



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“ANÁLISIS MEDIANTE SOFTWARE CAE DEL IMPACTO
LATERAL EN UN VEHICULO HATCHBACK UTILIZANDO
COMO MATERIAL DE RECUBRIMIENTO AL REFUERZO
PRINCIPAL DE LA PUERTA DEL CONDUCTOR LA ES-
PUMA DE POLÍMERO ELASTÓMERO D30”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: OMAR STALIN YUPANQUI TAIBE

DIRECTOR: ING. EDGAR FABIÁN SÁNCHEZ CARRIÓN

Riobamba – Ecuador

2019

©2019, Omar Stalin Yupanqui Taipe

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **Omar Stalin Yupanqui Taipe**, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 03 de diciembre de 2019



Omar Stalin Yupanqui Taipe
050254395-2

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, “ANÁLISIS MEDIANTE SOFTWARE CAE DEL IMPACTO LATERAL EN UN VEHICULO HATCHBACK UTILIZANDO CO-MO MATERIAL DE RECUBRIMIENTO AL REFUERZO PRINCIPAL DE LA PUERTA DEL CONDUCTOR LA ESPUMA DE POLÍMERO ELASTÓMERO D30, realizado por el señor: **OMAR STALIN YUPANQUI TAIPE**” ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		<u>22-11-2019</u>
Ing. Edgar Fabián Sánchez Carrión DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		<u>22-11-2019</u>
Ing. Víctor David Bravo Morocho MIEMBRO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		<u>22-11-2019</u>

DEDICATORIA

Dedico este presente trabajo de titulación a quien me ha dado la fortaleza de seguir día a día y ha guiado mi camino como lo es Dios, mi madre y padre quienes sin dar brazo a torcer se han esforzado y me han apoyado para cumplir este sueño que es su más grande orgullo, mi hermano que ha sabido brindarme las palabras necesarias para no rendirme en el camino.

Sin olvidar a las personas que dieron lo mejor por ayudarme y demostrar que podemos dar lo mejor por representar y dejar en alto el nombre de nuestra Escuela

Omar Stalin Yupanqui Taipe

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento más grande es para quien ha guiado mi camino día a día como lo es Dios.

A la carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que me dio la oportunidad de ser parte de esta Institución y culminar mi carrera profesional.

Mi padre Eduardo Yupanqui y mi madre María Taipe; han sido el motor de mi vida debido a su esfuerzo, trabajo y dedicación no se dieron por vencidos. Su cariño, paciencia y buen ejemplo han marcado mi camino.

A la mujer que me ayudó, acompañó y siempre se dio tiempo para no permitir que me deje vencer, demostrándome que ha sido muy duro llegar hasta aquí, con mucho sacrificio ya que es el sueño que uno ha querido alcanzar.

Omar Stalin Yupanqui Taipe

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1	MARCO TEORICO REFERENCIAL.....	3
1.1	Problematización.	3
1.2	Justificación.....	3
<i>1.2.1</i>	<i>Justificación teórica.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Justificación metodológica.</i>	<i>3</i>
<i>1.2.3</i>	<i>Justificación práctica.....</i>	<i>3</i>
1.3	Alcance.....	4
1.4	Objetivos.....	4
<i>1.4.1</i>	<i>Objetivo General.</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Objetivos Específicos.</i>	<i>4</i>
1.5	Marco Teórico.....	5
<i>1.5.1</i>	<i>Introducción.....</i>	<i>5</i>
<i>1.5.2</i>	<i>Seguridad vehicular.....</i>	<i>6</i>
<i>1.5.3</i>	<i>Seguridad Activa.....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.4</i>	<i>Sistema de frenos.</i>	<i>7</i>
<i>1.5.5</i>	<i>Dirección.....</i>	<i>8</i>
<i>1.5.6</i>	<i>Suspensión.</i>	<i>9</i>
<i>1.5.7</i>	<i>Neumáticos.....</i>	<i>9</i>
<i>1.5.8</i>	<i>Iluminación.....</i>	<i>10</i>
<i>1.5.9</i>	<i>Sistema de control de estabilidad.</i>	<i>10</i>
<i>1.5.10</i>	<i>Control de Tracción TCS.....</i>	<i>12</i>
<i>1.5.11</i>	<i>Seguridad Pasiva.</i>	<i>12</i>
<i>1.5.12</i>	<i>Habitáculo de Seguridad.</i>	<i>12</i>
<i>1.5.12.1</i>	<i>Carrocerías deformables.....</i>	<i>13</i>
<i>1.5.13</i>	<i>Fenómeno de colisión.....</i>	<i>14</i>
<i>1.5.14</i>	<i>Zonas de absorción de impacto.</i>	<i>15</i>

1.5.15	<i>Plegamientos para el refuerzo de planchas.</i>	16
1.5.16	<i>Componentes de la carrocería inmersos en el impacto lateral</i>	18
1.5.16.1	<i>Marco del parabrisas</i>	18
1.5.16.2	<i>Techo</i>	18
1.5.16.3	<i>Montantes</i>	18
1.5.16.4	<i>Estribo</i>	19
1.5.16.5	<i>Largueros</i>	19
1.5.16.6	<i>Travesaños</i>	19
1.5.16.7	<i>Refuerzos</i>	20
1.5.16.8	<i>Puerta</i>	20
1.5.16.9	<i>Pieza de refuerzo lateral de unión del costado al montaje de la puerta</i>	21
1.5.16.10	<i>Parabrisas</i>	21
1.5.17	<i>Polímeros</i>	22
1.5.18	<i>Comportamiento Visco elástico</i>	22
1.5.19	<i>Fluidos Newtonianos</i>	22
1.5.20	<i>Propiedades mecánicas de los materiales</i>	23
1.5.20.1	<i>Resistencia</i>	23
1.5.20.2	<i>Elongación</i>	23
1.5.20.3	<i>Módulo</i>	24
1.5.20.4	<i>Tenacidad</i>	25
1.5.20.5	<i>Propiedades mecánicas de los polímeros reales</i>	26
1.5.21	<i>Fluidos No Newtonianos</i>	28
1.5.21.1	<i>Características y clasificación de los fluidos No Newtonianos</i>	28
1.5.21.2	<i>Fluidos no-newtonianos independientes del tiempo</i>	29
1.5.21.3	<i>Fluidos pseudoplásticos</i>	30
1.5.21.4	<i>Fluidos Tixotrópicos</i>	30
1.5.22	<i>D3O</i>	30
1.5.23	<i>Mecánica de Materiales</i>	32
1.5.23.1	<i>Esfuerzo de Ingeniería</i>	32
1.5.23.2	<i>Deformación unitaria de Ingeniería</i>	32
1.5.23.3	<i>Resistencia a la Fluencia</i>	33
1.5.23.4	<i>Módulo de Elasticidad</i>	34
1.5.23.5	<i>Módulo de Resiliencia</i>	34
1.5.23.6	<i>Relación de Poisson</i>	34
1.5.23.7	<i>Resistencia a la Tensión o Esfuerzo último</i>	34
1.5.23.8	<i>Ductilidad</i>	34
1.5.23.9	<i>Ley de Hooke</i>	35

1.5.24	Normativa Ecuatoriana en seguridad Vehicular.	35
1.5.24.1	RTE INEN 034. Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores.	36
1.5.25	EURO NCAP	36
1.5.25.1	Impacto frontal solape parcial.	37
1.5.25.2	Impacto frontal Completo.	38
1.5.25.3	Impacto Lateral.	39
1.5.25.4	Impacto Lateral de poste.	39
1.5.26	Método de Elementos Finitos.	40
1.5.26.1	Características de los tipos de error.	41
1.5.26.2	Mallado.	41
1.5.26.3	Calidad de malla.	42
1.5.27	Diario Oficial de la Unión Europea, Reglamento N 95 UNECE (R95R02).	43
1.5.27.1	Especificaciones y Ensayos.	43
1.5.27.2	Criterios de Comportamiento.	43
1.5.27.3	Determinación de los criterios de comportamiento.	44

CAPÍTULO II

2	MARCO METODOLÓGICO	46
2.1	Diseño metodológico.	46
2.1.1	<i>Tipo de Investigación.</i>	46
2.1.2	<i>Población y Muestra.</i>	46
2.1.2.1	<i>Población.</i>	46
2.1.2.2	<i>Muestra.</i>	46
2.1.2.3	<i>Unidad de muestreo.</i>	47
2.1.2.4	<i>Unidad de análisis.</i>	47
2.1.2.5	<i>Tipo de muestreo.</i>	47
2.1.3	<i>Método de recolección de información.</i>	47
2.1.3.1	<i>Observación.</i>	47
2.1.3.2	<i>Documental.</i>	47
2.1.3.3	<i>Procedimiento para la selección de la muestra.</i>	48
2.1.4	<i>Estructura del Instrumento.</i>	48
2.1.4.1	<i>Análisis Cualit-Cuantitativo.</i>	48
2.1.5	<i>Procedimiento.</i>	51
2.2	Matriz Involucrados.	76
2.3	Árbol de problemas	77
2.4	Árbol de Objetivos.	78
2.5	Matriz de marco lógico.	78

CAPÍTULO III

3	MARCO DE RESULTADOS	80
3.1	Resultados.....	80
3.1.1	<i>Simulación del post procesamiento del impacto lateral contra un poste.....</i>	80
3.1.1.1	<i>Velocidad y Aceleración del vehículo.....</i>	80
3.1.1.2	<i>Deformación total en la puerta del conductor.....</i>	81
3.1.1.3	<i>Esfuerzo de Von Misses producidos en el impacto lateral</i>	82
3.1.1.4	<i>Deformación producida sobre el refuerzo principal de la puerta del conductor.....</i>	83
3.1.1.5	<i>Esfuerzos de Von Mises producidos en el refuerzo principal del sistema de impacto lateral del vehículo.</i>	84
3.1.2	<i>Simulación del post procesamiento del impacto lateral contra un poste recubriendo con el polímero elastómero al refuerzo principal.....</i>	85
3.1.2.1	<i>Velocidad y Aceleración del vehículo.....</i>	85
3.1.2.2	<i>Deformación total en la puerta del conductor utilizando el polímero elastómero.....</i>	87
3.1.2.3	<i>Esfuerzo de Von Misses producidos en el impacto lateral</i>	87
3.1.2.4	<i>Deformación producida sobre el refuerzo principal de la puerta del conductor.....</i>	88
3.1.2.5	<i>Esfuerzo de Von Misses producidos en el refuerzo principal del sistema de impacto lateral del vehículo.</i>	89
3.1.3	<i>Comparaciones entre las simulaciones con y sin utilizar el polímero elastómero en el refuerzo principal de la puerta del conductor.....</i>	89
3.1.3.1	<i>Comparación de la deformación total en la puerta del conductor.....</i>	89
3.1.3.2	<i>Comparación de la deformación total en el refuerzo principal del sistema de impacto lateral.....</i>	90
3.1.3.3	<i>Comparación del esfuerzo de Von Mises resultante en el refuerzo principal de la puerta del conductor.....</i>	91
3.1.4	<i>Evaluación de los criterios de aceptación.....</i>	91
3.1.4.1	<i>Criterio de comportamiento de la cabeza (CCC).....</i>	91
3.1.4.2	<i>Criterio de comportamiento del tórax.....</i>	92
3.1.4.3	<i>Criterio de comportamiento del abdomen.....</i>	95
3.1.4.4	<i>Criterio de comportamiento de la pelvis</i>	96
3.1.4.5	<i>Factor de Hourglass.....</i>	97
3.1.4.6	<i>Acelerómetros instalados en el dummy</i>	98
3.1.4.7	<i>Acelerómetros instalados en la cabeza.....</i>	98
3.1.4.8	<i>Acelerómetro instalado en el hombro.....</i>	99
3.1.4.9	<i>Acelerómetros instalados en el tórax</i>	101
3.1.4.10	<i>Acelerómetros instalados en el abdomen</i>	103

<i>3.1.4.11 Acelerómetros instalados en la pelvis</i>	104
CONCLUSIONES	108
RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Base de datos de LS Pre post mediante ASCII.....	53
Tabla 2-2: Propiedades del Impactador para la validación del polímero	54
Tabla 3-2: Carta de control de 057_LOW_DENSITY_FOAM.	55
Tabla 4-2: Propiedades del Polímero Elastómero D30	55
Tabla 5-2: Características del Dummy SID-IIs D RÁPIDO	58
Tabla 6-2: Cartas de control en la simulación de Impacto lateral contra un poste	59
Tabla 7-2: Número de elementos y nodos presentes en el modelo	60
Tabla 8-2: Espesores empleados en el análisis.	61
Tabla 9-2: Medidas Inerciales y centro de gravedad del vehiculo	75
Tabla 10-2: Matriz	76
Tabla 11-2: Matriz de marco lógico.....	78
Tabla 1-3: Graficas de los acelerómetros del tórax y abdomen.....	93
Tabla 2-3: Variación de longitud al evaluar criterio comportamiento del tórax y abdomen. ..	94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Esquema frenos con ABS.....	8
Figura 2-1: Dirección de un automóvil.....	9
Figura 3-1: Suspensión de un automóvil	9
Figura 4-1 Subviraje	11
Figura 5-1: Sobreviraje	11
Figura 6-1: Habitáculo de seguridad.....	13
Figura 7-1: Puntos por donde se doblan las barras laterales en caso de colisión.....	13
Figura 8-1: Refuerzos laterales instalados en las puertas del vehículo.....	14
Figura 9-1: Estructura que absorben las fuerzas de impacto durante una colisión lateral	16
Figura 10-1: Perfiles de plegamiento para conseguir la máxima resistencia en puntos críticos	17
Figura 11-1: Piezas que componen el marco del parabrisas	18
Figura 12-1: Puerta delantera muestra todos sus refuerzos internos.....	20
Figura 13-1: Pieza de refuerzo lateral de unión del costado al montaje de la puerta.....	21
Figura 14-1: Comportamiento mecánico de varios tipos de polímeros	26
Figura 15-1: Curvas típicas vs deformación de varios polímeros.....	27
Figura 16-1: Clasificación de los fluidos según la relación $\tau=f(\dot{\gamma})$	29
Figura 17-1: Funcionamiento molecular del polímero elastómero D3O	31
Figura 18-1: Fuerza transmitida en el polímero elastómero D3O	32
Figura 19-1: Ensayo de tracción	33
Figura 20-1: Diagrama esfuerzo deformación, % de deformación	33
Figura 21-1: Ensayo de tracción en probetas.....	35
Figura 22-1: Impacto frontal parcial según la EURONCAP	37
Figura 23-1: Impacto frontal completo según la EURONCAP	38
Figura 24-1: Impacto lateral según la EURONCAP.....	39
Figura 25-1: Impacto lateral contra un poste según la EURONCAP	39
Figura 26-1: Rango de oblicuidad permitido para el mallado	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Participación porcentual del parque automotor circulante	49
Gráfico 2-2: Participación de ventas por marca de vehículos livianos	50
Gráfico 3-2: Curva característica del acero ingresada en LS Pre Post.....	69
Gráfico 4-2: Curva característica del polímero elastómero D3O ingresada en LS Pre Post.....	69
Gráfico 1-3: Velocidad del vehículo medida en el eje X.....	80
Gráfico 2-3: Aceleración del vehículo medida en el eje x	81
Gráfico 3-3: Desplazamiento resultante en un nodo de la simulación.....	84
Gráfico 4-3: Velocidad del vehículo medida en el eje x	86
Gráfico 5-3: Aceleración del vehículo medida en el ejeX	86
Gráfico 6-3: Variación del desplazamiento Cabeza (A) vs Estructura (B)	92
Gráfico 7-3: Variación de la longitud existente en las costillas al simular el impacto lateral ..	94
Gráfico 8-3: Energía cinética existente en el abdomen durante el impacto lateral	95
Gráfico 9-3: Energía cinética generada durante la simulación en la pelvis	96
Gráfico 10-3: Fuerza resultante sobre la sínfisis púbica	96
Gráfico 11-3: Factor de Hourglass.....	97
Gráfico 12-3: Aceleración en la cabeza sin utilizar el polímero en el refuerzo principal	98
Gráfico 13-3: Aceleración en la cabeza utilizando el polímero en el refuerzo principal.....	98
Gráfico 14-3: Comparación de las aceleraciones producidas en la cabeza del dummy	99
Gráfico 15-3: Aceleración en el hombro sin utilizar el polímero en el refuerzo principal	100
Gráfico 16-3: Aceleración en el hombro utilizando el polímero en el refuerzo principal	100
Gráfico 17-3: Comparación de las aceleraciones producidas en el hombro del dummy	100
Gráfico 18-3: Aceleración en el tórax sin utilizar el polímero en el refuerzo principal.....	101
Gráfico 19-3: Aceleración en el tórax utilizando el polímero en el refuerzo principal.....	102
Gráfico 20-3: Comparación de las aceleraciones producidas en el tórax del dummy.....	102
Gráfico 21-3: Aceleración en el abdomen sin utilizar el polímero en el refuerzo principal ...	103
Gráfico 22-3: Aceleración en el abdomen utilizando el polímero en el refuerzo principal	103
Gráfico 23-3: Comparación de las aceleraciones producidas en el tórax del dummy.....	103
Gráfico 24-3: Aceleración en la pelvis del sin utilizar el polímero en el refuerzo principal ..	104
Gráfico 25-3: Aceleración en el abdomen utilizando el polímero en el refuerzo principal	104
Gráfico 26-3: Comparación de las aceleraciones producidas en el tórax del dummy.....	105

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Ensayo de Tracción de Probetas de Material Automotriz.

Anexo B. Ensayo de Tracción de Probetas de Lastomero.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue desarrollar la simulación del impacto lateral contra un poste en un vehículo hatchback mediante LS DYNA recubriendo el refuerzo principal del sistema de impacto lateral para lo cual se analizó los materiales que conforman la puerta del conductor y el polímero elastómero a utilizarse. Las propiedades mecánicas de los materiales se las obtuvo al ensayar las probetas mediante la norma ISO 6892. Se estudió los siniestros a nivel nacional siendo los choques laterales la primera causa con un 27,42%, mediante un muestreo no probabilístico y un análisis cualitativo permite analizar la gama de vehículos que circulan en el país, situando en el primer lugar de unidades vendidas por modelo en parte del año 2017 al modelo Aveo Family STD 1.5 4P 4x2 TM con un 14.5%. Por lo cual analizamos la geometría del vehículo siendo la puerta una estructura con amplios huecos mínimamente reforzados alojándose el refuerzo principal dentro de la puerta lo cual limita la deformación, incrementa la rigidez y distribuye la energía al suscitarse una colisión lateral. Para el análisis de las simulaciones se compara los resultados producidos al simular el impacto lateral con el sistema de impacto lateral del vehículo e implementando el recubriendo del polímero elastómero al refuerzo principal evaluando los apartados descritos en la Normativa Española UNECE N° 95 Revisión 02; la cual pretende salvaguardar la vida de los ocupantes en caso de impacto lateral. Se concluye que la implementación del polímero elastómero en el refuerzo principal presenta una reducción en la deformación de los elementos de la estructura lateral del vehículo así como una variación en el comportamiento del dummie dentro del habitáculo en los dos casos de estudio. Se recomienda el control de calidad del mallado debido a que de ello depende el análisis y veracidad de los resultados.

PALABRAS CLAVE: <LS DYNA (SOFTWARE)>, <IMPACTO LATERAL>, <FLUIDO DE ESPESAMIENTO POR CORTE>, <HABITÁCULO>, <POLÍMERO ELASTÓMERO>



SUMMARY

The objective of this work was to develop the simulation of the lateral impact against a pole in a hatchback vehicle using LS DYNA covering the main reinforcement of the lateral impact system for which the materials that make up the driver's door and the elastomeric polymer were analyzed. The mechanical properties of the materials were obtained by testing the specimens using the ISO 6892 standard. Claims were studied nationally, with lateral shocks being the first cause with 27.42% through non-probabilistic sampling and qualitative analysis allows analysis the range of vehicles the year 2017 to the Aveo Family STD 1.5 4P 4x2 TM model with 14.5%. Therefore, minimally reinforced holes, the main reinforcement housed inside the door, which arises. For the simulation analysis, the results produced by simulating the side impact with the vehicle side impact system and implementing the elastomer polymer described in the Spanish UNECE Standard No. 95 Revision 02; which aims to implementation of the elastomeric polymer in the main reinforcement presents a reduction in the deformation of the elements of the lateral structure of the vehicle as well as a variation in the behavior of the dummie inside the cabin in the two case studies. The quality control of the mesh is recommended because it depends on the analyses and accuracy of the results.

KEYWORDS: LS DYNA (SOFTWARE), SIDE IMPACT, CUTTING THICKNESS FLUID, HABITACLE, ELASTOMERO POLYMER.



INTRODUCCIÓN

Pretender mejorar la seguridad en vehículos es de vital importancia ya que de aquella depende la vida de los ocupantes, así como de los ocupantes de otros vehículos, por ende, la simulación es la herramienta computacional que nos permitirá recrear, visualizar y analizar el impacto lateral de un vehículo.

El automóvil a través del tiempo ha ido evolucionando desde su diseño hasta su venta, pero para aquello se ha ido implementando el uso de la tecnología aplicada a la industria. Los programas CAD han venido siendo utilizados como una herramienta informática de gran apoyo para todas las áreas de la industria automotriz y con más énfasis en el diseño.

Los pioneros en implementar medidas de seguridad mediante reglamentos y normativas han sido los países europeos ya que estas medidas permitirán garantizar la vida de los ocupantes al suscitarse un impacto lateral reduciendo el contacto físico con la estructura deformada.

Con el fin de estudiar el comportamiento de los vehículos en caso de colisión, desde hace algunos años se trabaja en la industria automovilística en la simulación virtual de accidentes. Esto ha llevado a conseguir un mayor y rápido avance en el campo de la seguridad, lo que le convierte en un medio esencial para su perfeccionamiento. (Novillo, 2005)

Al realizar una simulación la misma no sustituye una prueba real de impacto, mediante la cual se puede apreciar con mayor precisión la deformación de la estructura del automóvil y más aún la gravedad de lesiones que puede generarse en los ocupantes, pero podemos utilizar la simulación de manera práctica para evaluar el comportamiento de la estructura y la seguridad que nos brinda. Ahora se desarrollan simulaciones de impacto utilizando modelos basándose en datos que se obtiene de dummies reales, se conocen estos ensayos como “crash test dummies” en los cuales los resultados que se obtiene permiten conocer el comportamiento del vehículo y el de los ocupantes con la intención de optimizar sistemas de seguridad pasiva de los automóviles.

Utilizaremos una espuma de polímero elastómero D30 de tecnología única que proporciona propiedades anti-golpes basado en principios no newtonianos las moléculas del material fluyen libremente se adaptan a la estructura del cuerpo cuando el movimiento es normal, en caso de impacto, las moléculas del material D30 se concentran en el punto de impacto y absorben toda la fuerza que posee el golpe. Cuando la fuerza del golpe para, gracias a su elasticidad, rápidamente

retoman su forma primitiva. Todo este proceso se puede repetir sin que el tejido se rompa y así se disminuyen los daños sobre el elemento que recubre. (D3O, 2019)

En este proyecto se realizará la simulación de un impacto lateral a partir de un modelo que está conformado por un automóvil, un poste y la espuma de polímero elastómero D30 de tecnología única con la cual recubriremos al refuerzo principal de la puerta del conductor ya que es en esta zona donde se desarrollará el impacto basándonos en el Protocolo de ensayo para Impacto lateral contra poste de EURO NCAP que detalla las condiciones que se debe cumplir para llevar a cabo el impacto en la vida real; así como también el Reglamento número 95 de la Unión Europea, establece prescripciones uniformes relativas a la homologación de los vehículos referente a la protección de los ocupantes en caso de un impacto lateral (CEPE, 2015).

Se ha utilizado un software de cálculo avanzado de elementos finitos. El programa empleado para procesar la simulación es Ls-Dyna y como herramienta para implementar el modelo y visualizar los resultados se ha utilizado Ls-Prepost. Ambos programas están desarrollados por la compañía norteamericana Livermore Software Technology Corporation (LSTC) y son altamente usados en la industria automovilística para analizar diseños de vehículos y, más concretamente, para evaluar la seguridad que éstos ofrecen ante situaciones de impacto (Corporation, 2009).

CAPÍTULO I

1 MARCO TEORICO REFERENCIAL

1.1 Problematización.

Debido a la falta de obligatoriedad de certificados de homologación de pruebas de impacto en vehículos que se comercializan en el país y siniestros a nivel nacional que en su mayoría son choques laterales, se debe tomar en cuenta que existe poco espacio entre la parte externa del vehículo y los ocupantes por ende al producirse un impacto lateral es más difícil disipar la energía absorbida ya que ocurre en zonas débiles del chasis que disponen de amplios huecos mínimamente reforzado provocando lesiones en partes del cuerpo como cabeza, tórax, abdomen, pelvis.

1.2 Justificación

1.2.1 *Justificación teórica*

El tema propuesto busca mediante la simulación por elementos finitos analizar la estructura de un vehículo al suscitarse el impacto lateral contra un poste como lo describe el protocolo de la EU-RONCAP (Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos), lo cual permitirá saber la deformación estructural que se genera en el automotor, así como la gravedad de lesiones que se produce en el conductor.

1.2.2 *Justificación metodológica.*

La simulación de un impacto real se desemboca al análisis dinámico de los elementos que van a estar en contacto por tal motivo es de gran importancia el software de simulación de impactos LS-Dyna gracias a este software fabricantes de automóviles e investigadores tienen la posibilidad de conocer con certeza las consecuencias de un determinado tipo de accidente que puede ocurrir sobre el automóvil.

1.2.3 *Justificación práctica.*

Las estructuras de los automóviles están propensas a impactos laterales con distintos elementos ocasionando lesiones, pérdidas materiales o de mayor gravedad la pérdida de vidas, en tal virtud

el estudio computacional previo a su fabricación es de vital importancia debido a que nos permitirá apreciar que tan grande es el daño que puede existir en la zona de supervivencia de los pasajeros al momento de suscitarse el impacto permitiendo comparar con la posición, disposición de ciertos elementos y materiales nuevos.

1.3 Alcance.

Realizar el análisis computacional de los vehículos antes de su comercialización permite conocer el comportamiento de la estructura así como su implicación con los ocupantes dentro del habitáculo, gracias a la simulación por ordenador, parámetros establecidos por Organizaciones Internacionales como Euro NCAP permite conocer el grado de seguridad que tiene el vehículo comercializado en nuestra región, mientras que los dummies permiten medir el grado de lesiones en humanos que se pueden producir al suscitarse el impacto.

En definitiva, estos dos elementos nos permiten conocer las posibles consecuencias de un accidente de tránsito constituyendo un gran ahorro en cuestión de tiempo, dinero, y recursos físicos para los ensayos reales.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Simular mediante el programa de elementos finitos LS-DYNA el impacto lateral contra un poste en un vehículo hatchback recubriendo al refuerzo principal de la puerta del conductor con la espuma de polímero elastómero D30.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Identificar las propiedades mecánicas del polímero elastómero D30 mediante ensayos bajo norma ISO 6892
- Simular mediante software CAE el impacto lateral sobre la puerta del conductor en un vehículo hatchback
- Recubrir con el polímero elastómero D30 el refuerzo principal de la puerta del conductor.
- Realizar una comparación mediante software CAE del impacto lateral en un vehículo hatchback con y sin el recubrimiento del polímero elastómero D30.

1.5 Marco Teórico.

1.5.1 Introducción.

Pretender mejorar la seguridad en vehículos es de vital importancia ya que de aquella depende la vida de los ocupantes, así como de los ocupantes de otros vehículos, por ende, la simulación es la herramienta computacional que nos permitirá recrear, visualizar y analizar el impacto lateral de un vehículo hatchback lo cual es relativamente inferior al costo que tiene realizar pruebas de impacto reales.

El automóvil a través del tiempo ha ido evolucionando desde su diseño hasta su venta, pero para aquello se ha ido implementando el uso de la tecnología aplicada a la industria. Los programas CAD han venido siendo utilizados como una herramienta informática de gran apoyo para todas las áreas de la industria automotriz y con más énfasis en el diseño. Los pioneros de implementar medidas de seguridad mediante reglamentos y normativas que garanticen la vida de los ocupantes al suscitarse un impacto lateral reduciendo el contacto físico con la estructura deformada han sido los países europeos.

Con el fin de estudiar el comportamiento de los vehículos en caso de colisión, desde hace algunos años se trabaja en la industria automovilística en la simulación virtual de accidentes. Esto ha llevado a conseguir un mayor y rápido avance en el campo de la seguridad, lo que le convierte en un medio esencial para su perfeccionamiento. Los programas informáticos de simulación posibilitan una gran reducción en los costes de construcción de los prototipos para los ensayos ya que son necesarios un menor número al conocerse de forma anticipada el comportamiento del automóvil. De este modo, hasta que en la simulación no se consiguen los resultados óptimos, no se procede a la construcción de un prototipo de verificación (Novillo, 2005).

Al realizar una simulación la misma no sustituye una prueba real de impacto, mediante la cual se puede apreciar con mayor precisión la deformación de la estructura del automóvil y más aún la gravedad de lesiones que puede generarse en los ocupantes, pero podemos utilizar la simulación de manera práctica para evaluar el comportamiento de la estructura y la seguridad que nos brinda. Ahora se desarrollan simulaciones de impacto utilizando modelos basándose en datos que se obtiene de dummies reales, se conocen estos ensayos como “crash test dummies” en los cuales los resultados que se obtiene permiten conocer el comportamiento del vehículo y el de los ocupantes con la intención de optimizar sistemas de seguridad pasiva de los automóviles.

Utilizaremos una espuma de polímero elastómero D30 de tecnología única que proporciona propiedades anti golpes basado en principios no newtonianos las moléculas del material fluyen libremente se adaptan a la estructura del cuerpo cuando el movimiento es normal, en caso de impacto, las moléculas del material D30 reaccionan súbitamente en milésimas de segundo, las moléculas se concentran en el punto de impacto y absorben toda la fuerza que posee el golpe. Cuando la fuerza del golpe para, gracias a su elasticidad, rápidamente retoman su forma primitiva. Todo este proceso se puede repetir sin que el tejido se rompa y así se disminuyen los daños sobre el elemento que recubre. (D30, 2019)

En este proyecto se realizará la simulación de un impacto lateral a partir de un modelo que está conformado por un automóvil hatchback, un poste y la espuma de polímero elastómero D30 de tecnología única con la cual recubriremos al refuerzo principal de la puerta del conductor ya que es en esta zona donde se desarrollará el impacto basándonos en el Protocolo de ensayo para Impacto lateral contra poste de EURO NCAP que detalla las condiciones que se debe cumplir para llevar a cabo el impacto en la vida real; así como también el Reglamento número 95 de la Unión Europea, establece prescripciones uniformes relativas a la homologación de los vehículos referente a la protección de los ocupantes en caso de un impacto lateral, se ha dicho que han ido perfeccionándose de acuerdo a las innovaciones tecnológicas con respecto al progreso técnico y la carrocería ha seguido en parte una evolución técnica. (CEPE, 2015)

Para realizar este proyecto se ha utilizado un software de cálculo avanzado de elementos finitos. El programa empleado para procesar la simulación es Ls-Dyna y como herramienta para implementar el modelo y visualizar los resultados se ha utilizado Ls-Prepost. Ambos programas están desarrollados por la compañía norteamericana Livermore Software Technology Corporation (LSTC) y son altamente usados en la industria automovística para analizar diseños de vehículos y, más concretamente, para evaluar la seguridad que éstos ofrecen ante situaciones de impacto. (Corporation, 2009)

1.5.2 Seguridad vehicular.

Los automóviles han evolucionado con el paso del tiempo, cada vez ofrecen más prestaciones (velocidad, aceleración, mayor velocidad en paso por curva, etc.), y con ellos también se han realizado grandes avances en la seguridad de los vehículos. La velocidad media de circulación ha incrementado, lo que ha provocado la mejora de los sistemas de seguridad del automóvil, tratando de minimizar, lo máximo posible, la gravedad de las lesiones que puedan sufrir los ocupantes en caso de choque o vuelco. (Luque Rodriguez, y otros, 2003)

El principal objetivo de la seguridad vial es evitar accidentes por lo cual tomamos en cuenta los siguientes aspectos:

- Personas: Conductor que se adapta a las condiciones de circulación, su reacción al conducir, percepción, estado anímico, estado físico.
- Automóvil: Hace referencia a los sistemas que conforman el vehículo como son: frenos, dirección, suspensión.
- Entorno: Estado de las vías, señalética existente en las mismas, estado de tráfico, información existente, climatología.

1.5.3 Seguridad Activa.

La seguridad activa está formada por aquellos elementos que están instalados en el vehículo para garantizar su seguridad en los desplazamientos. Estos elementos pueden ser los frenos ABS que mejoran el sistema de frenado, el control de estabilidad ESP que evita el derrape del automóvil mediante un programa electrónico que controla el sistema de frenado y la suspensión activa que ajusta su acción a la superficie del pavimento. A continuación, se explican algunos de los dispositivos de la seguridad activa. (Luque Rodríguez, y otros, 2003)

1.5.4 Sistema de frenos.

El sistema de frenado es donde se realizan las fuerzas necesarias que se oponen al movimiento del vehículo, pudiendo ser de diferentes tipos: de fricción, eléctrico y de fluido. La introducción de los frenos surgió por la necesidad de adaptación del mismo a las condiciones de deceleración exigidas por la calzada y las situaciones posibles. (Parera, 2000)

En vehiculos convencionales es comun ver que tienen frenos por fricción (tambor y disco), lo que quiere decir qu las fuerzas entre dos elementos genera rozamiento y por ende comienza a disminuir la velocidad del automovil. Las pastillas de freno deben tener un alto coeficiente de rozamiento y resistencia a la abrahasion ya que será quien este en contacto con el tambor o disco de freno.

Ademas podemos apreciar la utilizacion de freno de disco en los neumaticos delanteros mientras que en los neumaticos posteriores se utiliza freno de tambor Al momento de suscitarse una frenada brusca se produce una situación peligrosa ya que se bloquean las ruedas limitando al conductor a controlar el vehículo, se produce una inestabilidad y derrapa el automóvil aumentando el tiempo y distancia de frenado. Al bloquearse las ruedas delanteras el automóvil se desplaza en línea recta

inhabilitando la dirección, caso contrario si se bloquean las ruedas posteriores la parte trasera del vehículo comienza a desplazarse lateralmente.

El sistema ABS (Antilock brake system) viene siendo parte de la seguridad activa del vehículo interviniendo en el proceso de frenado, distribuye la presión de frenada a cada neumático para aquello existe un sensor de revoluciones instalado en cada neumático detectando si la rueda está por bloquearse; produciendo que las ruedas nunca se bloqueen y permitiendo tener control sobre el sistema de dirección.

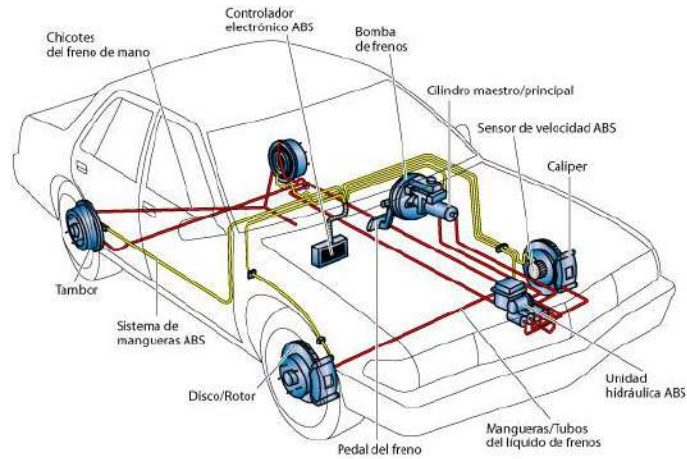


Figura 1-1: Esquema frenos con ABS
Fuente: (COMOFUNICIONA, 2018)

1.5.5 Dirección.

La dirección de un vehículo es el conjunto de mecanismos que permiten orientar las ruedas directrices, generalmente las del eje delantero, para que el vehículo tome la trayectoria deseada por el conductor. (Arias, 2008)

Como aporte a la seguridad en caso de suscitarse un impacto la columna de dirección tiene una parte deformable (retráctil) que absorbe la energía y la misma no invade el habitáculo del vehículo.

Debido al aumento de superficie de contacto entre los neumáticos y el asfalto, la dirección de un vehículo ha evolucionado dando lugar a distintos sistemas de dirección asistida: hidráulica, electrohidráulica y electromecánica. Estas dos últimas adaptan su funcionamiento al nivel de dirección asistida requerido. Es decir, la dirección asistida alcanza su nivel máximo a bajas velocidades (maniobras), y a velocidades más elevadas, mediante un sistema electrónico, la dirección reduce gradualmente el grado de asistencia. (Volkswagen, 2010)



Figura 2-1: Dirección de un automóvil
Fuente: (Bravo, 2015)

1.5.6 Suspensión.

La suspensión en el automóvil tiene por objetivo mantener las ruedas en contacto con el suelo en todo momento para seguridad de los ocupantes y evitar que se produzcan aceleraciones verticales mayores a la aceleración de la gravedad. También tiene el objetivo de otorgar comodidad a los ocupantes del vehículo, amortiguando y frenando las irregularidades de la calzada. (Luque Rodríguez, y otros, 2003)



Figura 3-1: Suspensión de un automóvil
Fuente: (JULIÁN, 2016)

1.5.7 Neumáticos

En 1898, André y Edowars Michelin instalaron por primera vez un neumático en un vehículo. Los diseños han ido mejorándose y en la actualidad todos los vehículos convencionales utilizan neumáticos. En el interior de la cubierta se llena de aire a presión, de esta forma se proporciona la rigidez deseada para que pueda soportar los esfuerzos a los que van a estar sometidos. (Luque Rodríguez, y otros, 2003)

Los neumáticos tienen el objetivo de transmitir las fuerzas verticales, longitudinales y transversales entre la calzada y el vehículo. El neumático es el único elemento del vehículo que está en

contacto con la calzada. Por esta razón, es importante que se use el neumático adecuado para cada vehículo. El neumático tiene que estar en buen estado y con la presión correcta para evitar un reventón y garantizar una adherencia adecuada con la calzada. El dibujo de la banda de rodadura debe evacua el agua de la calzada para permitir el contacto entre el neumático y la carretera, evitando el fenómeno de hidroplaneo (aguaplaning). Los neumáticos están estandarizados y deben cumplir la directiva 92/23/CEE 2001/43/CE. (Luque Rodriguez, y otros, 2006)

1.5.8 Iluminación.

Permiten visualizar la presencia de vehículos mediante elementos luminosos instalados en la parte frontal, lateral y posterior del vehículo, como también otorga la iluminación suficiente al conductor para que visualice el camino por donde circula en la noche; garantizando una circulación y seguridad vial eficiente.

1.5.9 Sistema de control de estabilidad.

Conocido como ESP (Electronic Stability Program), también tiene otros nombres con los que se comercializa. En los test de Euro NCAP recibe el nombre de ESC (Electronic Stability Control). (Arias, 2008)

Este sistema, que es un complemento del ABS, evita el deslizamiento del vehículo en sentido vertical, lo que permite conservar la trayectoria del vehículo en curva, previniendo el inicio de derrape y tratando de subsanar los errores de pérdida de trayectoria, que puede ser difíciles de controlar para la mayoría de los conductores. El sistema de control de estabilidad actúa cuando la trayectoria del automóvil no se corresponde con el ángulo de giro del volante. Cuando el automóvil realiza un viraje, debido a la fuerza centrífuga, puede suceder que en una curva o varias ruedas disminuya la adherencia lateral, pudiendo incluso provocar el derrape del vehículo, en ese instante entra en funcionamiento el sistema de control de estabilidad. (Anonimo, 2009)

Cuando se produce un subviraje el coche tiende a seguir recto en una curva como se ve en la figura 1.4. El sistema de control de estabilidad compara el ángulo de giro del volante con el ángulo de giro real del vehículo, si no concuerdan, el ESC actúa sobre el freno de la rueda trasera interior, corrigiendo la desviación de la trayectoria del automóvil. De esta forma se logra que el coche gire de la parte delantera hacia el interior de la curva. (Arias, 2008)



Figura 4-1: Subviraje

Fuente: (García, 2016)

Cuando se produce un subviraje, el vehículo tiende a girar más de lo indicado por el volante, cerrando la trayectoria, llegando incluso a realizar un trompo, como se ve en la figura 1.5. En este caso, el sistema de control de estabilidad actúa frenando la rueda delantera exterior, corrigiendo la desviación del vehículo.

