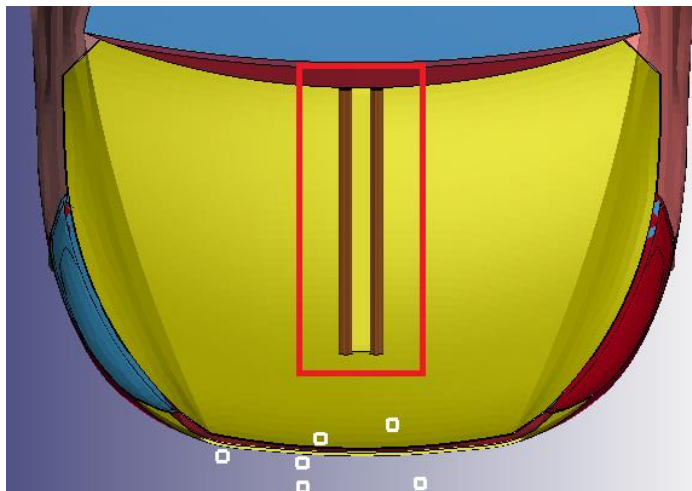
Ubicación de Airbag en el Vehículo Tipo Sedan

La bolsa de aire frontal se coloca en el capo del vehículo cerca del parabrisas, centrado en la zona alta del capo con el objetivo de que al activarse ocupe de forma equitativa la superficie donde podrá tener contacto el *dummy*, en la Figura 47 se muestra su

ubicación. Mantenga las bolsas de aire cerradas, se realizan conexiones rígidas al capo durante la sujeción.

Figura 47

Ubicación de airbag.



Procesamiento de la Simulación

El proceso consiste en determinar los requisitos previos para el desarrollo de cada prueba especificados en la normativa internacional ONU/CEÉ y el protocolo Latin NCAP a través de la interfaz *LS PrePost* mediante cartas de control.

Atropellamiento

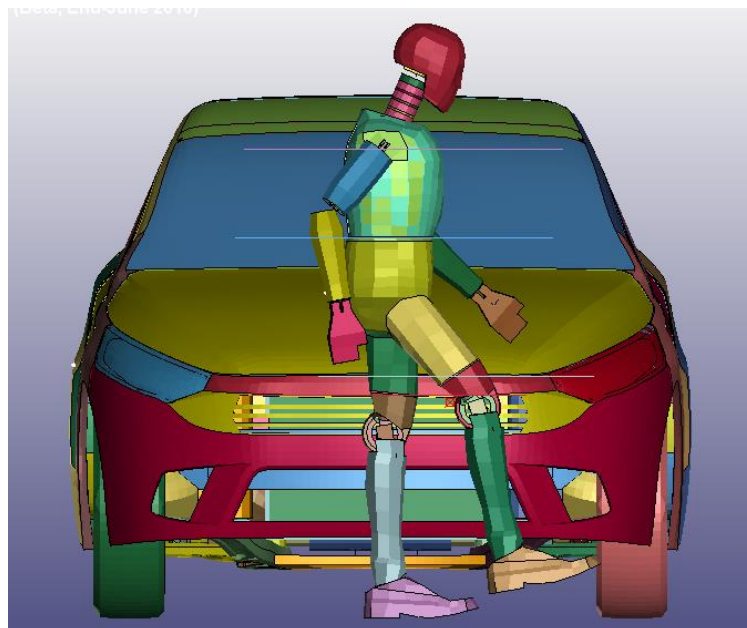
En la colisión frontal se considera el reglamento N°127 de las Naciones Unidas (ONU), en la cual indica las características de la columna de simulación de rodilla, la misma que se tomara como referencia para la colocación del *dummy*.

Posición para el Ensayo

Para la alineación del maniquí frente al vehículo se asume que el primer contacto del vehículo será por la zona izquierda del maniquí, como se muestra en la Figura 48, también para la alineación del vehículo con relación al *dummy*, se tiene una distancia de ± 20 mm según las consideraciones del Reglamento N°126 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas.

Figura 48

Alineación del maniquí de pruebas de impacto respecto al vehículo.



Nota. La dirección del maniquí de ensayo será paralela al eje longitudinal del vehículo, respecto del eje del superior vertical del maniquí en el momento del primer contacto. La tolerancia a esta dirección es de $\pm 2^\circ$.

Condiciones del Protocolo.

En referencia al reglamento a continuación, en la tabla 18 se detalla las condiciones necesarias para ejecutar la colisión frontal.

Tabla 18

Condiciones para impacto frontal a peatón.

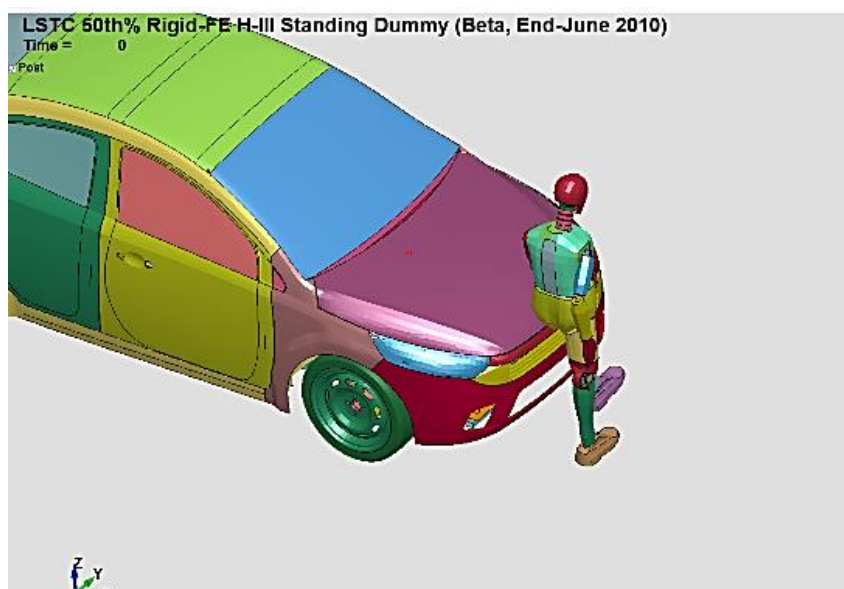
Parámetro	Detalle	Observación
Velocidad del vehículo	40 km/h	-
Piso	Libre ejecución (5570 x 4400 mm)	Aplicación de una sección tipo superficie de 10 mm y material MAT 024. Aplicación de estado de fijación de un solo punto SPC.
Conductor	Maniquí Híbrido III 50% hombre	Modelo ficticio fast para LS DYNA. Peso de 78.987 kg.
Peatón	Maniquí Híbrido III 50% hombre	Modelo ficticio fast para LS DYNA. Peso de 78.987 kg.
Gravedad	$9.806 \text{ e-}3 \text{ mm/ms}^2$	Generada para todo el conjunto de colisión en el eje Z.
Peso del vehículo	Inferior a 2500 kg.	Peso neto vehicular de 2166.92 kg.

Parámetro	Detalle	Observación
Condición 1 sin seguridad pasiva para peatón.		No se aplica elementos de seguridad pasiva del vehículo. Contactos simples con factores de fricción FS y FD de 0.74 y 0.57 respectivamente, valores que se atribuye al acero.
Condición 1 con seguridad pasiva para peatón.	Airbag sobre el capo para peatón.	Contactos simples. Contactos entre superficies.

Después de incluir todas las condiciones del protocolo para impacto frontal a peatones, las figuras 49 y 50 muestran el modelo preparado para la prueba sin airbag y con airbag, respectivamente.

Figura 49

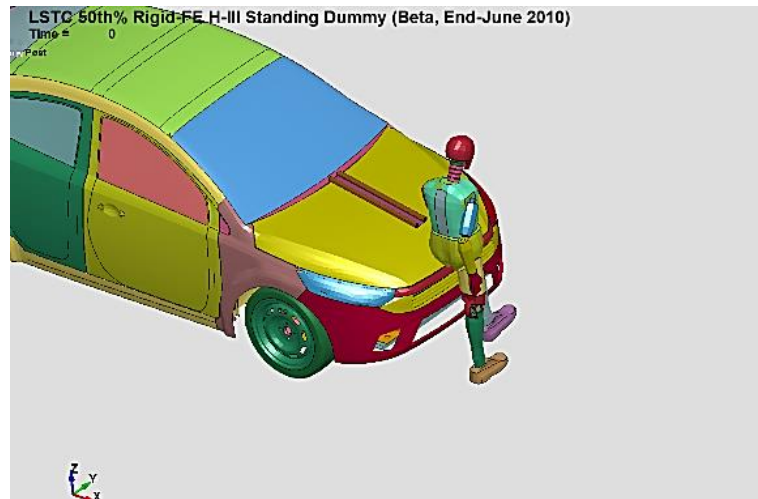
Vehículo Sedan sin airbag para colisión frontal de peatones.



Nota. La figura muestra el modelo tipo Sedan en conjunto con el maniquí LSTC 50th% Rigid-FEH-III Standing Dummy, sin airbag, en posición de impacto frontal.

Figura 50

Vehículo Sedan con airbag para colisión frontal de peatones.



Nota. La figura muestra el modelo tipo Sedan en conjunto con el maniquí LSTC 50th% Rigid-FE H-III Standing Dummy, con airbag, en posición de impacto frontal.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

Criterios de Comportamiento en Colisión Frontal

Los criterios básicos de evaluación de los parámetros mínimos de seguridad según valores estándar o de referencia están definidos en la normativa CEPE/ONU y el protocolo Latin NCAP para ocupantes adultos, teniendo en cuenta cabeza, cuello, tórax, fémur, tibia, rodillas, pelvis y abdomen

Partes Biomecánicas de Análisis

Los modelos de la familia H-III están contruidos con acelerómetros, sensores de peso y potenciómetros, los cuales se pueden utilizar para medir la aceleración, fuerza-momento y movimiento de cada parte del cuerpo, estos parámetros se pueden determinar con nodos y potenciómetros. juntas como se muestra en la Tabla 19 para el Dummy LSTC 50th% Rigid-FE H-III.

Tabla 19

Nodos y juntas para medición.

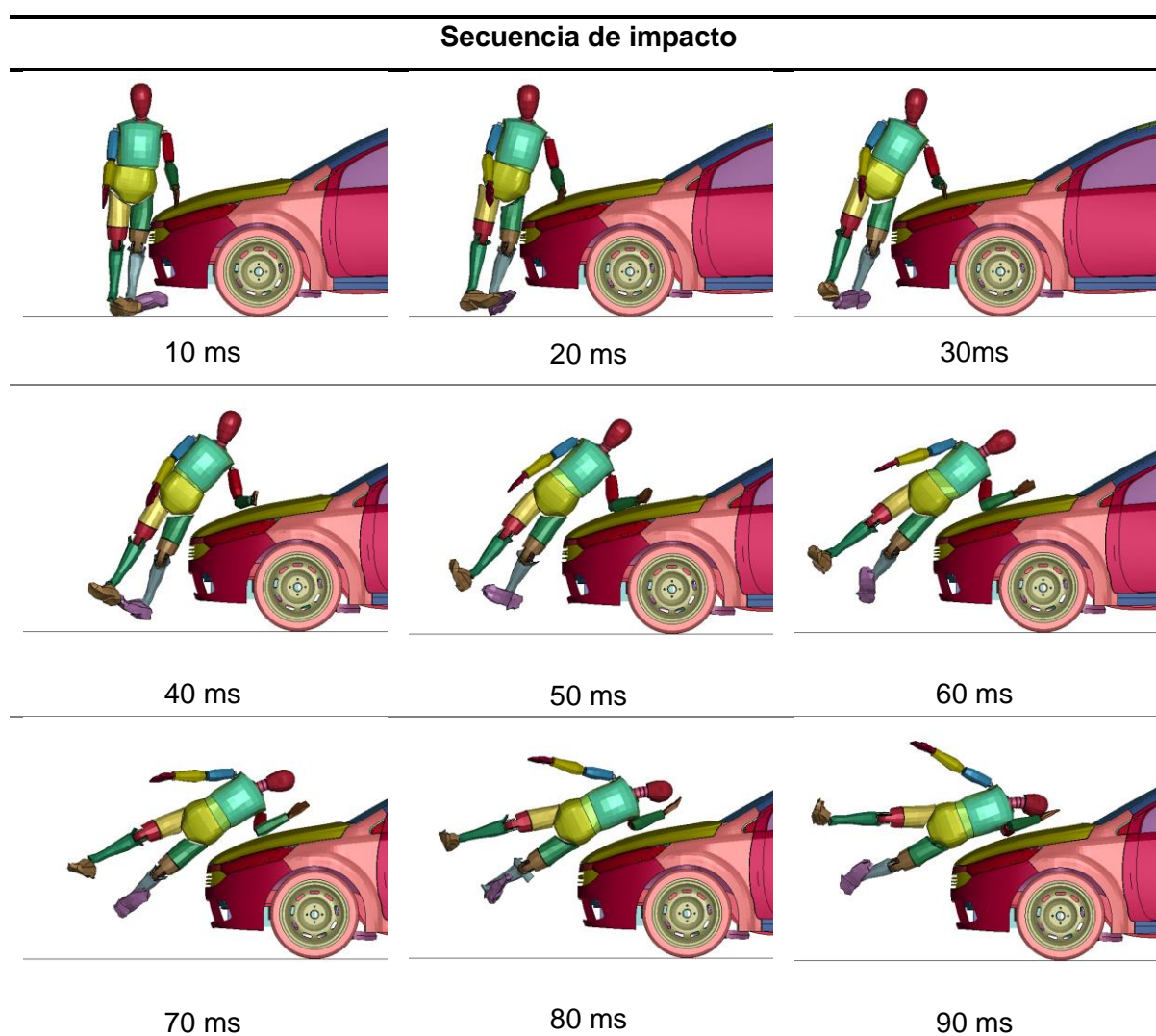
Criterio de evaluación		Resultado	Dummy
Lesión de la cabeza		nodout	1
Lesión del cuello NIC	Tracción(z)	jntforc	Jt-39
	Cizalladura(x)		
	Momento de flexión		
Fuerza del fémur FFC		jntforc	Jt-24(I) Jt-25(D)
Compresión de tórax ThCC		deforc	10-R
Comportamiento de la tibia	Fuerza de compresión	jntforc	Jt-41, Jt-42 (I) Jt-43, Jt-44 (D)
	Momento de flexión		
	Índice de lesión TI		
Fuerza sobre la pelvis PSPF		jntforc	Jt-22 (I) Jt-23 (D)