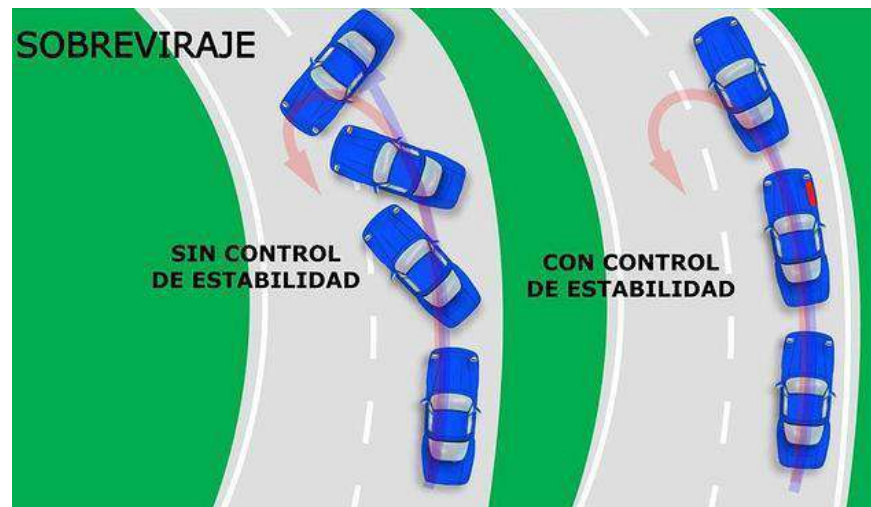


Figura 5-1: Sobreviraje

Fuente: (ABC, 2014)

El sistema de control de estabilidad contribuye a reducir accidentes de tránsito en las vías, por ende, fallecimientos o lesiones en los ocupantes. Inclusive la Comisión Europea impuso que a partir del año 2012 sea obligatorio la instalación de este sistema de seguridad pasiva en los automóviles.

1.5.10 Control de Tracción TCS

Este sistema evita la pérdida de adherencia en las ruedas motrices al desarrollarse situaciones de aceleración. Toma información de los sensores existentes en las ruedas mediante los cuales detectan cuando se produce una aceleración en la cual se pierde la adherencia con el suelo.

Al suscitarse el sistema actúa, frenando a la rueda que pierde adherencia o también limita la potencia del motor para que se puede recuperar la adherencia entre el neumático y el suelo.

1.5.11 Seguridad Pasiva.

Un vehículo antes de la colisión tiene una energía cinética debido a la velocidad. Cuando el vehículo colisiona toda la energía cinética se transforma en energía de deformación que es absorbida mayoritariamente por la carrocería del vehículo. Los ocupantes del vehículo en el momento de la colisión también absorben parte de esa energía cinética. Esta energía les hace moverse en sentido de la marcha y, por lo tanto, les hace chocar con la zona que tienen enfrente. Para evitar que los ocupantes no tengan ningún tipo de lesión cuando se produce la colisión, los fabricantes han desarrollado elementos que dan lugar a lo que se denomina seguridad pasiva. (Parera, 2000)

1.5.12 Habitáculo de Seguridad.

La función de la carrocería es la de albergar la carga y los ocupantes del vehículo, así como transportarlos. En cuanto a la función que nos atañe, la seguridad, es la encargada de proteger a los ocupantes del vehículo, es decir, evitar que ningún cuerpo extraño se introduzca dentro del habitáculo y la de asegurar un espacio mínimo, de seguridad, que permita la movilidad de los ocupantes en caso de accidente.

Por lo tanto, la carrocería debe ser elástica, para absorber la inercia del vehículo, y rígida para proteger a los ocupantes de la misma. Estas dos características, principales, de la carrocería son contradictorias, por ello, los constructores estudian muy bien el comportamiento de los diferentes materiales, en diferentes situaciones, con el fin de observar si los niveles de rigidez y elasticidad son los adecuados.

Por la importancia que tiene el habitáculo de seguridad, es posible afirmar que se trata del principal sistema de seguridad pasiva que posee un vehículo. Sin embargo, hay que tener en cuenta un aspecto común que comparten todos los sistemas de seguridad pasiva, incluido éste, que es la

necesidad de funcionar en conjunto con los otros sistemas para poder ofrecer un nivel de protección adecuado. El habitáculo de seguridad debe ser complementado por los sistemas de retención, puesto que sin ellos la protección para el ocupante se limitaría a evitar ser alcanzado por un objeto exterior, pero no impediría que su cuerpo colisionase con el interior del vehículo. (Ánonimo, 2004)



Figura 6-1: Habitáculo de seguridad
Fuente: (Sc, 2016)

1.5.12.1 Carrocerías deformables.

Las carrocerías deformables forman parte de los elementos, que en el automóvil actúan como sistemas de seguridad en caso de accidente.

Para intentar que la rigidez y la elasticidad de la carrocería sean aún más compatibles se estudian métodos para tal efecto. Uno de los métodos es utilizar las carrocerías deformables y las barras laterales (situadas en las puertas). Tanto la carrocería deformable como las barras laterales consisten en debilitar unos puntos con el fin de que, al producirse un choque, la carrocería o las barras laterales se doblen sí mismas por dichos puntos. De esta forma tenemos una carrocería rígida y elástica, a la vez, por los puntos debilitados. (CEAC, 2003)

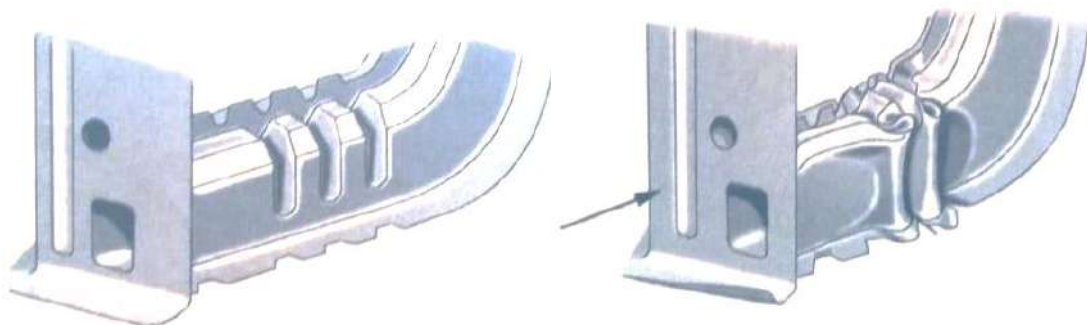


Figura 7-1: Puntos por donde se doblan las barras laterales en caso de colisión
Fuente: (CEAC, 2003)

Los elementos más comunes para evitar el colapso del habitáculo de seguridad son (Gómez Morales, 2004):

- Refuerzos en las puertas. Su función es aportar rigidez al habitáculo en el caso de choque lateral. En la figura 8-1 se muestra el habitáculo de seguridad del vehículo.

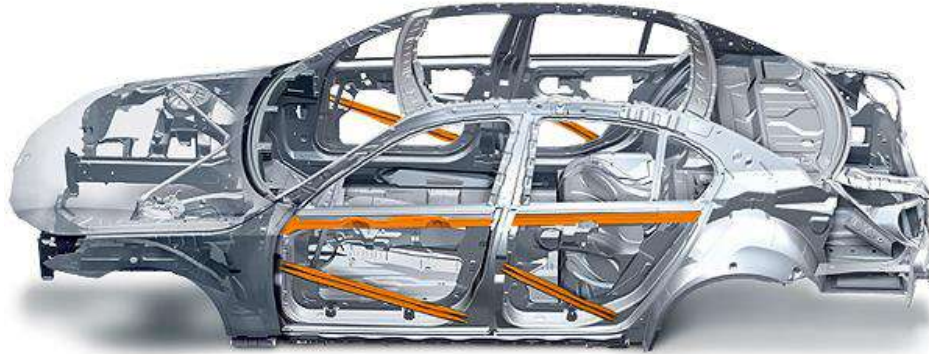


Figura 8-1: Refuerzos laterales instalados en las puertas del vehículo
Realizado por: (Primotor, 2012)

1.5.13 Fenómeno de colisión.

En caso de accidente, la estructura del vehículo tiene una influencia decisiva sobre las fuerzas a las que se ven sometidos los ocupantes. Se deben evaluar una serie de parámetros de diseño que representan un papel fundamental en sus prestaciones:

- Rigidez
- Fuerzas a las que estará sometida
- Capacidad de absorción de energía
- La estructura del vehículo debe poseer una determinada rigidez, suficiente para soportar los distintos tipos de fuerzas a los que puede verse expuesta, tanto las debidas a los pesos de carga y ocupantes (fuerzas estáticas), como las provocadas por aceleraciones y desaceleraciones (fuerzas dinámicas), así como las debidas al rozamiento con el aire en la marcha del vehículo (fuerzas dinámicas), entre otras. (Illescas Pérez, 2009)

Un impacto está formado por tres tipos de colisiones. La primera es la colisión primaria y es la que tiene lugar en el vehículo y el objeto contra el que se impacta. La segunda es la que sufren los ocupantes contra el interior del vehículo y la tercera es la existente entre los órganos vitales y las paredes internas.

Antes de producirse la colisión primaria el vehículo posee una energía cinética que depende de su velocidad (v) y su masa (m), y viene dada por la expresión:

$$Ec = \frac{1}{2} m * v^2$$

Para que el vehículo se detenga por completo es necesario disipar esta energía, y este fenómeno se produce debido a la deformación.

En el caso de un ensayo de choque frontal, el vehículo colisiona contra una barrera indeformable, la cual no absorberá nada de energía y esta deberá ser disipada completamente por el vehículo. Esta energía disipada se cuantifica mediante la fórmula:

$$E_{disipada} = F * d$$

Donde F es la fuerza que se ejerce sobre el vehículo, y d es la distancia que se ha deformado en la parte frontal.

Por tanto, es de suma importancia que la carrocería del vehículo sea capaz de absorber una gran cantidad de energía, ya que cuanto mayor sea ésta, menor será la deceleración que sufrirán los ocupantes. En otras palabras, cuanto mayor sea la energía disipada en la colisión primaria, será la energía remanente en la colisión secundaria.

Sin embargo, una carrocería no puede ser diseñada para deformarse completamente, Es necesario tener en cuenta que los ocupantes viajan dentro del vehículo, y que por tanto existe un espacio, denominado habitáculo de seguridad, el cual no debe deformarse. Por este motivo los vehículos se diseñan con zonas de absorción de impacto en las partes delanteras y posteriores, tratando de mantener siempre intacto el habitáculo de seguridad. (Pavón Zori, 2011)

1.5.14 Zonas de absorción de impacto.

Las zonas de absorción de impacto son las encargadas de disipar energía mediante su deformación. Se encuentran en el frontal del vehículo y en la posterior, tienen diferentes efectos según el tipo de impacto al que están sometidas. (DGT, 2011)

La parte elástica o deformable; es la que, en el choque, se encarga de absorber toda la inercia posible, teniendo en cuenta que la tienen que absorber de manera brusca y casi instantáneamente. El grado de deformación (amortiguación del golpe) depende directamente del peso del vehículo y de la deceleración producida (ésta, a su vez, depende de la velocidad del vehículo). También es cierto que el material de que esté fabricada la carrocería tiene que ver en la deformación de la misma.

La parte rígida; es la que forma el habitáculo (como es llamado normalmente), y es donde van alojados los ocupantes y la carga del vehículo. Esta parte de la carrocería es la que se deforma en menor proporción, y en momentos en que la inercia es demasiado elevada. Esto se debe a que después de un choque debe existir un espacio en el que los ocupantes se puedan mover y, como

ya se ha explicado anteriormente, no debe permitir entrar ningún cuerpo extraño al interior del habitáculo con el fin de proteger a los ocupantes y la carga del vehículo. (CEAC, 2003)

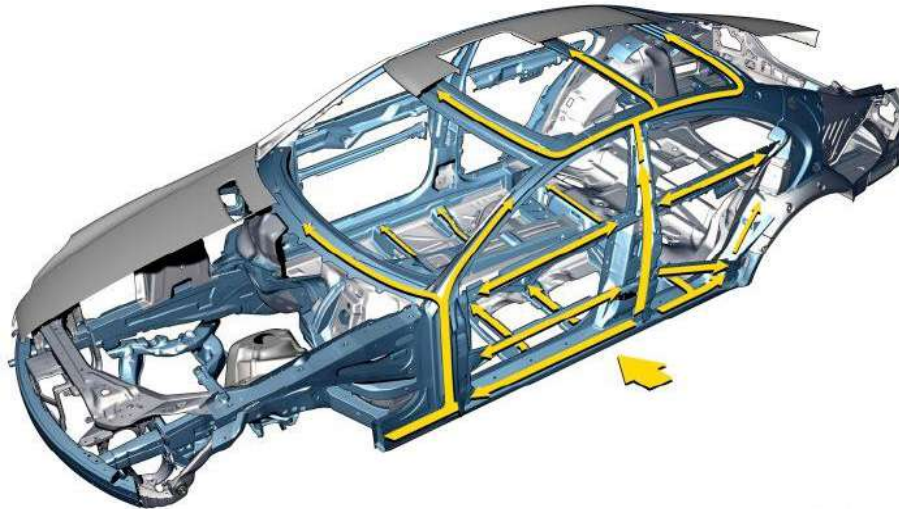


Figura 9-1: Estructura que absorben las fuerzas de impacto durante una colisión lateral
Fuente: (Daimler, 2004)

1.5.15 Plegamientos para el refuerzo de planchas.

La chapa de acero dulce utilizada en la construcción de carrocerías es muy fina (aproximadamente 0,5 y 1,5 mm de grosor) y con ella se ha de poder construir una carrocería capaz de soportar estos grandes esfuerzos. Para conseguirlo, las planchas de las partes fundamentales de la estructura se construyen con unos plegamientos más o menos complicados mediante los cuales se aumenta extraordinariamente su capacidad de resistencia.

Diferentes tipos de plegamientos de este tipo podemos verlos en la figura 10.1, estos perfiles pueden ser variadísimos y están estudiados con el mayor cuidado y detalle para ser colocados en aquellos lugares estratégicos que pueden ser afectados por accidentes para ofrecer, en los momentos críticos, la mayor resistencia y efectividad y no solo ante los esfuerzos propios de la carrocería en sí como resultado de las fuerzas de arrastre e inercia, son también ante golpes y colisiones de cierta importancia.

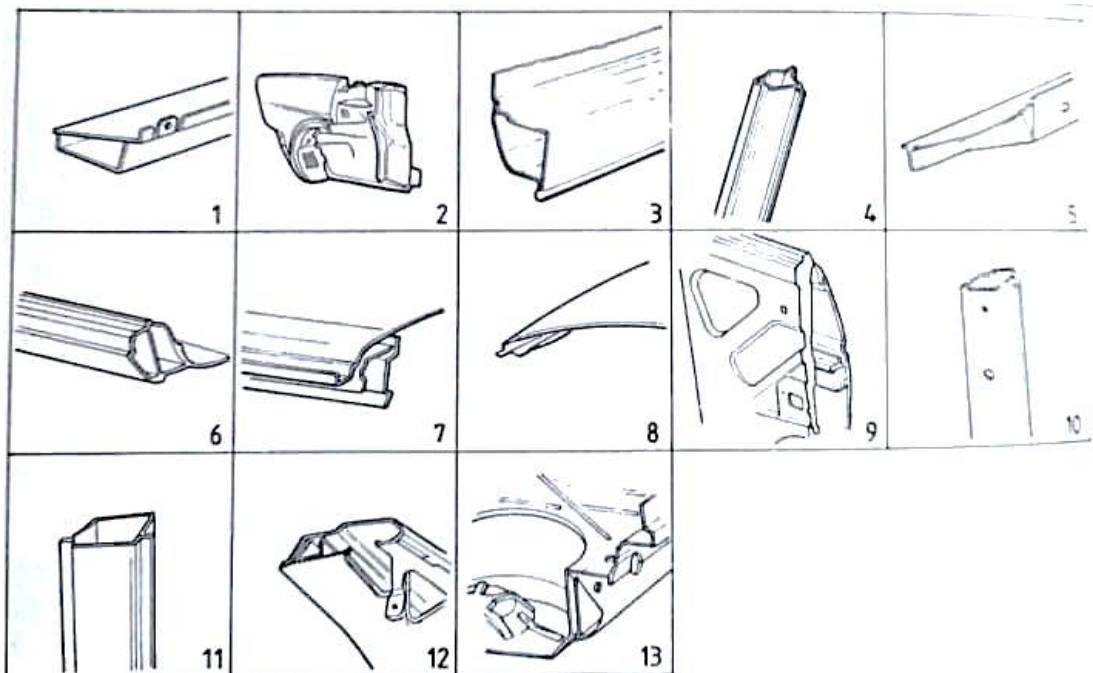


Figura 10-1: Perfiles de plegamiento para conseguir la máxima resistencia en puntos críticos
Fuente: (CEAC, 2003)

Por otro lado, las partes correspondientes a los cofres delantero y trasero (del motor y de maletero, respectivamente) se construyen relativamente flexibles para que tengan el mayor poder de absorción de la energía producida en caso de choque. Por el contrario, las partes que forman la estructura del habitáculo de los pasajeros se hallan especialmente reforzados por un sistema de estructura anular de protección, que asegura una mayor resistencia.

En un vehículo existen zonas anulares de protección:

- En el techo se han reforzado los largueros laterales (derecho e izquierdo) y las traviesas superiores (anterior y posterior) gracias a los plegamientos.
- En la línea central se refuerzan el plano inferior de la luna posterior, las partes internas de las puertas (tanto posteriores como anteriores) y la traviesa bajo el tablero de mandos.
- En la línea de piso actúan como refuerzo anular las zonas e planchas adosadas a las traviesas (anterior y posterior) y los largueros.

Cuanto mayor sea la velocidad de impacto mayor será la energía absorbida por la estructura de protección y, por lo tanto, también será mayor la deformación, mientras que la seguridad disminuye. (CEAC, 2003)

1.5.16 Componentes de la carrocería inmersos en el impacto lateral.

1.5.16.1 Marco del parabrisas

Es la pieza que forma la base del asentamiento de la luna o cristal del parabrisas a través de una junta de goma de perfil continuo, o por el sistema de pegado. El marco del parabrisas suele ir soldado al techo y a los montantes laterales, así como la travesía del revestimiento inferior del parabrisas para conseguir con ello una gran rigidez

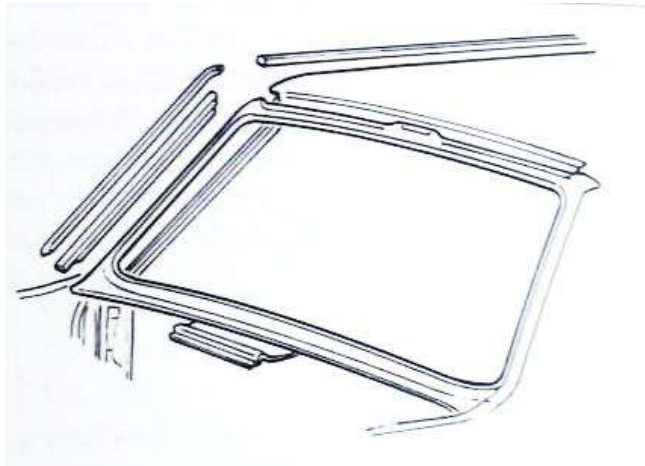


Figura 11-1: Piezas que componen el marco del parabrisas

Fuente: (CEAC, 2003)

1.5.16.2 Techo

El techo es una de las piezas de plancha más grandes del automóvil que se coloca en la parte más elevada de la carrocería, apoyándose sobre los montantes de la caja y sobre los marcos del parabrisas y de la luna trasera.

Considera elemento importante que permite conseguir mucha rigidez a la caja del habitáculo cuando está debidamente soldado a los montantes y pilares.

1.5.16.3 Montantes

Reciben el nombre de montantes las piezas verticales de revestimiento que se unen a los pilares haciendo cuerpo con ellos.

Los montantes llevan adosadas las bisagras de las puertas y también, según la posición que ocupen, la caja de encaje de la cerradura. Su denominación específica responde al lugar que ocupan en la estructura de la carrocería. Así nos encontramos con los llamados montantes centrales que se encuentran entre las dos puertas de un lado y que pueden ser el derecho o el izquierdo, según

su posición con respecto a la marcha. Por otro lado, el montante también puede ser delantero y, de la misma forma, derecho o izquierdo.

Hay que tener en cuenta que en algunas carrocerías el montante forma cuerpo con el pilar al que va adosado. Cuando se da esta circunstancia a este conjunto se le da el nombre de pilares únicamente o, a veces, también el nombre de jambas. El conjunto formado por los pilares y montantes ha de ser robusto ya que estas piezas son la base de sujeción y protección del habitáculo.

1.5.16.4 Estribo

El estribo es la pieza que forma la parte baja de la caja sobre la que se apoyan los pilares. Se trata de una pieza que esta soldada a los laterales del piso. Dotada de una gran solidez puesto que es la base de sustentación de los pilares. Por ello la encontraremos siempre muy reforzada.

1.5.16.5 Largueros

Se trata de piezas longitudinales que acostumbran a tener forma de viga tubular, o de sección rectangular, que constituyen la base del soporte lateral de la caja, siendo muy importantes para la sustentación de la carrocería. Los largueros que se aprecian en la figura 26, son la parte central de esta pieza ya que, de hecho, el larguero suele abarcar el automóvil de punta a punta, pero en las carrocerías auto portantes como se muestra en este apartado, la función total de los largueros se complementa con piezas similares que se hallan rígidamente unidas entre sí. También puede darse el nombre de larguero a todas aquellas piezas de refuerzo que sigan la dirección longitudinal. Es el caso de los llamados largueros superiores que refuerzan el techo, número 6 figura 26. También se puede observar que tienen forma de viga, pero la plancha es aquí de menor espesor, los largueros superiores van soldados a los montantes y a los pilares delanteros, en la parte superior de ambos.

1.5.16.6 Travesaños

Recibe el nombre de travesaños todos los elementos transversales, en forma de vigas de refuerzo, que se colocan para aumentar la rigidez de los largueros. Los travesaños siempre actúan en sentido transversal, uniendo el larguero derecho con el izquierdo, ya sea en el piso o en el techo de la carrocería.

En la parte del piso, no aparece pieza alguna que pueda denominarse travesaño ya que en esta zona y en este diseño de carrocerías es la misma plancha del piso la que le proporciona la debida rigidez. Sin embargo, sí está presente el travesaño superior que une los largueros superiores y que forma parte de la cimbra del pilar central. El travesaño del techo suele encontrarse soldado a los citados pilares centrales y a los largueros superiores, formando así un sólido y único elemento de protección para el habitáculo, sobre todo en caso de vuelco.

1.5.16.7 Refuerzos

Los refuerzos son piezas de pequeño tamaño que refuerzan a otras más importantes, a las que se hallan adosadas por soldadura o bien por medio de remaches o tornillos. Los refuerzos tienen nombres y formas muy variadas. Esta pieza la podemos apreciar con el número 10 en la figura 13-1, corresponden a los refuerzos de los largueros superiores.

1.5.16.8 Puerta

Son los elementos giratorios, de sobra conocidos, por medio de los cuales se tiene acceso al interior del habitáculo. Se consideran como piezas exteriores y están diseñadas de forma que puedan desmontarse fácilmente sacando los tornillos de las bisagras correspondientes o los pasadores que unen ambas hojas de las bisagras. Por supuesto la facilidad de desmontaje se refiere siempre contando para ello de las herramientas necesarias.

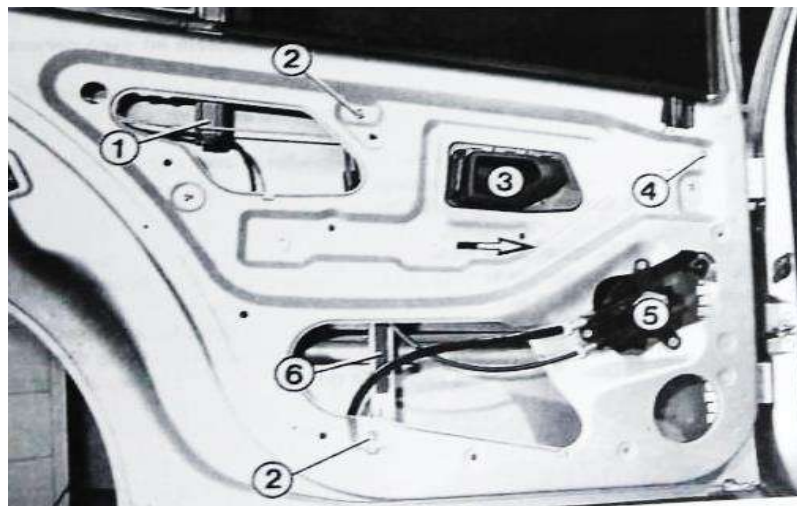


Figura 12-1: Puerta delantera muestra todos sus refuerzos internos
Fuente: (CEAC, 2003)

Vista de la puerta delantera de una carrocería, una vez desmontados su guarnecido, mostrando el mecanismo de alza cristales eléctricos y todos sus refuerzos internos

Como ocurre en la mayoría de los elementos de la carrocería que resultan más o menos simétricos, las puertas reciben su nombre de acuerdo con la posición que ocupan en el automóvil. Así, se nombra puerta delantera izquierda a la puerta del conductor. De la misma forma reciben su nombre las restantes puertas.

1.5.16.9 Pieza de refuerzo lateral de unión del costado al montaje de la puerta

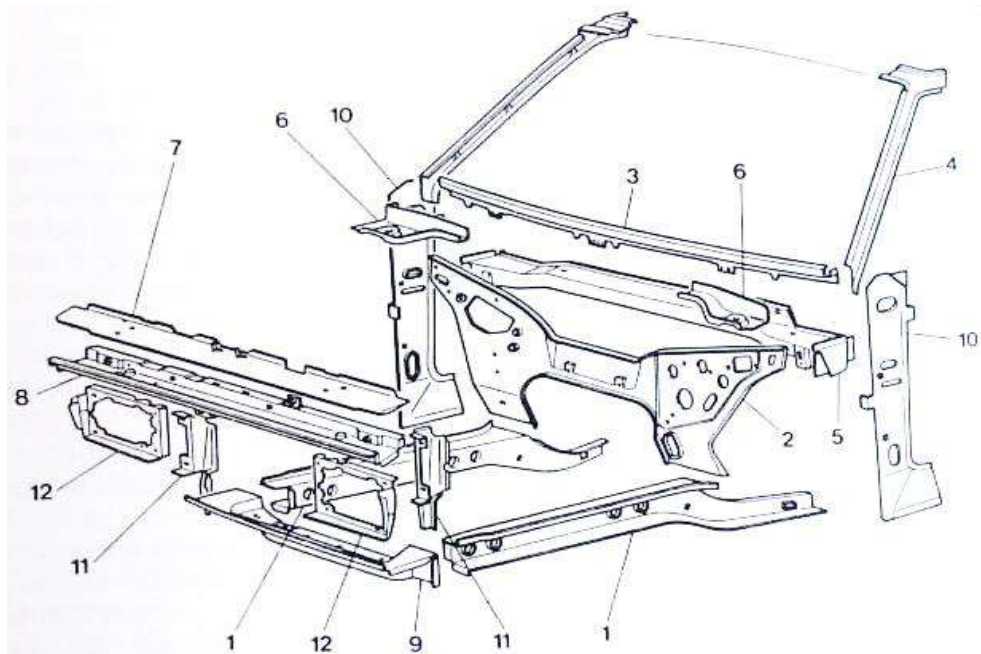


Figura 13-1: Pieza de refuerzo lateral de unión del costado al montaje de la puerta
Fuente: (CEAC, 2003)

Las barras de impacto laterales están alojadas en el interior de las puertas que limitan su deformación en caso de choque, incrementan la rigidez de las puertas distribuyen la energía en caso de colisión lateral y son elementos de seguridad pasiva diseñados para conferir a las puertas una estructura capaz de transmitir lo más rígidamente posible los impactos a la carrocería, en lugar de ceder al choque. (Morris, 2005)

1.5.16.10 Parabrisas

El parabrisas son elementos que aportan seguridad a los ocupantes del automóvil, los mismos son vidrios laminados ya que al momento de suscitarse un impacto todos los trozos de vidrios quedarán unidos a una lámina; estos elementos vienen instalados en las partes laterales y parte posterior del vehículo

1.5.17 Polímeros

Un polímero es una gran molécula construida por la repetición de pequeñas unidades químicas simples. En algunos casos la repetición es simple, de forma semejante a como una cadena la forma de eslabones, estas moléculas llamadas monómeros se combinan y forman los polímeros. En otros casos las cadenas son ramificadas o interconectadas formando retículos tridimensionales. (Billmeyer, 1975)

Los polímeros pueden ser naturales o sintéticos. Los sintéticos contienen normalmente entre uno y tres tipos diferentes de unidades que se repiten, mientras que los naturales o biopolímeros presentan estructuras mucho más complejas. Los polímeros sintéticos tienen, hoy en día, mayor interés desde el punto de vista comercial.

1.5.18 Comportamiento Visco elástico

Otra peculiaridad de los polímeros, tanto en estado sólido, disolución, fundido, es su marcado comportamiento viscoelástico. Maxwell estableció un modelo matemático para justificar el comportamiento de sólidos en dicho modelo propuso que las propiedades de una sustancia eran una combinación de una componente elástica y otra viscosa. Este modelo es la base de los utilizados en la actualidad y fue de gran importancia, ya que dio lugar al termino viscoelástico, que describe el comportamiento comprendido entre los extremos clásicos de una respuesta elástica de Hooke y un comportamiento viscoso de Newton. Los polímeros presentan un comportamiento mecánico enteramente dominado por su carácter visco elástico. Los sólidos viscoelásticos presentan características de líquido y de sólido, con fuertes desviaciones del comportamiento Hookeano y Newtoniano. (Beltrán Rico, y otros, 2012)

1.5.19 Fluidos Newtonianos.

Por fluido newtoniano se entiende aquel fluido cuyo valor de viscosidad, a una presión y temperatura dadas, es único, independientemente de la velocidad de cizalla y del tiempo de aplicación de la misma. Los polímeros presentan un comportamiento newtoniano solo en un intervalo relativamente estrecho de velocidades de cizalla y, en general, si el tiempo de aplicación de la cizalla es elevado, también sufren desviaciones del comportamiento newtoniano. Ambos son factores importantes a tener en cuenta durante el procesado de polímeros.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

1.5.20 Propiedades mecánicas de los materiales.

Se habla de polímeros “resistentes” o fuertes, tenaces y hasta dúctiles. La resistencia, la ductilidad y la resiliencia y otras son propiedades mecánicas.

1.5.20.1 Resistencia.

La resistencia es una propiedad mecánica que se puede relacionar acertadamente, pero no se sabría con exactitud que significa “resistencia” cuando se trata de polímeros. Existen varios tipos de resistencias. Resistencia a la tracción. Un polímero tiene resistencia a la tracción si soporta cargas axiales que tienden a alargarlo, siendo importante para un material que se va a estirar bajo tensión. Luego está la resistencia a la compresión la cual tendrá un polímero si soporta cargas axiales que tienden a compactarlo. Y por último tenemos la resistencia a la flexión en la cual un polímero es capaz de soportar cargas que provoquen momentos flectores en su sección transversal. También encontramos la resistencia al impacto (tenacidad) una muestra de esta propiedad es la resistencia que tiene al golpearla agudamente de repente.

Para definir lo que significa resistente tomaremos una muestra y la trataremos de estirar axialmente esa operación se la realiza en máquinas tipo prensa la cual sujeta cada extremo de la muestra y luego procede a alargarla, mientras dura el alargamiento de la muestra va midiendo la fuerza que está ejerciendo. Cuando se conoce la fuerza (P) que se está ejerciendo sobre la muestra, se divide ese número por el área (F) de su sección transversal; el resultado es la tensión que está experimentando la muestra.

$$\frac{P}{F} = \text{Tensión } (\sigma)$$

La tensión requerida para romper la muestra representa la resistencia a la rotura del material a la tracción. (2006)

1.5.20.2 Elongación.

La resistencia indica cuánta tensión se necesita para romper algo, sin embargo, no dice nada de lo que ocurre con la muestra mientras se trata de romper; ahí es donde corresponde estudiar el comportamiento de elongación de la muestra polimérica. La elongación es un tipo de deformación, que simplemente expresa el cambio en la forma que experimenta cualquier material bajo tensión. Cuando se habla de tensión, la muestra se deforma por alargamiento. Esto precisamente

es la elongación. Por lo general, se habla de porcentaje de elongación, que es el largo de la muestra después del alargamiento (L), dividido por el largo original (L₀), y multiplicado por 100.

$$L/L_0 \times 100\% = \text{Elongación}$$

Existen muchos fenómenos vinculados a la elongación, que dependen del tipo de material que se está estudiando; dos mediciones importantes son la elongación final y la elongación elástica. La elongación final es crucial para todo tipo de material, representa cuánto puede ser alargada una muestra antes de que se rompa. La elongación elástica es el porcentaje de elongación al que se puede llegar, sin una deformación permanente de la muestra; es decir, cuánto puede estirarse, logrando que ésta vuelva a su longitud original luego de suspender la tensión. Esto es importante si el material es un elastómero. Los elastómeros tienen que ser capaces de estirarse bastante y luego recuperar su longitud original. La mayoría de ellos pueden estirarse entre el 500% y el 1000% y volver a su longitud original sin inconvenientes. (2006)

1.5.20.3 Módulo.

Si se quiere conocer cuánto un material resiste la deformación, se mide algo llamado módulo. Para medir el módulo de tracción, se hace lo mismo que para medir la resistencia y la elongación final; esta vez se mide la resistencia ejercida sobre el material, tal como se procede con la resistencia a la tracción, incrementándose lentamente la tensión y midiendo la elongación que experimenta la muestra en cada nivel de tensión, hasta que finalmente se rompe. Luego, se grafica la tensión versus elongación, de este modo: En el gráfico, la altura de la curva cuando la muestra se rompe, representa la resistencia a la tracción y la pendiente representa el módulo de tracción. Si la pendiente es pronunciada, la muestra tiene un alto módulo de tracción, lo cual significa que es resistente a la deformación, si es suave, la muestra posee bajo módulo de tracción y por tanto puede ser deformada con facilidad.

Grafica esfuerzo vs elongación ensayo resistencia a la tracción elastómero de 10, 26 mm.

A medida que la tensión se incrementa, la pendiente, es decir el módulo, no es constante, sino que va experimentando cambios con la tensión. En casos como éste, generalmente se toma como módulo la pendiente inicial, como puede verse en la curva. En general, las fibras poseen los módulos de tracción más altos, y los elastómeros los más bajos. Mientras que los pasticos exhiben módulos intermedios. (2006)

1.5.20.4 Tenacidad.

El gráfico de tensión versus alargamiento puede darnos otra valiosa información. Si se mide el área bajo la curva tensión-alargamiento, coloreada de rojo en la figura de abajo, el número que se obtiene es algo llamado tenacidad.

La tenacidad es en realidad, una medida de la energía que una muestra puede absorber antes de que se rompa. Si la altura del triángulo del gráfico es la resistencia y la base de ese triángulo es el alargamiento, entonces el área es proporcional a resistencia por alargamiento. Dado que la resistencia es proporcional a la fuerza necesaria para romper la muestra y el alargamiento es medido en unidades de distancia (la distancia a que la muestra es alargada), entonces la resistencia a la tracción es proporcional a la fuerza por la distancia y según la Física: fuerza por distancia es energía:

$$\text{Resistencia} \times \text{Deformación} \approx \text{Fuerza} \times \text{Distancia} = \text{Energía}.$$

Desde el punto de vista físico la resistencia plantea cuánta fuerza es necesaria para romper una muestra, mientras que la tenacidad plantea cuánta energía hace falta para romperla, aunque en realidad, ambas no reflejan las diferencias desde el punto de vista práctico. Lo importante es saber que justamente, dado que un material es resistente, no necesariamente tiene que ser tenaz.

La curva (1) representa la relación tensión-elongación de una muestra que es resistente, pero no tenaz. Como puede verse, debe emplearse mucha fuerza para romperla, pero no mucha energía, debido a que el área bajo la curva es pequeña. Asimismo, esta muestra no se estirará demasiado antes de romperse. Los materiales de este tipo, que son resistentes, pero no se deforman demasiado antes de la ruptura, se denominan frágiles. Por otra parte, la curva (2) representa la relación tensión - elongación para una muestra que es tenaz y resistente, pero su área bajo la curva es mucho mayor, por lo tanto absorber más energía. La deformación permite que la muestra pueda disipar energía al no poder deformarse, la energía no será disipada y por lo tanto se romperá. (2006)

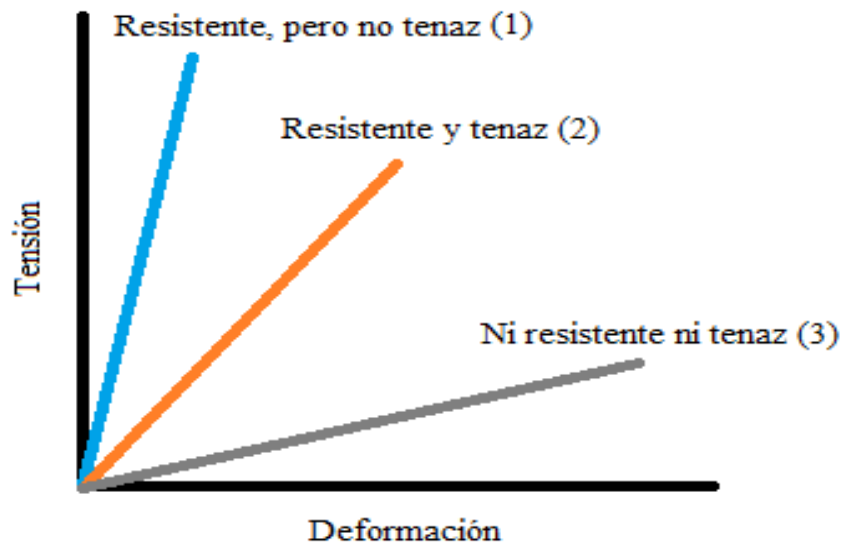


Figura 14-1: Comportamiento mecánico de varios tipos de polímeros
Fuente: (2006)

En la vida real, generalmente se desean materiales que sean tenaces y resistentes. Idealmente sería genial tener un material que no se doblara ni rompiera, pero eso es prácticamente imposible. Deben hacerse concesiones en dependencia de las necesidades para cumplir cada asignación de servicio, inclusive de un mismo material. Al observar las curvas de la fig. 14-1. Detenidamente: la muestra (1) tiene mucho mayor módulo que la muestra (2). Si bien es deseable que para muchas aplicaciones los materiales posean elevados módulos y resistencia a la deformación, en el mundo real es mucho mejor que un material pueda doblarse antes que romperse y si el hecho de flexionarse, alargarse o deformarse de algún modo impide que el material se rompa, tanto mejor. De modo que cuando se diseñan nuevos polímeros o nuevos composites, frecuentemente se sacrifica un poco de resistencia con el objeto de conferirle al material mayor tenacidad.

1.5.20.5 Propiedades mecánicas de los polímeros reales.

Hasta el momento se ha estado tratando el comportamiento mecánico de los polímeros de forma abstracta, de modo que ahora sería una buena idea exponer cómo se manifiesta este comportamiento en los polímeros reales, es decir, cuáles de ellos polímeros son resistentes, cuáles tenaces y así sucesivamente. Por esa razón en el gráfico de la fig. 15.1 se comparan las curvas típicas tensión-alargamiento para diferentes clases de polímeros. Puede verse en la curva (1), que plásticos rígidos como el poliestireno, el polimetilmetacrilato o los policarbonatos pueden soportar una gran tensión, pero no demasiada elongación antes de su ruptura; no hay casi área bajo la curva. Entonces se dice que estos materiales son resistentes, pero no muy tenaces. Además, la pendiente de la recta es muy pronunciada, lo que significa que debe ejercerse una considerable fuerza para deformar un plástico rígido; de modo que resulta sencillo comprobar que los plásticos rígidos

tienen módulos elevados. Resumiendo, los plásticos rígidos tienden a ser resistentes, soportan la deformación, pero no suelen ser tenaces, son frágiles.

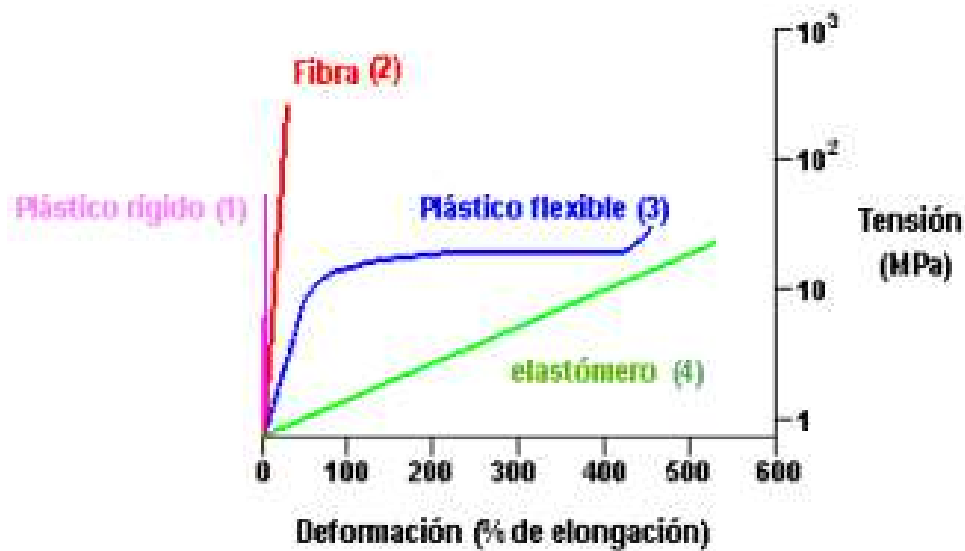


Figura 15-1: Curvas típicas vs deformación de carios polímeros.
Fuente: (2006)

Los plásticos flexibles (3), como el polietileno y el polipropileno difieren de los plásticos rígidos en el sentido que no soportan tan bien la deformación, pero tampoco tienden a la ruptura. El módulo inicial es elevado, o sea que resisten por un tiempo la deformación, pero si se ejerce demasiada tensión sobre un plástico flexible, finalmente se deformará, es decir, los plásticos flexibles pueden no ser tan resistentes como los rígidos, pero son mucho más tenaces. Es posible alterar el comportamiento tensión-alargamiento de un plástico con la adición de plastificantes. Las fibras como el KevlarTM, la fibra de carbono y el nylon tienden a exhibir curvas tensión alargamiento como la curva (2). Al igual que los plásticos rígidos, son más resistentes que duras, y no se deforman demasiado bajo tensión. Pero cuando es resistencia lo que se requiere, las fibras tienen mucho que ofrecer, son mucho más resistentes que los plásticos, aún los rígidos, y algunas fibras poliméricas como el KevlarTM, la fibra de carbono y el polietileno de peso molecular ultra-alto poseen mejor resistencia a la tracción que el acero. Los elastómeros (4) como el poliisopreno, el polibutadieno y el poliisobutileno muestran un comportamiento mecánico completamente diferente al de los otros tipos de materiales; los elastómeros tienen módulos muy bajos. Para que un polímero sea un elastómero, le hace falta algo más que tener módulo bajo; el hecho de ser fácilmente estirado no le da demasiada utilidad, a menos que el material pueda volver a su tamaño y forma original una vez que el estiramiento ha terminado. Obviamente, los elastómeros recobran su forma y eso los hace tan sorprendentes; no poseen sólo una elevada elongación, sino una alta elongación reversible. (Alfonso Brindis, 2002)

1.5.21 Fluidos No Newtonianos.

Sin embargo, existen algunas sustancias industrialmente importantes que no se comportan siguiendo la ley de Newton de la viscosidad, ya que su viscosidad a una temperatura y presión dadas es función del gradiente de velocidad o velocidad de deformación. A los fluidos cuya relación entre tensión-- velocidad de deformación no es proporcional, se los ha denominado fluidos no-newtonianos. La Mecánica de los Fluidos se ocupa del estudio de los fluidos newtonianos exclusivamente; mientras que los fluidos no-newtonianos son parte de una ciencia más amplia denominada Reología, la Reología es la ciencia que estudia y analiza los fenómenos de flujo y deformación y las propiedades mecánicas de los gases, líquidos, plásticos y comprende el estudio de las sustancias que "fluyen" pero que su comportamiento no está regido por la ley de viscosidad de Newton. Consecuentemente se puede decir que el campo de la Reología se extiende desde la Mecánica de los Fluidos Newtonianos hasta la elasticidad de Hooke. La región comprendida entre ellas corresponde a todos los materiales pastosos y a las suspensiones. En el mundo real existen una amplia variedad de fluidos tan comunes como los newtonianos que no siguen la simple relación dada por ley de Newton. (Mott, 2006)

Aun cuando el análisis y tratamiento de los fluidos no-newtonianos es menos preciso y elegante matemáticamente que el de los newtonianos, el estudio de este tipo de movimientos tiene características muy interesantes, y quizá un espectro de aplicación práctico mucho más amplio. Pero la viscosidad de algunos fluidos se ve afectada por factores distintos a la temperatura. Estos fluidos se denominan fluidos no newtonianos. La viscosidad de un fluido no newtoniano cambiará debido a la agitación o la presión—conocida técnicamente como tensión cortante. Una tensión cortante no afectará la viscosidad de un fluido newtoniano. Los fluidos no newtonianos son polímeros. Un polímero está compuesto de cadenas largas de unidades repetidas conocidas como monómeros que se encadenan para producir macromoléculas gigantes. Los polímeros sintéticos más comunes son el plástico, el caucho, y los tejidos, como el poliéster. (Mott, 2006)

1.5.21.1 Características y clasificación de los fluidos No Newtonianos.

Los fluidos que no siguen la relación de proporcionalidad entre tensiones tangenciales y velocidades de deformación se los clasifica en 3 grupos:

Fluidos no-newtonianos independientes del tiempo para los cuales se verifica;

$$\tau = f(\dot{\gamma})(r \text{ con un punto})$$

Fluidos no-newtonianos dependientes del tiempo en los que la relación anterior es más compleja, y que puede expresarse como:

$$\tau = f(\dot{\gamma}, t, \text{historia})$$

Fluidos visco-elásticos, fluidos en los que a diferencia de los viscosos donde la energía de deformación es disipada totalmente, esa energía puede recuperarse como sucede en los sólidos elásticos.

Es importante clasificar los fluidos no newtonianos en independientes del tiempo o dependientes del tiempo. Los fluidos independientes tienen una viscosidad que no varía con el tiempo, a cualquier esfuerzo cortante dado. Sin embargo, la viscosidad de los fluidos dependientes del tiempo cambia si varía éste. (Ibarrola, 2015)

1.5.21.2 Fluidos no-newtonianos independientes del tiempo.

Los fluidos no-newtonianos independientes del tiempo, se caracterizan porque las tensiones tangenciales dependen únicamente de la velocidad de deformación, y se representan funcionalmente en tres formas equivalentes:

$$\tau = f\left(\frac{du}{dy}\right) \quad \tau = f\left(\frac{d\gamma}{dt}\right) \quad \tau = f(\ddot{\gamma}) \quad (7)$$

La gran mayoría de los fluidos no-newtonianos que tienen aplicaciones en problemas de ingeniería caen dentro de esta categoría, y en ciertos casos algunos fluidos dependientes del tiempo pueden ser aproximados o modelizados como fluidos independientes del tiempo. Para visualizar y analizar los fluidos no-newtonianos resulta más cómodo representar el comportamiento de la función (7) en un sistema de ejes coordenados cartesianos $\tau - \dot{\gamma}$. Se pueden identificar 4 tipos de fluidos no-newtonianos independientes del tiempo.

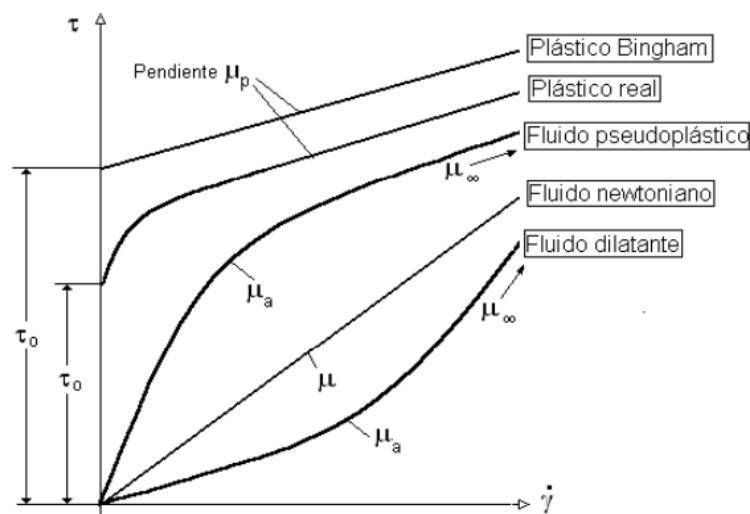


Figura 16-1: Clasificación de los fluidos según la relación $\tau=f(\dot{\gamma})$
Fuente: (2006)

El comportamiento de los fluidos indicados en la Fig16 suele expresarse en forma generalizada mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = \eta \left(\frac{du}{dy} \right) \quad \text{o} \quad \tau = \eta \left(\frac{d\gamma}{dt} \right) \quad \text{o} \quad \tau = f(\dot{\gamma}) \quad (8)$$

Donde η puede ser indistintamente una función tanto de la tensión tangencial τ como de la velocidad de deformación $\dot{\gamma}$. (Ibarrola, 2015)

1.5.21.3 Fluidos pseudoplásticos.

La grafica del esfuerzo cortante versus gradiente de velocidad queda por arriba de la línea recta (de pendiente constante) de los fluidos newtonianos. La curva comienza con mucha pendiente, lo cual indica una viscosidad aparente elevada.

Los fluidos pseudoplásticos no tienen una tensión de fluencia para que comiencen a deformarse, pero la viscosidad medida por la pendiente de la curva $\tau = f(\dot{\gamma})$ es alta para bajas velocidades de deformación, y decrece con el incremento de $\dot{\gamma}$ hasta alcanzar un valor asintótico μ_a constante. (Ibarrola, 2015)

1.5.21.4 Fluidos Tixotrópicos.

La viscosidad aparente de los fluidos tixotrópicos es una función tanto de la tensión tangencial como de la velocidad de deformación:

$$\mu_a = f(\tau, \dot{\gamma}) \quad (15)$$

Al actuar una tensión tangencial a este fluido desde el estado de reposo, sufre un proceso, de fraccionamiento a escala molecular seguido de una reconstitución estructural a medida que transcurre el tiempo. Eventualmente y en ciertas circunstancias, se logra un estado de equilibrio donde el fraccionamiento molecular iguala a la reconstitución. Si la tensión tangencial cesa, el fluido se recupera lentamente y vuelve a adquirir su consistencia original en un proceso que se caracteriza por su reversibilidad. (Ibarrola, 2015)

1.5.22 D3O

D3O utiliza tecnologías exclusivas patentadas y patentadas para fabricar materiales suaves, flexibles y sensibles a la velocidad con altas propiedades de absorción de impactos que se utilizan en

productos de protección contra impactos. D3O es un material único, basado en principios no newtonianos, en su forma bruta, las moléculas del material fluyen libremente, lo que permite que sea suave y flexible, pero en el impacto, se unen para disipar la energía del impacto y reducir la fuerza transmitida. (D3O, 2019)

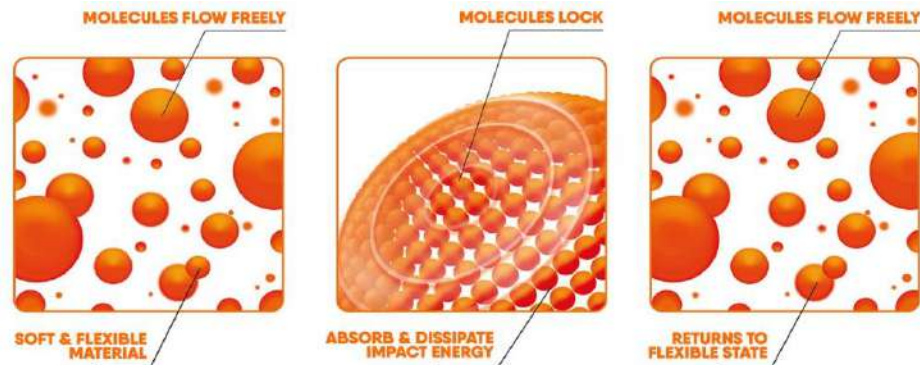


Figura 17-1: Funcionamiento molecular del polímero elastómero D3O
Fuente: (D3O, 2019)

Los fluidos de espesamiento por corte son aquellos a los cuales se aplica una tensión cortante, y se vuelven más viscosos. Una mezcla de almidón de maíz y agua es un excelente ejemplo de un fluido espeso por corte porque cuando se aprieta parece solidificarse.

Se pueden encontrar fluidos de espesamiento por corte en el cuerpo. El líquido sinovial que recubre las articulaciones en las rodillas y los codos es de espesamiento por corte. Usualmente, este fluido no es muy viscoso, para permitir el libre movimiento de las articulaciones. Pero si golpeas la rodilla o el codo en una esquina afilada de una mesa, el líquido sinovial actúa, y al instante se vuelve más viscoso y amortigua tu articulación del doloroso golpe.

D3O es otro tipo de fluido de espesamiento por corte. Éste se compone de una sustancia polimérica suspendida en un lubricante líquido de tipo aceitoso. Esta mezcla se clasifica como un coloide, una mezcla en la que la sustancia dispersa está permanentemente suspendida en un medio dispersante.

Cuando se aplica una tensión lentamente a un fluido de espesamiento por corte, las cadenas de polímero tienen tiempo para moverse fuera del camino y reorganizarse a sí mismas, por lo que la viscosidad no se ve afectada. Pero si una tensión rápida es aplicada, las cadenas de polímero no tienen tiempo para reorganizarse y se enredan, asumiendo una consistencia de tipo sólido a medida que la viscosidad aumenta.

D3O puede ofrecer protección contra impactos, ya que instantáneamente se vuelve más viscoso cuando se le aplica una tensión cortante repentina.

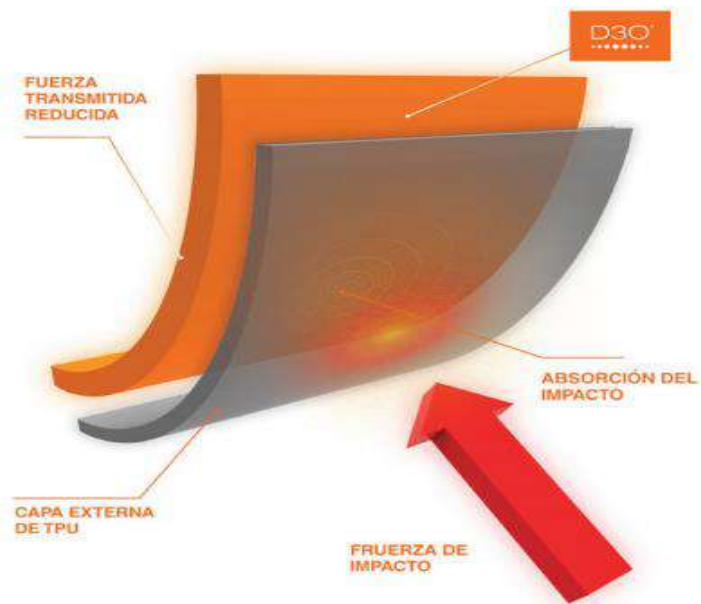


Figura 18-1: Fuerza transmitida en el polímero elastómero D3O
 Fuente: (D3O, 2019)

D3O, es más eficaz cuando está ordenado en capas con otras sustancias, proporcionando una barrera muy efectiva que evita la penetración de proyectiles tales como balas y metralla. Si este tipo de armadura es impactada, se endurece instantáneamente, protegiendo al usuario. El número de usos para D3O y otros productos similares no newtonianos es aparentemente interminable. Ellos pueden protegerte de lesiones graves. (Rohrig, 2017)

1.5.23 *Mecánica de Materiales.*

1.5.23.1 *Esfuerzo de Ingeniería.*

Se define como la fuerza aplicada dividida entre el área transversal inicial del material (el área que tiene el material antes de aplicar la fuerza). El área transversal es el área perpendicular a la línea de acción de la fuerza. (Loaeza, 2014)

$$\sigma(\text{tensión}) = \frac{\text{Fuerza Aplicada}}{\text{Área inicial del material}} = \frac{F}{A_0}$$

1.5.23.2 *Deformación unitaria de Ingeniería.*

Se define como la deformación (ΔL) dividida entre la longitud inicial (L_0) del material.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Supongamos que al inicio la fuerza aplicada es cero y luego su magnitud se incrementa gradualmente hasta que la barra se rompe. Supongamos que cada cierto tiempo se grafica el esfuerzo

aplicado contra la deformación unitaria de la barra. A esta grafica se le llama curva esfuerzo – deformación unitaria, siendo una propiedad mecánica del material del que está hecha la barra.

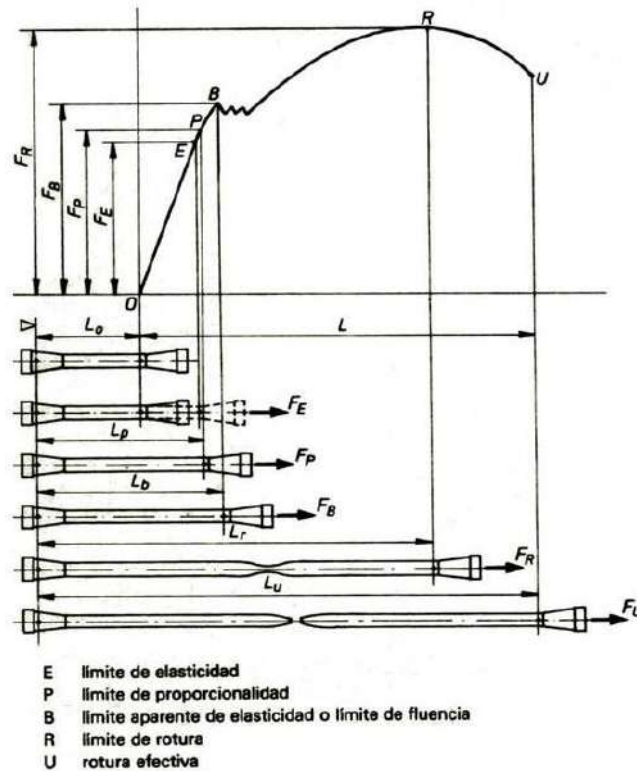


Figura 19-1: Ensayo de tracción

Fuente: (Amelia, 2012)

1.5.23.3 Resistencia a la Fluencia.

Es el valor del esfuerzo que debe aplicarse sobre el material para iniciar su deformación permanente. Formalmente se define como el valor del esfuerzo que al ser aplicado al material produce una deformación permanente de 0.2 %, tal como se muestra en la figura 2.2 (Rivas, 2005)

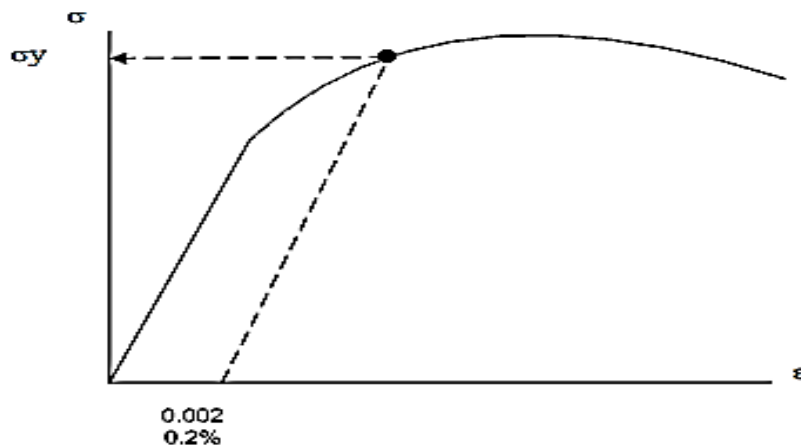


Figura 20-1: Diagrama esfuerzo deformación, % de deformación

Fuente: (Rivas, 2005)

1.5.23.4 Módulo de Elasticidad.

Es la pendiente de la línea que se forma en la zona elástica de la curva. Para la zona elástica se cumple que $\tau = E\varepsilon$

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon}$$

El módulo de elasticidad es una medida de la rigidez del material. Si se tienen dos materiales (A y B), A es más rígido que B si se deforma elásticamente menos que B al aplicarles a ambos la misma fuerza. El material es más rígido entre mayor sea su módulo de elasticidad. (Rivas, 2005)

1.5.23.5 Módulo de Resiliencia.

Es el valor numérico del área bajo la curva en la zona elástica. Representa la energía por unidad de volumen que el material absorbe cuando se deforma elásticamente.

1.5.23.6 Relación de Poisson.

Es la relación entre la deformación unitaria longitudinal y la deformación unitaria lateral.

$$\mu = \frac{\varepsilon_{lateral}}{\varepsilon_{longitudinal}}$$

1.5.23.7 Resistencia a la Tensión o Esfuerzo último.

Es el valor máximo del esfuerzo de ingeniería que se puede aplicar sobre el material. Cuando el esfuerzo aplicado se iguala a la Resistencia a la tensión, se inicia a la restricción y luego la fractura del material. (Rivas, 2005)

1.5.23.8 Ductilidad.

Es una medida de la cantidad de deformación plástica que puede darse en un material antes que éste se rompa. La ductilidad puede medirse en dos formas: [26]

- El porcentaje de elongación.

$$\% \text{ de elongación} = (\%EL) = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$$

- Porcentaje de reducción de área.

$$\% \text{ reducción de área } (\%AR) = \frac{A^0 - A_F}{A_0} \times 100$$

1.5.23.9 Ley de Hooke.

Hay una zona de la gráfica del ensayo de tracción en la que la relación entre la tensión y la deformación es lineal, es decir hay una proporción entre la tensión aplicada y la deformación producida en el material. Más allá de esta zona, la deformación deja de ser proporcional a la tensión. En esta zona del ensayo se cumple la Ley de Hooke. Solo se cumple hasta el límite elástico. (Luque, 2015)

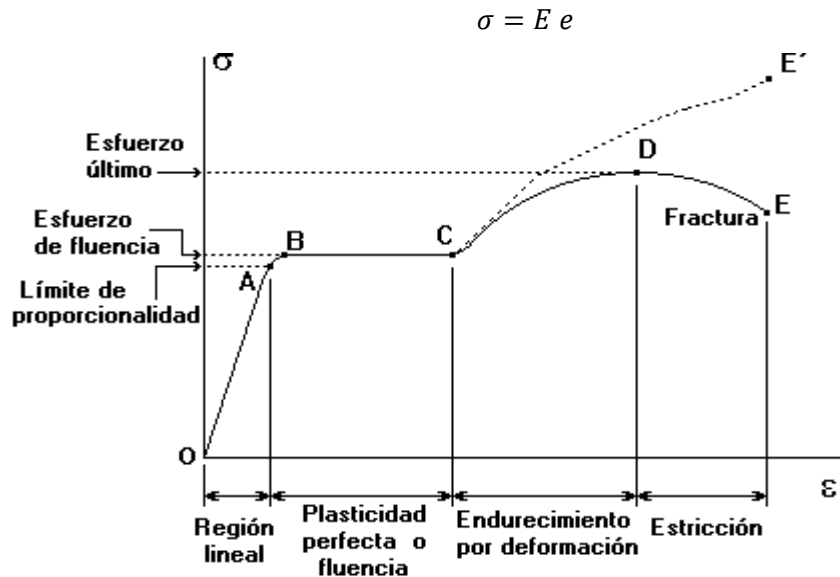


Figura 21-1: Ensayo de tracción en probetas
Fuente: (Luque, 2015)

Donde:

- σ = Tensión en la zona elástica
- E = Modulo de Elasticidad (Young)
- e = Alargamiento o deformación unitaria.

1.5.24 Normativa Ecuatoriana en seguridad Vehicular.

La Agencia Nacional de Regulación y Control de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial como institución encargada de la regulación y control del transporte terrestre a nivel nacional, es la autoridad competente para otorgar el certificado único de homologación vehicular, documento suficiente para certificar el cumplimiento del presente Reglamento y que deberá ser presentado previo a la importación de vehículos automotores sujetos al mismo.

1.5.24.1 RTE INEN 034. Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores.

El presente reglamento técnico se aplica a todo vehículo que va a ingresar al parque automotor ecuatoriano, sean importados, ensamblados o fabricados en el país, que deben contener los elementos mínimos de seguridad obligatorios con la finalidad de proteger la vida e integridad de las personas; así como el fomentar mejores prácticas al conductor, pasajero y peatón. (INEN, 2016)

1.5.24.1.1 Protección para Impacto lateral.

De acuerdo con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 define que es el sistema o elemento de seguridad que minimiza los daños ocasionados a los ocupantes en caso de impacto lateral.

Los vehículos automotores deben cumplir con los requisitos establecidos en la Reglamentación Técnica No. 95 de la ONU “Prescripciones uniformes sobre la aprobación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral” – “UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF VEHICLES WITH REGARD TO THE PROTECTION OF THE OCCUPANTS IN THE EVENT OF A LATERAL COLLISION”. (CEPE, 2015)

1.5.25 EURO NCAP

Es una organización que pretende ofrecer a los consumidores una información independiente de la ofrecida por los fabricantes del nivel de seguridad que posee el vehículo que adquieren. Las pruebas realizadas por EURONCAP se realizan una vez el vehículo se pone a la venta y sus ensayos se componen de una prueba de impacto frontal, una de impacto lateral y otra de protección a los peatones publicando los resultados que se obtiene al realizar estos impactos pretendiendo alentar a los fabricantes a mejorar los requisitos mínimos de seguridad exigidos por las entidades de homologación. Estas pruebas se realizan por grupos de vehículos dentro de un mismo segmento (utilitarios, berlinas, monovolúmenes,)

Euro NCAP ha creado un sistema de valoración de seguridad de cinco estrellas para ayudar a los clientes, a sus familias y a las empresas a comparar vehículos con más facilidad e identificar las opciones más seguras en función de sus necesidades.

La valoración de estrellas se determina a partir de una serie de ensayos de vehículos, diseñados y llevados a cabo por EURONCAP. Estas pruebas representan, de forma sencilla, escenarios de accidentes reales que podrían causar lesiones o la muerte en ocupantes de vehículos o usuarios de

la carretera. Aunque la valoración de seguridad nunca puede abarcar las complejidades del mundo real, las mejoras en los vehículos y la tecnología surgida en los últimos años por la aplicación de estándares de seguridad cada vez más elevados han demostrado ofrecer ventajas reales a los clientes tanto de Europa como de la sociedad en su conjunto.

El termino impacto hace referencia a una situación en la cual dos o más objetos chocan de manera violenta al situarse en un mismo punto con diferentes velocidades y direcciones contrarias el uno del otro. (EURONCAP, 2019)

1.5.25.1 Impacto frontal solape parcial.



Figura 22-1: Impacto frontal parcial según la EURONCAP
Fuente: (EURONCAP, 2019)

Los impactos frontales provocan más muertes y lesiones graves que cualquier otro tipo de accidente. Una situación típica consiste en una colisión frontal entre dos vehículos que se aproximan a una velocidad moderadamente alta. En la mayoría de las colisiones de este tipo, sólo se ve involucrada una parte de la estructura frontal del vehículo, p. ej. Los dos vehículos que colisionan están descentrados.

En la prueba a gran escala, el vehículo circula a 64 km/h con un 40% de superposición en una barrera deformable que representa al vehículo que se aproxima. La prueba reproduce una colisión entre dos vehículos del mismo peso que circulan a una velocidad de 50 km/h. Se colocan dos dummies de impacto frontal que representan a varones de talla media en los asientos delanteros y varios dummies de niños en las sillas de retención infantil de los asientos traseros.

En esta colisión, se prueba la estructura del vehículo. Una disposición estructural limitada puede exponer a los ocupantes a un mayor número de intrusiones. Hay que dirigir eficazmente las fuerzas de colisión a aquellas partes del vehículo en las que la energía se absorba de forma eficaz y

segura. La zona de absorción de energía debe contraerse de forma controlada, dejando el compartimiento de los acompañantes lo menos deformado posible. El movimiento hacia atrás del volante y de los pedales debe ser limitado para evitar lesiones graves. (EURONCAP, 2019)

1.5.25.2 Impacto frontal Completo.



Figura 23-1: Impacto frontal completo según la EURONCAP
Fuente: (EURONCAP, 2019)

En los últimos años, las estructuras de los vehículos son más rígidas. Esto ha contribuido a reducir las lesiones en la cabeza y la parte baja de las piernas, ya que es menos probable que el compartimiento de los acompañantes se contraiga. Sin embargo, una mayor rigidez estructural también es sinónimo de una mayor desaceleración del compartimento, lo cual debe abordarse junto con los sistemas de sujeción de los asientos delanteros y traseros durante la colisión. Estas desaceleraciones pueden provocar lesiones graves, en especial en el tórax de los ocupantes.

Euro NCAP prueba los vehículos contra una barrera rígida con una superposición total y a una velocidad de 50 km/h. Se coloca un dummy pequeño de mujer en el asiento del conductor y en el asiento lateral trasero de los acompañantes.

Esta prueba exige la máxima respuesta a los sistemas de sujeción de los asientos delanteros y traseros. Se colocan limitaciones muy estrictas en las desaceleraciones del tórax y en el grado de desviación del mismo, lo que, a su vez, anima a los fabricantes a instalar sistemas de sujeción más sofisticados. La prueba complementa la prueba de la barrera deformable con solape parcial, ya que hay que encontrar un equilibrio entre un sistema de retención que sea lo suficientemente rígido como para sujetar a un dummy masculino en la prueba de 64 km/h y uno que sea lo suficientemente suave como para no elevar demasiado las fuerzas de desaceleración sobre una mujer pequeña. (EURONCAP, 2019)

1.5.25.3 Impacto Lateral.



Figura 24-1: Impacto lateral según la Euroncap
Fuente: (EURONCAP, 2019)

Los impactos laterales son la segunda causa más importante de muertes y lesiones graves. En comparación con los impactos frontales, existe muy poco espacio en el interior del vehículo para absorber la energía y, en consecuencia, las lesiones graves de la cabeza y del tórax son comunes. En la prueba de Euro NCAP, se monta una barrera deformable en un carro y se impulsa a 50 km/h hasta impactar contra el vehículo de prueba detenido en un ángulo recto. Se coloca un dummy de impacto lateral que representa a un varón de talla media en el asiento del conductor y varios dummies de niños en las sillas de retención infantil de los asientos traseros.

La prueba garantiza una protección adecuada de las zonas más importantes del cuerpo. Esto ha permitido reforzar las estructuras de los vehículos alrededor del pilar B (entre las puertas), instalar airbags de cortina o de impacto lateral en los vehículos y desarrollar estructuras de absorción de energía menos obvias en los asientos y paneles de las puertas. Hay que controlar con mucha precisión la sincronización y el despliegue de los airbags para garantizar que ofrezcan la mejor protección posible. (EURONCAP, 2019)

1.5.25.4 Impacto Lateral de poste.



Figura 25-1: Impacto lateral contra un poste según la Euroncap
Fuente: (EURONCAP, 2019)

En algunos impactos laterales, se ven involucrados vehículos que se desplazan lateralmente hacia objetos rígidos como árboles o mástiles. A menudo, son el resultado de la pérdida de control por parte del conductor debido a la velocidad, la mala interpretación de una curva o al derrape en una carretera helada. Dichos accidentes son graves y la frecuencia de muertes o lesiones graves es muy elevada.

En la prueba de Euro NCAP, se lanza un vehículo lateralmente a una velocidad de 32 km/h hacia un mástil rígido y estrecho. El vehículo se coloca en ángulo recto en la dirección del movimiento o, como se realiza a partir de 2015, en un pequeño ángulo alejado de la perpendicular. Se coloca un dummie masculino de impacto lateral y talla media en el asiento del conductor.

Se trata de una prueba muy estricta que intenta determinar la capacidad del vehículo para proteger la cabeza del conductor. Ya que la carga del vehículo está muy localizada, la deformación puede ser muy elevada y el mástil puede penetrar profundamente en el compartimiento de los acompañantes. Sin una protección eficaz, el mástil golpearía la cabeza, lo que provocaría lesiones graves. Los airbags de protección de la cabeza (normalmente airbags de cortina instalados sobre las ventanillas laterales, aunque a veces también se trata de airbags de tórax/cabeza instalados en el asiento) se han convertido en una solución común, pero hay que tener mucho cuidado para garantizar el rendimiento eficaz de dichos dispositivos. (EURONCAP, 2019)

1.5.26 Método de Elementos Finitos.

El MEF permite simular casi todos los procesos técnicos mediante una simulación por ordenador. Para poder realizar la simulación debe descomponerse el cuerpo (gaseoso, líquido o sólido) en pequeños elementos de forma más sencilla y en cuyos vértices, llamados nodos, están unidos entre sí de forma fija. Estos elementos pueden ser líneas, triángulos, cuadrados, tetraedros, pentaedros o hexaedros, pero es importante que su tamaño sea pequeño. Debido al comportamiento de los elementos formulado de forma aproximada por medio de ecuaciones lineales, dicho movimiento se restringe a una trayectoria recta, sólo es válido para elementos infinitamente pequeños, aunque el tiempo de cálculo requiere elementos mayores, de tamaño infinito. La aproximación es más real cuanto más pequeño sean los elementos. Todos los procesos no lineales, como el movimiento en una trayectoria cualquiera o un comportamiento no lineal del material, debe resolverse gradualmente de forma lineal. (Valero, 2004)

Al analizar el impacto lateral contra un poste se producirán grandes deformaciones, las cuales son de carácter no lineal, por ende, el material de las partes del vehículo que absorberán la energía del impacto se encontrará en la zona plástica en la cual no existe relación lineal entre la tensión y deformación del material.

1.5.26.1 Características de los tipos de error.

Al analizar el problema que se desarrollará mediante el método de elementos finitos pueden aparecer diferentes fuentes de error.

Errores de modelización.

- En la modelización de cargas exteriores
- Modelización de condiciones de contorno
- Propiedades de los materiales.

Errores en la discretización.

- Errores en la aproximación de la geometría; por falta de capacidad de las funciones de forma para representar con exactitud la geometría real. Este problema se resuelve aumentando el mallado o refinándolo en las zonas conflictivas.
- Errores en la discretización; se relaciona con el tamaño del elemento y la función de forma de los nodos. Como norma general se emplean elementos pequeños en las zonas de variación rápida de la solución, y elementos grandes en las zonas de variación lenta.

Errores de computación.

- Errores sobre la integración de los elementos. Dado que hay que tomar un polinomio de Legendre hay que aceptar un cierto grado de error (dependiendo del grado del polinomio).
- Errores en la resolución del sistema de ecuaciones. Por errores de truncamientos en la representación interna del ordenador de los números reales, y por lo tanto por errores de redondeo.

1.5.26.2 Mallado.

La importancia de disponer de un método para evaluar el error que se comete en el cálculo radica en que permite el afinamiento de los mismos. La finalidad es conseguir obtener un resultado por debajo de un error marcado.

Existen 3 formas de refinamiento de los problemas:

Método H: Consiste en la reducción de error actuando directamente sobre el tamaño del elemento y manteniendo constante la función de forma. Presenta dos inconvenientes, es el método más lento, desde el punto de vista de velocidad de convergencia; y se pierde el control sobre el mallado, pudiendo generarse mallas distorsionadas.

Método P: Consiste en ir aumentando progresivamente el grado de los polinomios de interpolación (funciones de forma), manteniendo fijo el tamaño de los elementos. Tiene mayor velocidad de convergencia que el método H, pero presenta el problema de que requiere acotar el grado máximo del polinomio. Un grado máximo podría provocar un rizado en las soluciones.

Método HP: Consiste en el uso secuencial de ambas técnicas. En primer lugar, se optimiza el mallado a la geometría, y posteriormente se modifica el grado del polinomio hasta alcanzar el error deseado. (Naval, 2010)

1.5.26.3 Calidad de malla.

La calidad de malla es de gran importancia debido a que es fundamental en la exactitud al momento de ejecutarse los cálculos numéricos, así como la estabilidad de la misma.

Algunas propiedades que permiten obtener una malla de calidad son: la distribución de los nodos, esquinamiento, relación de aspecto, densidad.

El grado de exactitud con el cual se resuelven las zonas más complejas del flujo (zonas de choque) dependerá de la densidad y distribución de los nodos de la malla en dichas zonas. Una resolución pobre de la malla en estas zonas críticas del flujo puede alterar dramáticamente sus características.

En el caso tridimensional está condicionado por aspectos como la CPU y la memoria del ordenador usado para realizar la simulación; se conseguirá mayor exactitud con mallas bien construidas y refinadas lo cual conlleva a mayor tiempo de cálculo y postprocesamiento de la solución. La suavidad de la malla está relacionada con la variación del volumen entre celdas adyacentes, los grandes cambios resultan en error de truncamiento.

La formación de las celdas tiene aspectos importantes como esquinamiento y relación de aspecto. Los efectos de la resolución, suavidad y forma de la malla sobre la exactitud y la estabilidad del proceso de solución, son altamente dependientes de las características del flujo objeto de simulación. Celdas muy esquinadas pueden tolerarse en zonas donde el flujo no sufre cambios, mientras que en zonas de altos gradientes pueden ser muy perjudiciales. Dado que, normalmente, no podemos determinar a priori dónde se producen los mayores gradientes, es aconsejable mallar el modelo completo con una malla de alta calidad. (Smith, 2017)

- **Distorsión angular (Skewness)**

El skewness cuanto más alto esté el rango permitido disminuye la exactitud del cálculo, porque es una de las medidas de calidad principal de una malla. Determina que tipos de triángulos y cuadrados son los ideales, dándonos un margen de los rangos aceptables y no aceptables.

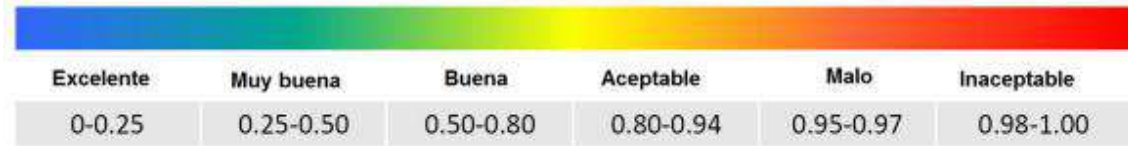


Figura 26-1: Rango de oblicuidad permitido para el mallado

Fuente: (Smith, 2017)

1.5.27 Diario Oficial de la Unión Europea, Reglamento N 95 UNECE (R95R02)

El reglamento de la UNECE, se aplica al comportamiento que tendrá el vehículo al suscitarse una colisión lateral de la estructura del habitáculo de vehículos dentro de las categorías M1 y N1. Por ende, los lineamientos, parámetros, criterios de evaluación se los realizará según esta normativa. (CEPE, 2015)

1.5.27.1 Especificaciones y Ensayos.

Según el reglamento el vehículo será sometido a la simulación basándose en los apartados 5.1.1 y 5.1.3 que se detalla a continuación.

“El ensayo se llevará a cabo en el lado del conductor, salvo que, de haber estructuras laterales asimétricas, estas presenten diferencias tales que puedan afectar al rendimiento en caso de colisión lateral.” La simulación a realizarse es un impacto lateral contra un poste, la zona de impacto será en el lado del conductor.

“El resultado de este ensayo se considerará satisfactorio si se cumplen los requisitos especificados.”

1.5.27.2 Criterios de Comportamiento.

El maniquí de colisión lateral deberá instalarse en el asiento delantero del lado impactado. Los criterios de comportamiento que se determinan para el ensayo de colisión deberán corresponder a los siguientes apartados 5.2.1.1, 5.2.1.2, 5.2.1.3, 5.2.1.4 establecidos en esta norma.

El criterio de comportamiento de la cabeza (CCC) deberá ser inferior o igual a 1000; cuando no haya contacto con la cabeza, el CCC no se medirá ni calculará, sino se registrará como <sin contacto con la cabeza>

Los criterios de comportamiento del tórax serán:

- En el caso del criterio de deformación de las costillas, inferior o igual a 42 mm
- En el caso del criterio de partes blandas (criterio de viscosidad, CV), inferior o igual a 1,0 m/s.
-

El criterio de comportamiento de la pelvis será:

Fuerza máxima sobre la sínfisis púbica inferior o igual a 6 KN.

El criterio de comportamiento del abdomen será:

Fuerza máxima sobre el abdomen inferior o igual a 2,5 KN de fuerza interna (equivalente a una fuerza externa de 4,5 KN) (CEPE, 2015)

1.5.27.3 Determinación de los criterios de comportamiento.

Los resultados que deben arrojar los ensayos figuran en el punto 5.2 del presente reglamento.

Criterio de comportamiento de la cabeza (CCC)

Cuando hay contacto con la cabeza, este criterio de comportamiento se calcula con respecto al lapso total entre el contacto inicial y el último instante del contacto final.

El CCC es el valor máximo de la siguiente fórmula:

$$(t^2 - t^1) \left(\frac{1}{t^2 - t^1} \int_{t^1}^{t^2} a \, dt \right)^{2,5}$$

En la que “a” es la aceleración resultante en el centro de gravedad de la cabeza, en metros por segundo dividida entre 9,81, medida en función del tiempo y filtrada con una clase de frecuencias del canal de 1000 Hz, “t₁” y “t₂” son dos momentos cualesquiera entre el contacto inicial y el último instante del contacto final. (CEPE, 2015)

Criterios de comportamiento del tórax

Deformación del pecho: la deformación máxima del pecho es el valor máximo de deformación en cualquier costilla según determinen los transductores de desplazamiento del tórax, filtrado con una clase de frecuencias del canal de 180 Hz.