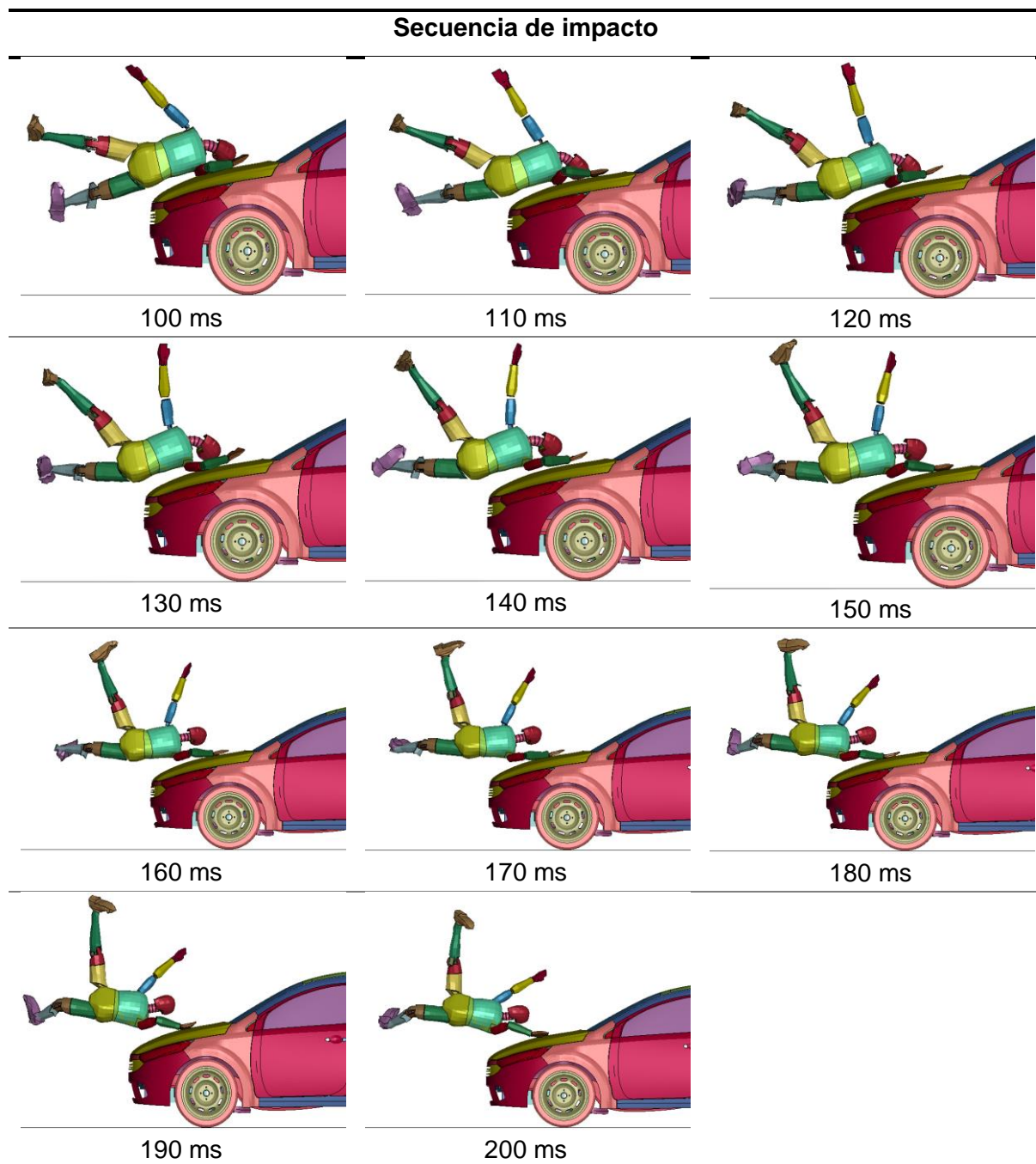
Colisión Frontal Contra el Peatón

Los resultados del posprocesamiento se resumen en las Tablas 20 y 21, que muestran las diferentes condiciones obtenidas en el LS Pre Post en el ensayo sin y con aplicación de seguridad pasiva (airbag para peatones sobre el capo), así como las normas de la Comisión Económica para Europa de la ONU (CEPE) sobre la base del Reglamento No. 127 Revisión 2, Anexo 6, Capítulo 1.2.

Tabla 20

Simulación de colisión frontal sin seguridad pasiva.

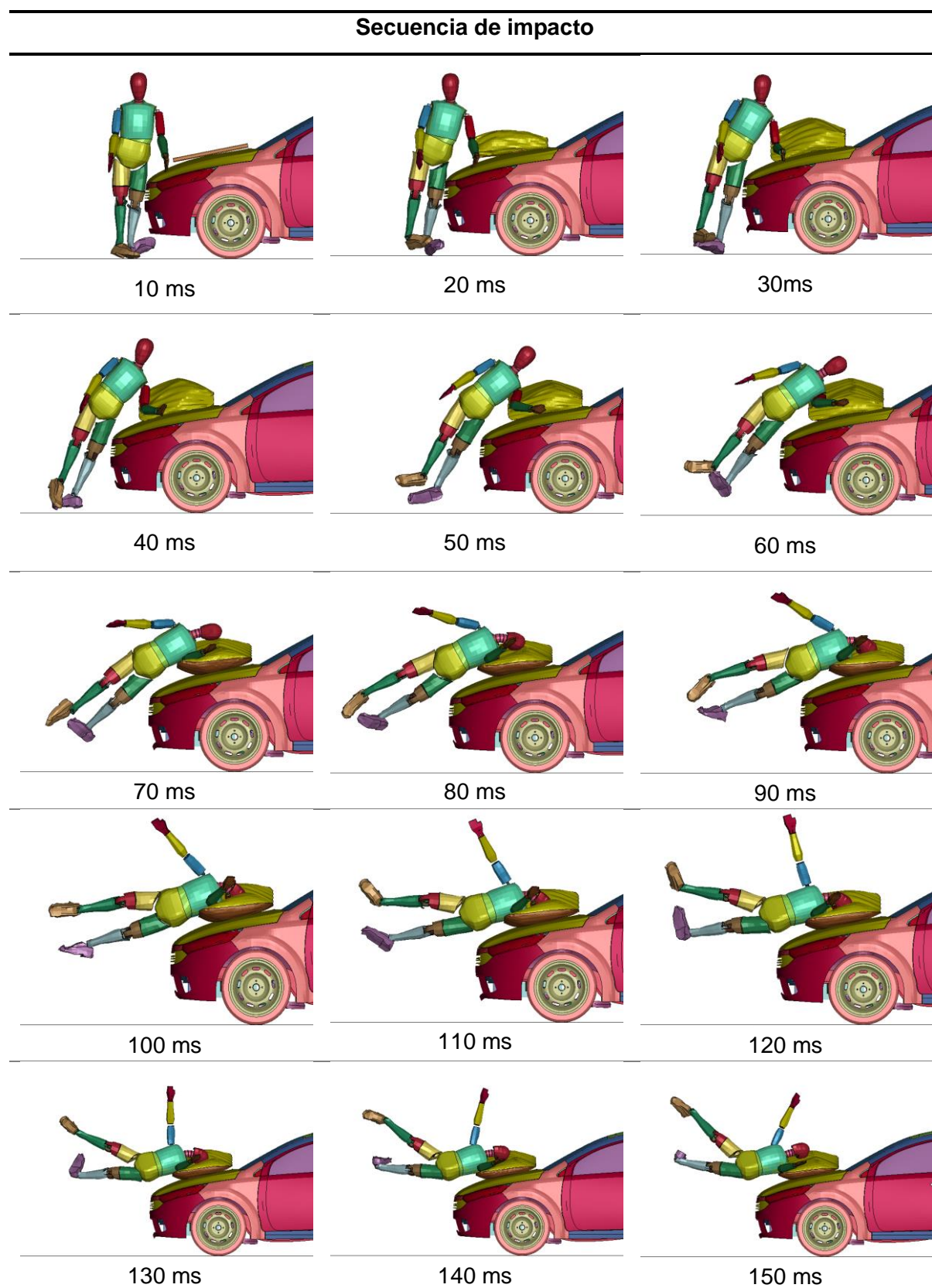


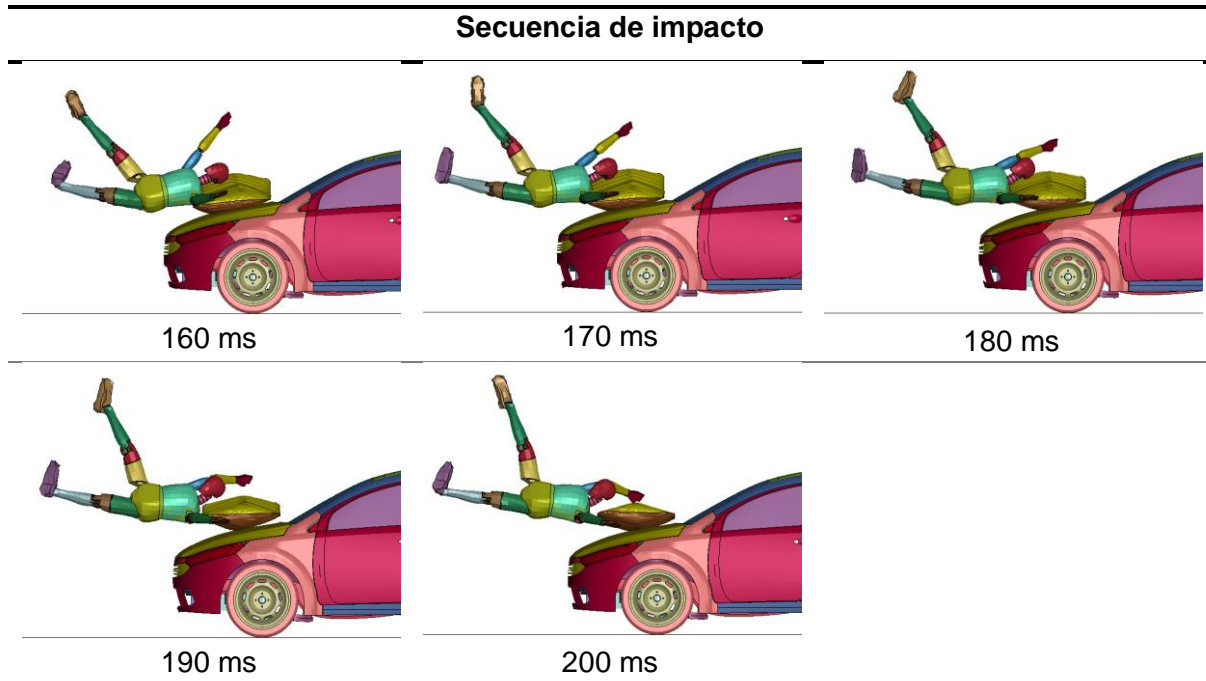


Nota. La tabla muestra la sucesión del impacto frontal sin seguridad pasiva, donde a partir de 5 ms aproximadamente se produce el contacto entre el parachoques del vehículo y la tibia de la pierna izquierda del *Dummy HIII 50* y por consiguiente la sucesión de contactos.

Tabla 21

Simulación de colisión frontal con seguridad pasiva.





Nota. La tabla muestra la sucesión del impacto frontal con seguridad pasiva, donde a partir de 5 ms aproximadamente se produce el contacto entre el parachoques del vehículo y la tibia de la pierna izquierda del *Dumy HIII 50y* y por consiguiente la sucesión de contactos hasta impactar con el airbag.

Criterio de Lesión en la Cabeza HPC

El criterio evalúa si la cabeza entra en contacto con parte del vehículo durante la prueba. Se considera satisfactoria si no pasa nada, caso contrario se analiza de acuerdo a la aceleración ($1g=9.81m/s^2$) en base a la Ecuación 1 y tiempo de contacto (t_1-t_2).

De acuerdo a las normas y protocolos de evaluación, según la CEPE N°94, el valor de HPC o HIC36 no deber ser superior a 1 000, ni exceder la aceleración a 80g por más de 3ms, en cambio, según Latin NCAP el valor de HIC15 debe ser menor a 700 y no exceder la aceleración en 80 g.

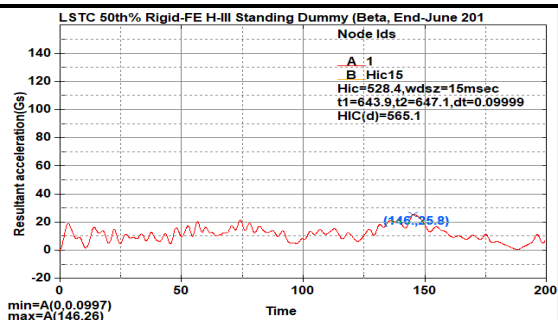
En el modelo LSTC.HIII 50TH FAST al resultado obtenido se aplica un filtro SAE, tiempo en milisegundos, frecuencia de 108 Hz y gravedad de $0.00981 mm/ms^2$.

En la tabla 22, se muestra las gráficas resultantes del HIC15 para el Dumy LSTC.HIII 50TH percentil en el ensayo de colisión frontal.

Tabla 22

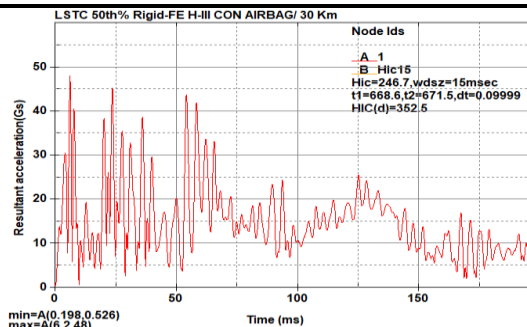
Criterio HIC15-colisión frontal.

Colisión frontal sin airbag a 30km/h



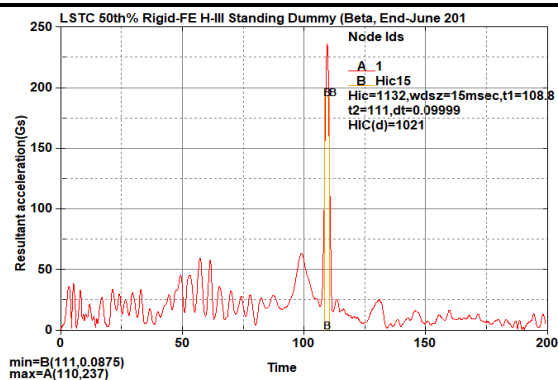
El gráfico muestra el resultado de la aceleración de la cabeza, el mismo que alcanza un valor máximo de 25.8 Gs, y HIC15 de 528.4 en el intervalo de tiempo $t_1=643$ ms y $t_2=647$ ms.

Colisión frontal con airbag a 30km/h



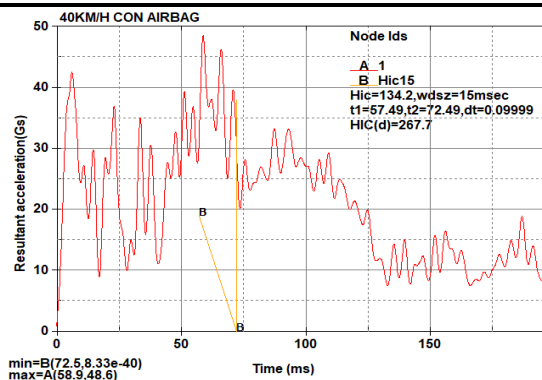
El gráfico muestra los resultados del HIC15 a una aceleración máxima de 48 Gs, el criterio está evaluado desde un $t_1=668.6$ ms hasta un $t_2=671.5$ ms dando como resultado un HIC15 de 245.7

Colisión frontal sin airbag a 40km/h



El gráfico muestra el resultado de la aceleración de la cabeza, el mismo que alcanza un valor máximo de 237 Gs, y HIC15 de 1132 en el intervalo de tiempo $t_1=108.8$ ms y $t_2=111$ ms.

Colisión frontal con airbag a 40km/h



El gráfico muestra los resultados del HIC15 a una aceleración máxima de 58.9 Gs, el criterio está evaluado desde un $t_1=57.49$ ms hasta un $t_2=72.49$ ms dando como resultado un HIC15 de 134.2

Criterio de Lesión del Cuello NIC

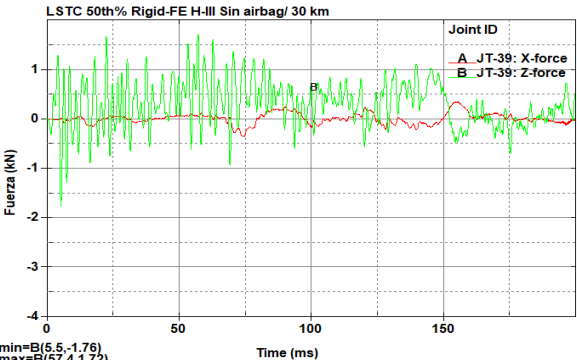
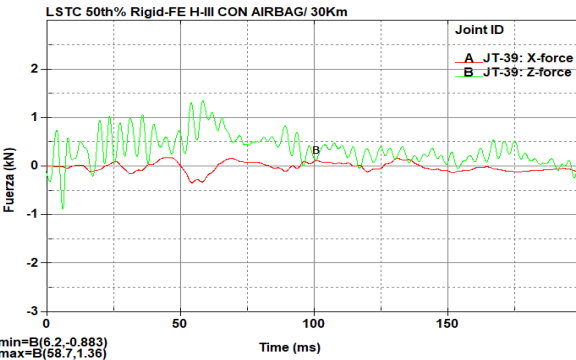
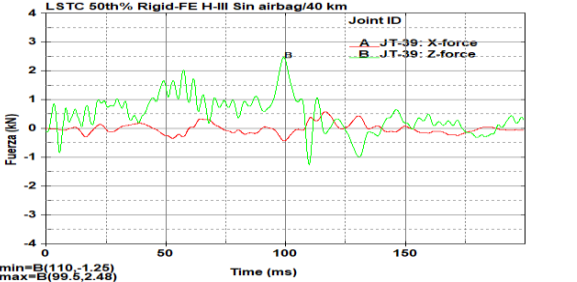
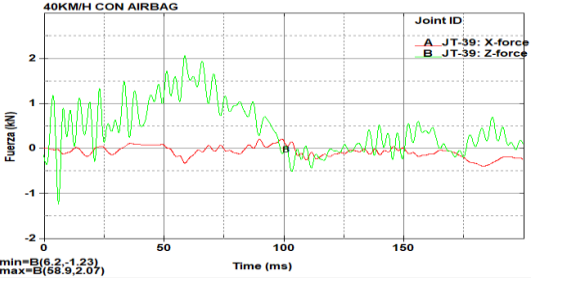
El criterio está determinado por la fuerza de compresión axial, fuerza de tracción axial y fuerza de cizalladura anterior y posterior en la zona de unión de la cabeza y el cuello, dado en kN de acuerdo a la norma N°94 de la CEPE y protocolos de Latin NCAP.

El criterio de momento de flexión se mide en Nm, en torno a un eje lateral de unión del cuello y la cabeza, el cual no debe superar los 57 Nm en extensión.

Fuerza de Corte y Tracción. La fuerza sobre el cuello en la transición de la colisión puede tener efecto de compresión o tracción axial debido a la reacción entre el vehículo y el bloque impactador, así como también el ambiente del habitáculo. De la misma manera la fuerza de corte puede tener sentido positivo o negativo. En la tabla 23 se muestra las gráficas resultantes.

Tabla 23

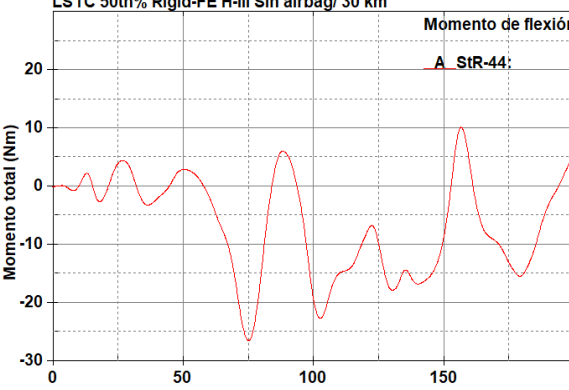
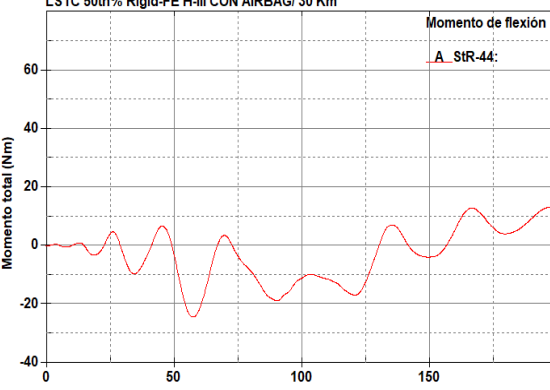
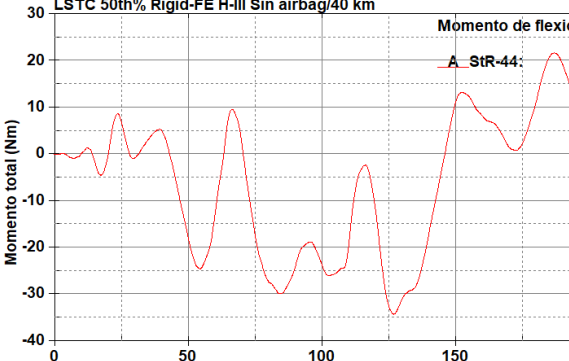
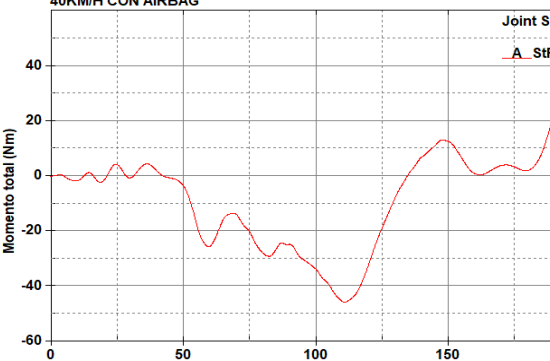
Criterio NIC fuerza de corte y tracción en colisión frontal.

Colisión frontal sin airbag a 30km/h	Colisión frontal con airbag a 30km/h
 <p>min=B(5.5,-1.76) max=B(57.4,1.72)</p>	 <p>min=B(6.2,-0.883) max=B(58.7,1.36)</p>
<p>El gráfico indica la fuerza de corte y fuerza de tracción mediante las curvas A y B respectivamente, donde se obtiene valores máximos de -0.46 kN y 1.72 kN en cada una. El signo negativo señala la dirección contraria de la fuerza de corte en el eje "X".</p>	<p>El gráfico indica la fuerza de corte y fuerza de tracción mediante las curvas A y B respectivamente, donde se obtiene valores máximos de - 0.36 kN y 3.20 kN en cada una. El signo negativo señala la dirección contraria de la fuerza de corte en el eje "X".</p>
Colisión frontal sin airbag a 40km/h	Colisión frontal con airbag a 40km/h
 <p>min=B(110,-1.25) max=B(99.5,2.48)</p>	 <p>min=B(6.2,-1.23) max=B(58.9,2.07)</p>
<p>El gráfico indica la fuerza de corte y fuerza de tracción mediante las curvas A y B respectivamente, donde se obtiene valores máximos de 0.48 kN y 2.48 kN en cada una. El signo negativo señala la dirección contraria de la fuerza de corte en el eje "X".</p>	<p>El gráfico indica la fuerza de corte y fuerza de tracción mediante las curvas A y B respectivamente, donde se obtiene valores máximos de - 0.39 kN y 2.07 kN en cada una. El signo negativo señala la dirección contraria de la fuerza de corte en el eje "X".</p>

Momento de Flexión. Debido a la dirección de la carga puede tener efecto negativo o positivo, las gráficas resultantes se muestran en la tabla 24.

Tabla 24

Criterio NIC, momento de flexión en colisión frontal.

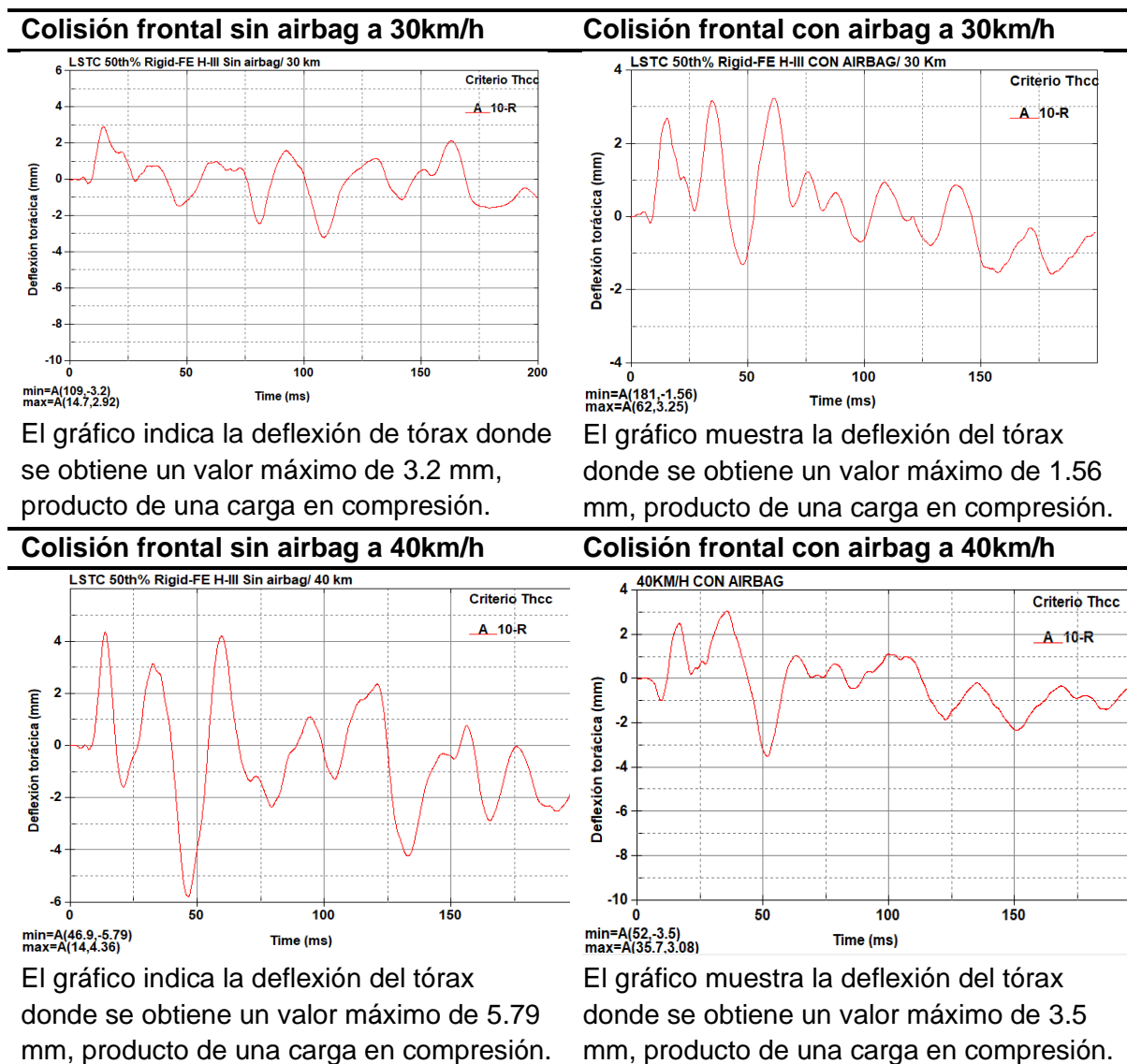
Colisión frontal sin airbag a 30km/h	Colisión frontal con airbag a 30km/h
 <p>min=A(75.4,-26.5) max=A(157,10.2)</p>	 <p>min=A(67.7,-24.5) max=(0,13.3)</p>
<p>El gráfico indica el momento de flexión generado en el cuello, con un valor máximo de 26.5 Nm con efecto negativo.</p>	<p>El gráfico muestra el momento de flexión generado en el cuello, donde se obtiene un valor máximo de 24.5 Nm con efecto positivo.</p>
Colisión frontal sin airbag a 40km/h	Colisión frontal con airbag a 40km/h
 <p>min=A(127,-34.3) max=A(187,21.7)</p>	 <p>min=A(111,-45.9) max=A(199,39.1)</p>
<p>El gráfico indica el momento de flexión generado en el cuello donde se obtiene un valor máximo de 34.5 Nm con un efecto negativo.</p>	<p>El gráfico muestra el momento de flexión generado en el cuello, donde se obtiene un valor máximo de 45.9 Nm con efecto negativo.</p>

Compresión del Tórax ThCC

El criterio está determinado en base a la compresión que se produce en el tórax y viene a ser el valor absoluto de deformación presentada en el mismo. En la tabla 25, se muestra las gráficas resultantes del THCC para el Dummy Fast Híbrido 50 percentil en el ensayo de colisión frontal a peatones.

Tabla 25

Criterio ThCC-colisión frontal.



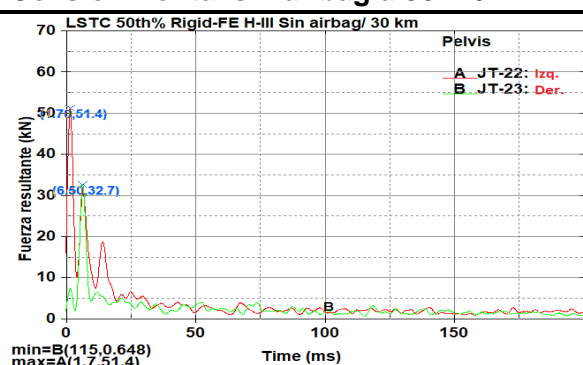
Fuerza sobre la Pelvis PSPF

El criterio se determina mediante la resistencia que presenta la pelvis específicamente en la zona de la sínfisis púbica, donde la fuerza máxima ejercida no debe superar los 6 kN esto 174 en base a la norma N°95 de la CEPE y protocolo de Latin NCAP. El parámetro medible se basa en la fuerza resultante para cada lado de la pelvis los mismos que se detallan en la tabla 26.