Criterio de viscosidad: el resultado máximo de viscosidad es el valor máximo del criterio de viscosidad en cualquier costilla, calculado a partir del producto instantáneo de la compresión relativa del tórax respecto del semitórax y la velocidad de compresión derivada por diferenciación de la compresión, filtrada con una clase de frecuencias del canal 180 Hz. A los efectos de este cálculo, la anchura normalizada de la semicaja torácica es de 140 mm.

$$VC = \max\left(\frac{D}{0,14} \cdot \frac{dD}{dt}\right)$$

Donde “D” (en m) = deformación de las costillas. (CEPE, 2015)

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Diseño metodológico.

2.1.1 *Tipo de Investigación.*

Bibliográfica.

Recurrir a información relevante como artículos científicos, revistas técnicas, libros permitirá poder desarrollar el presente trabajo por tal motivo hace hincapié al ámbito bibliográfico.

Experimental.

Mediante el comportamiento de las simulaciones que se pretende realizar en el vehículo, se analiza lo que ocurrirá al impactar el vehículo de manera lateral contra un poste permitiendo que la información obtenida sea de carácter experimental.

2.1.2 *Población y Muestra.*

2.1.2.1 *Población.*

La población que se genera en la presente investigación se encuentra en la subcategoría de vehículos M1 según la norma NTE INEN 2656, los cuales son vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados y construidos para el transporte de personas.

2.1.2.2 *Muestra.*

Para desarrollar esta investigación analizamos las estadísticas de siniestros de tránsito, estadísticas del sector automotor, siendo importantes para seleccionar el vehículo Chevrolet Aveo Family 5 puertas en el cual se simulará la prueba de impacto lateral contra un poste en la zona del conductor basándonos en lo que indica la normativa de la Unece N 95 R2.

2.1.2.3 Unidad de muestreo.

La unidad de muestreo conforma los vehículos que se encuentran en la subcategoría M1 los cuales son comercializados en el país.

2.1.2.4 Unidad de análisis.

La unidad de análisis serán las estadísticas del sector automotor existentes de los vehículos que conforman la muestra.

2.1.2.5 Tipo de muestreo.

El método de para la elección de la muestra lo realizamos mediante un muestreo no probabilístico de carácter intencional.

No Probabilístico: Debido a que todos los elementos de la población no tienen la misma probabilidad de ser seleccionados.

Intencional: Permite que la muestra sea altamente representativa la misma que se selecciona de acuerdo al criterio de análisis por parte del investigador.

2.1.3 Método de recolección de información.

2.1.3.1 Observación.

Mediante esta técnica realizamos anotaciones que serán de gran importancia para realizar el análisis de las estadísticas del parque automotor ecuatoriano, siniestro de tránsito, consideraciones para la simulación, comportamiento de la estructura, velocidad, tiempo, materiales empleados y demás datos que permitirán obtener una variedad de resultados los cuales son base fundamental para la simulación.

2.1.3.2 Documental.

Técnica utilizada para recolectar información importante de estadísticas documentadas, libros, artículos científicos, manuales, normas nacionales e internacionales como también los datos obtenidos al realizar la simulación del impacto lateral contra un poste.

2.1.3.3 Procedimiento para la selección de la muestra.

- Parque automotor ecuatoriano (Número de vehículos livianos existentes en el país)
- Modelo de vehículo más vendido en el país.
- Siniestros de Transito.

2.1.4 Estructura del Instrumento.

El instrumento utilizado para la recolección de datos se lo realiza mediante la observación que permite recopilar datos estadísticos de ventas, producción, importación de autos de los distintos segmentos que se comercializan y de aquellos cual marca es preferido por los consumidores.

A nivel nacional el sector automotriz es de gran importancia debido a los ingresos económicos y actividades que involucra de forma directa como indirecta; siendo las actividades que se relacionan con este sector: Servicio, Manufactura, Comercio.

Existen 76 marcas de vehículos de diversas procedencias, que rivalizan en atributos, tecnologías y accesorios, para dar a los usuarios numerosas opciones en seguridad, economía y comodidad. (Tecniseuro, 2018)

2.1.4.1 Análisis Cualitativo-Cuantitativo.

La producción de vehículos en el país mantiene una tendencia creciente al transcurrir los años. Llegando a existir 2'444911 vehículos tanto comerciales como livianos en el país. Partiendo de ese punto analizamos que entre vehículos livianos y comerciales existe una diferencia de 2'127541 vehículos entre los cuales se encuentran automóviles, suv y camionetas;



Figura 1-2: Parque automotor Ecuatoriano 2018
Fuente: (AEADE, 2019)

Este sector presenta también una gran diferencia en al cual el segmento con mayor número de unidades son los automóviles con 1'046150. Motivo por el cual enfocamos nuestro análisis en este segmento.

De acuerdo a la norma NTE INEN 2656, CLASIFICACION VEHICULAR; existen varias subclases de vehículos en el país, pero específicamente en el sector de automóviles tenemos la subclase M1 dentro de la cual abarcan vehículos tipo hatchback, minivan, utilitario, coupe, sedan, minivan, limosina.

Unidades según Año de Fabricación								
SEGMENTO	Año modelo menor a 1990	Año modelo desde 1991 hasta 2000	Año modelo desde 2001 hasta 2005	Año modelo desde 2006 hasta 2010	Año modelo desde 2011 hasta 2013	Año modelo desde 2014 hasta 2016	Año modelo superior al 2017	TOTAL GENERAL
AUTOMÓVIL	73.565	137.636	128.094	200.929	176.588	111.351	56.283	884.446
CAMIONETA	99.746	90.962	76.612	120.708	93.618	64.498	22.254	568.398
SUV	25.621	48.789	52.771	100.322	92.024	77.143	38.042	434.712
PESADO	28.012	26.003	34.102	49.006	39.018	34.957	6.920	218.018
TOTAL	226.944	303.390	291.579	470.965	401.248	287.949	123.499	2.105.574

Fuente: Registros SRI / Elaboración: CINAIE

Nota1: Parque Automotor Circulante considera los vehículos que presentan al menos como última matrícula registrada en el año 2013
 Nota2: Segmentos pesados agrupa vehículos especiales
 Nota3: Segmento camionetas agrupa vehículos tipo furgoneta

Figura 2-2: Parque automotor circulante según CINAIE
 Fuente: (ANUARIO 2018, 2018)

En el parque automotor los automoviles representan un gran porcentaje, lo cual permite entender que los consumidores optan por estos vehiculos, seguido de las camionetas, suv y camiones. La presencia de los automoviles es el 42% del total del parque automotor ecuatoriano

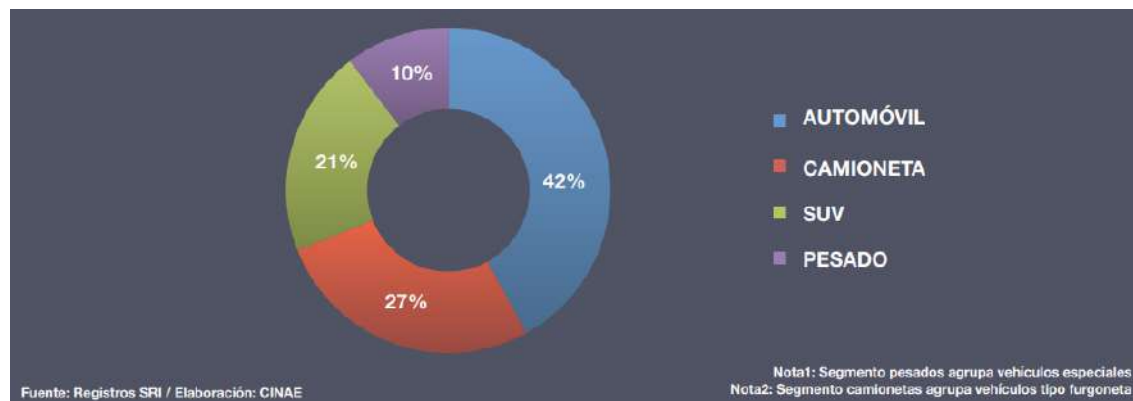
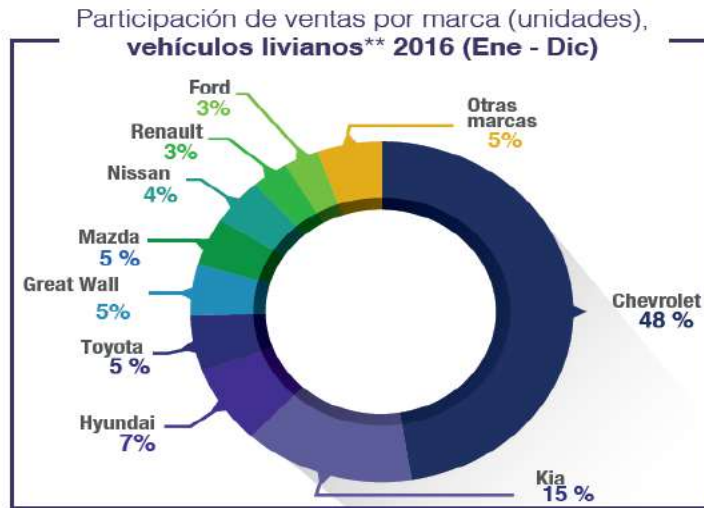


Gráfico 1-2: Participación porcentual del parque automotor circulante
 Fuente: (ANUARIO 2018, 2018)

Según estadísticas de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE, permite percatarnos de la participación que tienen las marcas respecto a la venta de sus vehículos; siendo Chevrolet quien lidera el mercado con sus diferentes modelos de vehículos comerciales bajo la categoría vehículos livianos.



*Vehículos livianos: automóviles, camionetas, SUV

Gráfico 2-2: Participación de ventas por marca de vehículos livianos
Fuente: (AEADE, 2017)

Analizando la información existen nos percatamos que existe una tentativa e marcas que lideran el mercado nacional a través de los años, los principales vehículos son los vehículos livianos de las marcas: Chevrolet, Kia y Hyundai. (AEADE, 2017)

Unidades Ensambladas por Marca y Modelo (2013-2017)

ENSAMBLADORA	MARCA	SEGMENTO	MODELO	2013	2014	2015	2016	2017
GM OBB DEL ECUADOR	CHEVROLET	AUTOMÓVIL	AVEO 4P. EMOTION ADVANCE 1.6	837	483	552	48	-
			AVEO 4P. T-250 1.6	72	-	-	-	-
			AVEO 4P. T-250 FULL 1.6	2.183	3.121	4.151	309	-
			AVEO 4P. T-250 STD.1.6	48	-	-	-	-
			AVEO 4P. TAXI STD.1.6	117	-	-	-	-
			AVEO EMOTION ADVANCE GLS AC 1.6 4P 4X2 TM	-	-	-	624	576
			AVEO EMOTION GLS AC 1.6 4P 4X2 TM	-	-	-	4.156	2.160
			AVEO FAMILY STD 1.6 4P 4X2 TM.	9.491	9.192	7.389	3.844	7.001
			CHEV. TAXI TM 1.6 4P 4X2	84	154	130	-	-
			CHEV. TAXI TM STD.	-	16	39	-	-
			SAIL 1.4 4P 4X2 TM.	11.412	9.854	5.769	4.076	1.441
			SAIL 1.4 5P 4X2 TM.	743	937	672	480	288
			SAIL NG 1.5L 4DR CA TM SE	-	-	-	-	5.810
			SAIL NG 1.5L 4DR CA TM SX FULL	-	-	-	-	338
SAIL NG 1.5L 4DR SA TM SL	-	-	-	-	1.201			

Figura 3-2: Unidades ensambladas en la ensambladora GM – OBB
Fuente: (ANUARIO 2018, 2018)

La ensambladora Omnibus B B ensambla el modelo Aveo Family STD 1.6 4P 4X2 TM, que será el que utilizaremos para desarrollar la simulación del impacto lateral contra un poste, detalla el número de unidades presentando una gran diferencia respecto a los demás modelos ensamblados.

En lo que respecta a la producción local, se evidencia un crecimiento del 42% en el número de unidades ensambladas en el país respecto al 2009. Alrededor del 60% de los vehículos producidos

localmente fueron comercializados en el Ecuador, mientras que el 40% restante se destinó a la exportación. (Chevrolet, 2016)

Se aprecia en la siguiente tabla que es un modelo preferido por los consumidores en el país; siendo características importantes para elegir este modelo para el presente trabajo.

Unidades Vendidas por Modelo (2016-2017)				
MODELO	MARCA	2016	2017	Part. 2017
AVEO FAMILY STD 1.5 4P 4X2 TM	CHEVROLET	4.085	6.635	14,5%
SAIL LS AC 1.5 4P 4X2 TM	CHEVROLET	-	4.921	10,8%
AVEO EMOTION GLS AC 1.6 4P 4X2 TM	CHEVROLET	4.218	2.875	6,3%
SPARK GT FULL AC 1.2 5P 4X2 TM	CHEVROLET	565	2.704	5,9%
SAIL AC 1.4 4P 4X2 TM	CHEVROLET	3.380	1.867	4,1%
ACCENT 1.6 4P 4X2 TM	HYUNDAI	1.154	1.849	4,0%
RIO LX AC 1.4 4P 4X2 TM	KIA	-	1.530	3,3%
IONIQ AC 1.6 5P 4X2 TA HYBRID	HYUNDAI	69	1.205	2,6%
PICANTO LX AC 1.2 4P 4X2 TM	KIA	-	1.139	2,5%

Figura 4-2: Unidades vendidas por modelo según CINAE
Realizado por: (ANUARIO 2018, 2018)

2.1.5 Procedimiento.

El procedimiento tuvo las siguientes etapas:

Primera Etapa: Aplicamos el método no probabilístico de carácter intencional, analizando los datos aportados por distintas empresas automotrices para establecer la muestra para desarrollar la simulación.

Segunda Etapa: Ensayo de caída libre para la validación del polímero elastómero D30 mediante la creación del modelo por elementos finitos en Ls-Dyna.

- Condiciones de Contorno.

Inicialmente las condiciones de contorno para la validación del polímero empleadas son las siguientes:

La restricción utilizada en la simulación es la colocación de un elemento rígido “rigid” el cual permite que dos grupos disjuntos el uno respecto del otro, de un modelo se modelen como rígidos, creando ID distintas para que se muevan de forma independiente.

- Aplicación de cargas.

No se aplica cargas al modelo. En este caso se considera el peso propio de cada elemento.

Velocidad Inicial.

Simular el impacto mediante una caída libre de un proyectil no es eficiente numéricamente, motivo por el cual se representa este suceso aplicando una velocidad inicial al impactador colocándolo cerca de la muestra a impactarse; ignorando condiciones como la fricción con el aire.

- **Tiempo de ensayo.**

El tiempo para desarrollar la simulación tiende a ser lo más cercano a instantes posteriores del impacto. Para casos experimentales un valor de tiempo característico es 20 ms, valor que permitirá al impactador tener contacto con la muestra garantizando la consecución del estudio.

- **Hourglass.**

Para elementos de integración reducida hourglass permite reducir el tiempo de ejecución de los cálculos por cada elemento. Para la presente simulación utilizamos los parámetros básicos de Ls-Dyna.

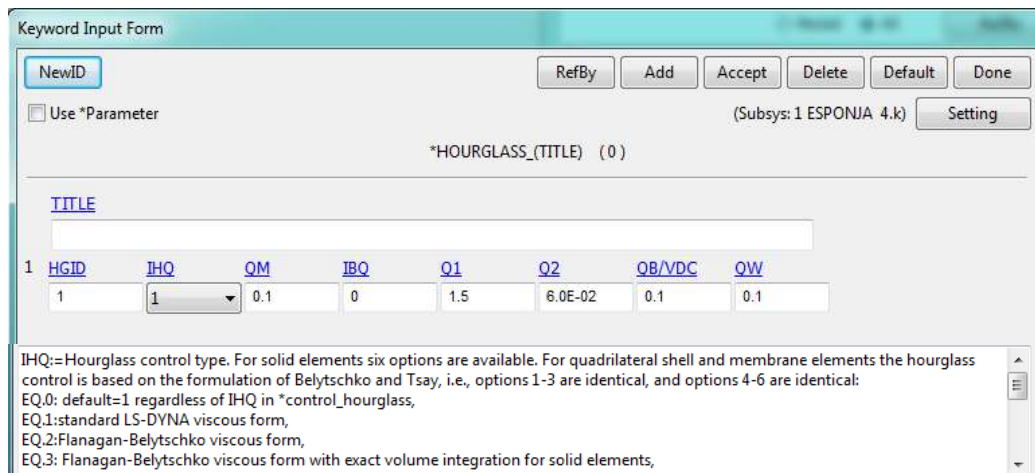


Figura 5-2: Captura de la tarjeta “ Hourglass”

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

- **Contactos e interacciones.**

Los contactos definidos en Ls-Dyna permiten comprender la magnitud y dificultad de algoritmos existentes al analizar el comportamiento que tendrán los elementos. Para esta simulación se requiere contactos que no perforen de manera permanente (plásticas) al polímero utilizando contactos automáticos (automatic_surface_to 52urface). Este contacto requiere parámetros fundamentales:

SSID (slave segment ID): Se coloca el proyectil

MSID (master segment ID): Elemento de la muestra del polímero elastómero D30 donde se impactará el proyectil,

SSTYP/MSTYP: Los más comunes son “Solid”, “Part” y “Segment”.

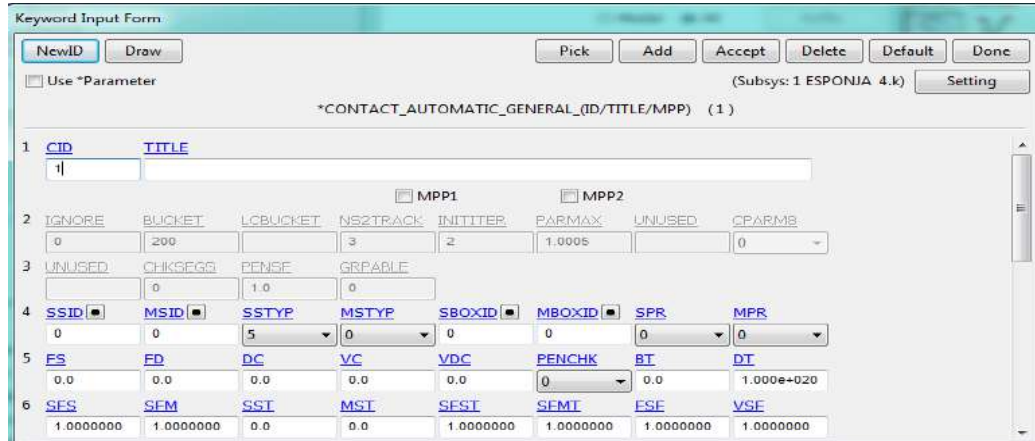


Figura 6-2: Captura de la tarjeta “Contact_Automatic_General”
Realizado por: Omar Yupanqui

Debemos definir los contactos interiores permitiendo la interacción con la espuma. Suelen aparecer errores de volúmenes negativos debido a la alta presión de materiales como la espuma, abortando el cálculo de problemas asegurando la correcta resolución de la simulación si apareciera este error incrementaría el tiempo de solución. Para evitar utilizamos el contacto (part) que se define para una sola pieza. Escogemos el arte relativa del polímero elastómero D30.

- **Base de datos.**

Para obtener los resultados de la simulación los datos se deben almacenar en intervalos de tiempo (1.10⁻⁵ s) la cual se puede visualizar mediante ASCII.

Tabla 1-2: Base de datos de LS Pre post mediante ASCII

GLSTAT	MATSUM
Energía Cinética	Energía Interna
Energía Interna	Energía Cinética
Energía Total	Energía de Hourglass
Energía Ratio	Desplazamiento en x, y, z
Energía de amortiguamiento	Velocidad del elemento solido
Energía de hourglass	Aceleración en x, y, z
Energía deslizamiento	Momento Resultante
Trabajo externo	Energía Total
Velocidad en x, y, z	
Velocidad Resultante	
Tiempo de ciclo	
Elemento de control del tiempo de ciclo	

Fuente: (LSTC, 2017)

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

A continuación, se muestra el esquema para la simulación del ensayo con el polímero elastómero D30.

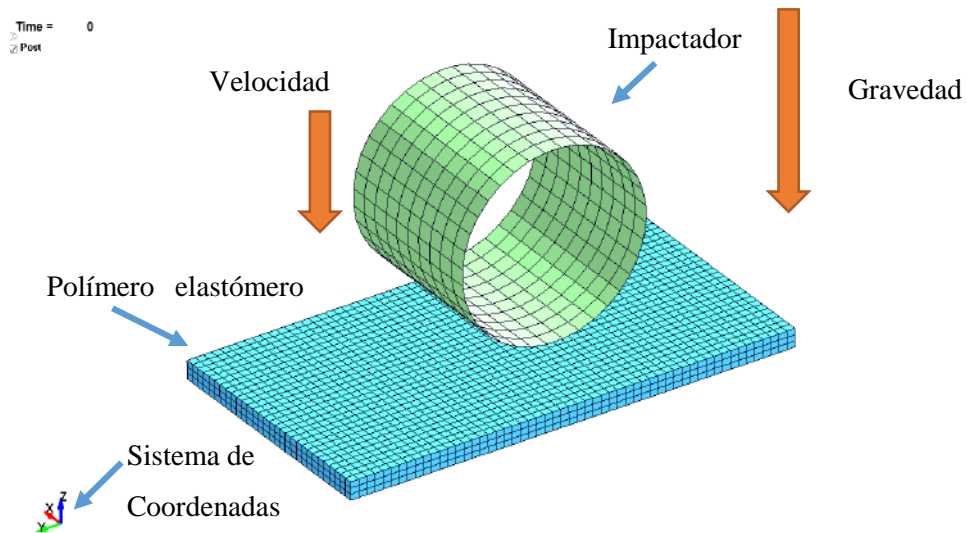


Figura 7-2: Esquema y condiciones de contorno para realizar el ensayo de caída libre
Realizado por: Omar Yupanqui

- Geometría y Mallado.

Impactador

Para el modelado del elemento que impactará a la espuma tenemos como material de referencia el acero ya que es lo suficientemente resistente y posterior al momento de sucintarse el impacto no sufrirá deformaciones plásticas.

Para este material se ha definido en LS Pre Post con “020-RIGID” el cual al simular tiene un comportamiento indeformable lo que quiere decir que la disposición de los nodos no varía después del impacto.

Tabla 2-2: Propiedades del Impactador para la validación del polímero

Propiedades	Impactador
Densidad [Tn/mm ³]	$7.85 \cdot 10^{-9}$
Módulo de Young [MPa]	$2 \cdot 10^5$
Coefficiente de Poisson	0.3

Fuente: (LSTC, 2017)

Realizado por: Omar Yupanqui

Placa de Polímero Elastómero.

La placa de espuma es de un fluido de espesamiento por corte de comportamiento viscoelástico. Se conoce los datos como la densidad, porcentaje de elongación, resistencia a la tracción calculada mediante ensayos experimentales. Para simular este comportamiento debemos buscar un

material que cumpla con estas características como lo es 057_LOW_DENSITY_FOAM utilizado para espumas de baja densidad altamente compresibles utilizada principalmente para comprobar el confort de la espuma bajo el costado del ocupante en las pruebas de choque con maniqués en colisiones laterales (Euro-SID).

MID: Identificación del material

R0: Densidad del material

E: Módulo de Young

LCID: Definición de la curva esfuerzo - deformación

TC: Esfuerzo de tracción

HU: Factor de descarga histórica

BETA: Constante de decaimiento de la fluencia

DAMP: Coeficiente de amortiguación para modelar los efectos de amortiguación

Tabla 3-2: Carta de control de 057_LOW_DENSITY_FOAM.

Card 1	1	2	3	4	5	6	7	8
Variable	MID	R0	E	LCID	TC	HU	BETA	DAMP
Default					10^20	1		0.05
Value	3	0.00401	1.00000	38	10.0000000		0.0	

Fuente: (LSTC, 2017)

Realizado por: Omar Yupanqui

Después de realizar los ensayos experimentales se han adquirido otros valores al analizar las muestras. Debido a la limitación de recursos no se han podido establecer todos los valores necesarios.

Tabla 4-2: Propiedades del Polímero Elastómero D30

Propiedades	Polímero
Densidad	4.011e-10 Ton/mm3
Porcentaje de elongación	265 %
Esfuerzo cortante	10.0000000
Histéresis	1
Carga	4396 N
Velocidad	10000 mm/s

Fuente: (LSTC, 2017)

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Tercera Etapa: Realizamos el modelado del vehículo CHEVROLET AVEO FAMILY STD 1.5 4P 4X2 TM, mediante Solidworks, modelo con el cual se desarrollará la simulación del impacto lateral contra un poste.



Figura 8-2: Renderizado del modelo diseñado en Solidworks utilizado para la simulación
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Como se puede apreciar en la figura el modelado es de gran importancia, así como los componentes que estarán en contacto al impactarse el vehículo, los cuales están detallados en el apartado 1.5.16.

Los elementos que componen el modelo se resumen en la tabla, el tamaño del mallado de los elementos es de 6 y 7 mm, inclusive con tamaños de mallado inferiores a 5 mm con una tolerancia de 0.0001 permitiendo representar la complejidad y características del vehículo siendo primordial en el tiempo de ejecución de la simulación (0.007 ms).

Pre-Procesamiento en LS Pre Post-4.3.

Mediante LS-DYNA LS-PrePost cada parte –part- corresponde a un material, el total de elementos existentes en la simulación corresponden a un material, obteniendo esta información mediante información del fabricante, ensayos de muestras de material tomadas del vehículo. Tener en cuenta esta información permite usar valores de tensión y deformación adecuados para analizar la respuesta que se obtendrá al desarrollar la simulación del impacto lateral.

La versatilidad del vehículo modelado así como el dummie permite mediante los acelerómetros incorporados obtener datos de aceleraciones, desplazamientos, deformaciones y esfuerzos producidos en el impacto.

Después de comprobar las condiciones que se han realizado en el entorno de LS-DYNA se desarrolla la simulación con una velocidad de 32 km/h, con las condiciones que detalla el protocolo

de impacto lateral contra un poste de la Euroncap y la Reglamentación Técnica UNECE No. 95. Realizando la simulación mediante un cálculo explícito con una duración de 150 ms con la intención de captar el impacto inicial utilizando 32 núcleos de procesamiento, siendo aproximadamente el tiempo de simulación de 11 horas.

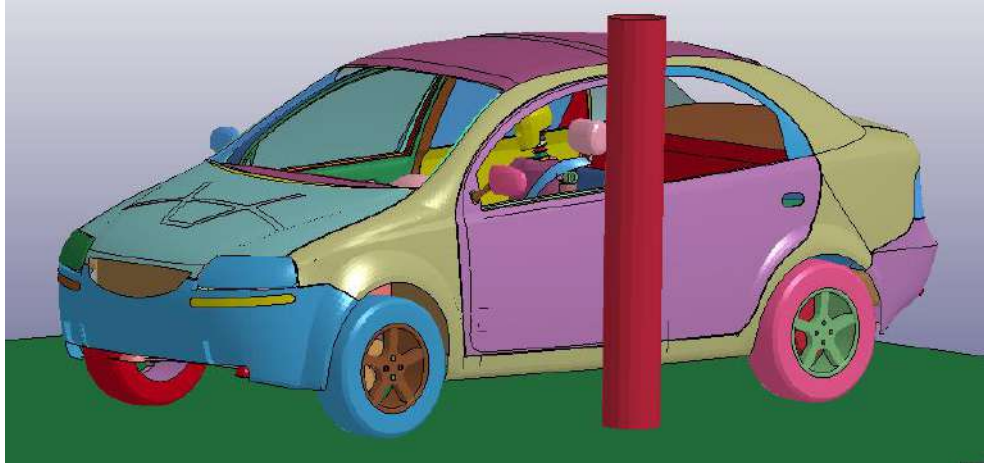


Figura 9-2: Conectividad del modelado geométrico utilizado para la simulación
Realizado por: Omar Yupanqui

El modelo LSTC SID-IIs D representan una quinta percentil de una persona para escenarios de impacto lateral, se caracteriza por ser un modelo de malla gruesa y rápida ejecución.

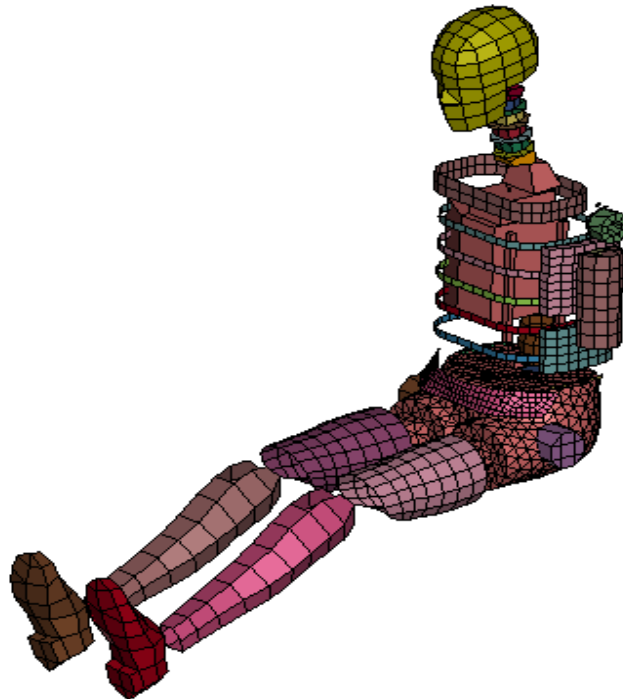


Figura 10-2: Dummy SID-IIs D RÁPIDO
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Tabla 5-2: Características del Dummy SID-IIs D RÁPIDO

Características	Numero total
Partes, seccion, material	345
Nodos	68174
Elementos	116416
- Ejes	322
- Superficies	48383
- Solidos	67615
- Discretos	7
- Acelerometros	16
- Puntos	13
- Masas	22
- Uniones rigidas	38
Superficies de contacto	2
Sistema de coordenadas	42
Curvas y Tablas	21

Fuente: (Corporation, 2009)

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Tiempo de simulación.

El tiempo del análisis es muy importante, debido a que, sin tiempo, la simulación se seguirá realizando sin finalizar y los resultados tendrán a variar. Las cartas de control del modelo se observan en la Figura 13-2.

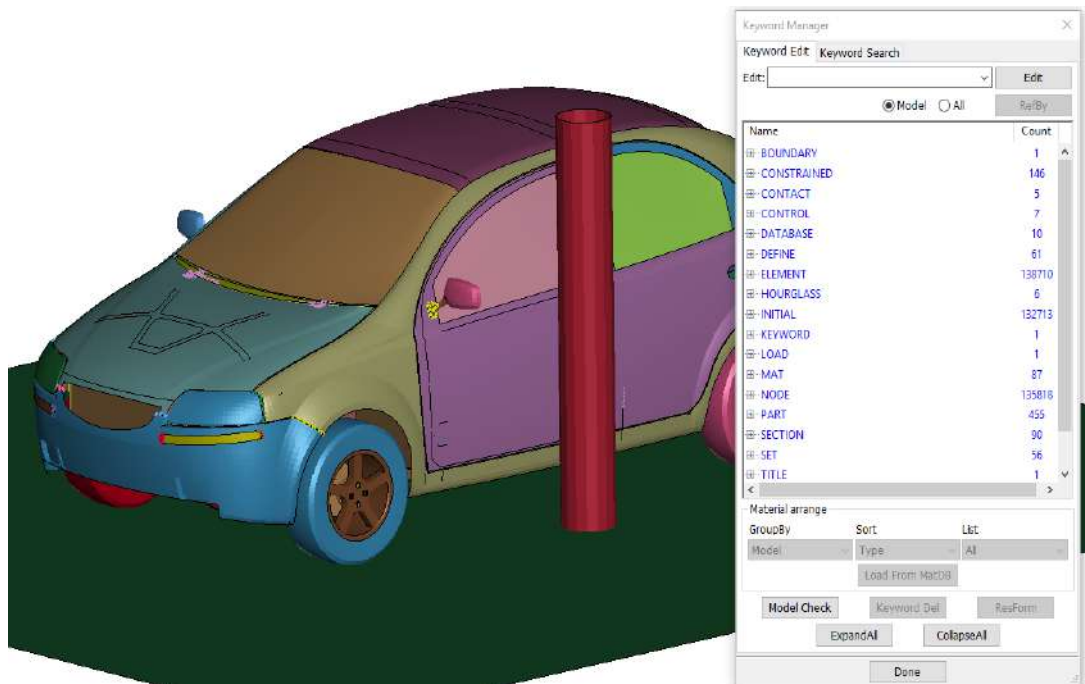


Figura 11-2: Cartas de control utilizado en el modelo
Realizado por: Omar Yupanqui

En este modelo existen 17 cartas de control, las cuales definen la simulación, su duración, las fuerzas y velocidades aplicadas, tipos de contacto entre elementos, materiales empleados, etc.

Tabla 6-2: Cartas de control en la simulación de Impacto lateral contra un poste

CARTAS DE CONTROL			
BOUNDARY	1	KEYWORD	1
CONSTRAINED	146	LOAD	1
CONTACT	5	MAT	87
CONTROL	7	NODE	135818
DATABASE	10	PART	454
DEFINE	61	SECTION	90
ELEMENT	137714	SET	56
HOURGLASS	6	TITLE	1
INITIAL	132713		

Fuente: (LSTC, 2017)

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Contactos e Interacciones.

Para propósitos de esta investigación es necesario establecer 2 simulaciones diferentes, cuya diferencia radica en el material empleado en el tubo redondo de la puerta, esto se observa en la Figura 4.

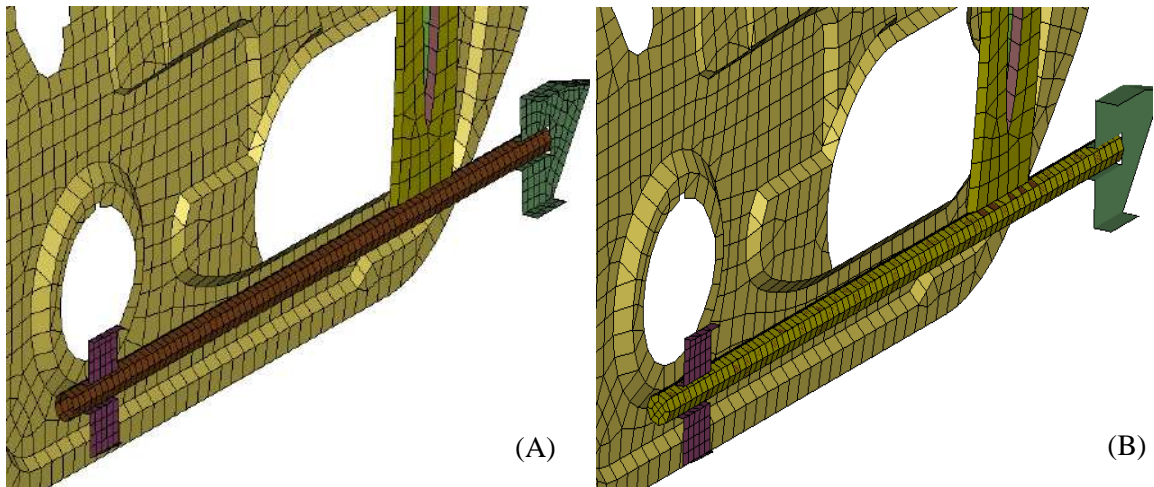


Figura 12-2: Refuerzo principal estándar (A) vs Refuerzo recubierto con el polímero (B)
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

El modelo cuenta con una gran cantidad de elementos de tipo SHELL (cuadrados y triangulares) y de tipo SOLID, unidos mediante nodos compartiendo una topología, asemejándose a la unión de juntas soldadas, de manera los componentes no queden sueltos en la simulación, el número total de elementos se detalla a continuación:

Tabla 7-2: Número de elementos y nodos presentes en el modelo

MODELO	ELEMENTOS	NODOS
Automóvil	131088	128328
Maniquí	7121	4858

Fuente: (LSTC, 2017)

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Asimismo, es necesario comprobar la calidad de malla de los elementos, empleando un factor de Jacobiano de 0.3; la eliminación de los elementos erróneos reduce en gran medida el tiempo que tarda la simulación en realizarse.

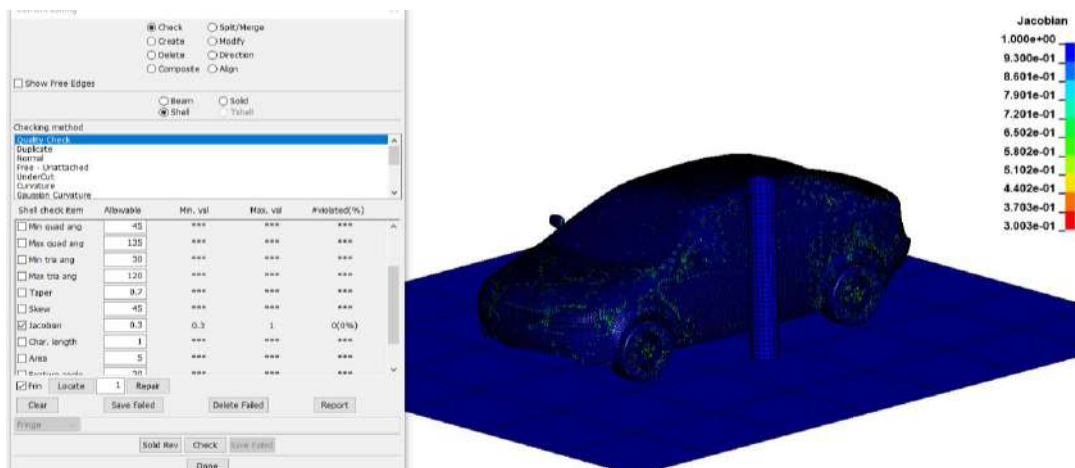


Figura 13-2: Calidad de mallado de los elementos que componen el ensayo

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Resultados obtenidos del mallado de los elementos de la simulación

$$0.3 \min \leq \text{skewness} \leq 1$$

$$\text{Skewness} = 1$$

$$0.3 \min \leq 1 \leq 1$$

Acceptable

Condiciones de borde.

Esta etapa define las características de la simulación como son las fuerzas presentes, gravedad, velocidad del movimiento, tiempo, material a emplearse, contacto entre componentes, etc. Para ello, se define en primer lugar el espesor de los elementos y el material de los mismos.

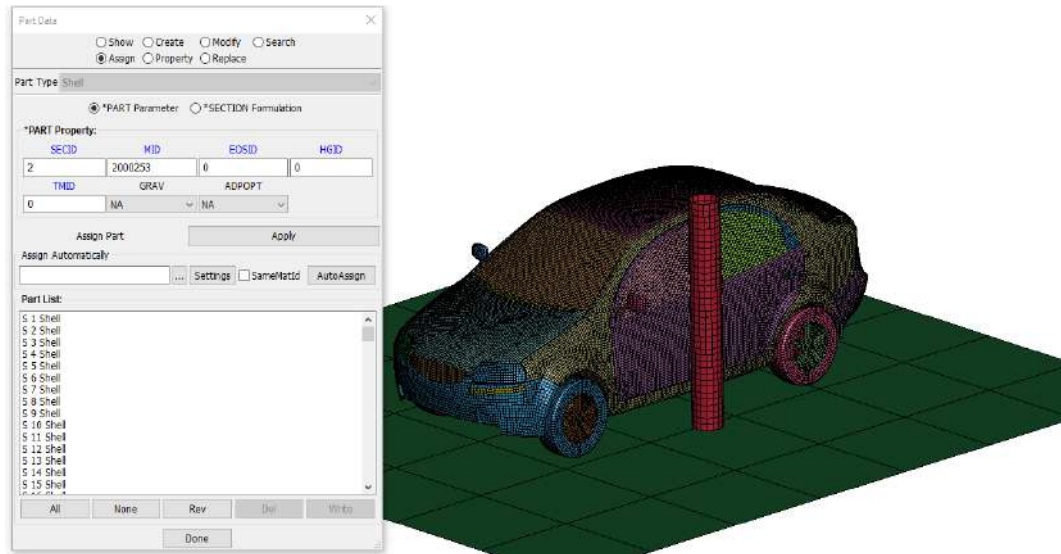


Figura 14-2: Definición de espesores y material.
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Los espesores empleados se detallan en la Tabla 8-2.

Tabla 8-2: Espesores empleados en el análisis.

ESPESTORES	FORMULACIÓN
1.575 mm	Integración 61omplete del elemento
1 mm	Integración Belytschko-Tsay
2 mm	Integración Belytschko-Tsay
3 mm	Integración Belytschko-Tsay
4 mm	Integración Belytschko-Tsay
5 mm	Integración Belytschko-Tsay
7.9 mm	Integración Belytschko-Tsay

Fuente: (LSTC, 2017)

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Materiales.

Los materiales son de gran importancia debido a que las propiedades existentes en cada material caracterizaran las piezas del vehículo según correspondan en LS-DYNA.

MAT_001_MAT_ELASTIC: Representa un material hipo elástico e isótropo, aplicable tanto a elementos solidos como a elementos de placa o viga (LSTC, 2017).

En este caso las partes que se han modelado con este material se aprecia en la figura (de abajo) entre las cuales podemos mencionar ruedas, motor, transmisión, soportes de los acelerómetros, batería.

Las ruedas son modelizadas como tipo shells, diferenciando la banda de rodadura y el flanco como también los montantes del motor. Como solidos se aprecia la transmisión, motor batería.

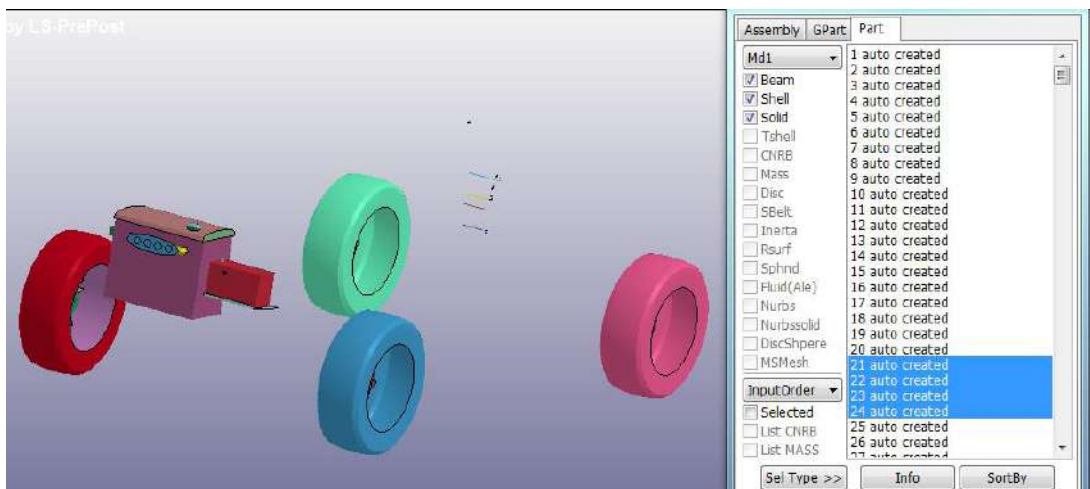


Figura 15-2: Elementos MAT_001_MAT_ELASTIC
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

MAT_006_VISCOELASTIC: e supone que las propiedades viscoelásticas están asociadas con el componente amorfo. Antes de entrar en la complicada subrutina de materiales defined, estudiamos los modelos de material viscoelástico LS-DYNA incorporados. Para fines de estudio, asignamos *MAT 006 material para la fase amorfa. Este modelo de material proporciona un modelo general de Maxwell viscoelástico que tiene hasta 6 términos en la expansión de la serie prony y se utiliza para modelar la fase amorfa. (LSTC, 2017)

MAT_009_MAT_NULL: Utilizado para modelar capas superficiales externas de los sólidos (MAT_01) que se encontrarán en contacto con los demás cuerpos. Este material no se considera al momento de calcular tensiones y deformaciones reduciendo el tiempo de simulación. El módulo de elasticidad y Poisson lo utilizamos para calcular la rigidez del contacto para aquello se necesita de valores reales. (LSTC, 2017)

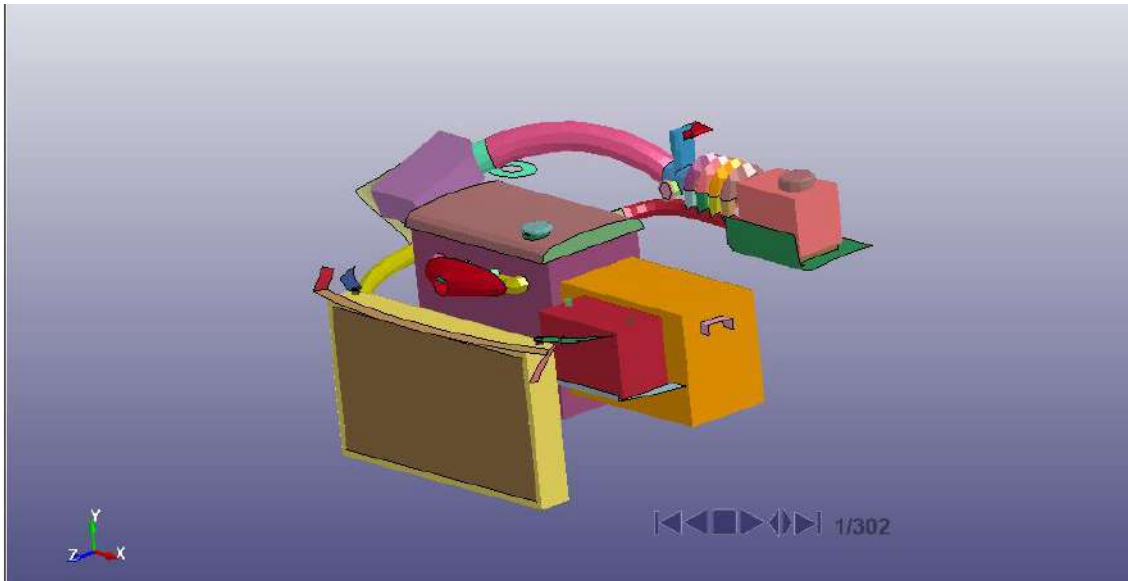


Figura 16-2: Elementos MAT_009_MAT_NULL
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

MAT_020_RIGID: Material utilizado en la modelación de piezas que son parte de un cuerpo rígido, asignando las propiedades para su comportamiento como material rígido; se puede asignar esta propiedad a solids, beams, shells. En este caso se asigna el material a discos de freno, dirección, suspensión, bisagras del capó.

Las propiedades inerciales de las puertas modelizadas con este material se pueden definir calculándose a partir de la geometría de los elementos a modelizar y la densidad asignada a cada uno de ellos, que es la manera por defecto; o, alternativamente, especificando manualmente las propiedades inerciales y velocidades iniciales en la tarjeta de caracterización del material, sobrescribiendo así los valores calculados por defecto. Otra característica impuesta por defecto son las restricciones direccionales del cuerpo que se rigidiza, de manera que los grados de libertad no se actualizan con el tiempo, es decir, con el movimiento. (LSTC, 2017)

Lo que se consigue con este material es una modelización aproximada de las partes que se desea tratar como rígidas, aunque no lo sean en su constitución física real, a efectos de comportamiento. Al igual que con el MAT_009 los elementos modelizados con este material no se tienen en cuenta en el procesamiento; no obstante, en estos sí se realizan cálculos de tensiones internas y deformaciones, es decir, cuentan para el ensamblaje de la matriz de rigidez general, sin embargo estos no se almacenan en el historial de variables, reduciendo el tiempo de simulación. (LSTC, 2017)

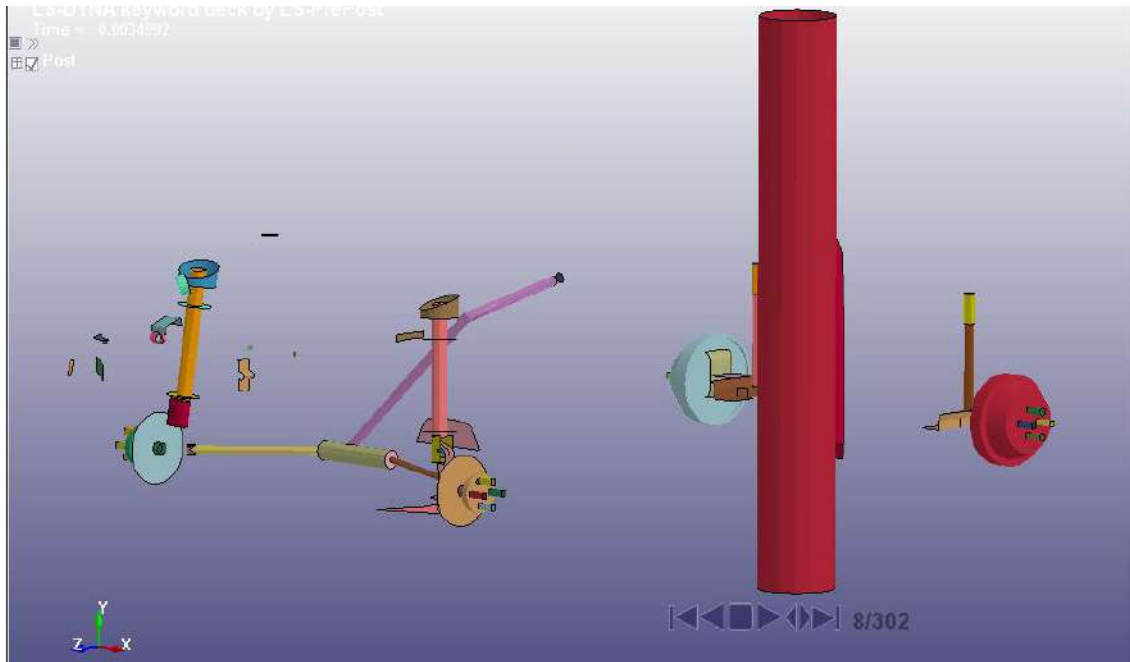


Figura 17-2: Elementos MAT_020_RIGID

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

El módulo de Young, el coeficiente de Poisson de estos materiales se utiliza para determinar los parámetros de la interfaz deslizante –capa externa superficial- cuando la pieza rigidizada con este material interactúa en un contacto, como el caso de las capas para materiales sólidos, y al igual que en estos, dichos valores han de ser realistas, pues se corre el riesgo de incluir en problemas numéricos en el contacto; generalmente la falta de rigidez lo que conlleva a penetraciones no deseadas. (LSTC, 2017)

MAT_024_MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY: En su mayoría las piezas del vehículo corresponden a este material, representando el comportamiento elastoplástico cuasi lineal o linealidad por tramos. Agrupando varios componentes, desde componentes internos hasta externos como algunas capas del parabrisas y faros, predominando los aceros.

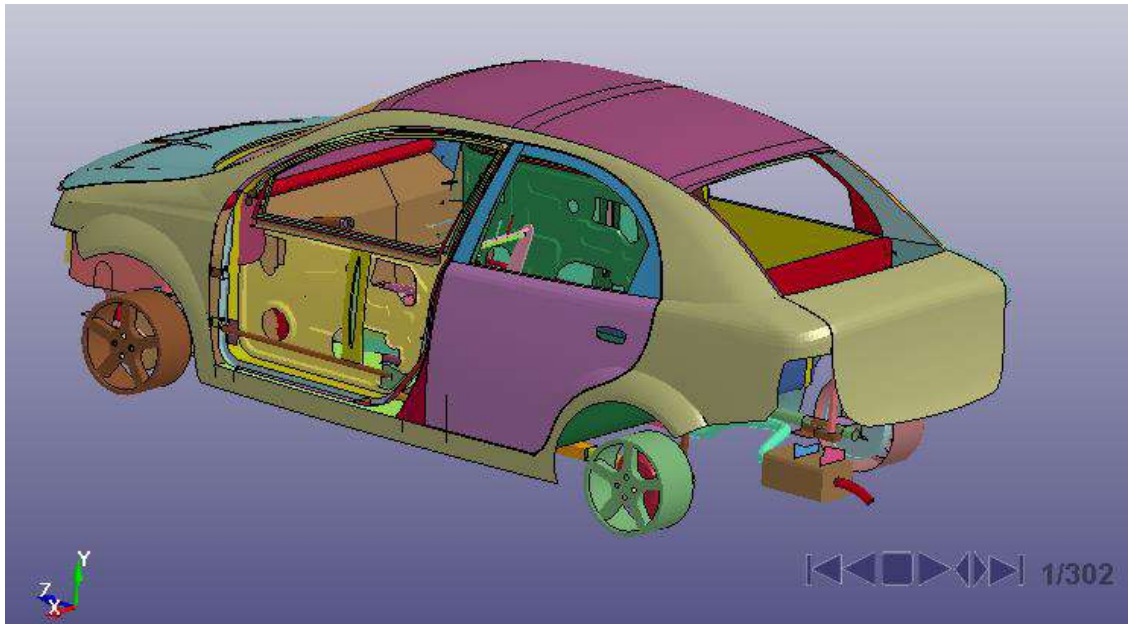


Figura 18-2: Elementos MAT_024_MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Para caracterizar este material se realiza mediante curvas de tensión – deformación, deformación porcentual; considerándose una deformación lineal en función de la velocidad, módulo de Young, modulo tangencial, deformación plástica, módulo de poisson, modulo elástico, limite elástico. Los efectos que se cuantificaran al desarrollarse la simulación en LS-DYNA existen por medio de formulaciones específicamente para este material como escalonamiento del límite elástico, formulación visco plástica, formulación Cowper – Symonds. Para componentes no metálicos se implementa la formulación de escalonamiento y para elementos metálicos formulación Cowper-Symonds.

MAT_027_MAT_MOONEY-RIVLIN_RUBBER: Material que requiere parámetros como la densidad, módulo de Poisson, parámetros A y B los cuales son datos de desplazamiento de carga de un ensayo; para establecer el comportamiento del caucho. Basándose en modelos fenomenológicos de Mooney y Rivlin en el cual las ecuaciones constitutivas consisten en una función donde la energía de deformación depende de la tensión. Sin embargo el bajo número de parámetros limita la respuesta. (Bondy, 2013)

MAT_057_MAT_LOW_DENSITY_FOAM: Se define aquí los materiales tipo espuma: asientos, parachoques delantero y posterior, radiador; considerados materiales de baja densidad (menor a 20 g/l) y alta compresibilidad. Características de este material son el módulo de elasticidad, curva de tensión-deformación, factor de descarga histórica, coeficiente de rigidez de la interfaz de contacto. (LSTC, 2017)

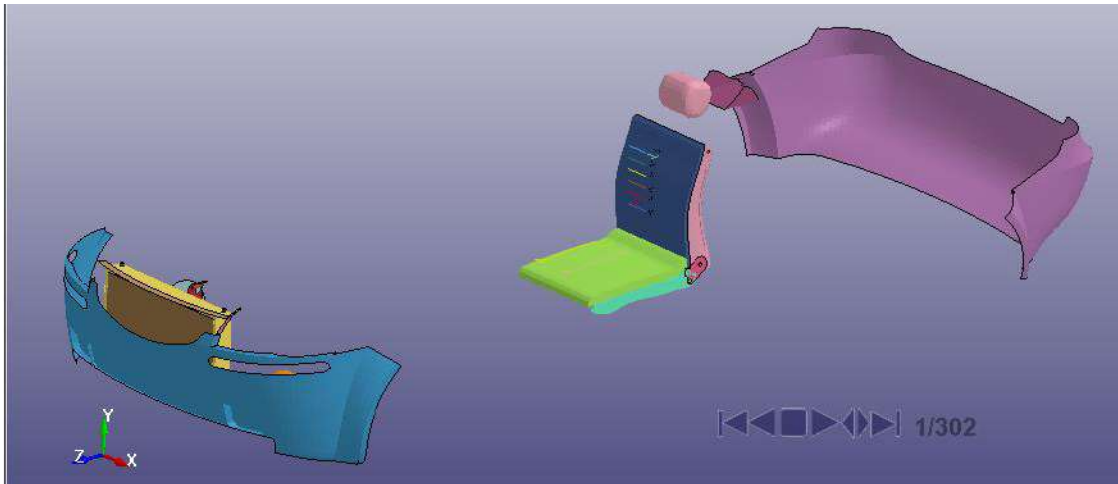


Figura 19-2: Elementos MAT_057_MAT_LOW_DENSITY_FOAM
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

La principal peculiaridad de este modelo de material es que soporta dos comportamientos distintos, tanto para carga y descarga como para tensión y compresión. Para el estado de carga se comporta de forma lineal. Mientras que para la descarga la recuperación de forma sigue un patrón de histéresis, este comportamiento se modeliza mediante factores proporcionales, como se muestra en la fig. Por su parte el comportamiento en tensión de este material se considera lineal elástico, y se modeliza mediante el módulo de Young, pero no así el comportamiento en compresión. El cual se modeliza mediante la curva de tensión nominal – deformación, entendiendo dicha deformación en términos de elongación la cual se define a su vez en términos de estiramientos. (LSTC, 2017)

MAT_123_MAT_MODIFIED_PIECEWISW_LINEAR_PLASTICITY:

Este material es similar al material MAT_024 diferenciándose en que se considera un criterio de malla mejorada, el MAT_024 el criterio de fallo se basa en la deformación plástica efectiva, la deformación principal en el plano del elemento o un incremento del tiempo mínimo. Definiendo con este material las ventanas, capas de los parabrisas delantero y posterior.

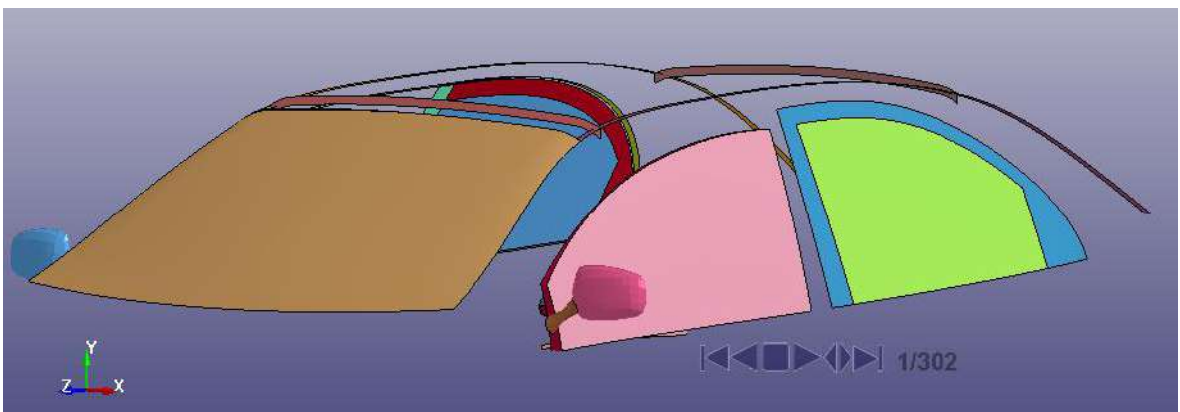


Figura 20-2: Elementos MAT_123_MAT_MODIFIED_PIECEWISW_LINEAR_PLASTICITY
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

MAT_066_LINEAR_ELASTIC_DISCRETE_BEAM: Este modelo de material se define para simular los efectos de un conector elástico lineal por utilizando seis resortes, cada uno actuando sobre uno de los seis grados-de-libertades locales.

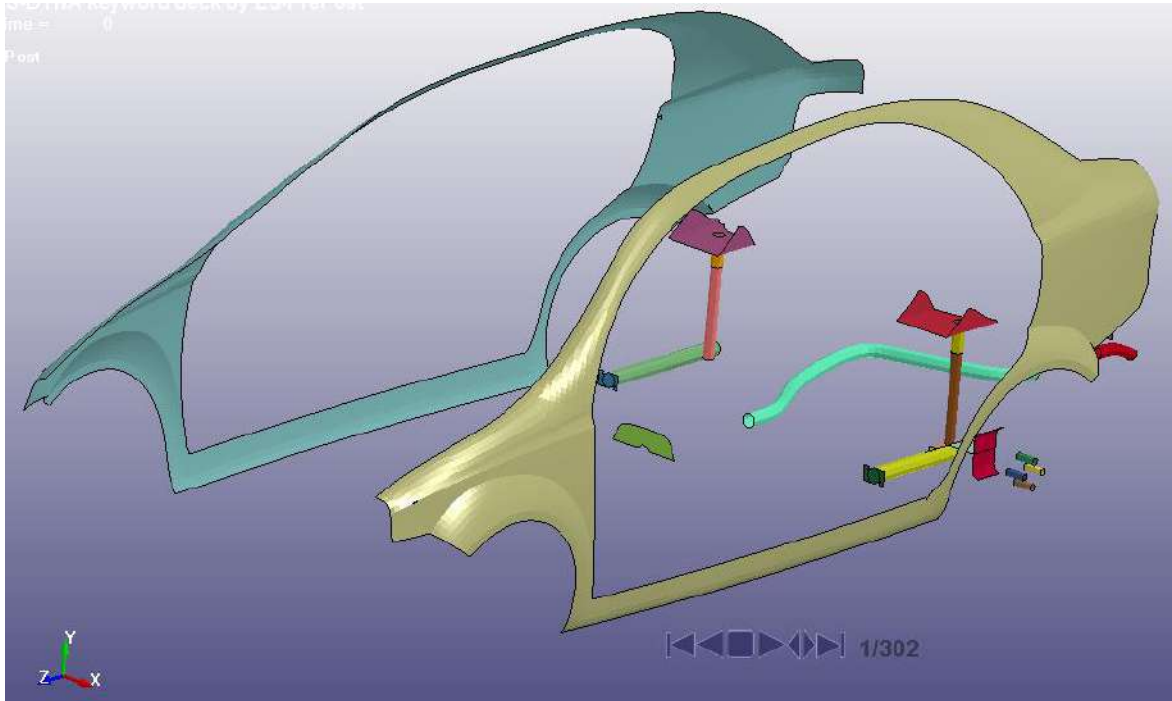


Figura 21-2: Elementos del MAT_066_LINEAR_ELASTIC_DISCRETE_BEAM
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

El vehículo tiene generalmente muelles verticales y amortiguadores por lo tanto la rigidez traslacional y el amortiguador viscoso traslacional alrededor del eje (a lo largo del eje del elemento del conector) fue definido. Por lo tanto, se pudo aplicar un elemento de haz discreto en lugar de un conjunto de dos muelles.

MAT_067_NONLINEAR_ELASTIC_DISCRETE_BEAM:

El sistema de absorción de impacto se destina a mitigar las fuerzas de presión y los impactos. En el análisis de choque, las barras absorben una parte del impacto por lo tanto se simularon como cuerpos deformables.

Los resortes y amortiguadores no se modelaron como objetos tridimensionales. En su lugar se aplicó vigas de dos nodos con el material MAT_LINEAR_ELASTIC_DISCRETE_BEAM Este modelo de material se define para simular los efectos de una viga elástica lineal mediante el uso de seis resortes, cada uno de los cuales actúa alrededor de uno de los seis grados de libertad locales. (Dziewulski, y otros, 2014)

El vehículo tiene generalmente resortes y amortiguadores verticales por lo tanto la rigidez de traslación y la rigidez de rotación se definieron un amortiguador viscoso. Rigidez para las direcciones transversales y los ejes fueron sobreestimadas significativamente para evitar la traslación en el plano horizontal. (Dziewulski, y otros, 2014)

MAT_S01_SPRING_ELASTIC:

Se trata del tipo de material para elementos discretos. Esto proporciona un resorte elástico traslacional o rotacional ubicado entre dos nodos. Sólo un grado de la libertad está conectada. Con un coeficiente K de rigidez elástica (fuerza/desplazamiento) o (momento/rotación). (Bondy, 2013)

ACELEROMETROS:

Los acelerómetros multiaxiales en el maniquí físico son una composición de varios acelerómetros uniaxiales. La aceleración en dirección X de cada uno de los nodos del acelerómetro representa la dirección única en la que el acelerómetro físico individual mide la aceleración. Las dos imágenes siguientes del acelerómetro de la cabeza se muestran como ejemplo. La primera imagen muestra el modelo grueso. Para reducir el número de elementos, no se modelaron los cuerpos de los acelerómetros, sólo las cabezas. La segunda imagen es del modelo detallado que muestra los acelerómetros y su dirección de medición, que está en la dirección x local (flechas rojas).

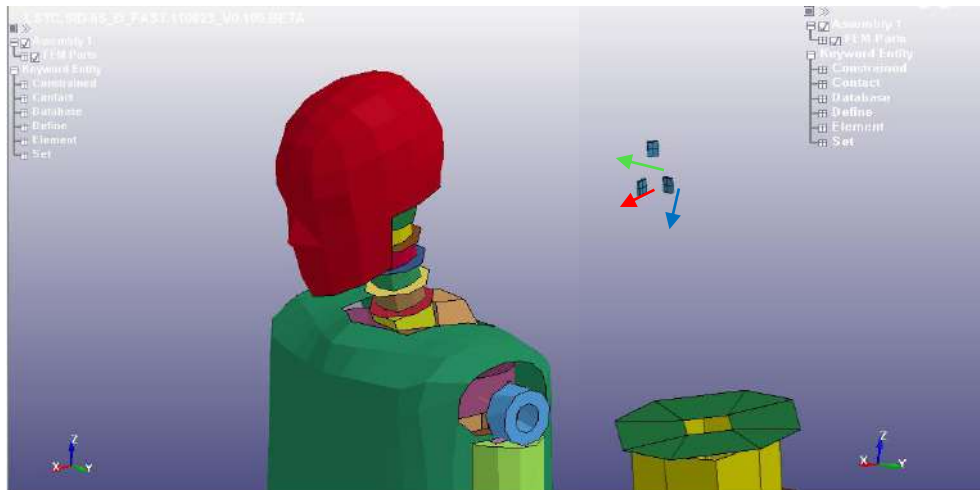


Figura 22-2: Ubicación de los acelerómetros en la cabeza del dummy
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

La dirección X del acelerómetro rojo (flecha roja desde el centro de la cabeza del acelerómetro, nodo 131688) mide la aceleración frontal. La dirección X del acelerómetro verde (flecha verde desde el centro de la cabeza del acelerómetro, nodo 131706) mide la aceleración lateral. Y la dirección X del acelerómetro azul (flecha roja desde el centro de la cabeza del acelerómetro, nodo

131724) mide la aceleración vertical del centro de la cabeza del maniquí, la dirección X de los acelerómetros es la única medida de aceleración válida, la dirección de los sistemas de coordenadas de los acelerómetros es independiente del sistema de coordenadas global.

La caracterización de los materiales es importante, por ende, se ingresan las curvas características de cada uno, dichas curvas pueden observarse en la Figura 25-2 y Figura 26-2.

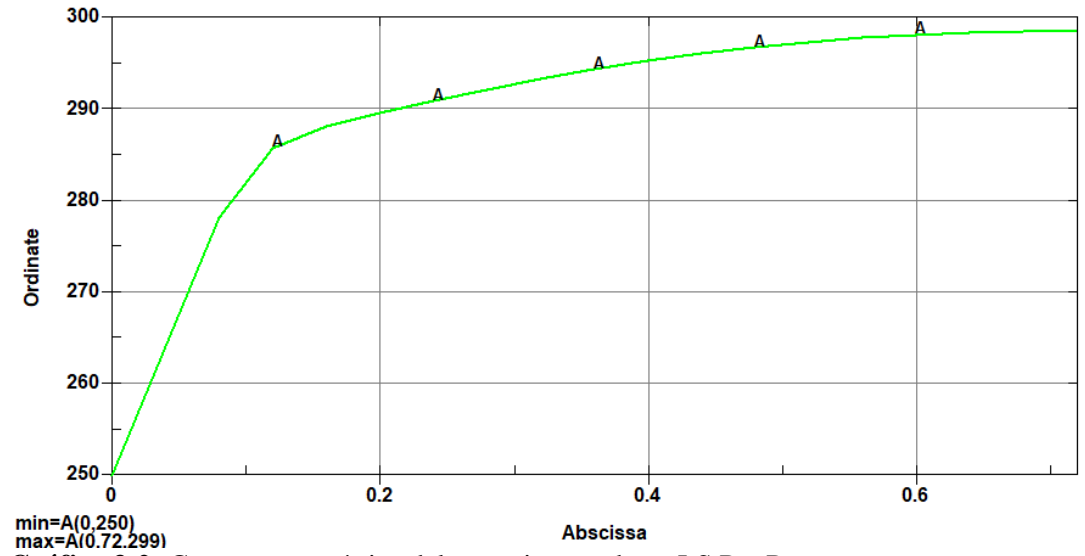


Gráfico 3-2: Curva característica del acero ingresada en LS Pre Post

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

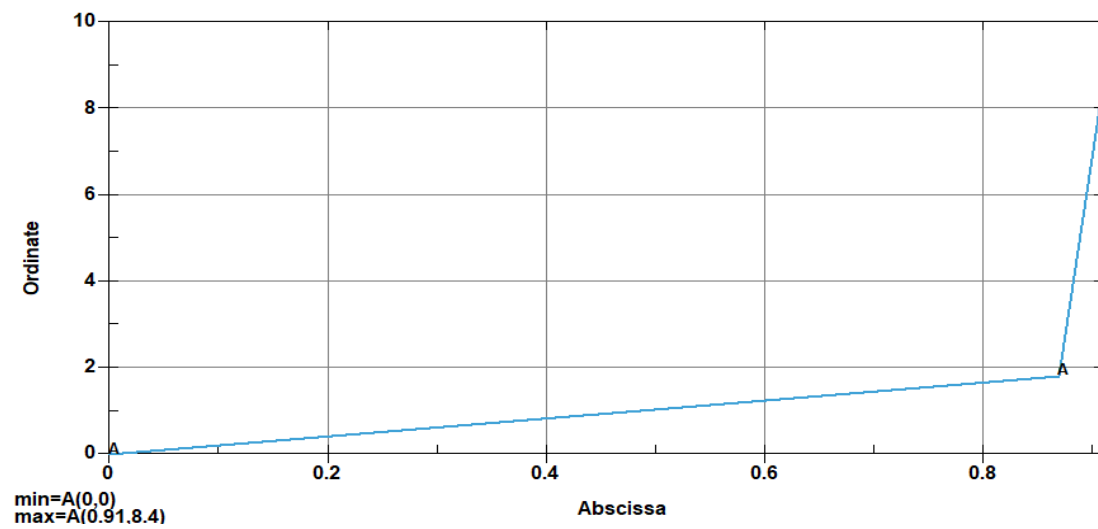


Gráfico 4-2: Curva característica del polímero elastómero D30 ingresada en LS Pre Post

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

CONFIGURACIONES:

Detallamos las distintas operaciones adicionales que se realiza en las propiedades del modelo

UNIDADES

El modelo viene caracterizado con las unidades fundamentales de LS-DYNA las cuales son: toneladas (ton), milímetros (mm), segundos (s), kelvin (°K) para la masa, longitud, tiempo, temperatura, respectivamente. De esta combinación de unidad resultante de la fuerza es Newton (N). Establecidos los espesores y los materiales de cada componente, es necesario establecer los soportes fijos del sistema, al igual que la velocidad a la cual impacta el vehículo contra el poste.

RESTRICCIONES

Con relación a los “constrained” este grupo de entidades permite restringir los grados de libertad en nodos para cuerpos rígidos y articulaciones cinemáticas.

EXTRA_NODES_NODE,

EXTRA_NODES_SET, se definen como un grupo de nodos que se agregarán a un cuerpo rigidizado, permitiendo que este grupo de nodos se defina fuera del contorno de la pieza al que se unirá.

JOINT_REVOLUTE, JOINT_SPHERICAL, estas entidades permiten definir restricciones de grados de libertad entre cuerpo 1 – nodo 1, cuerpo 2 – nodo 2, correspondiendo al movimiento relativo existente entre ellos.

NODAL_RIGID_BODY, se considera el nodo central o nodo master siendo el primer nodo al cual se han de asignar los 6 grados de libertad independientes permitiendo que los g.d.l de los demás nodos dependientes se restringen

RIGID_BODIES, su propósito es la unión de dos cuerpos rígidos de los cuales el uno es independiente y el otro dependiente. En este caso el cuerpo dependiente se incorpora al cuerpo independiente de manera que la inercia del cuerpo resultante se calcula con la combinación de las inercias del cuerpo independiente más las de todos los cuerpos dependientes unidos a él.

Cada cuerpo independiente o dependiente actualiza el movimiento de sus nodos independientemente de los demás cuerpos, por ende, no pueden existir nodos comunes entre los distintos cuerpos ya que esta condición causaría una doble restricción sobre el mismo nodo produciendo incompatibilidad de movimientos. (LSTC, 2017)

CONTACTOS.

El tratamiento de contacto forma parte integral de muchos problemas de gran deformación. El modelado preciso de las interfaces de contacto entre cuerpos es crucial para la capacidad de predicción de las simulaciones de elementos finitos. (LSTC, 2017)

El tratamiento de contacto bidimensional permite que las cargas de compresión se transfieran entre los nodos esclavos y los segmentos maestros. Las cargas tangenciales también se transmiten si se produce un deslizamiento relativo cuando la fricción de contacto está activa excepto que las subrutinas que verifican la penetración de los nodos esclavos, se llaman por segunda vez para verificar la penetración de los nodos maestros a través de los segmentos esclavos. En otras palabras, el tratamiento es simétrico y la definición de la superficie esclava y la superficie maestra es arbitraria ya que los resultados serán los mismos.

AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE, En el análisis de fallos este tipo de contacto, se usa en las simulaciones de choques ya que la orientación de las partes entre sí no siempre se puede anticipar ya que el modelo sufre grandes deformaciones. Este tipo de contactos automáticos verifican la penetración a cada lado de un elemento de carcasa.

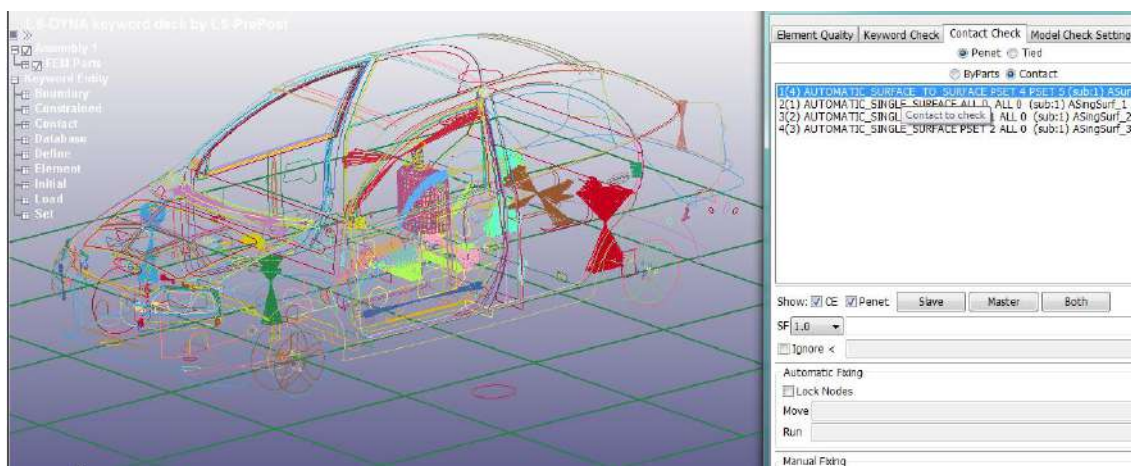


Figura 23-2: Contacto **AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE**
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Para el análisis de fallos empleamos **CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE**. El contacto entre superficies se utiliza especialmente para aplicaciones resistentes a los choques. La superficie FIJA se define como una lista de ID de piezas. No se define ninguna superficie maestra, se considera el contacto entre todas las partes de la lista de superficies FIJAS, incluido el auto-contacto de cada parte. Si el modelo se define con precisión, estos tipos de contacto son muy confiables y precisos. Sin embargo, si hay muchas incrustaciones en la configuración inicial, los balances de energía pueden mostrar un crecimiento o una disminución de la energía a medida que avanza el cálculo. (LSTC, 2017)

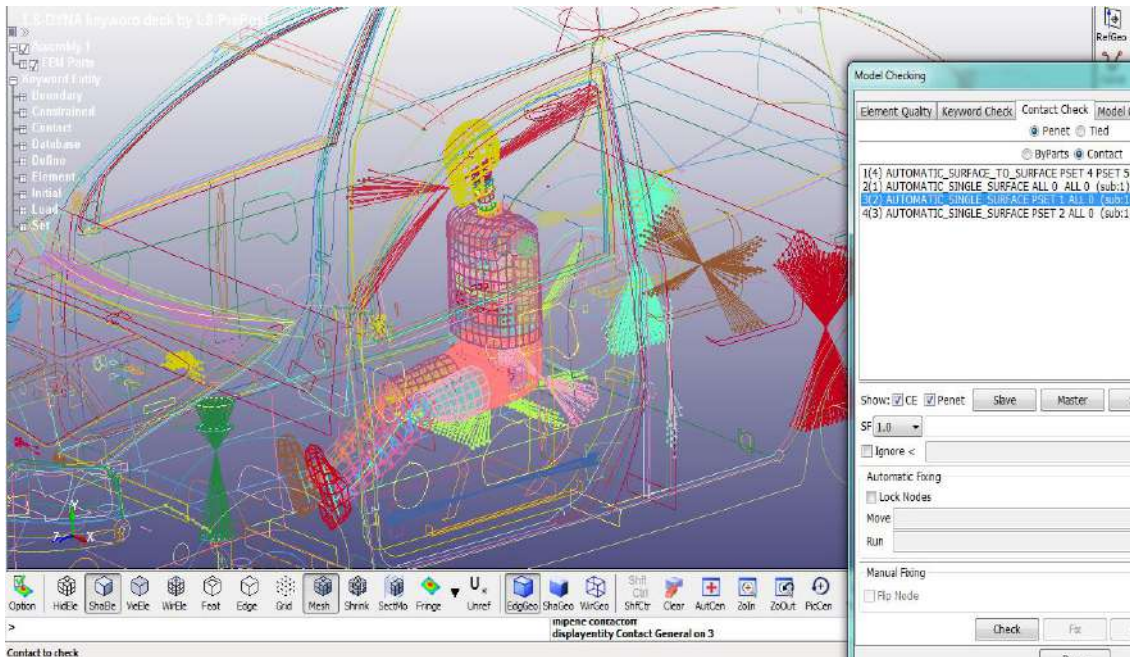


Figura 24-2: Contacto AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

POSTE

Se ha modelado el poste contra el cual se impactará el vehículo según lo detalla los apartados 6.2.1, 6.2.2 del Protocolo Obligatorio de Impacto lateral contra un poste de la EURONCAP.

El poste rígido es una estructura metálica vertical que comienza a no más de 102 mm por encima del punto más bajo de los neumáticos en el lado de impacto del vehículo de ensayo y que se extiende al menos 100 mm por encima del punto más alto del techo del vehículo de ensayo.

El poste tiene un diámetro de 254 ± 3 mm y está separado de cualquier superficie de montaje, como una barrera u otra estructura, de modo que el vehículo no entre en contacto con dicho soporte en ningún momento dentro de los 100 ms de la iniciación del contacto entre el vehículo y el poste.

SENSORES

Los sensores se trata específicamente de los acelerómetros los cuales en LS DYNA el modelado de estos elementos se los realiza por elementos unidos rígidamente a los nodos de los cuales se va recopilar los datos al momento de suscitarse el impacto, son cubos de material rígido los cuales dependen estrictamente de la dirección en la cual se ubiquen para recopilar la información.

Los ELEMENT_SEATBELL_ACCELEROMETER permiten definir numéricamente un acelerómetro permitiendo obtener una señal con un reducido ruido numérico facilitando el postproceso por su lectura de datos en puntos fijos más no sobre puntos deformables.

VELOCIDAD DE IMPACTO

Acorde al apartado 7.1.3 del Protocolo de EURONCAP la velocidad será de 32km/h. Magnitud la cual al ingresar en LS DYNA por criterio de unidades se convierte en 8945 mm/s.

La alineación que debe tener el vehículo con el elemento a impactarse debe cumplir con el apartado 7.2.1 en el cual el vehículo de ensayo se propulsará de manera que, cuando se produzca el contacto entre el vehículo y el poste, la dirección del movimiento del vehículo forme un ángulo de $75^\circ \pm 3^\circ$ con la línea central longitudinal del vehículo.