Tabla 26

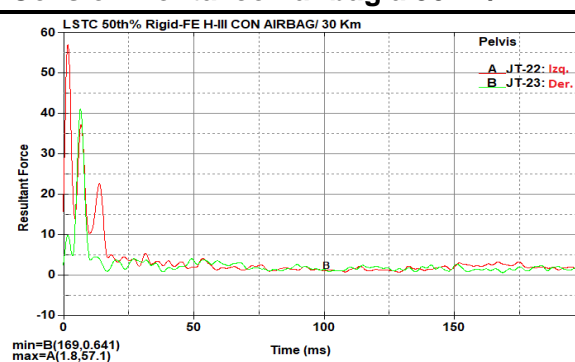
Criterio de fuerzas sobre la pelvis-colisión lateral.

Colisión frontal sin airbag a 30km/h



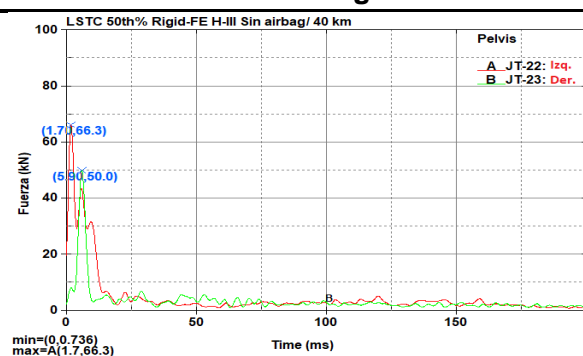
La gráfica indica la fuerza resultante en la pelvis parte izquierda y derecha mediante las curvas A y B respectivamente, los valores obtenidos son 51.4 kN y 32.7 kN para cada una.

Colisión frontal con airbag a 30km/h



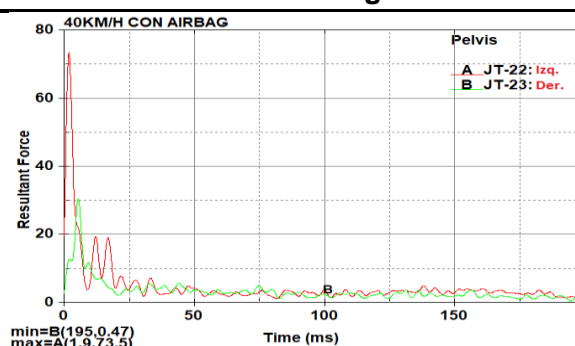
La gráfica muestra la fuerza resultante sobre la pelvis en la parte izquierda (JT-22), donde se tiene una fuerza máxima de 57.1 kN, mientras que en la parte derecha de la pelvis (JT-23) actúa una fuerza máxima de 40.5 kN.

Colisión frontal sin airbag a 40km/h



La gráfica indica la fuerza resultante en la pelvis parte izquierda y derecha mediante las curvas A y B respectivamente, los valores obtenidos son 12.9 kN y 8.2 kN para cada una.

Colisión frontal con airbag a 40km/h



La gráfica muestra la fuerza resultante sobre la pelvis en la parte izquierda (JT-66), donde se tiene una fuerza máxima de 73.5 kN, mientras que en la parte derecha de la pelvis (JT-67) actúa una fuerza máxima de 30.2 kN.

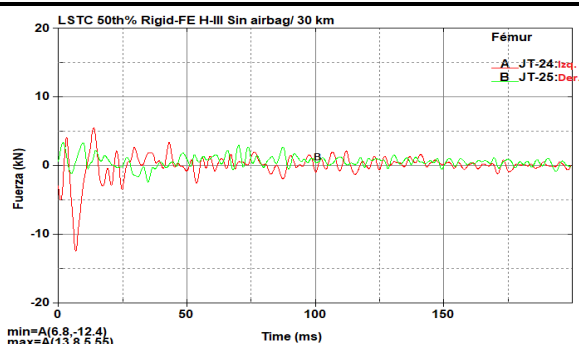
Fuerza del Fémur FFC

El criterio viene determinado por la carga de compresión ejercida axialmente en cada fémur de los maniqués. En la tabla 27, se muestra las gráficas resultantes de la fuerza del fémur (FFC) para el Dummy Fast HIII 50 y 05 percentil en el ensayo de colisión frontal.

Tabla 27

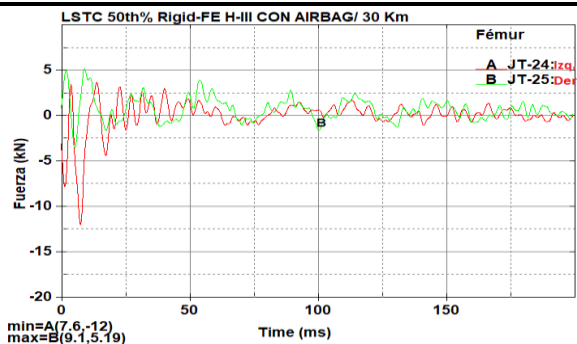
Criterio FFC-colisión frontal.

Colisión frontal sin airbag a 30km/h



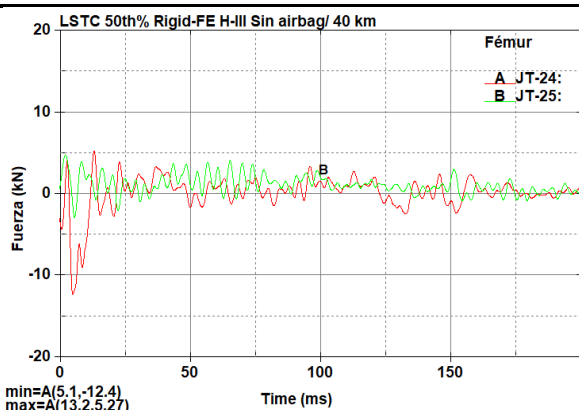
El gráfico indica la curva resultante de la fuerza en compresión del fémur izquierdo y derecho correspondientes a la curva A y B. Se obtiene un valor máximo de 12.4 kN y 5.55 kN respectivamente.

Colisión frontal con airbag a 30km/h



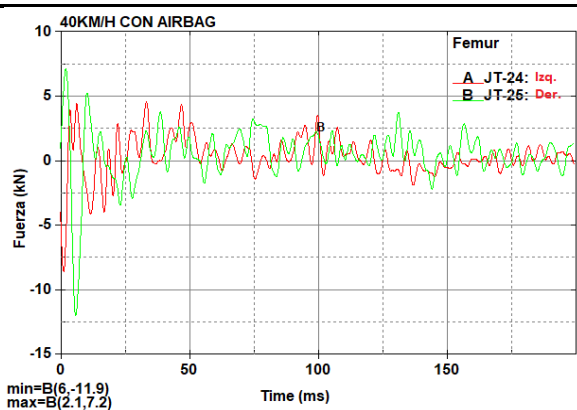
El gráfico indica la curva resultante de la fuerza en compresión del fémur izquierdo y derecho correspondientes a la curva A y B. Se obtiene un valor máximo de -12 kN y 5.19 kN respectivamente ambos con efecto de tracción.

Colisión frontal sin airbag a 40km/h



El gráfico indica la curva resultante de la fuerza en compresión del fémur izquierdo y derecho correspondientes a la curva A y B. Se obtiene un valor máximo de 12.4 kN y 5.27 kN respectivamente.

Colisión frontal con airbag a 40km/h



El gráfico indica la curva resultante de la fuerza en compresión del fémur izquierdo y derecho correspondientes a la curva A y B. Se obtiene un valor máximo de 7.2 kN tanto para A y B con un efecto de tracción.

Comportamiento de la Tibia

El criterio viene determinado mediante la fuerza de compresión axial (FZ) ejercida sobre cada tibia de los maniqués, la cual no debe superar los 8 kN.

Para determinar el índice, se calcula mediante los momentos de flexión (MX y MZ), como se muestra en la ecuación 5, valor que no debe ser superior a 1.3, esto en base a lo establecido en la norma N°94 de la CEPE.

Ecuación 4

Índice de la tibia

$$TI = \left| \frac{M_R}{(M_C)_R} \right| + \left| \frac{F_Z}{(F_C)_Z} \right|$$

Donde:

M_R =Momento de flexión resultante

M_C = Momento crítico de flexión, valor sugerido de 225 Nm para el HIII 50 percentil (ADVISORY GROUP FOR AEROSPACE RESEARCH & DEVELOPMENT, 1996).

F_Z = Fuerza de compresión axial en dirección z.

$(F_C)_Z$ = Fuerza crítica de compresión en la dirección z, valor sugerido de 35.9 kN para el HIII 50 percentil (ADVISORY GROUP FOR AEROSPACE RESEARCH & DEVELOPMENT, 1996).

El Momento de flexión resultante se obtiene mediante la ecuación 6, la cual relaciona el momento MX y MY producido en la tibia.

Ecuación 5

Momento de flexión resultante

$$M_R = \sqrt{(M_X)^2 + (M_Y)^2}$$

Donde:

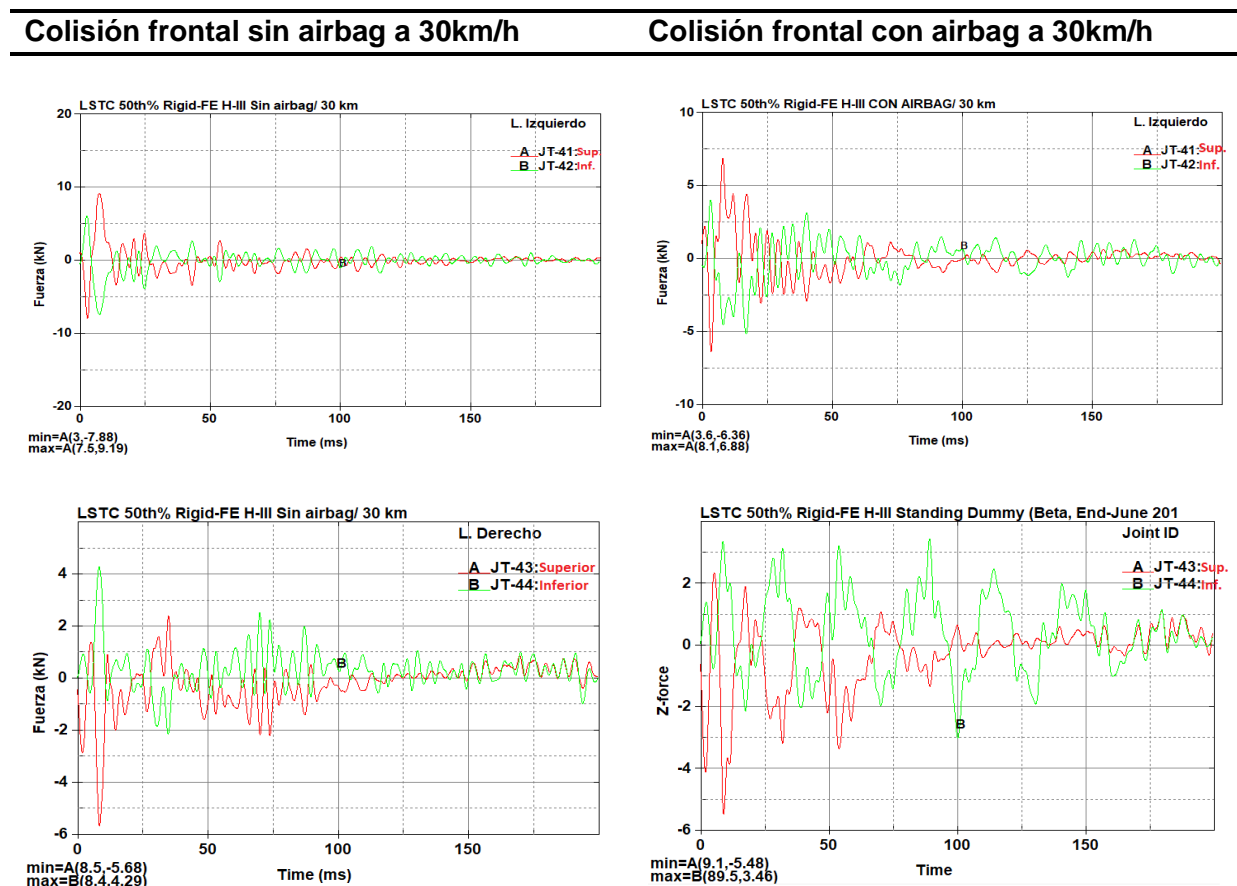
M_X = Momento de flexión en torno al eje x.

M_Y = Momento de flexión en torno al eje y.

Fuerza de Compresión. Las cargas que provocan la fractura de la tibia producen fuerzas medibles en los extremos superior e inferior de la tibia, las cuales permiten determinar el riesgo de la misma. En la tabla 28 se muestra las gráficas resultantes para cada punto de análisis.

Tabla 28

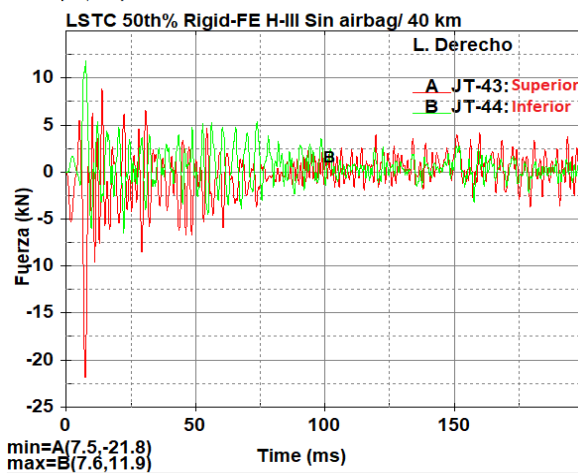
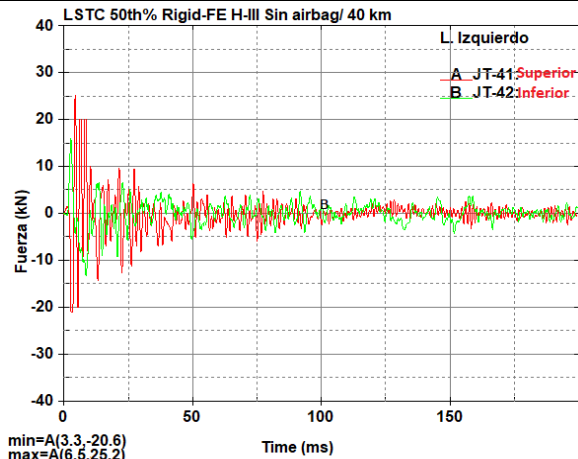
Criterio TCFC, fuerza de compresión axial-colisión frontal.