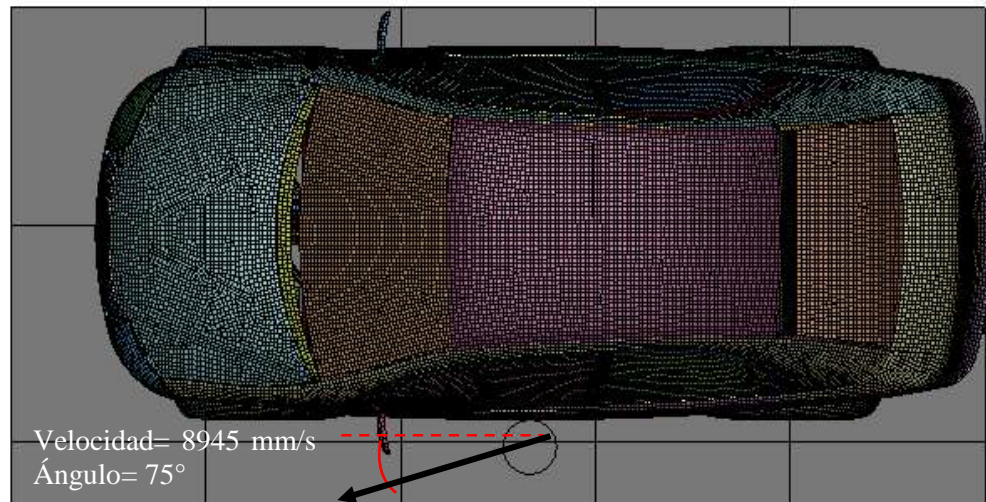


Figura 25-2: Ángulo y velocidad de impacto lateral
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

De igual manera los soportes fijos se localizan en el poste y la plataforma transportadora para el análisis, de manera que los componentes actúen como elementos rígidos. En el lapso de tiempo de 0 a 0.2 segundos se puede ver el comportamiento del modelado en la zona plásticas, el tiempo total de la simulación es de 0.150 segundos.

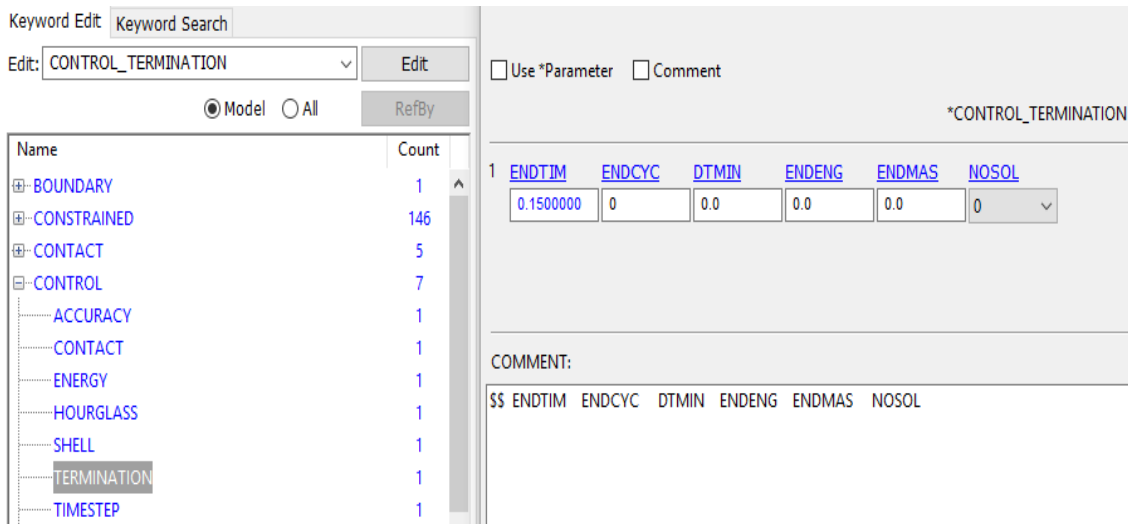


Figura 26-2: Tiempo de duración de la simulación del impacto lateral
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

GRAVEDAD

La opción LOAD_BODY se utilizó para imponer cargas gravitacionales sobre el vehículo. Para este caso se especificó la dirección vertical para la aceleración de 9810 mm/s² (9,81 m/s²) en el eje Y. La curva de carga se la definió como una curva lenta para evitar una respuesta de alta frecuencia. La relajación dinámica se aplicó a tensiones y deformaciones en el modelo para simular la precarga causada por la gravedad. (Dziewulski, y otros, 2014)

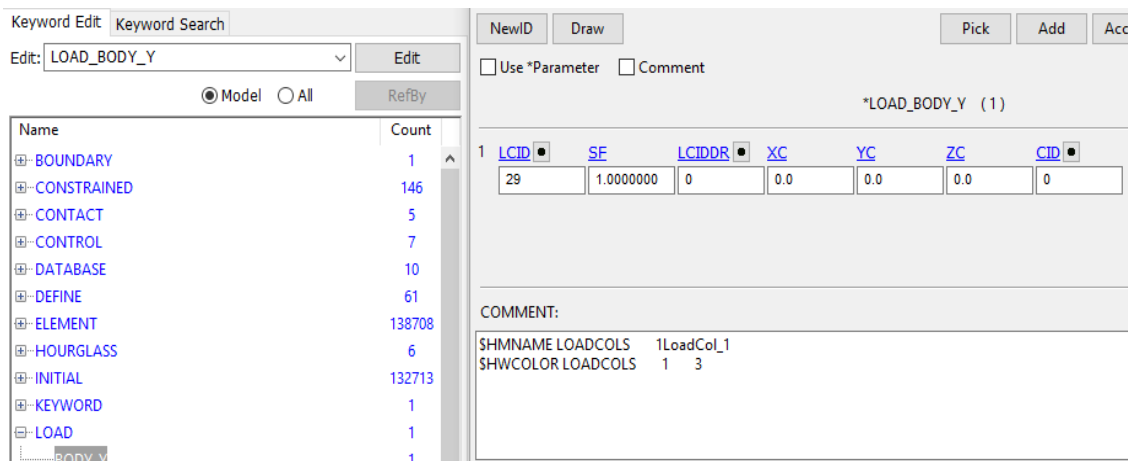


Figura 27-2: Condición de la gravedad para la simulación del impacto lateral
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Establecidas las condiciones de borde, se calcula el peso e inercia del vehículo, como se observa en la Tabla 9-2.

Tabla 9-2: Medidas Inerciales y centro de gravedad del vehículo

Medidas Inercial		
Masa		
0.921669 Tn		
Centro de Gravedad		
CGx= 1055.57	y = 594.677	z = -1895.8
Inercia sobre el sistema global		
Ixx = 1.3132e+06	Ixy = -39.9078	Ixz = 8319.73
Iyy = 1.48667e+06	Iyz = 46631.2	Izz = 405050
I11 = 1.48868e+06	I22 = 1.31327e+06	I33 = 402968

Fuente: (LSTC, 2017)

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

```

Message
measure select 1
measure inertia all
Mass=0.921669, CG: x=1055.57 y=594.677 z=-1895.8
Inertia about global system:
Ixx=1.3132e+06, Ixy=-39.9078, Ixz=8319.73
Iyy=1.48667e+06, Iyz=46631.2, Izz=405050
I11=1.48868e+06, I22=1.31327e+06, I33=402968
measure select 0
    
```

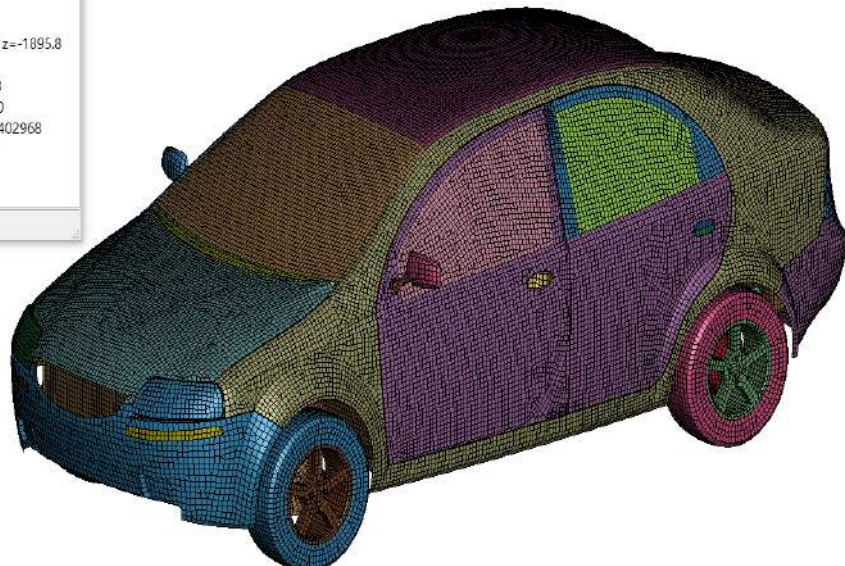


Figura 28-2: Cálculo de inercia y peso del vehículo

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

HOURGLASS

EL control de las energías es un conjunto de movimientos rotacionales y traslacionales presentes en elemento 2D y 3D los cuales permiten que se produzca un cizallamiento sin incrustación de ninguna energía generando un valor cero en deformaciones y esfuerzos; siendo de vital importancia en elementos como placas, solidos, superficies con puntos únicos de integración

En caso de ser esta energía alta muestra que este modelo presenta fallas.

Hourglass permite también que las energías no se descontrolen al momento del impacto al aparecer un valor de hourglass alto la mejor manera de reducir este valor es mediante la refinación de la malla.

Para evaluar la energía hourglass, el punto es confirmar que al graficar la energía interna y hourglass de una parte, la relación debe ser menor al 10% como regla general. (Support, 2019)

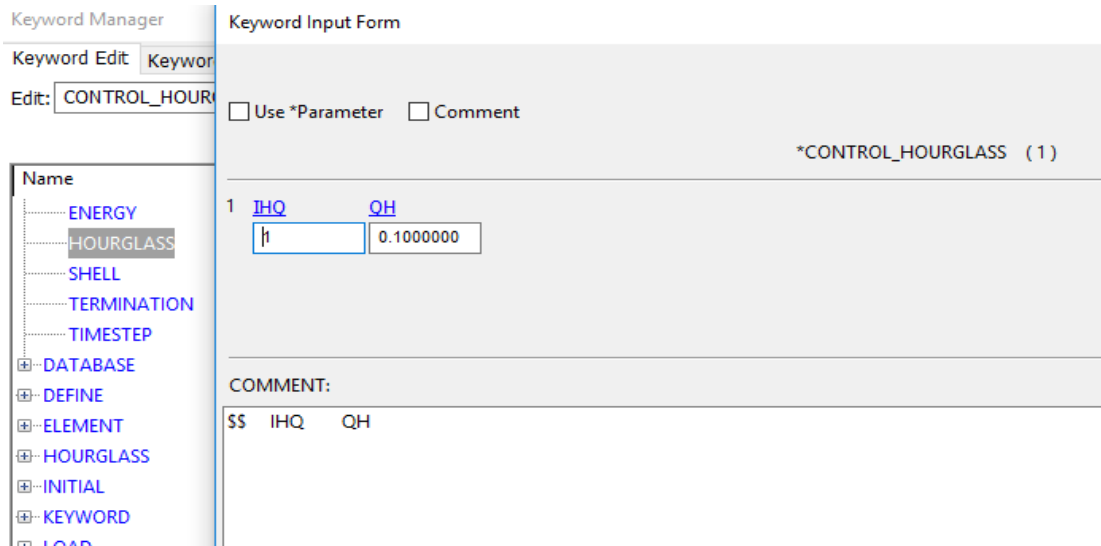


Figura 29-2: Configuración de Hourglass para la simulación de impacto lateral
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Establecidas las condiciones antes mencionadas, se procede con la solución del análisis mediante el software LS-DYNA, y se espera por la resolución del mismo.

2.2 Matriz Involucrados.

Tabla 10-2: Matriz

GRUPOS INVOLUCRADOS	INTERES	POSIBLE PROBLEMAS	TECNICAS
Simulación	Permite visualizar el resultado al realizar el Impacto lateral contra el poste	Velocidad de Impacto	Toma de datos de Protocolos de Impacto Información recolectada de la Regulación UNECE 95
Dummy	La posición dentro del habitáculo será de gran importancia para la toma de dato de los acelerómetros.	Ubicación de los acelerómetros Puntos de anclaje del sistema de seguridad activa	Análisis de datos establecidos por la EURONCAP

Malla	La calidad de la malla permitirá optimizar el gasto computacional como el análisis	Geometría de malla empleado	Revisión del skenwess Afinamiento de calidad de malla Emplea miento de software para reconfigurar la malla
Polímero elastómero	Dada sus cualidades es importante entender su funcionamiento y lugar de aplicación para que intente reducir la fuerza del impacto	Validación del material Porcentaje de energía disipada insuficiente Puntos de apoyo incorrectos	Revisar el proceso de validación para polímeros Emplear diferentes métodos de ensayo Comparación con elementos similares

2.3 Árbol de problemas

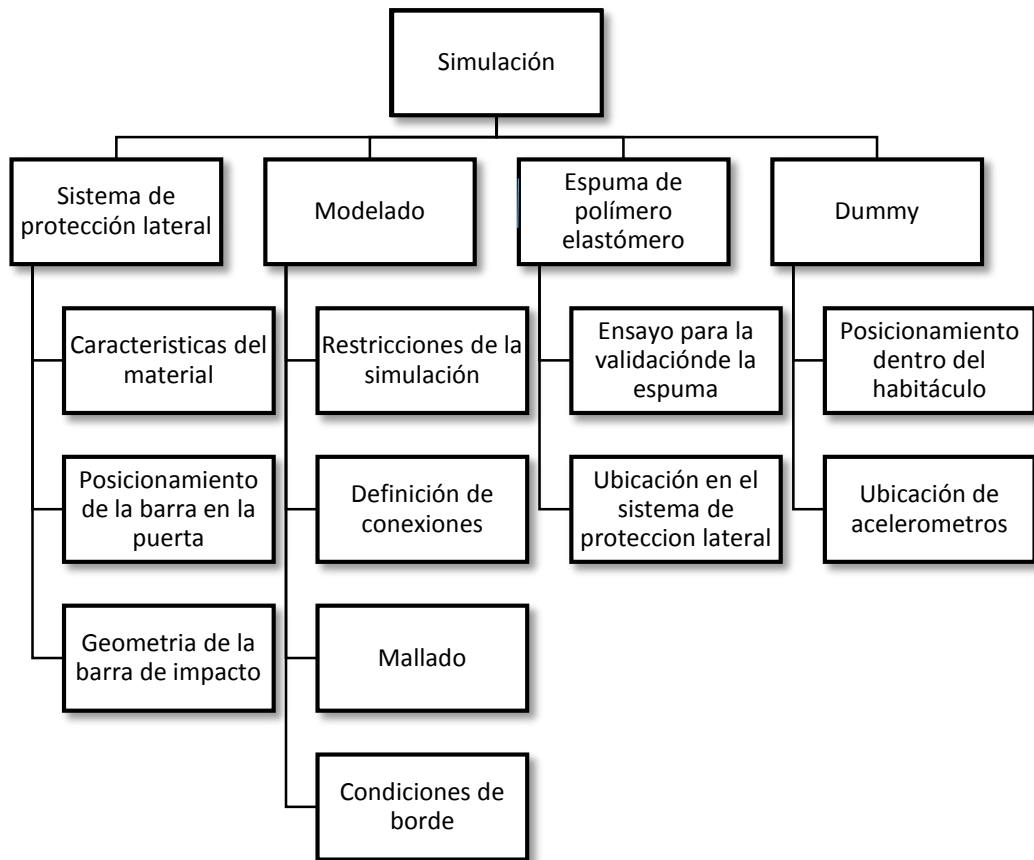


Figura 30-2: Árbol de problemas

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

2.4 Árbol de Objetivos.

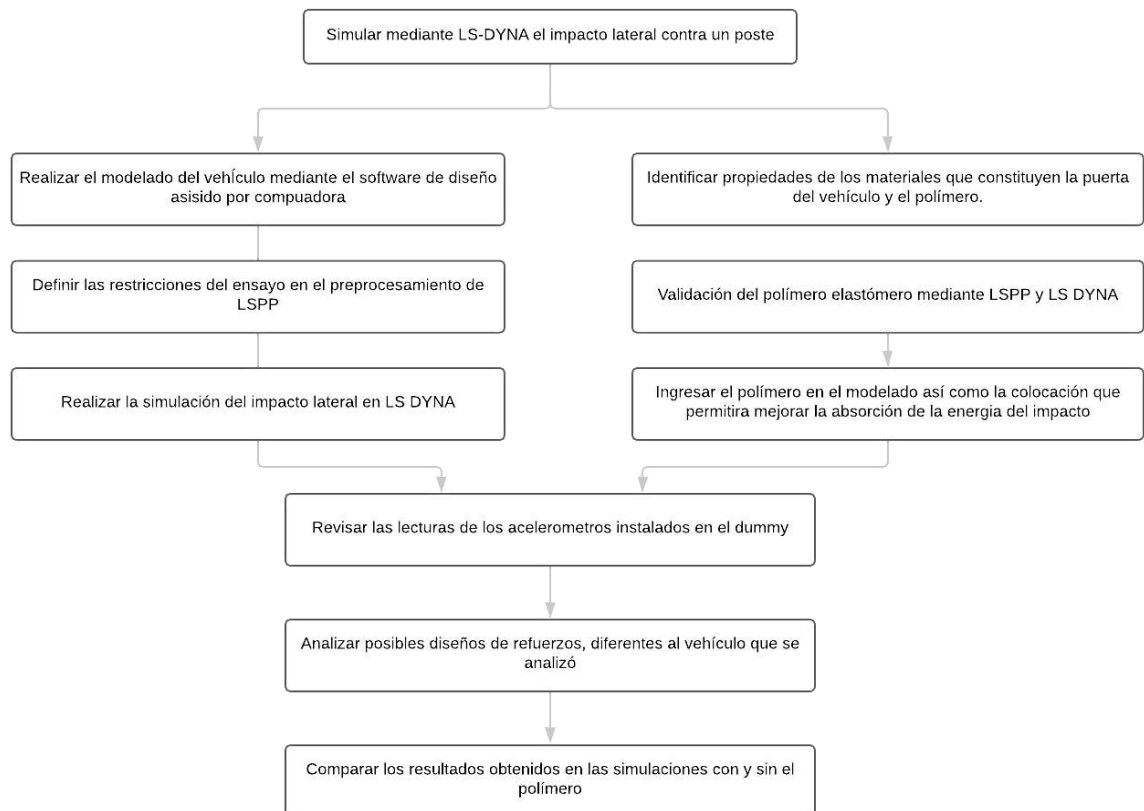


Figura 31-2: Árbol de objetivos

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

2.5 Matriz de marco lógico.

Tabla 11-2: Matriz de marco lógico

	Resumen narrativo	Indicadores objetivamente verificables	Medios de Verificación
Objetivo general o meta	Simular mediante el programa de elementos finitos LS-DYNA el impacto lateral contra un poste en un vehículo hatchback recubriendo al refuerzo principal de la puerta del conductor con la espuma de polímero elastómero D30.	Al finalizar el trabajo de titulación se alcanzará en 100% de las simulaciones de impacto lateral realizadas	Informe de la culminación del trabajo de titulación

Objetivo del proyecto	Realizar las simulaciones de impacto lateral con el sistema de impacto lateral del vehículo analizado y al recubrir el refuerzo principal del sistema de impacto lateral con el polímero elastómero.	Las condiciones introducidas en LSPP para las simulaciones deben ser acorde al comportamiento real así como la geometría de la puerta del conductor y funcionalidad de la simulación sin errores.	Ejecución y Porcentaje de simulación en LS DYNA
Resultados	Las gráficas resultantes de los acelerómetros permiten comparar la energía que se absorbe al analizar los dos casos estudiados, como también la deformación de los elementos inmersos en el impacto y las energías existentes en los casos estudiados.	Mediante ASC II podemos apreciar una variedad de resultados de las simulaciones realizadas	Utilizamos graficas superpuestas para comparar las variables existentes.
Actividades	<ul style="list-style-type: none"> - Recopilar información de protocolos de impactos, normativas - Realizar el modelado de los elementos inmersos en la simulación del impacto lateral - Analizar las gráficas resultantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Información existente - Validación del modelado y materiales 	Comparación de datos obtenidos con los establecidos por la normativa para ensayos de impactos.

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS

3.1 Resultados

3.1.1 Simulación del post procesamiento del impacto lateral contra un poste.

En esta simulación se la realiza con la una velocidad de 32 km/h, el tiempo considerado para realizar el análisis es de 150 milisegundos. Con un tiempo de cálculo computacional de 12 horas. Los resultados de la simulación realizada son muy importantes ya que nos permitirán comparar los cambios existentes entre el sistema de protección lateral con y sin el polímero elastómero dentro de la puerta de un vehículo Aveo, para lo que tenemos las deformaciones existentes, las energías que se llevan a cabo dentro de la simulación y las aceleraciones que se producen en el dummie.

3.1.1.1 Velocidad y Aceleración del vehículo.

La figura 1-3, 2-3; muestran la velocidad y aceleración del vehículo respectivamente en la dirección dónde se va a impactar contra el poste.

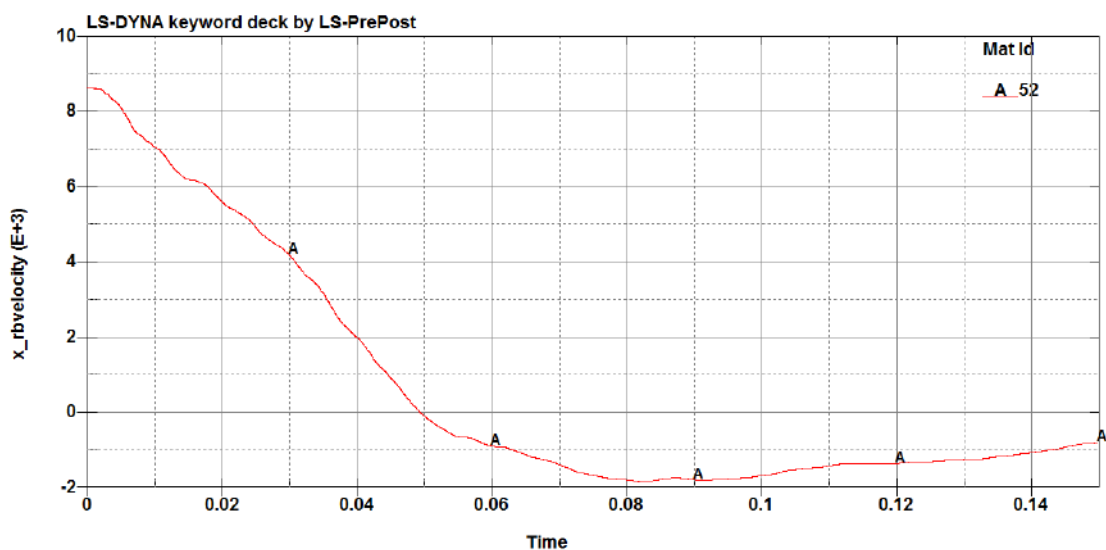


Gráfico 1-3: Velocidad del vehículo medida en el eje X
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

En la figura 1-3 se puede apreciar que la velocidad inicial es constante es decir 8945 mm/ms (32 km/h), hasta el instante de la colisión del vehículo contra el poste. En un $t= 0.005$ ms, se puede apreciar que ya existe un impacto contra la chapa metálica que conforma la parte externa de la puerta. Mientras continua la simulación se aprecia que el vehículo pierde velocidad debido a la resistencia del poste.

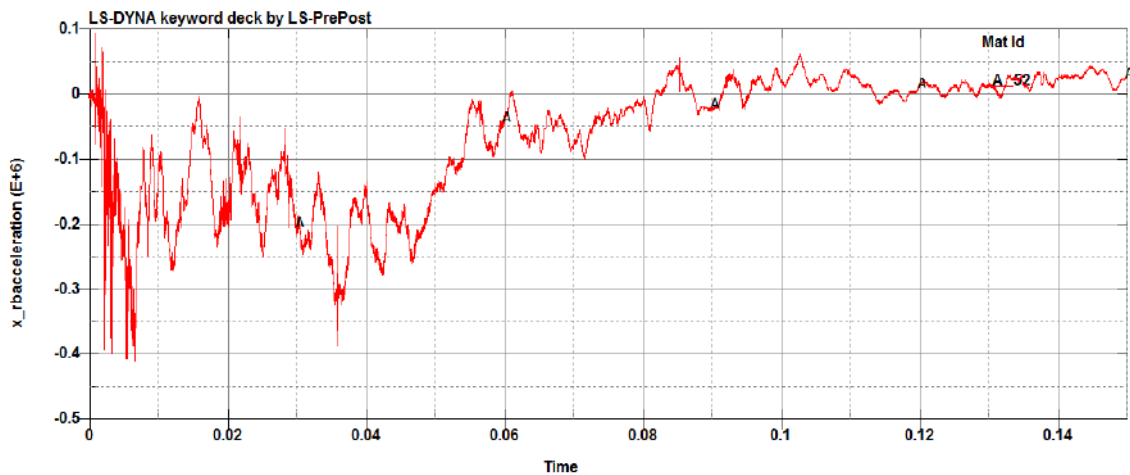


Gráfico 2-3: Aceleración del vehículo medida en el eje x
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

La figura 2-3 permite visualizar que la aceleración del vehículo al inicio es cero debido a que la velocidad impuesta de 32 km/h es constante. Al suscitarse el primer contacto con la puerta del conductor se produce una deceleración, posterior a aquello está presente la resistencia de los componentes del sistema de impacto lateral permitiendo visualizar una variación de desaceleraciones y aceleraciones por ende el impacto lateral está conformado por múltiples impactos pequeños. Este cálculo es de gran complejidad debido a que están inmersos parámetros como la velocidad, resistencia del poste al impacto, inercia del vehículo, centro de gravedad, materiales, dummie, etc.

3.1.1.2 Deformación total en la puerta del conductor

El principal elemento estructural inmerso en el impacto es la puerta del conductor por ende comenzamos por este elemento sin utilizar el polímero elastómero en el refuerzo principal del sistema de impacto lateral.

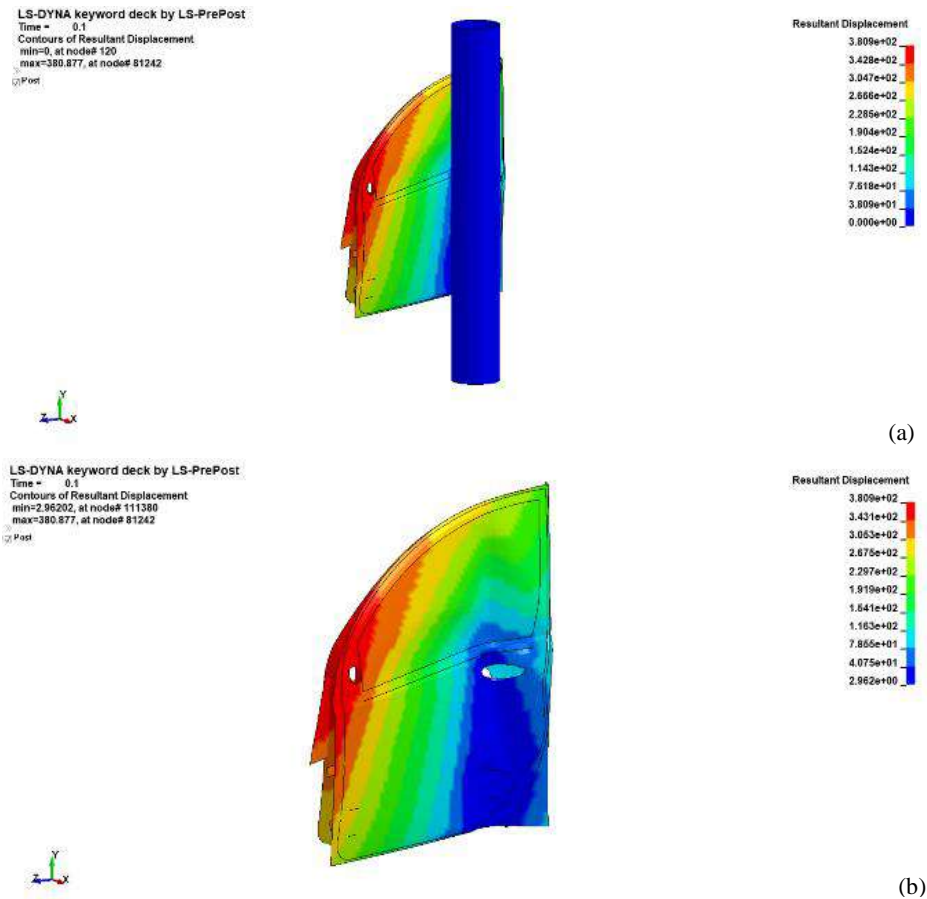


Figura 1-3: Deformaciones en mm producidos sin polímero elastómero
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

En la figura 3-3 se muestra dos imágenes la 3-3 (a) muestra la puerta impactándose contra el poste en un tiempo de 0.1 segundos, mientras que la imagen 3-3 (b) se tiene únicamente la puerta en el mismo tiempo permitiendo apreciar cómo afecta el impacto en la zona de contacto con el poste. La deformación producida tiene un valor de 380.87 mm, esto se debe a que el vehículo mientras se impacta comienza a generarse el hundimiento de la puerta debido al impacto, se aprecia que la mayor deformación se da en la parte delantera de la puerta donde la tonalidad roja muestra la mayor deformación y la menor deformación de color azul.

3.1.1.3 Esfuerzo de Von Misses producidos en el impacto lateral

Para poder conocer el límite elástico existente tendremos que conocer el esfuerzo de von mises así como la tensión máxima admisible del material. En la figura 4-3 se aprecia el esfuerzo de Von Mises producidos en la puerta al suscitarse el impacto.

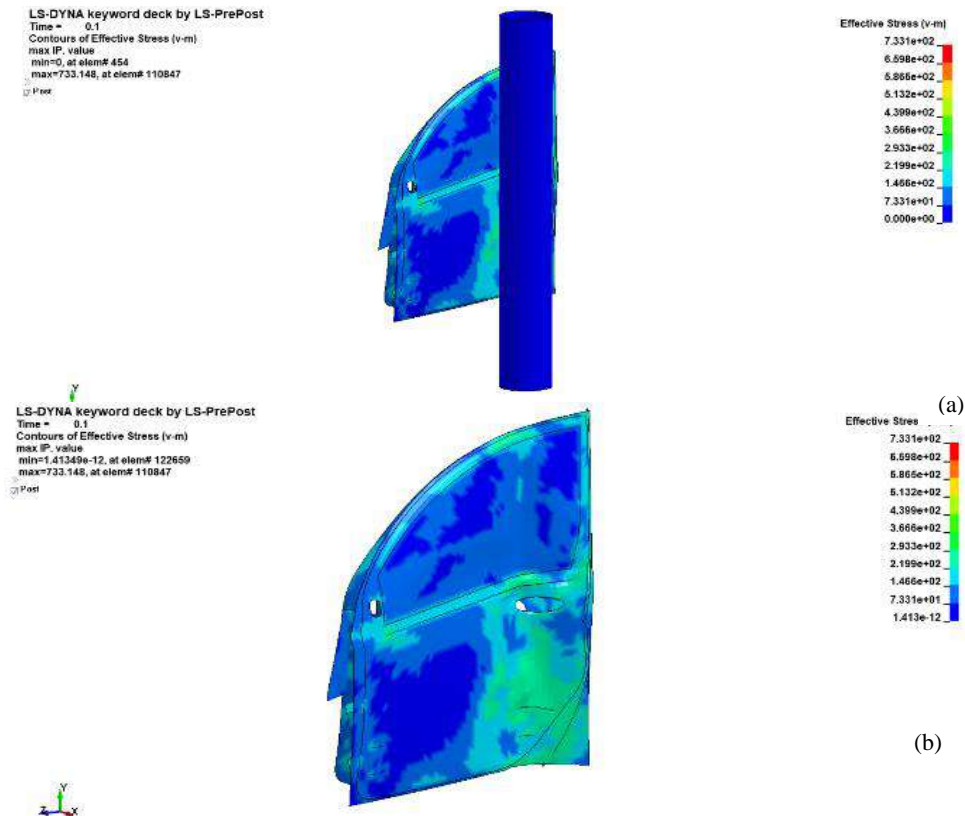


Figura 2-3: Esfuerzos de Von Mises en MPa producidos sin polímero.
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Apreciamos que en este caso el mayor esfuerzo se concentra en el punto de contacto entre la puerta del conductor y el poste, teniendo un esfuerzo máximo de 733.14 MPa. Al igual que el caso anterior se toma en el tiempo de 0.1 segundos.

3.1.1.4 Deformación producida sobre el refuerzo principal de la puerta del conductor.

En la figura 5-3 se tiene únicamente el refuerzo principal de la puerta del conductor; de igual manera se muestra las deformaciones existentes.

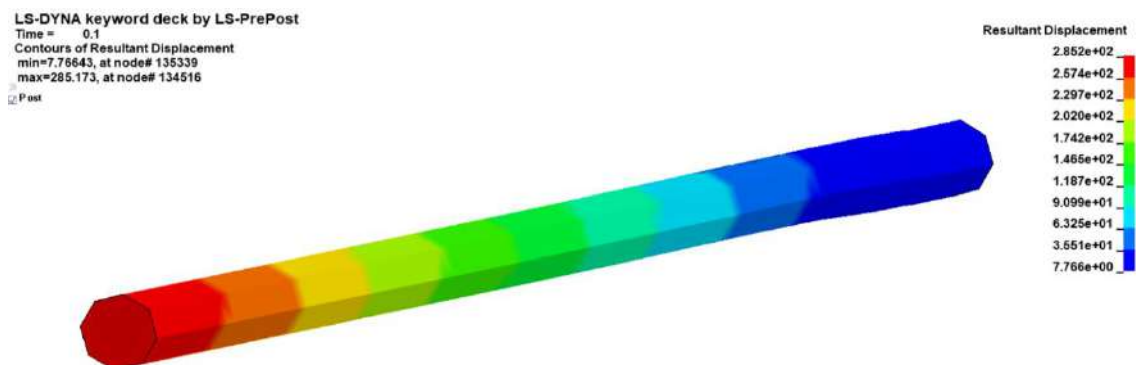


Figura 3-3: Deformaciones en el refuerzo principal de la puerta del conductor
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Como se observa, la mayor deformación se aprecia en la zona delantera del refuerzo principal de la puerta con un valor de 285 mm, se visualiza además que la zona donde se impacta con el poste no presente una excesiva deformación.

3.1.1.5 Esfuerzos de Von Mises producidos en el refuerzo principal del sistema de impacto lateral del vehículo.

En la figura 4-3 se aprecia el esfuerzo de Von Mises generados en el refuerzo principal de la puerta del conductor.

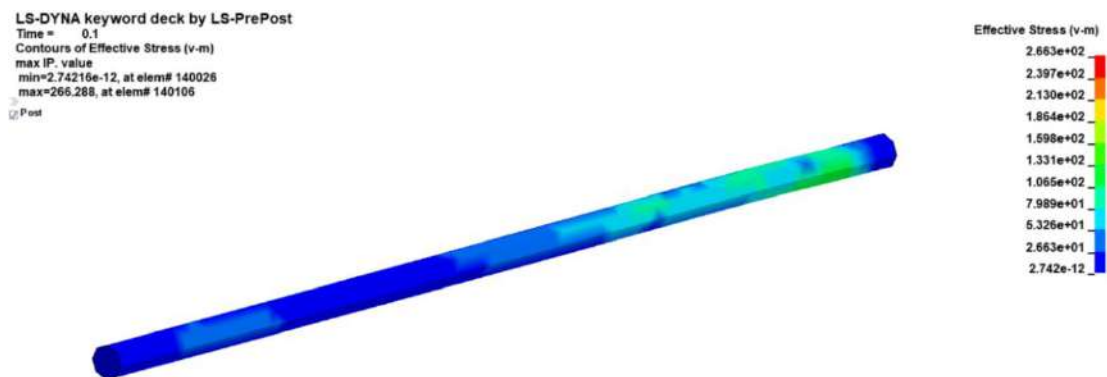


Figura 4-3: Esfuerzos Von Mises producido en el refuerzo principal
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Visualizamos la zona donde se localiza la mayor cantidad de esfuerzos, el cual se localiza en la zona donde se efectua el impacto contra el poste con un valor de 266.28 MPa, cabe recalcar que el material no llega a romperse debido a que no excede el esfuerzo máximo permitido, pero si se deforma de manera permanente debido al impacto.

En el grafico 3-3 podemos apreciar la gráfica del desplazamiento del nodo 130774. Un nodo hace referencia a lo que sucede en punto específico para su posterior análisis.

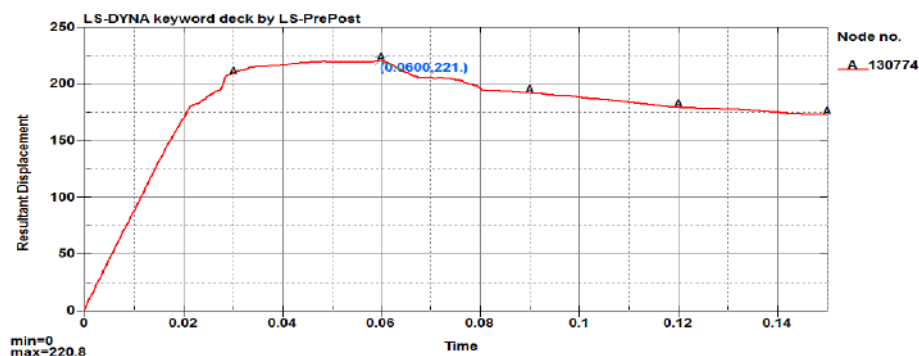


Gráfico 3-3: Desplazamiento resultante en un nodo de la simulación
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

La figura 5-3 permite visualizar en la simulación el contacto que existe entre la puerta y la parte lateral izquierda del conductor

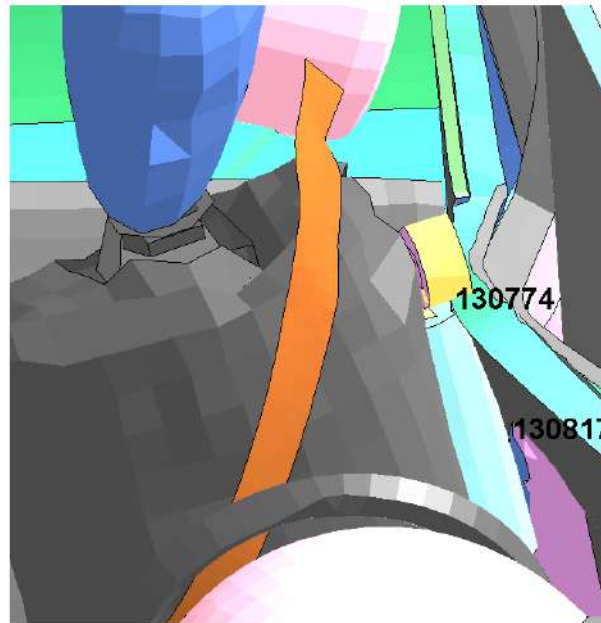


Figura 5-3: Visualización del desplazamiento resultante impacto lateral
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

3.1.2 Simulación del post procesamiento del impacto lateral contra un poste recubriendo con el polímero elastómero al refuerzo principal.

Esta simulación se la realiza con una velocidad de 32 km/h, el tiempo considerado para realizar el análisis es de 150 milisegundos. Con un tiempo de cálculo computacional de 15 horas.

Los resultados de la simulación realizada son muy importantes ya que nos permite comparar los cambios existentes al usar el polímero elastómero y el sistema de protección lateral dentro de la puerta del vehículo.

3.1.2.1 Velocidad y Aceleración del vehículo

Los gráficos 4-3, 5-3; muestran la velocidad y aceleración del vehículo respectivamente en la dirección donde se va a impactar contra el poste.

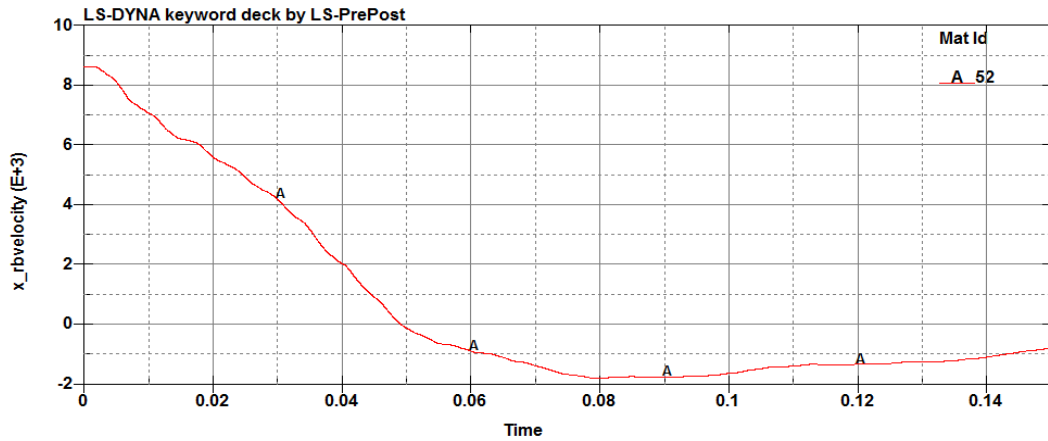


Gráfico 4-3: Velocidad del vehículo medida en el eje x
 Realizado por: Omar Yupanqui (2018)

En la gráfica 9-3 se puede apreciar que la velocidad inicial es constante es decir 8945 mm/ms (32 km/h), hasta el instante de la colisión del vehículo contra el poste. En un $t= 0.005$ ms, se puede apreciar que ya existe un impacto contra la chapa metálica que conforma la parte externa de la puerta. Mientras continua la simulación se aprecia que el vehículo pierde velocidad debido a la resistencia del poste.