En las figuras se muestra la fuerza de compresión axial mediante las curvas A y B, las cuales representan un punto superior e inferior de la tibia para cada lado, respectivamente. Se obtiene un valor máximo de 9.19 kN en el lado izquierdo y parte superior de la tibia con efecto en tracción. Se considera el punto más sensible para determinar el TI.

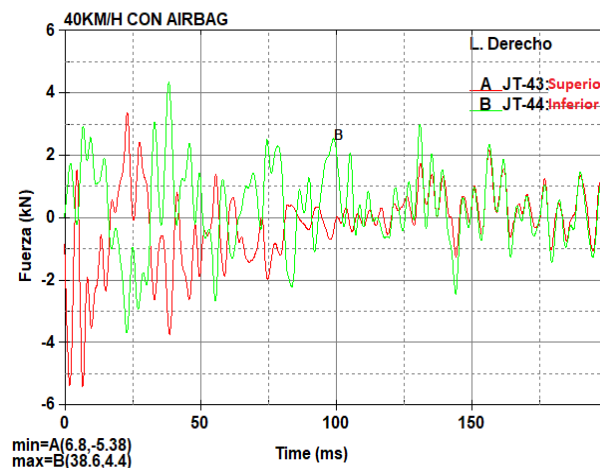
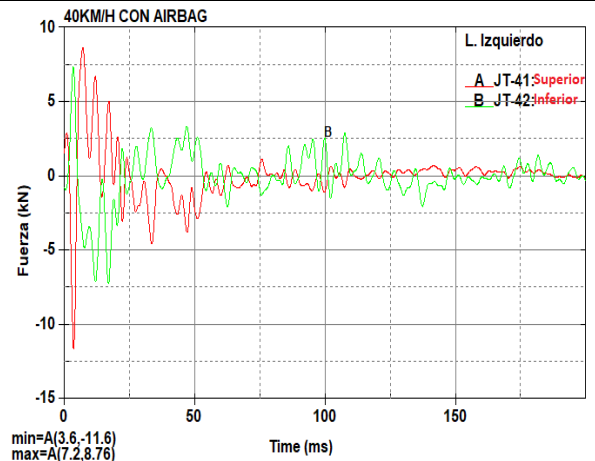
En las figuras se muestra la fuerza de compresión axial mediante las curvas A y B, las cuales representan un punto superior e inferior de la tibia para cada lado, respectivamente. Se obtiene un valor máximo de 6.88 kN en el lado izquierdo y parte superior de la tibia con efecto en tracción. Se considera el punto más sensible para determinar el TI.

Colisión frontal sin airbag a 40km/h



En las figuras se muestra la fuerza de compresión axial mediante las curvas A y B, las cuales representan un punto superior e inferior de la tibia para cada lado, respectivamente. Se obtiene un valor máximo de 25.2 kN en el lado derecho y parte superior de la tibia. Se considera el punto más sensible para determinar el TI.

Colisión frontal con airbag a 40km/h



En las figuras se muestra la fuerza de compresión axial mediante las curvas A y B, las cuales representan un punto superior e inferior de la tibia para cada lado con efecto de tracción, respectivamente. Se obtiene un valor máximo de 11.6 kN en el lado derecho y parte superior de la tibia. Se considera el punto más sensible para determinar el TI.

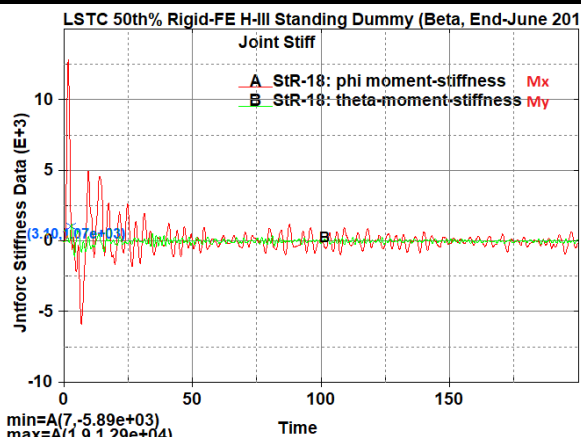
Momento de Flexión. De la misma manera, el momento de flexión se produce por cargas en los extremos superior e inferior de la tibia, la cual se hace susceptible a facturas.

En la tabla 29 se muestra las gráficas resultantes para cada punto de análisis.

Tabla 29

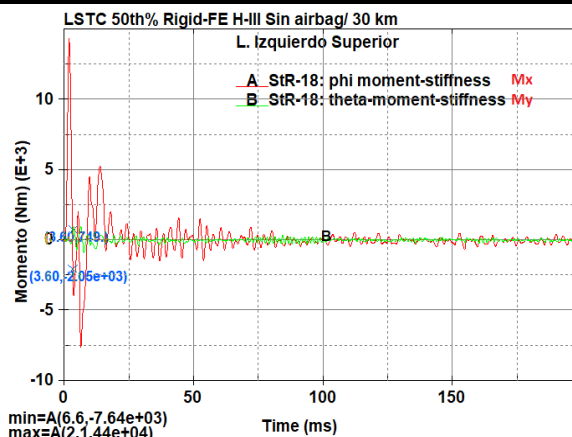
Criterio TCFC, momento de flexión-colisión frontal.

Colisión frontal sin airbag a 30km/h



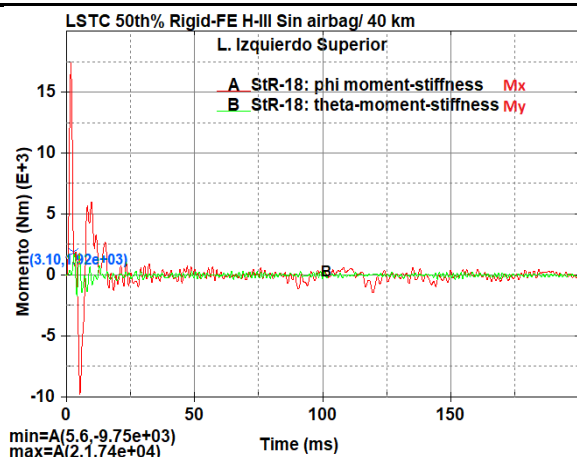
La gráfica muestra las curvas A y B del momento de flexión “x” e “y” en la parte superior de la tibia derecha. Para 3.10 ms, correspondiente a la fuerza máxima de compresión axial, los momentos resultantes para Mx y My es de 1070 Nm.

Colisión frontal con airbag a 30km/h



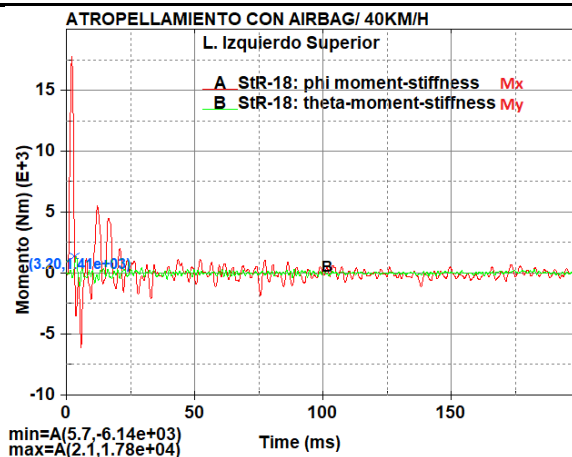
La gráfica muestra las curvas A y B del momento de flexión “x” e “y” en la parte inferior de la tibia derecha. Para 3.60 ms, correspondiente a la fuerza máxima de compresión axial, los momentos resultantes para Mx -2050 Nm y My es de 749 Nm.

Colisión frontal sin airbag a 40km/h



La gráfica muestra las curvas A y B del momento de flexión “x” e “y” en la parte superior de la tibia derecha. Para 3.10 ms, correspondiente a la fuerza máxima de compresión axial, los momentos resultantes para Mx y My es de 920 Nm.

Colisión frontal con airbag a 40km/h



La gráfica muestra las curvas A y B del momento de flexión “x” e “y” en la parte superior de la tibia derecha. Para 3.20 ms, correspondiente a la fuerza máxima de compresión axial, los momentos resultantes para Mx y My es de 1410 Nm.

Índice de Lesión TI. Al considerar la fuerza máxima ejercida sobre un punto específico de la tibia, y el momento de flexión producido al mismo tiempo, se determina el índice TI para cada Dummy como se muestra en la tabla 30.

Tabla 30

Índice de lesión TI para colisión frontal.

Estudio		Fuerza axial [kN]	Mx [Nm]	My [Nm]	M. Resultante [Nm]	TI
Ensayo sin seguridad pasiva	30 km	9.19	1070	1070	1513.20	6.98
	40 km	25.2	1920	1920	2715.29	12.7
Ensayo con seguridad pasiva	30 km	6.68	2050	749	2182.54	8.74
	40 km	11.6	1410	1410	1994.04	9.18

Nota. En la tabla se observa que el índice HIC a 40 Km/h con airbag se encuentra dentro del rango admisible de seguridad.

Comparación de los Criterios según la Regulación y Tipo de Colisión.

Los criterios de riesgo de lesiones se evalúan con base en las consideraciones del manual de pruebas técnicas para cada maniquí en colisiones según el protocolo de evaluación correspondiente de CEPE/ONU y LatinNCAP.

En función del reglamento N° 127 de la Comisión Económica para Europa de la Naciones Unidas y Protocolo de EuroNCAP, la evaluación se argumenta en 6 criterios de importancia basados en la anatomía corporal, los valores obtenidos en cada condición se detallan en la tabla 31 y 32.

Tabla 31

Valores obtenidos de simulación en atropellamiento a 30 km/h.

Criterio de lesión		Unidad	Sin seguridad HIII 50%	Con seguridad HIII 50%
HIC	HIC15	-	526.2	246.7
NIC Tracción		kN	-0.46	-0.36
NIC Cizalladura		kN	-1.76	3.20
NIC Momento de flexión "y"		Nm	-26.5	-24.5
ThCC		Mm	-3.2	3.25
PSPF	Izquierda	kN	51.4	57.1
	Derecha	kN	32.7	40.5
FFC Izquierda		kN	-12.4	-12
FFC Derecha		kN	3.5	5.19
Tibia	Fuerza de compresión	de kN	9.19	6.88
	Índice TI	-	6.98	8.74

Nota. La tabla muestra los valores resultantes de los criterios, los signos negativos indican el efecto contrario de la carga, ya sea compresión, tensión, corte, momento flector o desplazamiento.

Tabla 32

Valores obtenidos de simulación en atropellamiento a 40 km/h.

Criterio de lesión		Unidad	Sin seguridad HIII 50%	Con seguridad HIII 50%
HIC	HIC15	-	1132	134.2
NIC Tracción		kN	-0.48	-0.39
NIC Cizalladura		kN	2.48	2.07
NIC Momento de flexión "y"		Nm	-34.3	-45.9
ThCC		Mm	-5.79	-3.5
FFC Izquierda		kN	-12.4	-8.5
FFC Derecha		kN	4.95	-11.9
PSPF	Izquierda	kN	66.3	73.5
	Derecha	kN	50	30.1
Tibia	Fuerza de compresión	de kN	35.2	-11.6
	Índice TI	-	12.7	9.18

Gravedad de la Lesión

La probabilidad y la gravedad de las lesiones se determinan con base en la normativa AIS (The Abbreviated Injury Scale) de la Asociación para el Avance de la Medicina de Tráfico (AAAM), que considera lesiones comunes de origen anatómico y curvas de probabilidad AIS. En la tabla 33 se detallan algunas partes del cuerpo y se refiere al valor máximo permitido como una fractura.

Tabla 33

Lesiones comunes en atropellamiento presentes en la anatomía corporal.

Criterio de evaluación	Descripción de lesión	AIS	Referencia
HIC 15	Daño cerebral	AIS ≥ 4	Anexo 3 (Nahum & Melvin, 2002, p. 90).
	Riesgo de fractura de cráneo	AIS ≥ 4	Anexo 4 (A. Nahum & Melvin, 2002, p. 91).
NIC-Tracción	Riesgo de traumas en el cuello	AIS ≥ 3	Anexo 5 (A. Nahum & Melvin, 2002, p. 94).
NIC-Cizalladura	Fracturas de lesiones y ligamentos.	AIS ≥ 2	Referencia Valores máximos.
NIC-Momento de flexión	Riesgo de estrés en el ligamento cabeza-cuello.	AIS ≥ 3	Anexo 6 (A. Nahum & Melvin, 2002, p. 95).
ThCC	Fractura de costillas y esternón. Lesión del tórax móvil	AIS ≥ 3 AIS ≥ 4	Anexo 7 (A. Nahum & Melvin, 2002, p. 98).
PSPF	Fractura cerrada de pelvis	AIS ≥ 2	Anexo 8 (Lubbe et al., 2011, p. 9).
FFC	Fractura del fémur	AIS ≥ 2 AIS ≥ 3	Anexo 9 (Kuppa et al., 2001, p. 5).
Tibia	Fractura de la tibia	AIS ≥ 2	Anexo 10 y 11 (Kuppa et al., 2001), p. 6-7).
Índice TI	Mayor a 1.3	AIS ≥ 2	Referencia valor máximo.

Nota. La tabla muestra estudios comparativos sobre la gravedad de las lesiones según los criterios de evaluación.

Atropellamiento sin Seguridad Pasiva

En la tabla 34 se muestran los valores de los criterios de lesión y los valores de los valores máximos establecidos por el Reglamento CEPE N° 127 y el protocolo EuroNCAP para la prueba de seguridad pasiva, así como el porcentaje de accidentes. criterios basados en un AIS específico, que permite clasificar las lesiones según su gravedad.

Tabla 34

Gravedad de lesiones en atropellamiento sin airbag.

Criterio de evaluación	Valor máximo		Unidades	Gravedad de lesión
	30 km	40 km		
HIC 15	526.2 C	1132 NC	-	Riesgo de daño cerebral. Riesgo de fractura del cráneo. HIII-50 percentil, 1.7% y 30%.
NIC-Tracción	-0.46 C	-0.48 C	kN	HIII-50 percentil, 1% para cada una.
NIC-Cizalladura	-1.76 C	2.48 C	kN	HIII-50 percentil, sin fractura.
NIC-Momento de flexión	-26.5 C	-34.3 C	Nm	HIII-50 percentil, 0.1% para cada una. Sin fractura.
ThCC	-3.2 C	-5.79 C	Mm	AIS \geq 3 y AIS \geq 4. HIII-50 percentil, sin fractura.
PSPF Izquierda	51.4 NC	66.3 NC	kN	HIII-50 percentil, 100% para cada una.
PSPF Derecha	32.7 NC	50 NC	kN	HIII-50 percentil, 100% para cada una.
FFC Izquierda	-12.4 NC	-12.4 NC	kN	AIS \geq 2 y AIS \geq 3. HIII-50 percentil, 25.1% y 60%. HIII-50 percentil, 25.1% y 60%.
FFC Derecha	3.5 C	4.95 C	kN	AIS \geq 2 y AIS \geq 3. HIII-50 percentil, 1.68% y 2.08%. HIII-50 percentil, 4.61% y 3.59%.
Tibia	9.19 NC	35.2 NC	kN	HIII-50 percentil, 85% y 100%
Índice TI	6.98 NC	12.7 NC	-	Mayor a 1.3, Fractura.