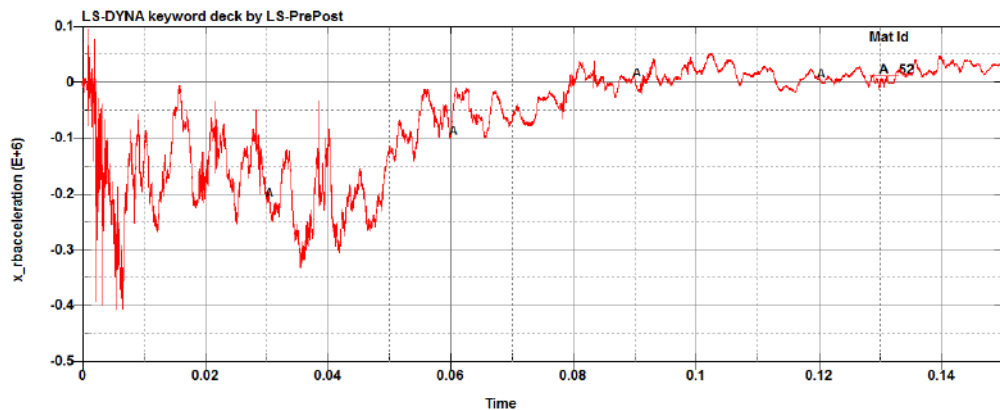


Gráfico 5-3: Aceleración del vehículo medida en el eje X
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

La grafica 5-3 permite visualizar que la aceleración del vehículo al inicio es cero debido a que la velocidad impuesta de 32 km/h es constante. Al suscitarse el primer contacto con la puerta del conductor se produce una deceleración, posterior a aquello está presente la resistencia de los componentes del sistema de impacto lateral permitiendo visualizar una variación de desaceleraciones y aceleraciones por ende el impacto lateral está conformado por múltiples impactos pequeños. Este cálculo es de gran complejidad debido a que están inmersos parámetros como la velocidad, resistencia del poste al impacto, inercia del vehículo, centro de gravedad, materiales, dummie y como aspecto principal el polímero elastómero.

3.1.2.2 Deformación total en la puerta del conductor utilizando el polímero elastómero.

El principal elemento estructural inmerso en el impacto es la puerta del conductor por ende comenzamos por este elemento utilizando el polímero elastómero en el refuerzo principal del sistema de impacto lateral.

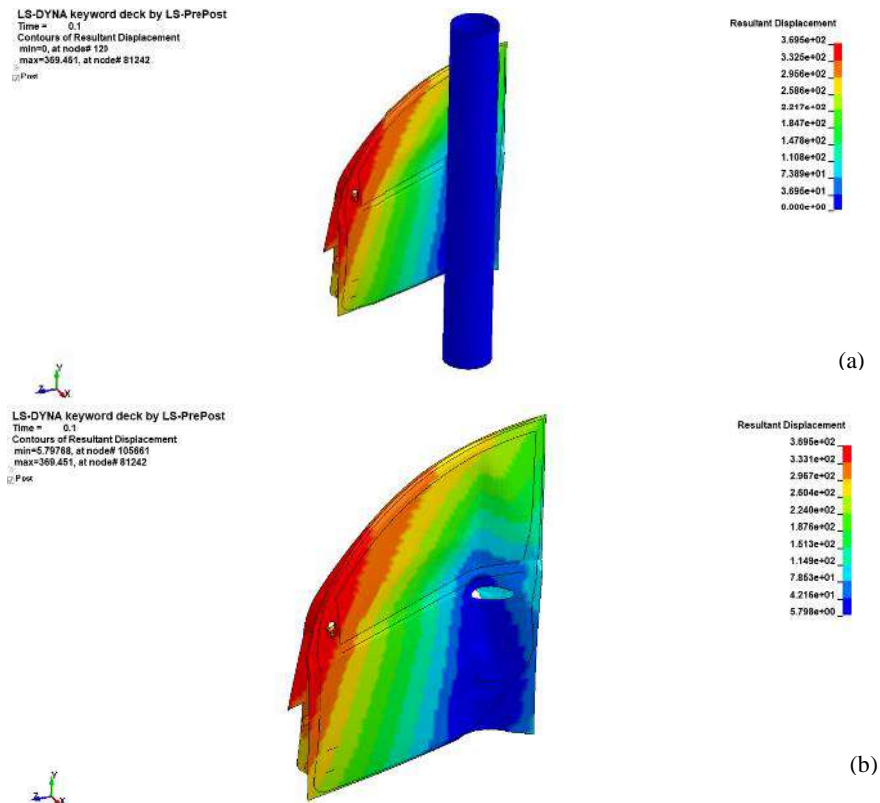


Figura 6-3: Deformación en la puerta utilizando el polímero elastómero
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

En la figura 11-3(a) muestra la puerta impactándose contra el poste en un tiempo de 0.1 segundos, mientras que la figura 11-3(b) muestra únicamente la puerta permitiendo apreciar cómo afecta el impacto en la zona de contacto con el poste.

La deformación producida tiene un valor de 369.44 mm, debido al impacto, comienza a generarse el hundimiento en la puerta. Este valor permitirá comparar con el resultado obtenido en el anterior caso donde se analizó el impacto lateral sin la utilización del polímero elastómero.

3.1.2.3 Esfuerzo de Von Misses producidos en el impacto lateral

Para poder conocer el límite elástico existente tendremos que conocer el esfuerzo de von mises así como la tensión máxima admisible del material. En la figura 12-3 se aprecia el esfuerzo de Von Mises producidos en la puerta al suscitarse el impacto.

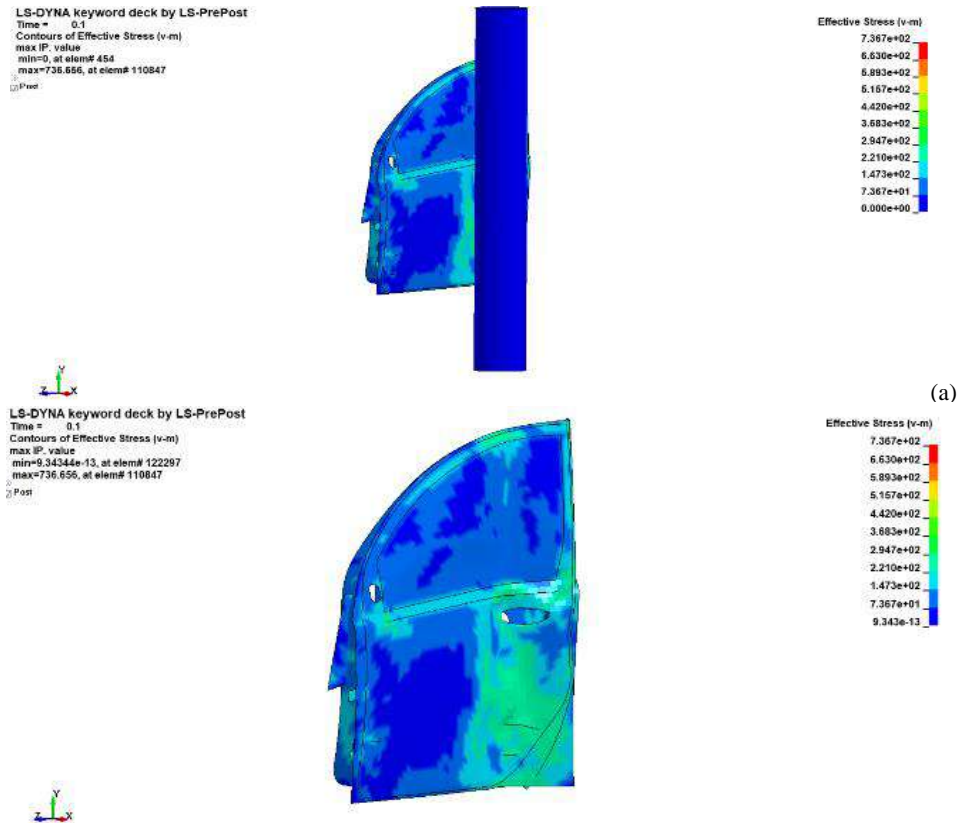


Figura 7-3: Esfuerzo de Von Mises en MPa producidos en la puerta con el p (h) ro
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Apreciamos que en este caso el mayor esfuerzo se concentra en el punto de contacto entre la puerta del conductor y el poste, teniendo un esfuerzo máximo de 736.70 MPa. Al igual que el caso anterior se toma en el tiempo de 0.1 segundos.

3.1.2.4 Deformación producida sobre el refuerzo principal de la puerta del conductor.

En la figura 13-3 se tiene únicamente el refuerzo principal sobre el cual se coloca el polímero elastómero,

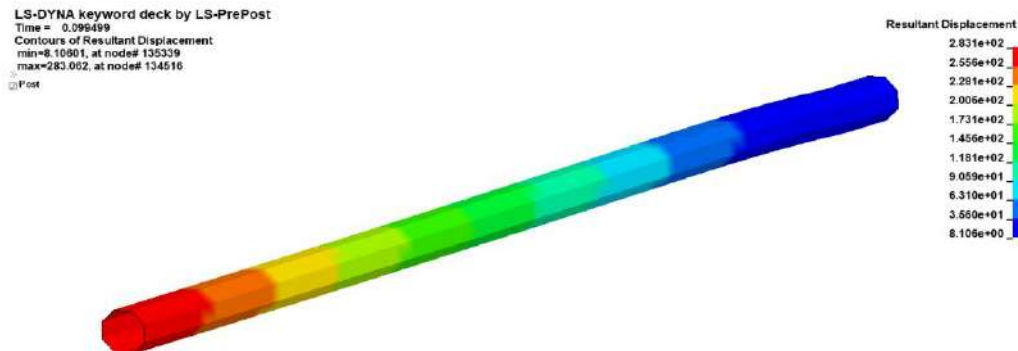


Figura 8-3: Deformación en el tubo con la implementación del polímero
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Como se observa, la mayor deformación se encuentra en la parte delantera del refuerzo principal con un valor de 283 mm de deformación, el tiempo de simulación en el que se obtiene estos resultados es 0.1 segundos. Se visualiza también que la zona donde se impacta con el poste no presenta una excesiva deformación; como en el caso anterior se aprecia una mayor deformación en la parte delantera del refuerzo principal con una tonalidad de color rojo

3.1.2.5 *Esfuerzo de Von Misses producidos en el refuerzo principal del sistema de impacto lateral del vehículo.*

En la figura 14-3 se tiene el esfuerzo de Von Mises generado en el refuerzo principal implementando el polímero elastómero.

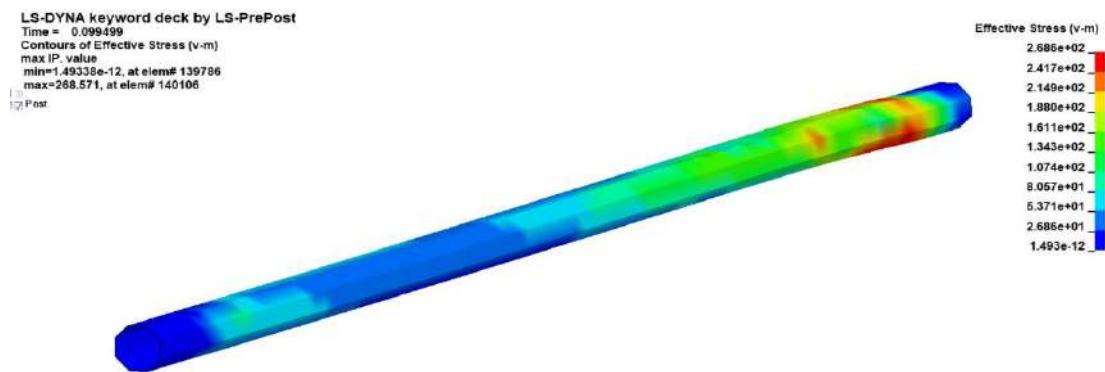


Figura 9-3: Esfuerzo Von Mises implementando al refuerzo principal el polímero elastómero
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

En la figura se presenta en que sector se localizan la mayor cantidad de esfuerzos, los mismo que tienen un valor de 268.68 MPa, es importante mencionar que no se llega a romper ya que no excede el esfuerzo máximo permitido.

3.1.3 *Comparaciones entre las simulaciones con y sin utilizar el polímero elastómero en el refuerzo principal de la puerta del conductor.*

3.1.3.1 *Comparación de la deformación total en la puerta del conductor.*

Mediante la visualización de la barra de resultados podemos verificar la diferencia existente en las dos simulaciones realizadas.

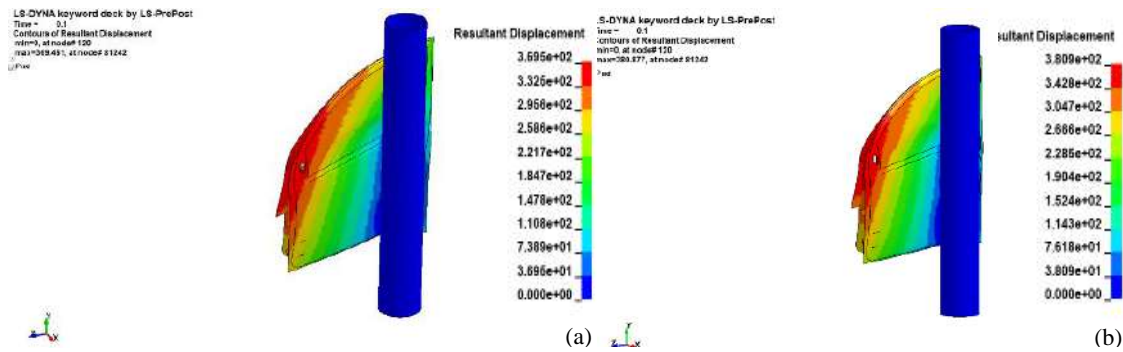


Figura 10-3: Deformaciones existentes en la puerta del conductor en los dos casos de estudio
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

La figura 15-3 (a) podemos apreciar la deformación de la puerta simulando el impacto lateral con la implementación del polímero elastómero con un valor de 369.44 mm y la figura 15-3 (b) permite apreciar la deformación en la puerta sin la utilización del polímero elastómero en el refuerzo principal con un valor de 380.87 mm.

La variación de la deformación entre las dos simulaciones es de 11.426 mm, a pesar de la similitud en la tonalidad en las distintas partes de la puerta del conductor.

3.1.3.2 Comparación de la deformación total en el refuerzo principal del sistema de impacto lateral

El siguiente gráfico apreciamos la diferencia en la deformación del refuerzo principal de la puerta del conductor.

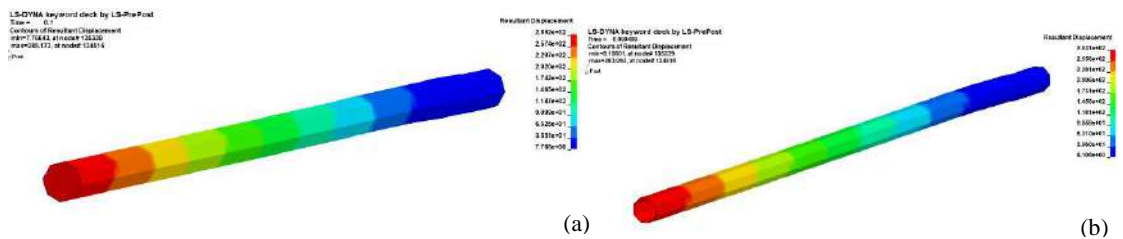


Figura 11-3: Deformación en el refuerzo principal de la puerta en los dos casos de estudio
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

La figura 16-3 (a) permite visualizar la deformación en el refuerzo principal sin la utilización del polímero elastómero con un valor de 285.20 mm y la figura 16-3 (b) permite visualizar la deformación en el refuerzo principal con la utilización del polímero elastómero con un valor de 283.09 mm.

Mediante esta visualización de deformación podemos constatar que al utilizar el polímero elastómero se genera una reducción en la deformación tanto en la estructura que conforma la puerta

del conductor (figura 15.3) así como en el refuerzo principal con una diferencia entre simulaciones de 2.11 mm.

3.1.3.3 Comparación del esfuerzo de Von Mises resultante en el refuerzo principal de la puerta del conductor

En la figura 17-3 se presenta los esfuerzos de Von Mises en los dos perfiles, tanto el que tiene el polímero elastómero D30 como el que no tiene.

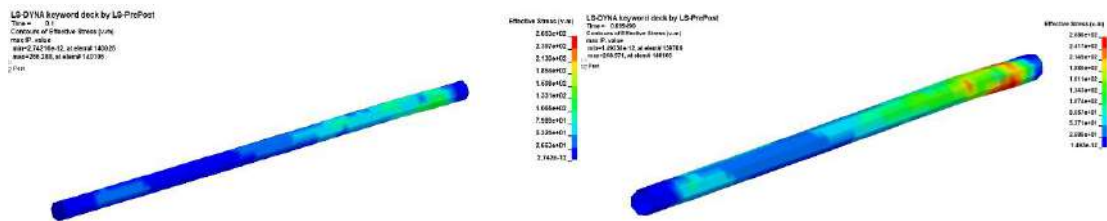


Figura 12-3: Esfuerzo de Von Mises en el refuerzo principal en los dos casos de estudio
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Como se aprecia de forma visual existe una variación en los resultados, debido al cambio de colores que se genera en el perfil que tiene el polímero elastómero D30, en la figura 17-3 (b) se puede apreciar colores tomate y rojo que es donde se genera el mayor esfuerzo, el cual es de 268.57 MPa. Por otro lado, en la figura 17-3 (a) se tiene un esfuerzo máximo de 266.28 Mpa., además de que no presenta una variación de colores entre rojo y tomate sino más bien se mantiene desde un color azul hasta un color verde.

3.1.4 Evaluación de los criterios de aceptación.

La evaluación de los criterios de aceptación se realiza en los dos ensayos planteados como es el impacto lateral con el sistema de impacto lateral del vehículo y utilizando el polímero elastómero en el refuerzo principal del sistema de impacto lateral. Las pruebas se realizan a una velocidad de 32 km/h y demás condiciones según establece la normativa UNECE 95.

3.1.4.1 Criterio de comportamiento de la cabeza (CCC)

De acuerdo al apartado 5.2.1 del Reglamento n 95, el criterio de comportamiento de la cabeza (CCC) deberá ser inferior o igual a 1 000; cuando no haya contacto con la cabeza, el CCC no se medirá ni calculará, sino que se registrará como «sin contacto con la cabeza»



Figura 13-3: Visualización de la posición de la cabeza del dummy
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Como apreciamos en la figura la cabeza no tiene contacto con la estructura del vehículo al impactarse contra el poste por ende este parámetro se considera aceptado “Sin contacto con la cabeza”

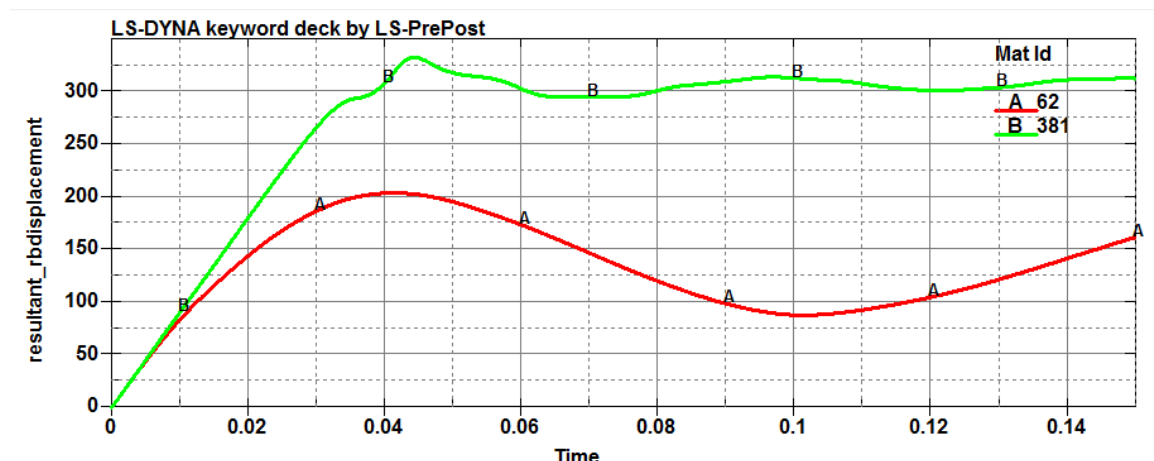


Gráfico 6-3: Variación del desplazamiento Cabeza (A) vs Estructura (B)
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Utilizamos para validar este aspecto los desplazamientos que se generan entre la estructura y la cabeza; permitiendo visualizar que el desplazamiento de la cabeza está por debajo de la curva de desplazamiento de la estructura, al analizar las curvas apreciamos que no existe contacto entre estos elementos.

3.1.4.2 Criterio de comportamiento del tórax.

De acuerdo con el apartado 5.2.1.2 establece que los criterios de comportamiento del tórax serán:

- a) en el caso del criterio de deformación de las costillas, inferior o igual a 42 mm

b) En el caso del criterio de partes blandas (criterio de viscosidad, CV), inferior o igual a 1,0 m/s.

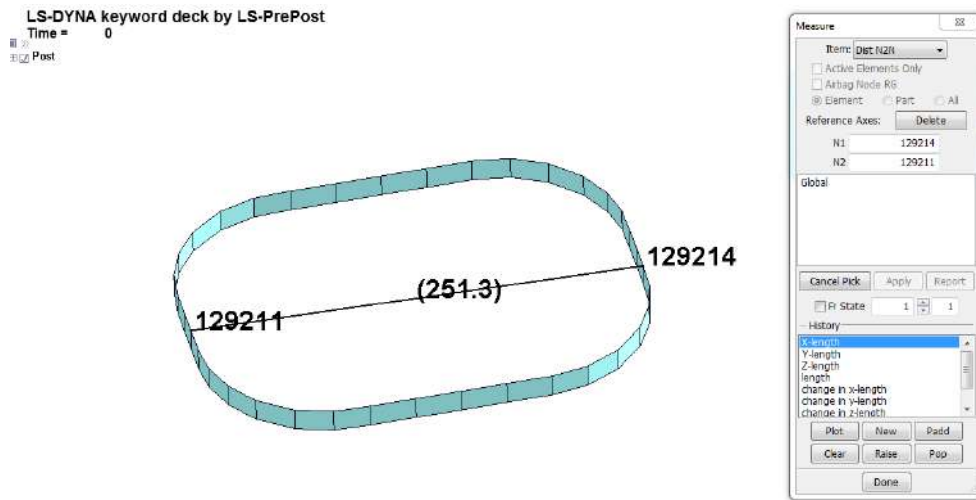
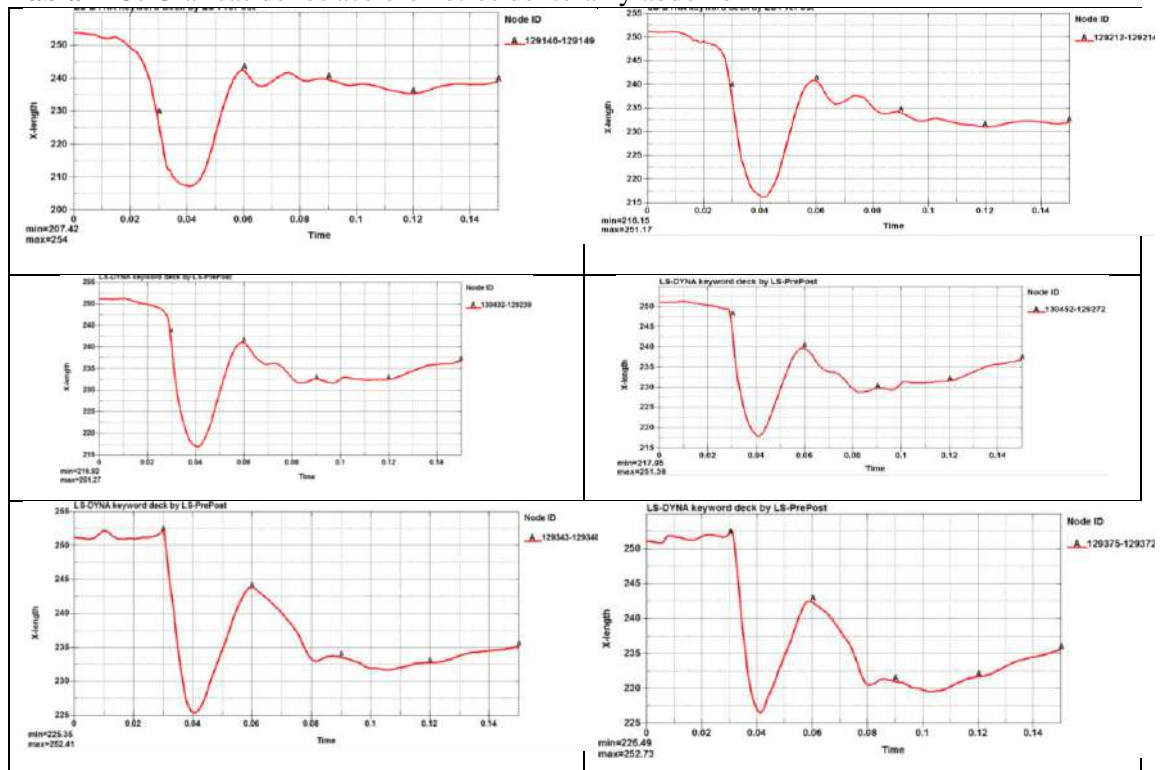


Figura 14-3: Medición existente en la costilla para evaluar la variación de longitud al impacto
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Para comprobar este aspecto del comportamiento del tórax, realizamos medidas de la longitud de cada una de las costillas para observar la deformación que se produce durante el impacto lateral

Tabla 1-3: Graficas de los acelerómetros del tórax y abdomen



Fuente: (LSTC, 2017)

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Tabla 2-3: Variación de longitud al evaluar el criterio de comportamiento del tórax y abdomen.

Tiempo (ms)	Costilla (mm)					
	1	2	3	4	5	6
0	254.004	251.3	251.259	251.259	251.259	251.259
0.02	250.459	250.308	250.019	250.541	251.238	251.08
0.04	208.29	225.166	222.725	223.998	228.249	230.147
0.06	251.641	252.147	249.442	248.175	249.791	248.418
0.08	254.745	253.958	246.96	244.031	251.883	249.292
0.1	252.039	251.375	246.339	244.574	248.993	246.562
0.12	248.5	249.528	245.779	244.941	249.498	248.368
0.14	252.73	251.449	249.885	249.71	251.462	251.425
0.15	254.153	250.946	250.317	250.458	250.918	251.31

Fuente: (LSTC, 2017)

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Con respecto al apartado 5.2.1.2 podemos concluir mediante la tabla que al suscitarse el impacto lateral la deformación no excede del límite permitido de 42 mm.

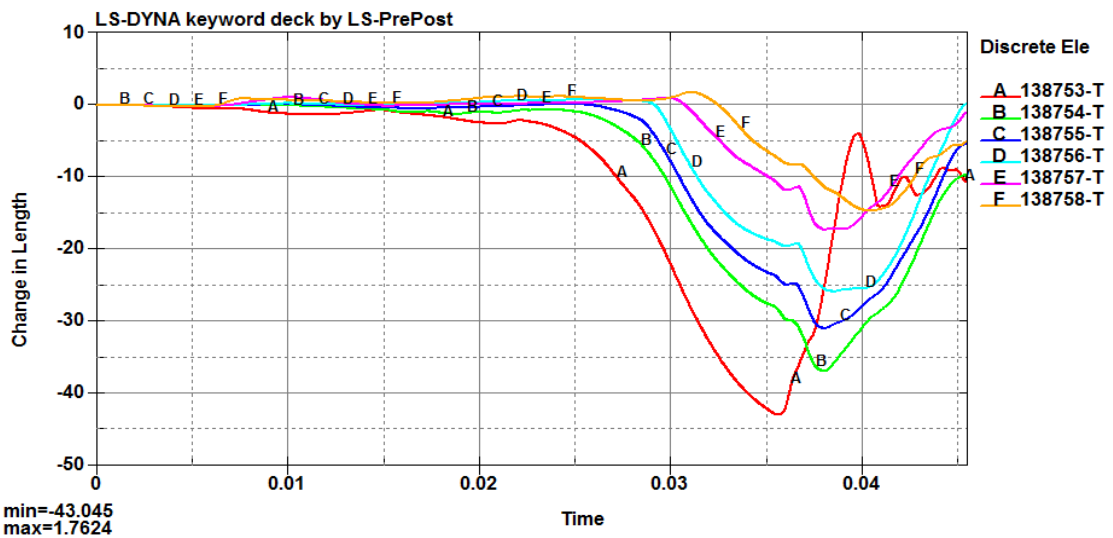


Gráfico 7-3: Variación de la longitud existente en las costillas al simular el impacto lateral

Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

La gráfica 21-3 muestra la curva de la variación de longitud en cada una de las costillas en el tiempo empleado para la simulación. Se aprecia la compresión de las costillas cada una de las cuales tiene un comportamiento diferente, el comportamiento de la curva A muestra la mayor compresión al momento de suscitarse el impacto lateral.

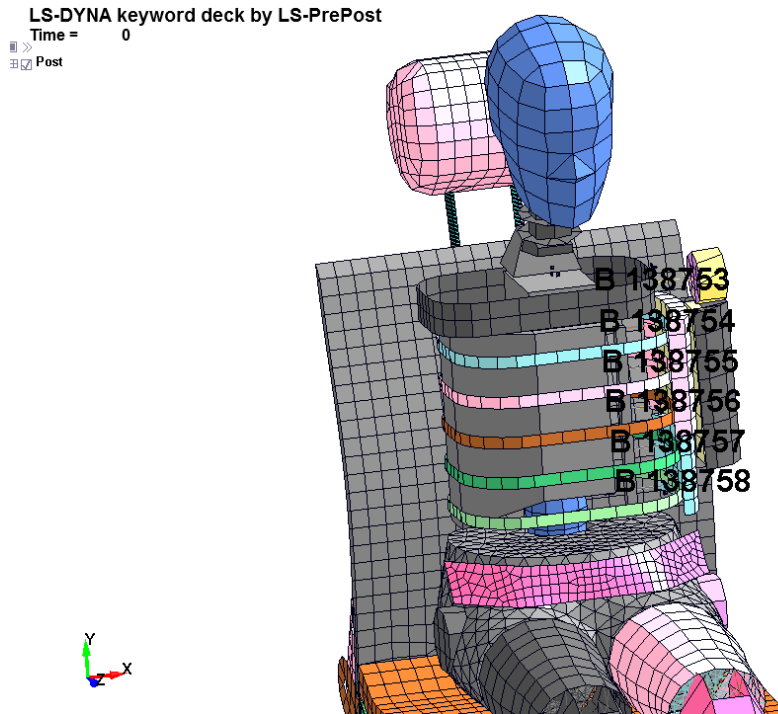


Figura 15-3: Acelerómetros para evaluar el comportamiento del tórax y abdomen
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

3.1.4.3 Criterio de comportamiento del abdomen.

El criterio de comportamiento del abdomen de acuerdo al apartado 5.2.1.4 detalla que la fuerza máxima sobre el abdomen deberá ser inferior o igual a 2,5 kN de fuerza interna (equivalente a una fuerza externa de 4,5 kN).

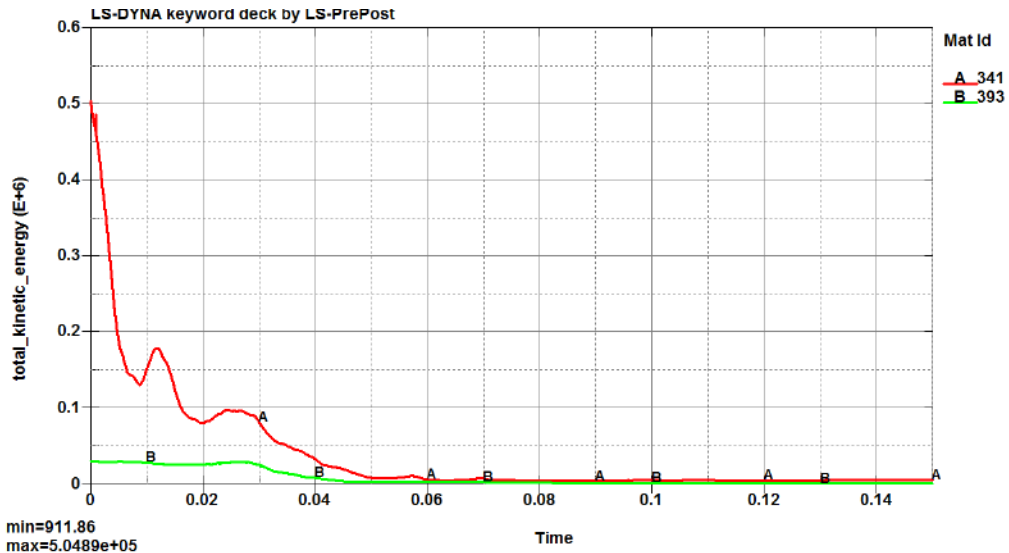


Gráfico 8-3: Energía cinética existente en el abdomen durante el impacto lateral
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

La figura 23-3 permite comprender que la energía producida al suscitarse el impacto en la puerta lateral, la cual es transmitida a los demás componentes que están inmersos, lo cual contrarresta con el valor que establece el apartado 5.2.4.1

3.1.4.4 Criterio de comportamiento de la pelvis

De acuerdo al apartado 5.2.1.3 que evalúa el comportamiento de la pelvis el cual establece que la fuerza máxima sobre la sínfisis púbica debe ser inferior o igual a 6 KN.

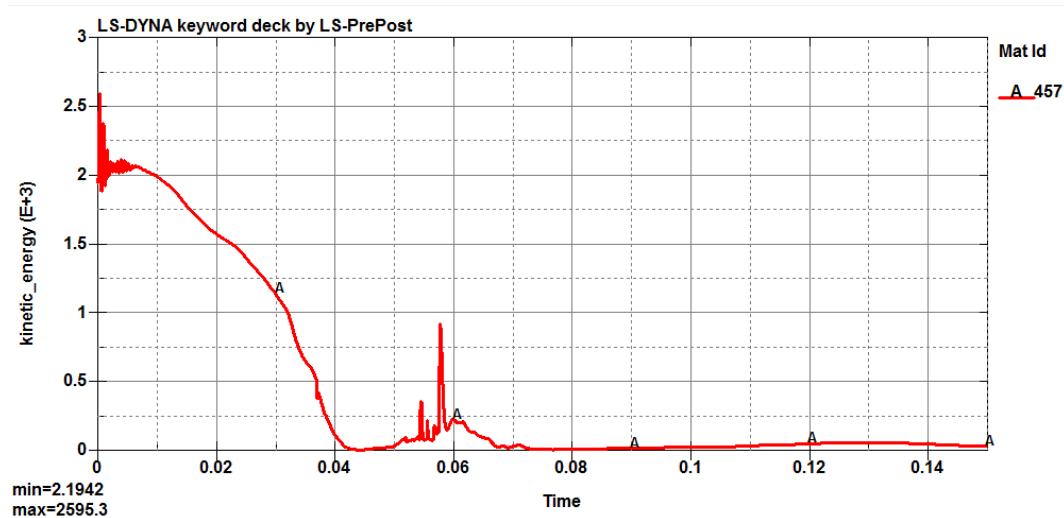


Gráfico 9-3: Energía cinética generada durante la simulación en la pelvis
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Mediante la gráfica 9-3 se aprecia la energía cinética transmitida a la pelvis al suscitarse el impacto, la curva que se presenta permite comprender como reacciona la pelvis en el tiempo que dura la simulación.

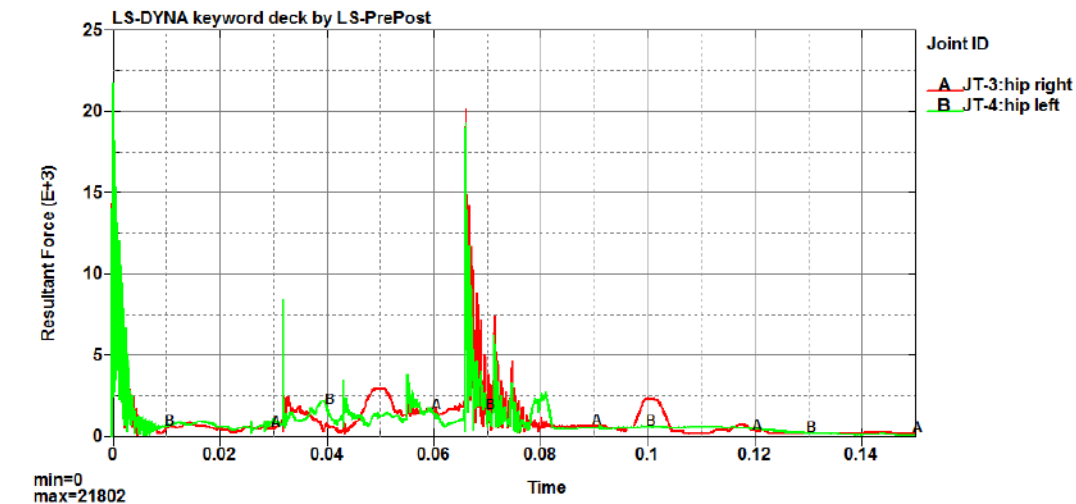


Gráfico 10-3: Fuerza resultante sobre la sínfisis púbica
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

La gráfica 10-3 detalla la fuerza resultante que existe en la sínfisis púbica, las curvas A y B corresponden a los acelerómetros instalados en la cadera del dummie en el cual el pico más alto tiene un valor de 21,8 KN; lo cual excede a lo permitido según la normativa utilizada.



Figura 16-3: Identificación del acelerómetro 131573 en la sínfisis púbica del dummy
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

3.1.4.5 Factor de Hourglass.

Este factor hace referencia a la energía que se encuentra dentro del rango aceptable del 10% las cuales se utilizan en simulaciones dinámicas.

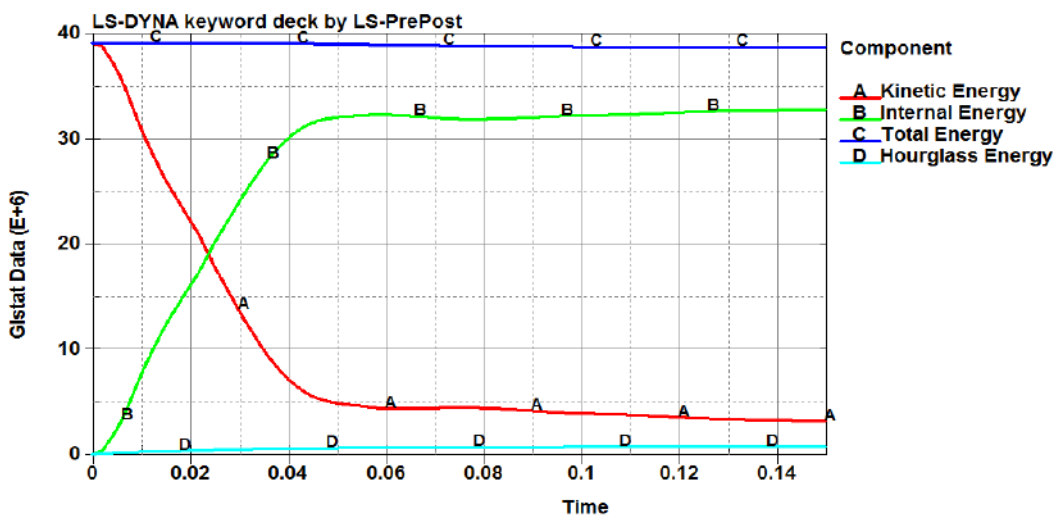


Gráfico 11-3: Factor de Hourglass
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Resultante del factor de Hourglass

$$0 \leq FH \leq 10 \%$$

$$FH = 1.56 \%$$

$$0 \leq 1.56 \leq 10 \%$$

Acceptable

3.1.4.6 Acelerómetros instalados en el dummie

En los siguientes gráficos se presentan las aceleraciones presentes en el dummie, tanto para el caso en el que se encuentra el vehículo con polímero elastómero D30 ubicado en el refuerzo principal de la puerta del conductor, como para el caso en el que no cuenta con dicho polímero.