Nota. En la tabla, las siglas NC (no cumple) y C (cumple) corresponden a valores mínimos o seguridad baja, respectivamente. El índice TI se obtiene en relación con las fuerzas axiales de compresión y el momento de flexión, por lo que el valor ideal se limita siguiendo el valor máximo de la fuerza axial de compresión.

La simulación de atropellamiento del vehículo tipo Sedan sin la implementación del elemento de seguridad pasiva (*airbag* para peatones), presenta resultados altos en los criterios de lesión, a comparación de los valores admisibles.

- El criterio de lesión de la cabeza HIC para 15 ms en el caso de 40 km/h, sobrepasan el límite mínimo especificado de seguridad, los cuales constituyen amenaza directa a la vida con gravedad AIS \geq 4 (grave con riesgo vital), con máximo el 90% de supervivencia. En condiciones críticas puede alcanzar la muerte con un AIS5.

- El criterio de lesión del cuello ante la fuerza de tracción y momento de flexión con AIS \geq 3 conllevan a tener la probabilidad de traumas en el cuello y riesgo de estrés en el ligamento cabeza-cuello inferior al 10% de forma moderada con totalidad de supervivencia para cada caso (30km/h y 40 km/h).
- La deflexión del tórax ocasiona daños anatómicos directos al *Dummy* HIII 50 percentil con AIS \geq 3 y AIS \geq 4 con una probabilidad baja respecto de fractura simples y complejas del área del tórax y esternón, por lo que el grado de lesión no contempla un daño considerable.
- El Fémur está evaluado en un AIS \geq 2 y AIS \geq 3 desde una fractura simple hasta una amputación de la extremidad debido a la fuerza axial generada, por lo cual, para el lado izquierdo del *Dummy* el riesgo está alrededor del 60% de fractura con alta probabilidad de supervivencia.
- La fuerza resultante en la pelvis PSPF derecha del maniquí HIII 50 percentil presenta un valor superior a los 6 kN establecido por el protocolo Latin NCAP por lo que se puede considerar la existencia de una fractura cerrada AIS \geq 2.
- La fuerza de compresión axial sobre la tibia sobrepasa el valor máximo en cada *Dummy*, por lo cual, evaluado a un AIS \geq 2, la fractura de la misma está propensa a efectuarse con 85% y 100% de riesgo en el *Dummy* HIII 50 percentil.

Tabla 35

Gravedad de lesiones en atropellamiento con airbag.

Criterio de evaluación	Valor máximo		Unidades	Gravedad de lesión
	30 km	40 km		
HIC 15	246.7 C	134.2 C	-	Riesgo de daño cerebral. Riesgo de fractura del cráneo. HIII-50 percentil, 7% para cada una.
NIC-Tracción	-0.36 C	-0.39 C	kN	HIII-50 percentil, 1% para cada una.
NIC-Cizalladura	3.20 C	2.07 C	kN	HIII-50 percentil, sin fractura.
NIC-Momento de flexión	-24.5 C	-45.9 C	Nm	HIII-50 percentil, 0.1 % para cada una. Sin fractura.
ThCC	3.25 C	-3.5 C	mm	AIS \geq 3 y AIS \geq 4. HIII-50 percentil, sin fractura.

Criterio de evaluación	Valor máximo		Unidades	Gravedad de lesión
	30 km	40 km		
PSPF Izquierda	57.1 NC	73.5 NC	kN	HIII-50 percentil, 100% para cada una.
PSPF Derecha	40.5 NC	30.1 NC	kN	HIII-50 percentil, 100% para cada una.
FFC Izquierda	-12 NC	-8.5 NC	kN	AIS \geq 2 y AIS \geq 3. HIII-50 percentil, 25% y 59%. HIII-50 percentil, 10.1% y 25%.
FFC Derecha	5.19 NC	-11.9 NC	kN	AIS \geq 2 y AIS \geq 3. HIII-50 percentil, 4.8% y 5.12%. HIII-50 percentil, 23% y 58.2%.
Tibia	6.88 NC	-11.6 NC	kN	HIII-50 percentil, 48% y 95%.
Índice TI	8.74 NC	9.18 NC	-	Mayor a 1.3, Fractura.

Nota. En la tabla, las siglas NC (no cumple) y C (cumple) corresponden a valores mínimos o seguridad baja, respectivamente. El índice TI se obtiene en relación con las fuerzas axiales de compresión y el momento de flexión, por lo que el valor ideal se limita siguiendo el valor máximo de la fuerza axial de compresión.

La simulación de atropellamiento del vehículo tipo Sedan sin la implementación del elemento de seguridad pasiva (*airbag* para peatones), presenta resultados altos en los criterios de lesión, a comparación de los valores admisibles.

- El HIC15 se basa en la gravedad con un bajo riesgo de daño cerebral y fractura de cráneo, 7 % para el *Dummy HIII* percentil 50 a 30km/h y 40km/h, en este caso ambos con una tasa de supervivencia máxima del 90 %.
- Para el criterio de lesión en el cuello, el riesgo en la escala AIS \geq 3 del *Dummy HIII* percentil 50 no presenta riesgo de lesiones en la región cuello-cabeza para cada caso (30km/h y 40 km/h).
- Para el *Dummy HIII* percentil 50, la deflexión torácica en las escalas de gravedad AIS \geq 3 y AIS \geq 4 tienen un riesgo de 0.1%, por lo que las lesiones en las costillas y el esternón pueden ser leves sin pérdida de vida y con una probabilidad de supervivencia de 90%.

- El Fémur está evaluado en un AIS \geq 2 y AIS \geq 3 desde una fractura simple hasta una amputación de la extremidad debido a la fuerza axial generada, por lo cual, para el lado izquierdo del *Dummy* el riesgo está alrededor del 59% de fractura con alta probabilidad de supervivencia y del lado derecho del *Dummy* el riesgo esta alrededor del 25% de fractura con alta probabilidad de supervivencia.
- La fuerza resultante en la pelvis PSPF izquierda del maniquí HIII 50 percentil presenta un valor superior a los 6 kN establecido por el protocolo Latin NCAP por lo que se puede considerar la existencia de una fractura cerrada AIS \geq 2.
- La fuerza de compresión axial sobre la tibia sobrepasa el valor máximo en cada *Dummy*, por lo cual, evaluado a un AIS \geq 2, la fractura de la misma está propensa a efectuarse con 48% y 95% de riesgo en el *Dummy HIII* 50 percentil.

Los criterios de lesión de la cabeza HIC15, deflexión del tórax ThCC, fuerza resultante en la pelvis PSPF presentan valores bajos, constituyendo así un buen rendimiento en seguridad pasiva para el *Dummy HIII* 50 percentil. El éxito de los resultados en el ensayo con seguridad pasiva se debe a las características y condiciones de la aplicación del atropellamiento.

Propuesta de Implementación de un Airbag para Peatones

Objetivos

- Implementar un *airbag* para peatones en un vehículo tipo Sedan.
- Ubicar el *airbag* en el capo, buscando la forma más óptima respecto a factores estéticos, de seguridad y costos de fabricación e implementación.
- Realizar la instalación de elementos electrónicos necesarios para el funcionamiento del sistema *airbag* para peatones.
- Determinar los beneficios de implementar el airbag para peatones.

Aspectos Técnicos

La protección de los usuarios vulnerables de las vías es de suma importancia, al tener en cuenta que el parque automotor ocupa en gran medida el espacio vial, es prioritario equiparlos con elementos de seguridad para la protección de los más vulnerables y sobre todo dentro de la zona urbana.

La investigación y resultados previos muestran de forma acertada que al implementar un airbag para peatones se reduce considerablemente las posibles lesiones que sufrirá un peatón en caso de atropellamiento frontal. El valor de HIC durante un atropellamiento se redujo de forma significativa, siendo esto de 1132 a 134.2, pasando de un índice *ABBREVIATED INJURY SCALE* (AIS) crítico (AIS 5) a moderado (AIS 2).

En el criterio de compresión del Tórax (ThCC) también se obtiene una reducción la cual va de 5.79 a 3.5, se debe tomar en cuenta que estos valores están dentro de un rango aceptable para no sufrir una fractura, en un rango AIS moderado ($AIS \geq 2$).

En el resto de criterios los valores no cambian demasiado al tener o no el airbag. Pero son lesiones que se pueden sobrellevar y no son un riesgo a la vida de los peatones.

Los datos antes mencionados son el resultado de una simulación con velocidad de 40 km/h, esto teniendo en cuenta que, dentro de la zona urbana, el límite de velocidad son 50 km/h y a este sector es al cual se dirige la propuesta.

Daños a la Salud a Reducir con la Implementación

Los accidentes automovilísticos son la causa número uno de muertes traumáticas y lesiones graves.

Al analizar la distribución por tipo de impacto, se ve que, en la mayoría de los casos, las lesiones graves ocurren en las colisiones frontales, con 62%, luego en las laterales (24%), posteriores (6%) y “otras”, con 8%. (Augenstein, 2002)

Tomando como punto de partida que las lesiones en la cabeza suelen ser más complicadas que otras lesiones por accidentes automovilísticos, después de todo, el cerebro es responsable de todo lo que hace el cuerpo y la recuperación de una lesión cerebral traumática puede llevar años. Por lo tanto, al comparar los datos obtenidos en la simulación, se puede determinar que las lesiones en la cabeza se reducen al contar con un airbag enfocado en la protección de peatones durante un atropellamiento típico.

También se debe tomar en cuenta que debido a la naturaleza del accidente se tendrán lesiones que se consideran comunes de un atropellamiento automovilístico y se enlistan a continuación.

- Lesiones de cuello y espalda
- Lesiones en el pecho y las costillas
- Lesiones pélvicas y abdominales
- Lesiones de pierna (fémur, tibia, rodillas)

No se debe descartar problemas emocionales y psicológicos, los cuales no son menos importantes, lo cual podría ser tomado en cuenta en futuras investigación.

Beneficios de Contar con el Airbag

Como lo indica el COIP (2014), en su artículo 377 “La persona que ocasione un accidente de tránsito del que resulte la muerte de una o más personas por infringir un deber objetivo de cuidado, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años, suspensión de la licencia de conducir por seis meses una vez cumplida la pena privativa de libertad”. Por lo tanto, se debe plantear que el beneficio no solo es para el peatón, por lo

antes mencionado se determina que al evitar la muerte del peatón durante un atropellamiento el conductor del vehículo podrá evitar una sanción grave. La prioridad de las mejoras en seguridad pasiva y activa de vehículos siempre será salvaguardar la vida de los ocupantes y peatones.

Implementación del airbag

Este tipo de airbag se ubicará en el exterior del vehículo, específicamente sobre el capo. La bolsa de aire para peatones se activará cuando el automóvil golpee a un peatón y se desplegará desde la parte central del capo hacia los costados. Por tanto, su función será reducir las lesiones del peatón, especialmente en la cabeza.

El airbag para peatones actuara como un sistema de seguridad pasiva, ofreciendo una mejor protección y reduciendo los factores de riesgo en accidentes de tránsito tipo atropellamiento, especialmente en impacto frontal.

Para el volumen de control del airbag, siendo esta la relación termodinámica del gas en términos de parámetros como la capacidad térmica, la temperatura del gas, la masa entrante y la masa saliente, se tomará el capo como una pared rígida debajo del airbag la cual actuará como suelo.

Componentes. El sistema de airbag para peatones se conformará de elementos tanto externos como internos.

Componentes externos:

- Bolsa de aire,
- Cubierta protectora.

Componentes internos:

- Cables y conectores,
- Generador de gas,
- Unidad de contacto y la unidad de control, que a su vez comprende los sensores de choque o desaceleración, el sensor mecánico de seguridad,
- Almacenador de energía,

- El microprocesador.

Los dos tipos de sensores permiten su funcionamiento y suelen estar situados junto a la central de la unidad de control.

El sensor de desaceleración tiene una característica piezoeléctrica que convierte la desaceleración en un pulso eléctrico que cambia el voltaje según la presión aplicada al sensor.

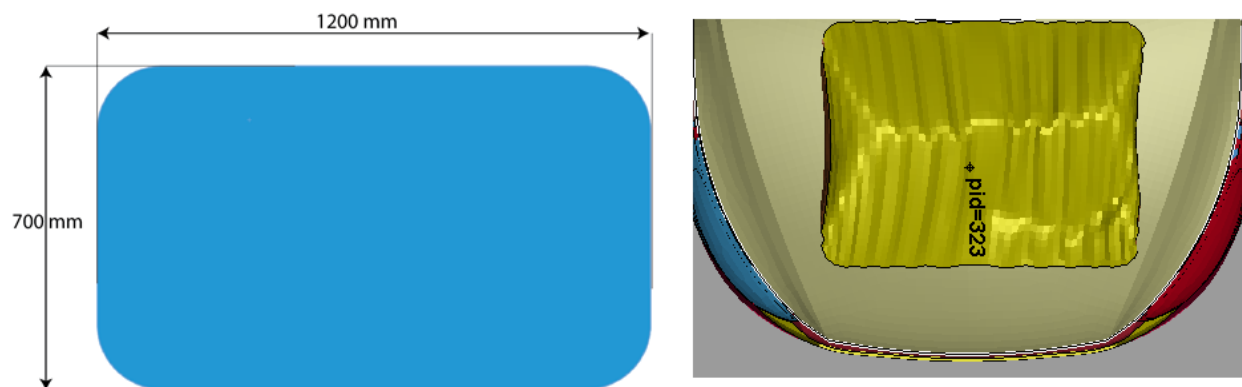
En caso de colisión, la fuerza de inercia presiona el sensor, cambiando el voltaje de salida y así informa la velocidad de la colisión mediante cálculos matemáticos realizados por el microprocesador de la unidad de control.

El sensor mecánico de seguridad actúa como un tipo de dispositivo de control que evita la activación involuntaria del sistema.

Diseño del Airbag. El diseño utilizado en la simulación es muy sencillo, tiene forma rectangular con medidas de ancho 1200 mm y profundidad de 700 mm, el cual se puede observar en la figura 51.

Figura 51

Medidas del airbag utilizado en simulación.



El diseño puede variar y enfocarse en cubrir más zonas del capo, esto en caso de que el peatón se encontrara en una posición distinta durante cada caso de atropellamiento, lo cual provocara un cambio en su trayectoria.

Se debe tener en cuenta que el airbag diseñado se tendrá que fabricar con profesionales, para lo cual se puede realizar el prototipo en México ya que en Ecuador no

se cuenta con fabricantes, una opción podría ser Kolon Industries con sede en Coahuila México, o buscar un airbag con características que se adapten a nuestra propuesta, lo cual reduciría costos en la implementación.

Instalación de elementos electrónicos. La unidad de control es el corazón del sistema de bolsa de aire para peatones, estará ubicada en el centro del vehículo, en una zona del salpicadero denominada túnel central. Cumplirá con las funciones listadas a continuación.

- Detección de accidentes.
- Detección a tiempo de las señales emitidas por los sensores.
- Suministro de energía de los circuitos de encendido por medio del condensador, independientemente de la batería del vehículo.
- Autodiagnos de todo el sistema.
- Registro de los fallos surgidos en la memoria de averías.
- Encendido del testigo luminoso de control del airbag si falla el sistema.
- Unión a las otras unidades de control por medio de CAN-Bus.

Cableado del airbag. Para una mejor identificación de los cables y de los enchufes del airbag, éstos son de un color amarillo muy llamativo.

Dentro de los enchufes se encuentra un puente para cortocircuitos que evita que el airbag se active de manera involuntaria cuando haya que realizar alguna tarea en ellos. Esto podría ocurrir, por ejemplo, si existiera carga estática.

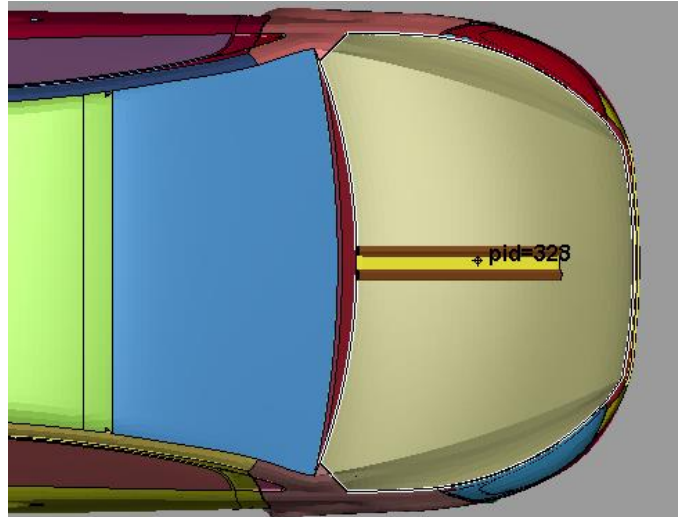
El puente para cortocircuitos es un contacto que, al separar la conexión del enchufe, une los dos contactos dentro del enchufe, con lo que se evitarían posibles caídas de potencial.

Ubicación del Airbag. El airbag tiene como punto de anclaje el capo, esto con la finalidad de evitar modificaciones sobre el mismo lo cual requeriría la implementación de mecanismos adicionales que permitan su elevación para la salida del airbag al momento de su activación. El airbag se colocará en sentido vertical tomando como puntos de referencia

el vértice del parabrisas y la zona delantera del auto, siendo centrado sobre el capo tal como se observa en la figura 52.

Figura 52

Ubicación del airbag para la propuesta de implementación.



Nota. La ubicación del airbag tomara en cuenta el calor producido en esa zona debido al motor, para lo cual se colocará un material que cuente con características térmicas adecuadas de disipación de calor y proporcione condiciones seguras para el airbag, se puede tomar en cuenta la fibra de carbono.

Análisis de Costos

Para tener una idea, de acuerdo con los precios consultados en medios digitales, el valor de implementación tendría un costo aproximado de mil cincuenta y cuatro dólares de los Estados Unidos de América (\$1 054) incluido IVA, teniendo en cuenta los componentes que se detallan en la tabla 36.

Tabla 36

Componentes requeridos para implementación del airbag para peatón.

Componente	Costo (USD)	Vista grafica	Descripción
Bolsa de aire	450		La bolsa de aire está compuesta por un tejido de poliamida muy resistente y de larga duración. Posee un coeficiente de fricción muy bajo para que pueda desplegarse fácilmente y para que el contacto con la piel sea más suave.
Carcasa	75		Se encargará de proteger la bolsa de aire y se propone fabricarlo con fibra de vidrio.
Cableado	40		Para facilitar la identificación de los cables y conectores de los airbags, estos son muy visibles en color amarillo.
Generador de gas	50		Se activa con un impulso de corriente entre 1 a 3 amperios en menos de 2 milisegundos. Cuando se inflama el material combustible, lo que inicia el generador de gas.
Unidad de control	228		La unidad de control es el núcleo del sistema airbag y se ubica en el centro del vehículo.
Sensor de choque	75		El sensor de choque se encuentra directamente en la unidad de control, o también pueden ubicarse como si fueran satélites en el frontal del vehículo.
Fibra de carbono	40		Se empleara como elemto base antes de colocar el airbag, para manejar en aspecto de calor.

Por otro lado, se debe considerar el costo del taller donde se realizará la instalación. Es importante revisar bien el prestigio y la experiencia del lugar, pues estos elementos deben quedar bien ajustados, pues de no ser así, se tendrá un gran riesgo. Por

lo tanto, se tendrá en cuenta un precio de cien dólares (\$100) en mano de obra, por lo cual el costo total podría contemplarse en mil ciento cincuenta y cuatro dólares de los Estados Unidos de América (\$1 154) aproximadamente.

Conclusiones

- Se implementó el airbag para peatones en un modelo digital de un vehículo tipo Sedan
- Se ubicó el airbag en el centro del capó, de forma vertical tomando como referencia la parte delantera del vehículo, de esta forma se reduce costos de implementación.
- Se realizó una investigación de los lugares adecuados para la colocación de los elementos electrónicos necesarios para el funcionamiento del sistema airbag para peatones.
- Se determinó que un airbag para peatones es de beneficio no solo para los peatones al reducir las posibles lesiones, al contrario, también beneficia al conductor del vehículo en el aspecto legal ante las entidades pertinentes.

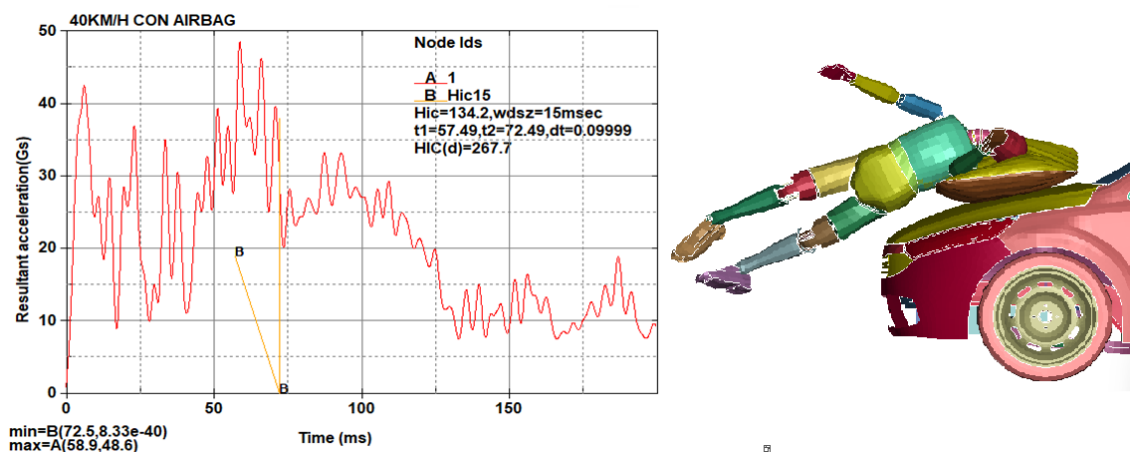
Beneficios de la Implementación del Airbag

En base a los resultados obtenidos se puede determinar de forma acertada que la implementación de un airbag y su accionamiento durante un atropellamiento beneficia en gran medida al peatón, lo que conlleva la reducción de lesiones mortales en los distintos criterios de lesión tomados en cuenta durante el análisis.

El criterio de lesión que permite apreciar de mejor manera la efectividad del airbag sobre el capo es el encefálica (HIC) el cual es de gran importancia, porque a partir de estos datos obtenidos se puede tener un punto de comparación para analizar la implementación del Airbag sobre el capo como un sistema de seguridad pasiva para los peatones, y mediante el AIS y la valoración en colores de la EuroNCAP permite conocer las posibles consecuencias que puede producir durante el atropellamiento. El valor del HIC del Dummy a una velocidad de impacto de 40 Km/h (con airbag) es de 134.2, figura 53, de acuerdo con el AIS CODE y la EuroNCAP, el peatón puede sufrir una conmoción suave, no tiene fracturas y logra obtener una valoración verde.

Figura 53

Criterio del HIC15 del Dummy HIII con la utilización de Airbag a 40km/h.



Nota. La imagen muestra la simulación de atropellamiento y la gráfica de HIC con un resultado de 134.2 lo cual muestra una reducción considerable respecto de la simulación a 40 km/h que reflejo un valor HIC15 de 1132.

Se debe puntualizar que a consideración de la EuroNCAP y la ONU/CEPE no se contempla la calificación de seguridad a peatones respecto de un airbag exterior o sobre el capo, lo que se contempla en los protocolos de valoración es el capo activo el cual aumenta el espacio entre el capó y las partes inferiores, reduciendo así el riesgo de lesiones, el sistema de protección de peatones se basa en sensores y algoritmos diseñados y calibrados para determinar cuándo se debe desplegar el capo activo. Implementar un airbag para peatones sobre el capo, tomando en cuenta una investigación ampliada y detallada del diseño y forma de implementación, sería una opción viable para reducir el número de decesos a causa de atropellamiento.

Capítulo V

Marco Administrativo

Recursos

Completar esta investigación requirió los recursos que se describen a continuación para proporcionar un análisis de colisión FEM de un vehículo tipo Sedan con una implementación de seguridad pasiva para estudios biomecánicos de los peatones.

Recursos Humanos

Para el desarrollo de la investigación con el tema: “Análisis de la implementación de un airbag en el capo de vehículos tipo sedan usados en el transporte público y su incidencia en impactos frontales a peatones”, fueron necesarios los recursos humanos que se detallan en la tabla 37.

Tabla 37

Recursos Humanos.

Orden	Descripción	Función
1	Quiguango Pinchao, Jonathan Augusto	Investigador
2	Iza Tobar, Henry Heriberto	Colaborador Científico

Recursos Tecnológicos

Los recursos tecnológicos requeridos para el desarrollo de la investigación realizada se detallan a continuación en la tabla 38.

Tabla 38

Recursos tecnológicos.

Orden	Detalle
1	Laptops
2	Internet
3	Software LS DYNA (CEN INGENIERÍA S.A)
4	Software LS-PrePost (CEN INGENIERÍA S.A)
5	Software ANSA (Versión estudiantil)
6	Software Solid Works (Versión estudiantil)
7	Microsoft Office

Presupuesto

A continuación, en la tabla 39, se muestra el presupuesto utilizado para el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 39

Presupuesto.

Detalle	Cantidad	Unidad de medida	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
MATERIALES Y EQUIPO				
Computador	1	U	1000	1000
Mouse	1	U	50	50
Capacitación CAE	1	U	500	500
Uso del software LSDYNA	1	U	150	150
Viajes- traslados (viáticos)	1	U	40	40
Materiales de papelería (hojas-impresiones)	1	U	5	5
Celular	1	U	250	250
Energía eléctrica	1	U	20	20
Subtotal				2015
Imprevistos (10%)				201.50
Total				2216.50

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se modeló un vehículo tipo Sedan en base a las características de los tres modelos más comercializados en el país correspondiente al sector de transporte público tipo taxi, de dimensiones principales como: distancia entre ejes de 2 600 mm, voladizo delantero de 534 mm, voladizo posterior de 996 mm, ancho total de 1 744 mm y alto total de 1 480 mm, con una masa total de 1 479.57 kg.
- Se modeló un sistema de airbag con característica rectangular el cual cubre más de 80% del área que comprende el capo, de las siguientes dimensiones: ancho de 1200 mm y profundidad de 700 mm. En relación a su efectividad para reducir lesiones se comprobó su buen desempeño en casos de atropellamiento.
- En el posprocesamiento del atropellamiento frontal del vehículo tipo Sedan, el análisis de las lesiones anatómicas, se basó en 6 criterios, es así que el ensayo sin seguridad a 40 km/h presentó un grave riesgo AIS 5 sin pérdida de vida humana localizada en la cabeza con HIC15 de 1132, de la misma manera el HIC15 a 30 km/h es 526.2, donde la gravedad de riesgo en daño cerebral o fractura del cráneo fue de 1.7 % y 25% para el peatón, en los demás criterios se obtuvo alta probabilidad de riesgo equivalente a fracturas con AIS \geq 2 y AIS \geq 3. Al implementar la seguridad pasiva los criterios disminuyeron de forma significativa, a excepción de la deflexión en la pelvis y la fractura en el fémur, donde el valor característico es alto, pero se encuentra dentro del rendimiento mínimo de seguridad.
- La implementación de un airbag en el capo incide en la reducción gradual de las lesiones. Centrado en el criterio de lesión de la cabeza, el HIC15 es de 1132 a una velocidad de 40km/h, lo cual es un alto riesgo de fractura y lesión de rango moderado y alto riesgo vital evaluado entre un AIS \geq 2 y AIS \geq 4. Con la colocación del airbag se presentó una reducción en el impacto sobre la cabeza con valores dentro

del rendimiento de seguridad establecido bajo norma, con valores de HIC15 de 246.7 y 134.2 a 30 km/h y 40 km/h respectivamente, aunque los valores fueron relativamente bajos y en la mayoría de criterios garantiza la seguridad, en el caso de la pelvis y fémur no cumplen con lo requerido. Finalmente se estima que el grado de impacto sobre la cabeza depende directamente de la posición del dummy, tamaño corporal del humano y la velocidad de impacto.

- Se analizó la factibilidad de implementar un sistema airbag en el capo del vehículo con la finalidad de reducir las lesiones que pueda sufrir un peatón en casos de atropellamiento, los resultados obtenidos en las simulaciones nos dan indicios de la efectividad que tendría la implementación de un airbag para peatones, en el caso específico de la simulación de 40 km/h con airbag y sin airbag el HIC15 de 1132 y 134.2 respectivamente, con lo cual queda en evidencia la efectividad del airbag para peatones en su finalidad de reducir lesiones mortales durante un atropellamiento.

Recomendaciones

- Obtener planos de diseño para vehículos de grado de investigación por cita o por marca específica para obtener dimensiones y detalles precisos para modelar un vehículo real basado en estándares de diseño internacionales.
- Diseñar un modelo de vehículo es crear diferentes vistas que se muestren simultáneamente en SolidWorks, de modo que pueda seguir con precisión el contorno y corregir cada elemento estructural (frontal, lateral, superior) en cada vista. puede ser encontrado estructura del cuerpo.
- Analizar otras partes del maniquí para identificar riesgos asociados a diferentes partes del cuerpo humano, como el hombro, otra zona vulnerable.
- Investigar varios criterios correspondientes a la calidad de la malla del elemento, para que los resultados obtenidos durante el posprocesamiento sean más confiables.
- Verificar las unidades con las que está trabajando en LS PrePost, se recomienda visitar la página de unidades consistentes de LS - DYNA, donde las unidades se refieren a diferentes cantidades.
- Realizar más simulaciones de la posición simulada y la velocidad del vehículo, comparar los resultados y considerar el diseño y los materiales del vehículo para futuras investigaciones.
- Desarrollar un estudio detallado de los materiales textiles utilizados en bolsas de aire en relación con las características y propiedades utilizadas en el software de simulación.
- Realizar un estudio primario de las características de inflado y doblado de las bolsas de aire en relación a las características utilizadas en el software de simulación.

Bibliografía

- Agencia Nacional de Tránsito. (2022). *Ficha metodologica Vf8.3.21.7.22*.
- Alomaliza, E. (2021). *ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD PARA ATENUAR IMPACTOS AUTOMOVILÍSTICOS DE MODELOS BARRERAS DE PROTECCIONES VIALES EN CARRETERA, SEGÚN REGLAMENTOS UNE EN 1317 POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS*. [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15388/1/65T00369.pdf>
- Angelova, P., Kehayov, I., Davarski, A., & Kitov, B. (2021). Contemporary insight into diffuse axonal injury. In *Folia medica* (Vol. 63, Issue 2, pp. 163–170). NLM (Medline).
<https://doi.org/10.3897/folmed.63.e53709>
- ANT. (2021). *ANT-RESOLUCIÓN No. 104-DIR-2021-ANT-ampliacion cilindraje taxis*. 5–6.
- Augenstein, J. (2002). Prevención de lesiones en accidente automovilístico. *Medwave*, 2(3).
<https://doi.org/10.5867/MEDWAVE.2002.03.3206>
- Blanco, P. (2012, May 25). *Volvo crea el primer coche del mundo con airbag para peatones*. El País. https://elpais.com/elpais/2012/05/25/motor/1337963275_240188.html
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición*.
<http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/elementoMaquina/material/libroCabecera.pdf>
- Carrero, A. (2011). *Simulación de un choque lateral con dummy con cinturón mediante LS-DYNA*. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/13673>
- COIP. (2014). *LAS INFRACCIONES DE TRANSITO EN EL CÓDIGO ORGÁNICO INTEGRAL PENAL (COIP)*. 2–3.
- Diario Oficial de la Unión Europea. (2018).
REGLAMENTO (UE) 2018/ 858 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO
 O - de 30 de mayo de
 2018 - sobre la homologación y la vigilancia del mercado de los vehículos de motor y sus remolques y de los sistemas, los componentes y las unidades técn

icas independientes destinados a dichos vehículos, por el que se modifican los Reglamentos (CE) n.o 715/ 2007 y (CE) n.o 595/ 2009 y por el que se deroga la Directiva 2007/ 46/ CE. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0858&from=EN>

Elmasoudi, S. (2015). *Finite element modelling of a pedestrian impact dummy.*

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:912550/FULLTEXT01.pdf>

Eppinger, R., Marcus, J., & Morgan, R. (1984). Development of Dummy and Injury Index for NHTSA's Thoracic Side Impact Protection Research Program. *SAE International*, 93, 359–387. <https://www.jstor.org/stable/44734175>

EuroNCAP. (2017). *EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) PEDESTRIAN TESTING PROTOCOL.*

EuroNCAP. (2018). *EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) PEDESTRIAN TESTING PROTOCOL.*

Fredriksson, R., Dahlgren, M., van Schijndel, M., de Hair, S., & van Montfort, S. (2014). A Real-Life Based Evaluation Method of Deployable Vulnerable Road User Protection Systems. *Traffic Injury Prevention*, 15, S183–S189. <https://doi.org/10.1080/15389588.2014.928930>

Gálvez, R. (2011). *Simulación de un atropello mediante LS-DYNA.* <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/11720>

Global NCAP. (2022). <https://www.globalncap.org/>

HELLA TECH WORLD. (2021). *Sistema airbag: Estructura y funcionamiento.*

<https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Electricidad-y-electronica-del-automovil/Sistema-airbag-3083/>

Hong, S., Park, W., & Hong, S. (2015). *THORACIC INJURY CHARACTERISTICS OF ELDERLY DRIVERS IN REAL WORLD CAR ACCIDENTS.*

Humanetics. (2017). *Frontal Impact Crash Test Dummies & ATDs*.

<https://www.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/frontal-impact>

Jang, S. H. (2020). Diagnostic problems in diffuse axonal injury. In *Diagnostics* (Vol. 10, Issue 2). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10020117>

Jeréz, D., Orbea, L., Gualotuña, E., Toapaxi, J., & Rodriguez, J. (2017). Diseño de un Protocolo de Pruebas del Sistema Airbag mediante la Interpretación de Oscilogramas de Operación. *INNOVA Research Journal*, 2(9), 135–146.

<https://doi.org/10.33890/INNOVA.V2.N9.2017.482>

Kaj, J., Cavallero, A. C., Bonnoit, J., Morjane, A., & Ghanouchi, S. (n.d.). *Response of the Knee Joint in Lateral Impact: Effect of Bending Moment*.

Kajzer, J., Schroeder, G., Ishikawa, H., Matsui, Y., & Bosch, U. (1997). *Shearing and Bending Effects at the Knee Joint at High Speed Lateral Loading on JSTOR*.

<https://www.jstor.org/stable/44720140>

Kerrigan, J. R., Bhalla, K. S., Madeley, N. J., Funk, J. R., Bose, D., & Crandall, J. R. (2003). Experiments for establishing pedestrian-impact lower limb injury criteria. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2003-01-0895>

King, A. I. (2017). The Biomechanics of Impact Injury: Biomechanical Response, Mechanisms of Injury, Human Tolerance and Simulation. *The Biomechanics of Impact Injury: Biomechanical Response, Mechanisms of Injury, Human Tolerance and Simulation*, 1–662. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49792-1/COVER>

Kuppa, S., Wang, J., Haffner, M., & Eppinger, R. (2001). *LOWER EXTREMITY INJURIES AND ASSOCIATED INJURY CRITERIA*. <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv17/proceed/00160.pdf>

LATIN NCAP. (2019). <https://www.latinncap.com/es/nuestros-ensayos/peatones-y-usuarios-vulnerables-de-las-vias>

- Lau, L., & Viano, D. (1986). *The Viscous Criterion — Bases and Applications of an Injury Severity Index for Soft Tissues on JSTOR*. <https://www.jstor.org/stable/44470976>
- Levine, R. S. (2002). Injury to the Extremities. *Accidental Injury*, 491–522.
https://doi.org/10.1007/978-0-387-21787-1_19
- Liu, B., Xu, T., Xu, X., Wang, Y., Sun, Y., & Li, Y. (2016). Energy absorption mechanism of polyvinyl butyral laminated windshield subjected to head impact: Experiment and numerical simulations. *International Journal of Impact Engineering*, 90, 26–36.
<https://doi.org/10.1016/J.IJIMPENG.2015.11.010>
- Lopez-Valdes, F. J., Mroz, K., Eggers, A., Pipkorn, B., Muehlbauer, J., Schick, S., & Peldschus, S. (2018). Chest injuries of elderly postmortem human surrogates (PMHSs) under seat belt and airbag loading in frontal sled impacts: Comparison to matching THOR tests. <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1542139>, 19(sup2), S55–S63.
<https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1542139>
- Lubbe, N., Europe, T. M., Hikichi, H., Takahashi, H., & Davidsson, J. (2011). *REVIEW OF THE EURO NCAP UPPER LEG TEST*.
- Monish, M. (n.d.). *Hood design-Week 2*. 2021. Retrieved February 9, 2023, from <https://skill-lync.com/student-projects/hood-design-week-2-136>
- Moreno, M. B. (2019). *Estrategias institucionales para la mejora de la seguridad vial en Ecuador y Chile, caso de análisis de los pilares 3 y 4 del Decenio de Acción* [Universidad Andina Simón Bolívar].
<https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6848/1/T2931-MRI-Moreno-Estrategias.pdf>
- Nahum, A., & Melvin, J. (2002). *Accidental Injury: Biomechanics and Prevention* (A. M. Nahum & J. W. Melvin, Eds.). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-21787-1>

Newman, J. A., Shewchenko, N., & Welbourne, E. (n.d.). A Proposed New Biomechanical Head Injury Assessment Function-The Maximum Power Index. In *Stapp Car Crash Journal* (Vol. 44). <http://www.stapp.org>

Ntutumu, P. (2018). *CONVERSIÓN DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS DE UN VEHÍCULO DE LS-DYNA A PAM-CRASH: SIMULACIÓN DE IMPACTO FRONTAL CONTRA PARED RÍGIDA.*

Nunes, F. (2023, January 29). *Aplicaciones de crashworthiness utilizando LS-DYNA.*

<https://www.esss.co/es/blog/aplicaciones-de-crashworthiness-utilizando-ls%20dyna/>

Orbea, L. X., Autor, H., Gualotuña, I., Elvis, Q., José, P., Toapaxi, A., Autor, C., Adrian, J., Rodriguez, R., Daniela, I., & Mayorga, A. J. (2017). Diseño de un Protocolo de Pruebas del Sistema Airbag mediante la Interpretación de Oscilogramas de Operación. *INNOVA Research Journal*, ISSN-e 2477-9024, Vol. 2, Nº. 9, 2017, Págs. 135-146, 2(9), 135–146.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6128449&info=resumen&idioma=SPA>

Organización Mundial de la Salud. (2004). *Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito : resumen.* Organizacion Mundial de la Salud.

Pak, W., Meng, Y., Schap, J., Koya, B., Gayzik, S. F., & Untaroiu, C. D. (2019). Finite Element Model of a High-Stature Male Pedestrian for Simulating Car-to-Pedestrian Collisions. *International Journal of Automotive Technology*, 20(3), 445–453.

<https://doi.org/10.1007/S12239-019-0042-7/METRICS>

Paucar, C., Pozo, E., & Aquino, S. (2022). *Análisis de lesiones en el conductor para impactos frontales por simulación computacional.* 7, 1662–1693.

<https://doi.org/10.23857/pc.v7i1>

Perez, A. (2016, April 30). *Airbags externos en coches para salvar a peatones y ciclistas.*

<https://noticias.coches.com/noticias-motor/airbags-externos-en-coches-para-salvar-a-peatones-y-ciclistas/208501>

Prasad, P. (2003). *Biomechanical and scaling bases for frontal and side impact injury assessment reference values*.

https://www.researchgate.net/publication/6701661_Biomechanical_and_scaling_bases_for_frontal_and_side_impact_injury_assessment_reference_values

REGLAMENTO A LEY DE TRANSPORTE TERRESTRE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL.

(2012). www.lexis.com.ec

Ridella, S. (2013). *Fleet Safety Evaluation Methodology: Application to Lightweight Vehicle Designs*.

Rodríguez, M. (2019). *Riesgos inherentes a los intervinientes en siniestros con vehículos*.

7(1), 343–354. <https://accedacris.ulpgc.es/jspui/handle/10553/99570>

Sánchez, G. (2018). *Materiales en la Industria Automotriz*.

Sánchez, J. (2011). *Simulación de un choque lateral con Dummy sin cinturón mediante LS-*

DYNA. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/13097>

Santos, S. (2018). *Procedimiento para la homologación de sistemas de protección de*

peatones mediante la realización de ensayos virtuales. [https://e-](https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/27311)

[archivo.uc3m.es/handle/10016/27311](https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/27311)

Seijas, V., Payares, K., Cano, B., Hernández, G., Salinas, F., García, H. I., & Lugo, L. H.

(2019). Lesiones graves y moderadas por accidentes de tránsito en mayores de 60

años. Medellín, Colombia. *Revista Facultad de Medicina*, 67(2), 201–208.

<https://doi.org/10.15446/revfacmed.v67n2.69549>

Sunnevång, C., Lecuyer, E., Hynd, D., Carroll, J., Kruse, D., & Boström, O. (2014).

Evaluation of Near-Side Oblique Frontal Impacts Using THOR With SD3 Shoulder.

Traffic Injury Prevention, 15, S96–S102. <https://doi.org/10.1080/15389588.2014.934367>

Trujillo, I., Gutiérrez, E., Giraldo, E., Grisales, G., & Agudelo, A. (2018). Lesiones por

accidentes de tránsito en una institución de salud en el municipio de Pereira entre los

años 2014-2017. *Universidad y Salud*, 21(1), 8–18.

<https://doi.org/10.22267/RUS.192101.135>

- Versace, J. (1971). A review of the Severity Index. *SAE Technical Papers*.
<https://doi.org/10.4271/710881>
- Walmsley, J. P. (1997). Fracture of the intercondylar eminence of the tibia treated by arthroscopic internal fixation. *Equine Veterinary Journal*, 29(2), 148–150.
<https://doi.org/10.1111/J.2042-3306.1997.TB01657.X>
- Wang, J., Wang, R., Gao, W., Chen, S., & Wang, C. (2020). Numerical investigation of impact injury of a human head during contact interaction with a windshield glazing considering mechanical failure. *International Journal of Impact Engineering*, 141.
<https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2020.103577>
- Weaver, A. A., Schoell, S. L., Talton, J. W., Barnard, R. T., Stitzel, J. D., & Zonfrillo, M. R. (2018). Functional outcomes of thoracic injuries in pediatric and adult occupants. *Https://Doi.Org/10.1080/15389588.2018.1426927*, 19, S195–S198.
<https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1426927>
- Xiaojiang, L., Xiaodong, H., Xianguang, G., Weiguo, L., & Guangyao, L. (2016). Reliability-based multiobjective optimisation of vehicle bumper structure holes for the pedestrian flexible legform impact. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/13588265.2016.1155527*, 21(3), 198–210. <https://doi.org/10.1080/13588265.2016.1155527>
- Xiaojiang, L., Zhi, X., Fang, J., Qing, L., Lei, F., & Sun, G. (2023). On safety design of vehicle for protection of vulnerable road users: A review. *Thin-Walled Structures*, 182, 109990. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.109990>
- Yang, J. (2010). Mathematical simulation of knee responses associated with leg fracture in car-pedestrian accidents. *Http://Dx.Doi.Org/10.1533/Cras.1997.0049*, 2(3), 259–272.
<https://doi.org/10.1533/CRAS.1997.0049>
- Zhao, W., & Ji, S. (2016). Real-time, whole-brain, temporally resolved pressure responses in translational head impact. *Interface Focus*, 6(1). <https://doi.org/10.1098/rsfs.2015.0091>

Zhao, W., Ruan, S., & Ji, S. (2015). Brain pressure responses in translational head impact: a dimensional analysis and a further computational study. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 14(4), 753–766. <https://doi.org/10.1007/s10237-014-0634-0>

Anexos