3.1.4.7 Acelerómetros instalados en la cabeza

En las figuras 27-3, 28-3 se tiene las aceleraciones en la cabeza para los dos casos de estudio con polímero elastómero y sin polímero.

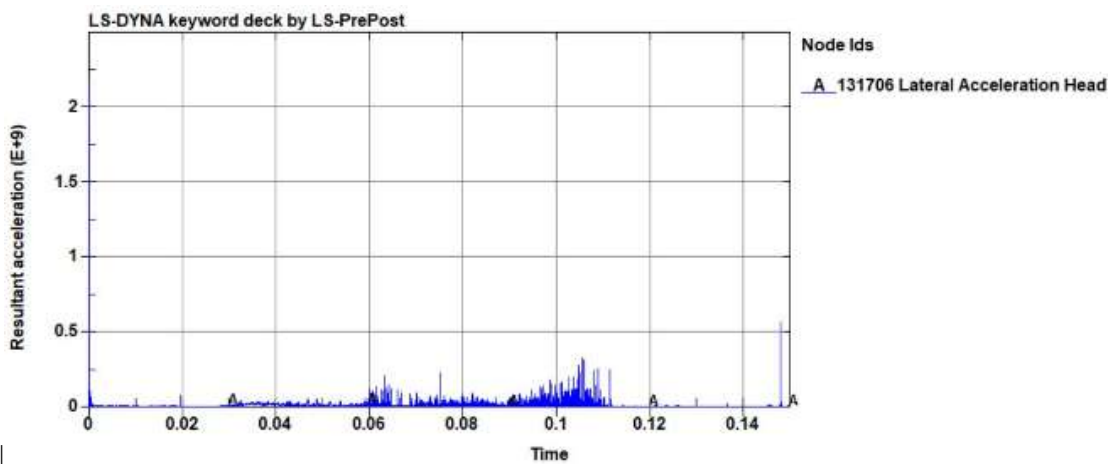


Gráfico 12-3: Aceleración en la cabeza sin utilizar el polímero en el refuerzo principal
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

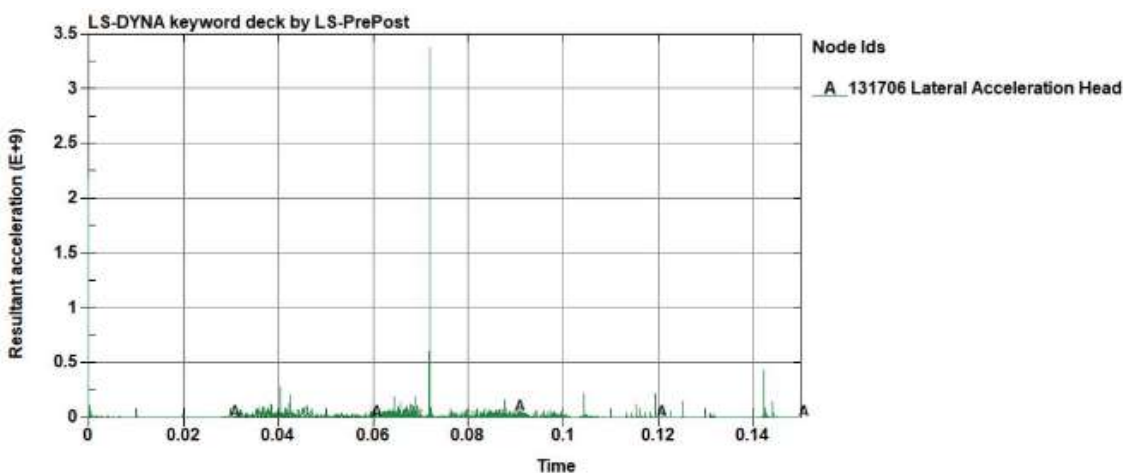


Gráfico 13-3: Aceleración en la cabeza utilizando el polímero en el refuerzo principal
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

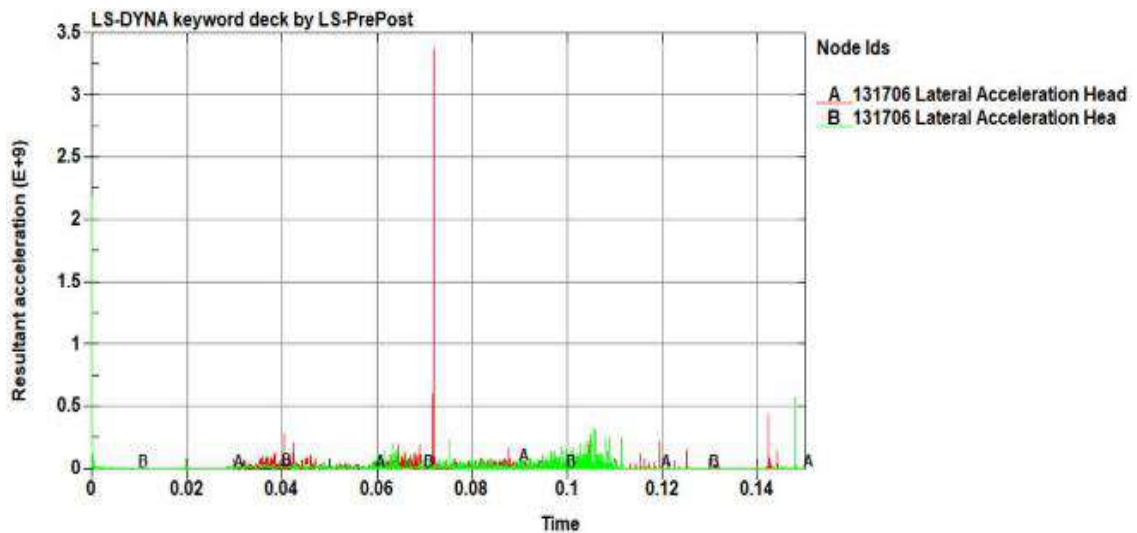


Gráfico 14-3: Comparación de las aceleraciones producidas en la cabeza del dummie
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

En la gráfica 14-3, se sobrepone las curvas resultantes de los acelerómetros de cada una de las simulaciones, la curva A muestra la aceleración producida al utilizar el polímero y la curva B muestra la aceleración producida al simular el impacto lateral con el sistema de impacto lateral del vehículo.

Al inicio de la simulación se aprecia un pico de aceleración seguido por un tramo que no fluctúa en exceso, debido a que hasta 0.02 ms se produce el contacto entre el poste y la puerta permitiendo apreciar que la cabeza no sufre un latigazo lateral; este latigazo se aprecia a los 0.04 ms debido a que el impacto ya genera una deformación permanente en la puerta y este contacto produce que el cuello se mueva bruscamente suscitándose este fenómeno hasta los 0.08ms, después de este tiempo se produce una rotación parcial del vehículo debido a la fuerza del impacto, en 0.1 ms se puede apreciar una estabilidad en la curva debido a que ya no se encuentra en contacto el vehículo y el poste pero actúa la reacción de los componentes del vehículo después del impacto.

La variación existente en los dos casos es apreciable debido a que cada grafica presenta picos de aceleración en diferentes puntos al transcurrir el tiempo que dura la simulación.

3.1.4.8 Acelerómetro instalado en el hombro

Las gráficas de la aceleración en el hombro permiten visualizar la importancia que tiene esta parte del dummie con la estructura del vehículo, el reducido espacio entre estos elementos, el contacto debido al impacto será inminente.

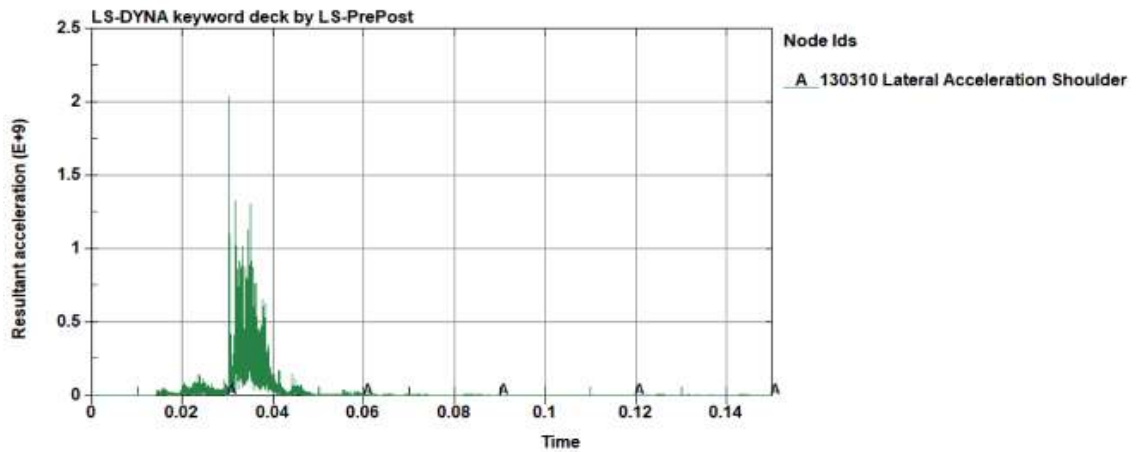


Gráfico 15-3: Aceleración en el hombro sin utilizar el polímero en el refuerzo principal
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

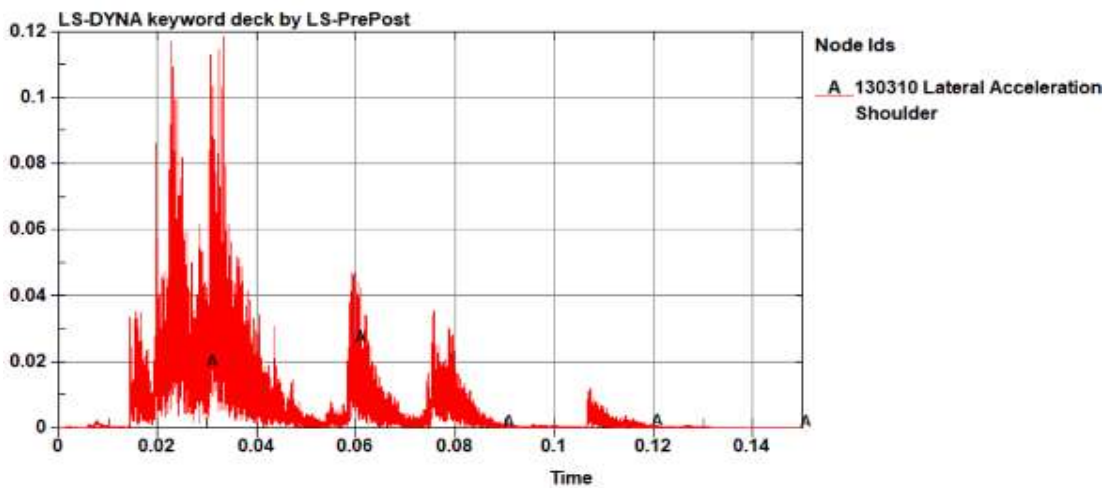


Gráfico 16-3: Aceleración en el hombro utilizando el polímero en el refuerzo principal
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

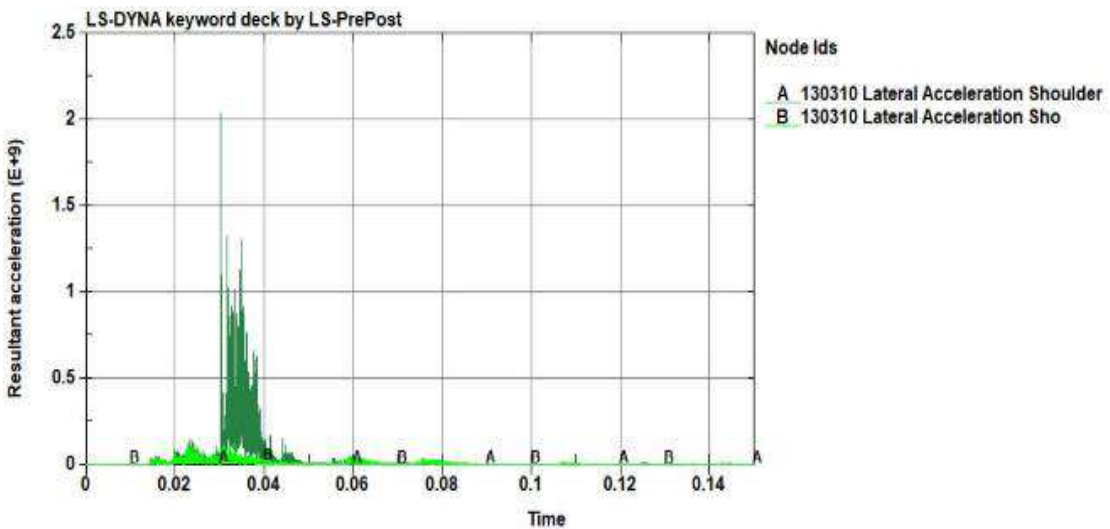


Gráfico 17-3: Comparación de las aceleraciones producidas en el hombro del dummy
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Se aprecia la gráfica 17-3, en la cual al inicio de la simulación se mantiene sin mayor variante debido a que se está trasladando el vehículo de manera horizontal con velocidad constante hacia el poste, a los 0.02 ms se aprecia el contacto entre la estructura y el poste produciendo que ese impacto inicial deforme la puerta y transmita energía hacia el dummie como se aprecia a los 0.0131 ms comienza a generarse picos de aceleración, posterior a aquello se incrementa los picos de aceleración debido a que la deformación producida en el marco superior de la puerta impacta con el hombro, suscitándose a los 0.032 ms la mayor absorción de impacto debido a que el dummie tiene características similares a las del ser humano, posterior a aquello comienza a disminuir la aceleración debido a que comienza a suscitarse la reacción del dummie ante el impacto que sería **rebotar** y el elemento que permite que el dummie no exceda su movimiento dentro del habitáculo es el cinturón de seguridad este fenómeno se aprecia los 0,067 ms siendo repetitivo a los 0.075 ms con menor intensidad y esto se debe también a que debido a la fuerza del impacto el vehículo tiende a rotar parcialmente tomando como centro de rotación el poste donde se impacta, apreciando también que después de los 0.1 ms la gráfica tiende a estabilizarse debido a la energía residual que está actuando después del impacto.

3.1.4.9 Acelerómetros instalados en el tórax

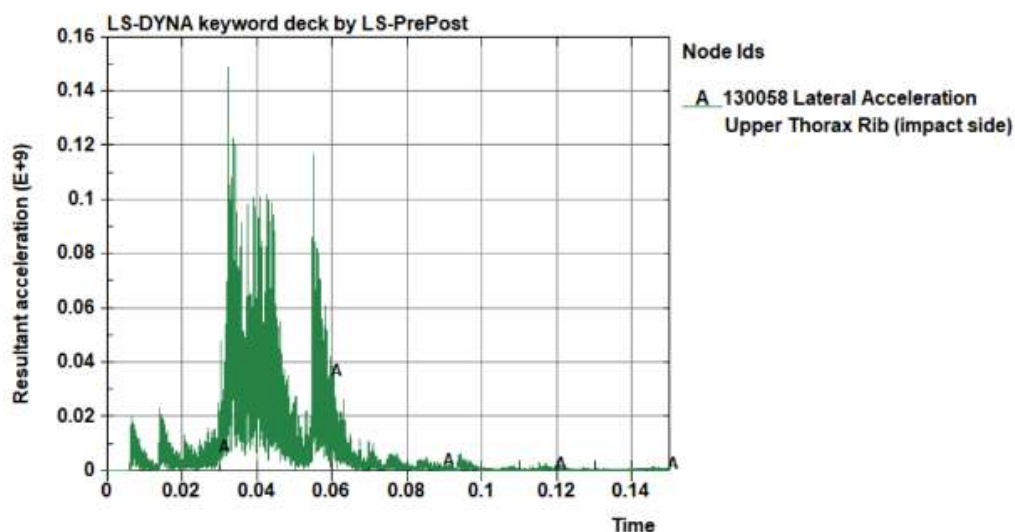


Gráfico 18-3: Aceleración en el tórax sin utilizar el polímero en el refuerzo principal
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

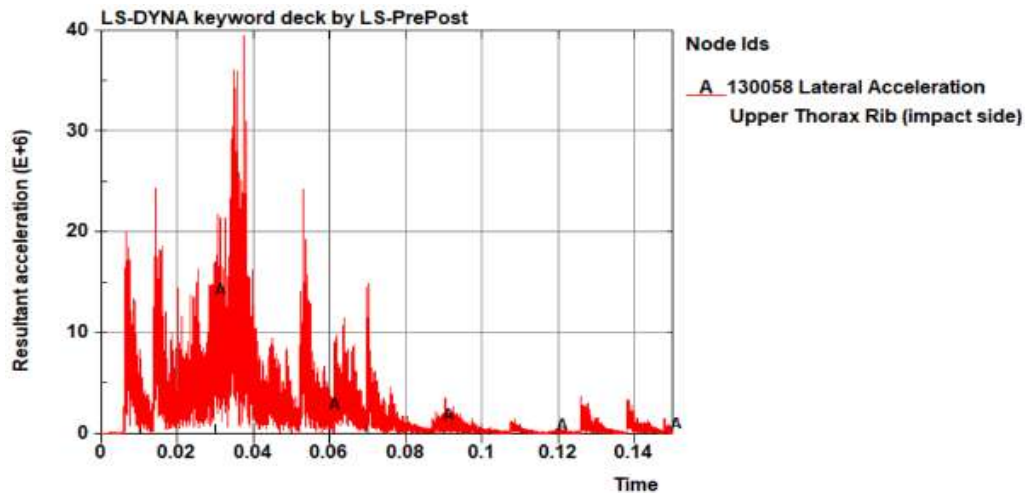


Gráfico 19-3: Aceleración en el tórax utilizando el polímero en el refuerzo principal
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

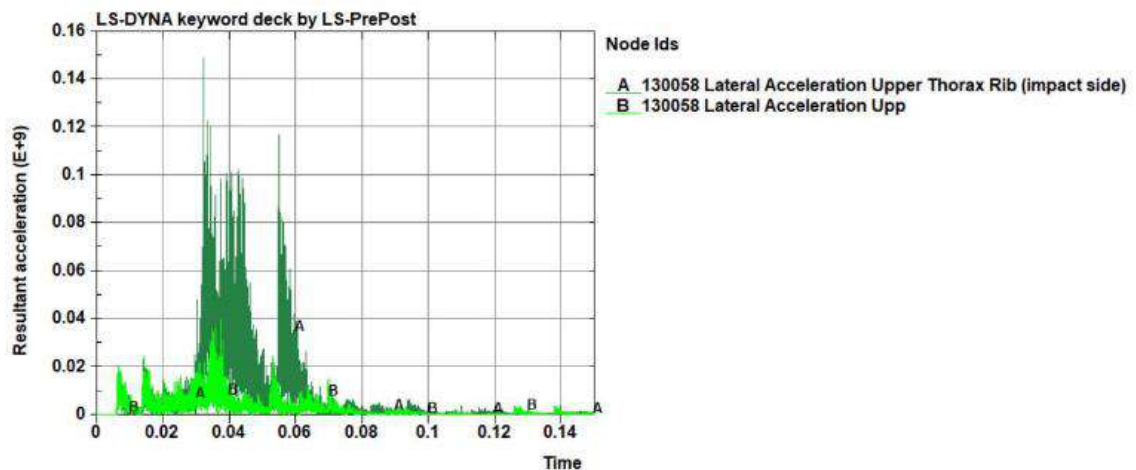


Gráfico 20-3: Comparación de las aceleraciones producidas en el tórax del dummy
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Al inicio de la simulación se aprecia un lapso en el cual no fluctúa la curva presentándose picos a partir de los 0.006 que corresponde a la energía cinética transmitida por la fuerza del impacto al tórax apreciando como varía su estructura, en 0.035999 ms se produce el punto más alto debido al contacto entre el brazo que se desplaza en sentido contrario al impacto y la deformación de la puerta, este impacto afecta también al tórax aconteciendo el hundimiento de las costillas lo cual se describe en el apartado 3.1.4.2.

En 0.0605 ms a consecuencia del impacto el dummy es expulsado y se restringe el movimiento debido al cinturón de seguridad después se puede apreciar como la curva tienen picos más pequeños debido a que no están en contacto la estructura y el dummy; como también la energía absorbida por la estructura va disminuyendo de forma prolongada.

3.1.4.10 Acelerómetros instalados en el abdomen

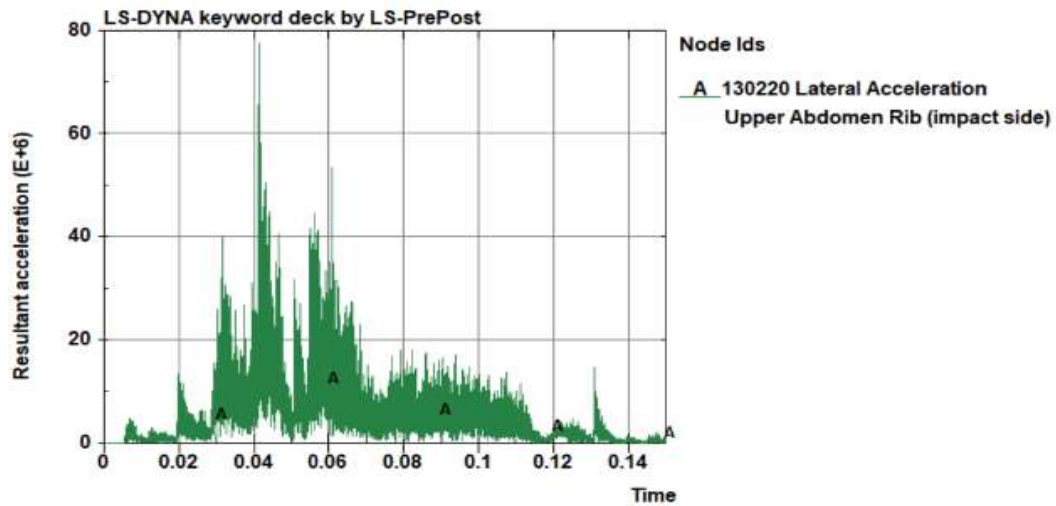


Gráfico 21-3: Aceleración en el abdomen sin utilizar el polímero en el refuerzo principal
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

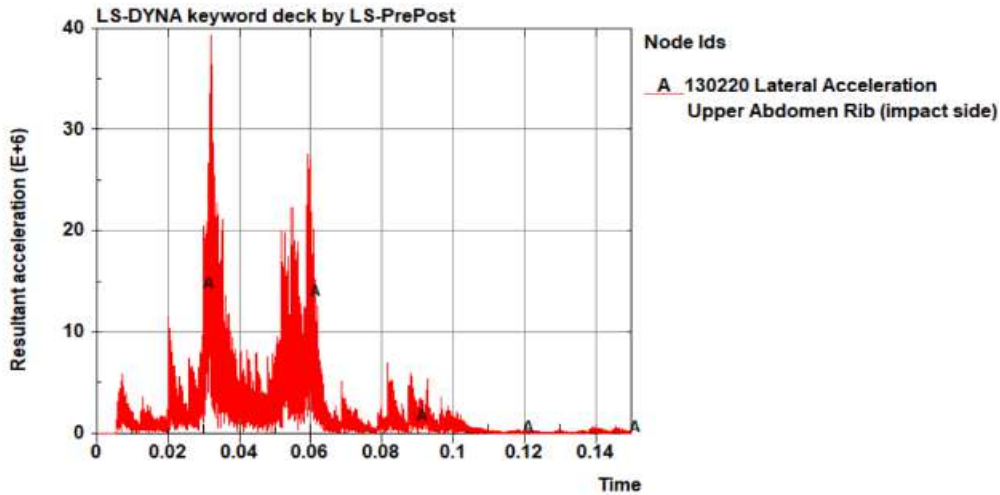


Gráfico 22-3: Aceleración en el abdomen utilizando el polímero en el refuerzo principal
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

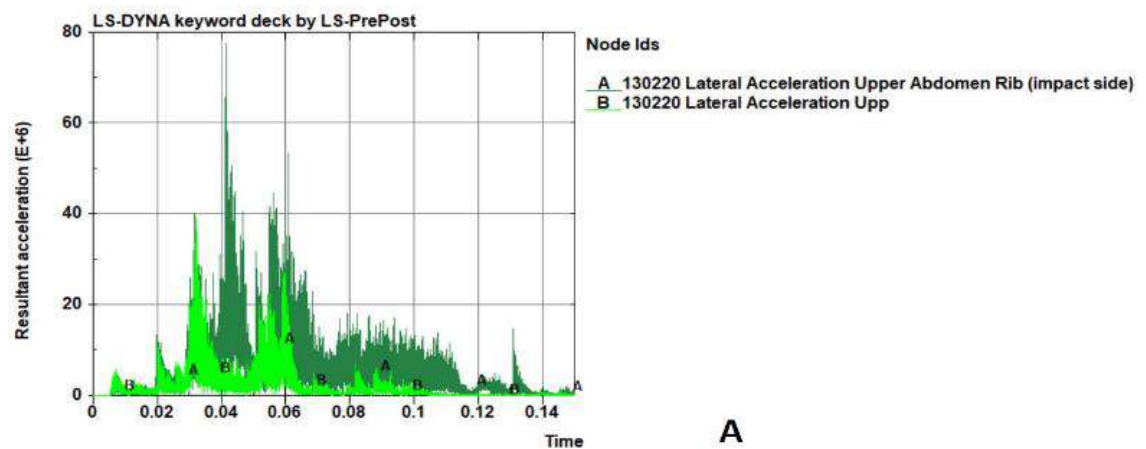


Gráfico 23-3: Comparación de las aceleraciones producidas en el tórax del dummy
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

Mediante el acelerómetro 130220 podemos apreciar el comportamiento del abdomen ante el impacto lateral. Al inicio no se aprecia una variación de la aceleración al llegar a los 0.00699 ms comienza a presentarse una aceleración que es debido a las partes blandas del dummie, así como también la velocidad del vehículo, en 0.033999 ms se genera el pico más alto de aceleración y esto es debido al contacto del brazo con la parte superior de la puerta y debido a esto el contacto entre el brazo y abdomen lo cual genera una compresión del abdomen, después de este contacto debido a la fuerza los elementos del vehículo reaccionan presentando un pico de aceleración en 0.055 ms que corresponde a la reacción de las partes blandas después de aquello se aprecia que continúa estabilizándose la curva debido a que ya cesó el impacto y está reduciendo la energía residual del impacto.

3.1.4.11 Acelerómetros instalados en la pelvis

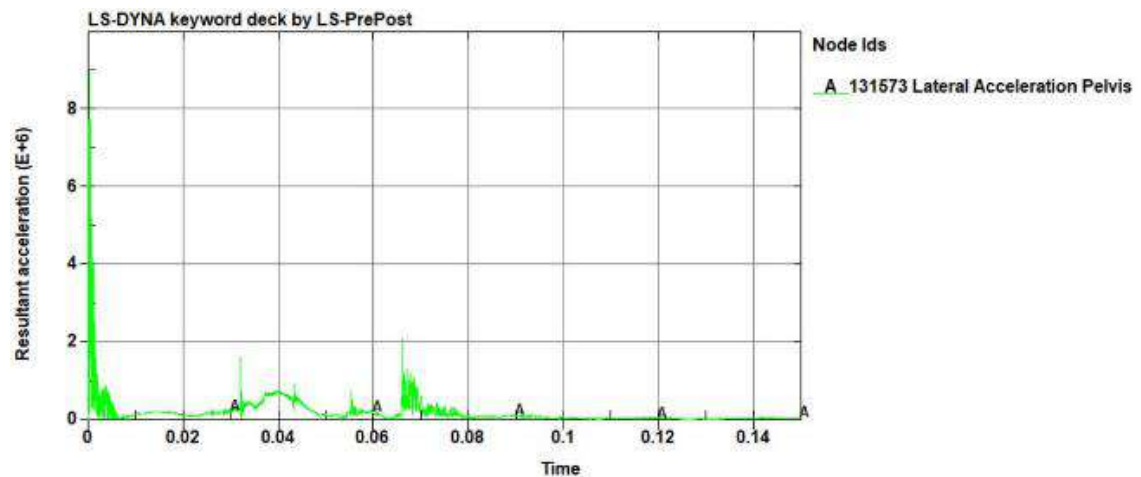


Gráfico 24-3: Aceleración en la pelvis del sin utilizar el polímero en el refuerzo principal
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

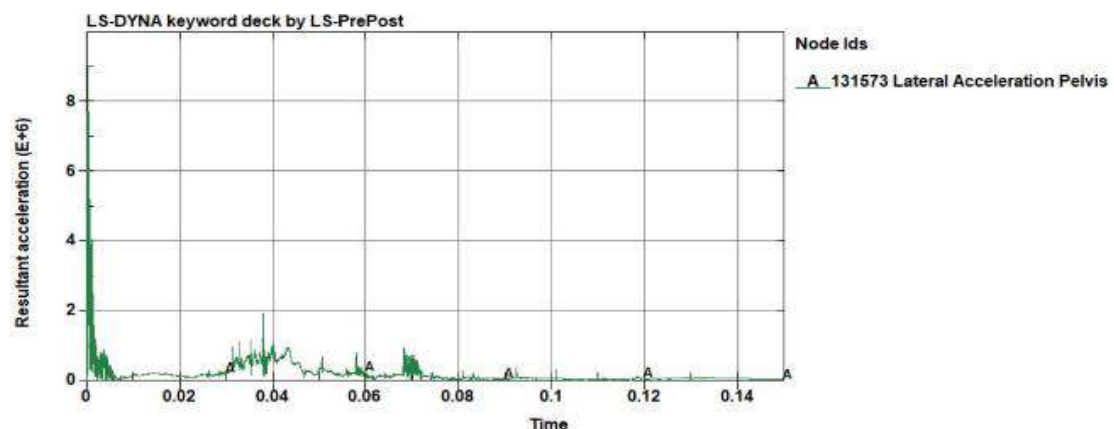


Gráfico 25-3: Aceleración en el abdomen utilizando el polímero en el refuerzo principal
Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

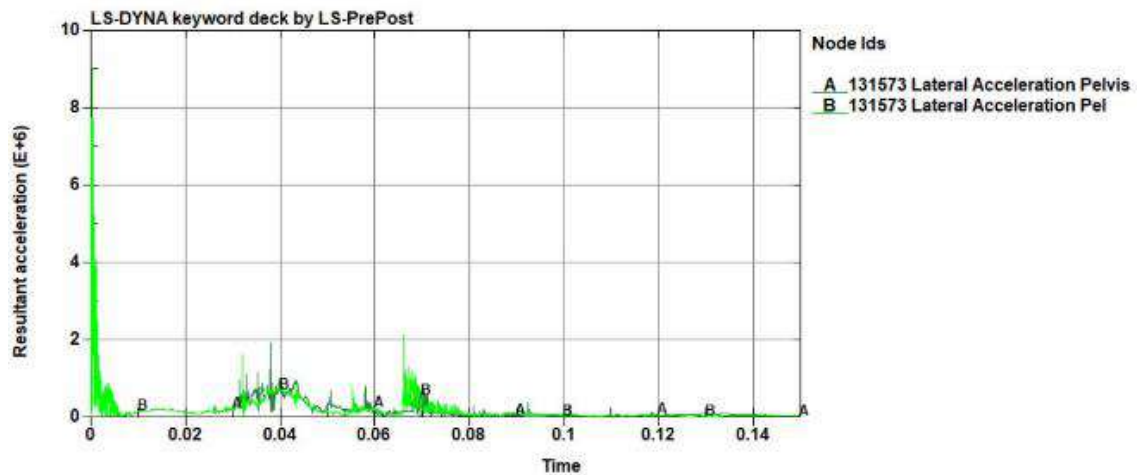


Gráfico 26-3: Comparación de las aceleraciones producidas en el tórax del dummy
 Realizado por: Omar Yupanqui (2019)

El pico de aceleración presente al inicio permite comprender que debido al impacto, características de material y grados de libertad que posee cada articulación del dummy se desplace de manera horizontal en sentido contrario al impacto, específicamente la parte de la pelvis se aprecia que a los 0.0435 ms se impacta contra la parte interna de la puerta resultado de este contacto se tiene una fuerza interna que se muestra la gráfica resultante de la fuerza en el apartado 3.1.4.4.

Después de este contacto lo que acontece es el desplazamiento del debido a la reacción del dummy después del impacto como se aprecia y se menciona en los anteriores apartados el impacto no afecta solamente a la puerta, sino que debido a esta fuerza los neumáticos se desprenden de la calzada produciendo una rotación parcial del vehículo respecto al poste donde se impacta.

CONCLUSIONES

- LS DYNA permite realizar análisis de elementos finitos dinámicos no lineales, permitiendo establecer condiciones de contorno, materiales tanto metálicos como polímeros lo cual producirá grandes deformaciones y resultados lo más cercanos a la realidad al analizar el comportamiento de cada elemento inmerso en el impacto motivo por el cual utilizamos este software en la simulación de colisiones en el ámbito automotriz.
- Las muestras tomadas de los componentes de la puerta del conductor y el polímero elastómero que será utilizado como recubrimiento en el refuerzo principal de la puerta del conductor permiten realizar ensayos para conocer las propiedades mecánicas de los materiales; datos que son necesarios para crear los materiales en el software.
- La simulación del impacto conlleva distintos parámetros que deben ser conocidos para desarrollarla como son condiciones de contorno, cargas, velocidad, contactos, tiempo de simulación, interacciones, geometría, mallado, materiales, acelerómetros, unidades, Hourglass y demás aspectos que interactúan para desarrollar la simulación permitiendo visualizar este análisis mediante la base de datos que genera resultados del impacto lateral contra un poste que se ha realizado en el presente trabajo.
- Se analizó un análisis previo de la aplicación del polímero elastómero en la puerta del conductor específicamente en el refuerzo principal; analizando varias posibilidades como rellenar el tubo del refuerzo principal, recubrir, aplicar placas de relleno de polímero alrededor del refuerzo principal e implementación de placas de absorción de impacto han sido alguna de las ideas propuestas para analizar el impacto lateral
- Las simulaciones realizadas permiten tener una idea clara de los puntos críticos en la puerta del conductor como también en el dummie al impactarse contra el poste; la deformación total en la puerta del conductor al simular sin en polímero elastómero tiene un valor de 380.87 mm y al utilizar el polímero en el refuerzo principal de la puerta del conductor es de 369.44 mm; lo que permite comprender que hubo una reducción en la deformación total de la puerta de 11.426 mm.
- La deformación producida en el refuerzo principal elemento primordial del sistema de impacto lateral sin la utilización del polímero es de 285.20 mm, al utilizar el polímero elastómero en el refuerzo principal de la puerta se obtuvo una deformación de 283.09

mm, lo cual permite comprender que hubo una reducción de la deformación del refuerzo principal de 2.11 mm.

- Las gráficas resultantes de los acelerómetros permiten comprender el comportamiento de la cabeza, hombro, tórax, abdomen y la pelvis al suscitarse el impacto lateral en los dos casos de estudio mediante la sobre posición de curvas podemos comprender la variación de los picos de aceleración existentes en cada una de las lecturas emitidas por los acelerómetros.

RECOMENDACIONES

- El control de la calidad de mallado “skewness” es importante debido a que de ello depende el análisis y la veracidad de los resultados a obtenerse en la simulación del impacto lateral contra un poste.
- Los contactos, interacciones, juntas se recomienda colocarlos de acuerdo a las condiciones y análisis que se pretenda realizar ya que hacer esto reducirá los errores e interferencias que se puedan generar en el transcurso de la simulación.
- El gasto computacional es de vital importancia debido a que las simulaciones al no tener la capacidad en núcleos adecuada se toman demasiado tiempo en desarrollar simulación

BIBLIOGRAFÍA

ABC. *ABC Nacional.* [Consulta: 18 Junio 2019] Disponible en: <https://www.abc.es/fotonoticias/fotos-reportajes/20141023/neutraliza-sobreviraje-tendencia-derrapar-1613764038643.html>.

AEADE. *Mercado Automotor en cifras. SECTOR AUTOMOTOR en cifras.* Quito, Pichincha : s.n., 13 de Agosto de 2019.

AEADE. 2017. *SECTOR AUTOMOTOR en cifras.* [Consulta: 16 de Abril 2019] Disponible en: <http://www.aeade.net>.

ALFONDO BRINDIS, ELENOR. *Propiedades básicas de los polímeros.* 2002.

AMELIA, TIERNO. *AULA DE TECNOLOGÍAS. BLOGGER.* [Consulta: 11 Noviembre 2019] Disponible en: <https://auladetecnologias.blogspot.com/2009/10/ensayo-de-traccion-simulacion-y-videos.html>.

Apuntes asignatura teoria de vehículos. Madrid : Universidad Carlos III, Octubre de 2009.

Elementos estructurales de un vehículo. Centro de Experimentación y Seguridad Vial MAPFRE, s.l. : CESVIMAP, 2004.

CINAE. *ANUARIO DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ ECUATORIANA 2018,* págs. 52-71.

ARIAS, PAZ. *Manual del Automovil.* 2008.

BELTRÁN RICO, maribel; MARCILLA GOMIS, antonio. *Tecnología de Polímeros. Procesado y propiedades.* s.l. : Universidad de Alicante, 2012, pág. 35.

BILLMEYER, Fred W. *Ciencia de los polímeros.* Barcelona - Bogota - Buenos Aires - Caracas - Mexico : REVERTÉ SA, 1975.

BONDY, Matthew. *Development of Procedures for Accurate Finite Element Modeling of the Dynamic and QuasiStatic Performance of Automotive Chassis Components Incorporating Hyperelastic Materials.* Ontario : University of Windsor. Scholarship at Windsor. Electronic theses and dissertations, 2013.

BRAVO, Pablo. *FZ AUTOMOTRIZ FULL SERVICE. Dirección Hidráulica.* [Consulta: 29 Noviembre 2019] Disponible en: <http://www.fzautomotriz.cl/index.php/hiraulic>.

CEAC. *Manual CEAC del Automóvil.* Barcelona: Grupo Editorial CEAC, 2003, pág. 833.

CEPE. *Reglamento n 95 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas - Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral.* 2015.

CHEVROLET. *Noticias e información. Ómnibus BB transportes S.A. 35 años impulsando la Industria Ecuatoriana.* [Consulta: 28 Julio 2019] Disponible en:

<https://media.gm.com/media/ec/es/chevrolet/news.detail.html/content/Pages/news/es/2010/120235años.html/>.

COMOFUNICIONA. *Explicaremos hasta cosas que NO existen! Como funciona un sistema de frenos.* [Consulta: 16 de Octubre de 2019] Disponible en: <https://como-funciona.co/un-sistema-de-frenos/>.

CORPORATION, Livermore Software Technology. *LSTC.* [Consulta: 01 Junio 2019] Disponible en: <http://www.lstc.com>.

D30. *Bienvenido: Preguntas mas frecuentes. D30 Lab.* [Consulta: 09 Julio 2019] Disponible en: <https://www.d3o.com/faq>.

D30. *Bienvenido: Preguntas mas frecuentes.* [Consulta: 22 Abril 2019] Disponible en: <http://www.d3o.com/>.

Daimler. *DAIMLER. Pictures.* [Consulta: 02 Marzo 2019]. Disponible en:

<https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/picture.xhtml?oid=6671974>.

DGT. *Dirección General de Transporte. Artículo de la DGT: Estructura: El elemento de seguridad pasiva mas importante.* [Consulta en: 25 Marzo 2019] Disponible en: <http://www.dgt.es/revista/archivo/pdf/num144-Dossier%20I-VIII.pdf>.

DZIEWULSKI, Pawel; SZURGOTT, Piotr. *Development of finite element model of shunting locomotive applicable for dynamic analyses.* s.l. : Journal of KONES Powertrain and Transport. Vol 21. No 4, 2014.

EURONCAP. *Interpretación de las estrellas.* [Consulta : 09 de Mayo 2019] Disponible en: <https://www.euroncap.com/es/euro-ncap/interpretaci%C3%B3n-de-las-estrellas/>.

EURONCAP. *Protección de ocupantes adultos.* [Consulta: 04 Mayo 2019] Disponible en: <https://www.euroncap.com/es/seguridad-en-los.veh%C3%ADculos/descripci%C3%B3n-de-las-variaciones/protecci%C3%B3n-de-ocupantes-adultos/>.

GARCIA, Javier Alfaraz. *TESTCOCHES*. [Consulta: 22 Mayo 2019] Disponible en: <https://testcoches.es/ayuda/esp-control-estabilidad-subviraje-sobreviraje/>.

GÓMEZ MORALES, Tomas. *Estructura del vehículo*. Madrid : Paraninfo, 2004.

IBARROLA, Esteban Luis. *Introducción a los fluidos no newtonianos*. s.l. : Cátedra de Mecánica de Fluidos - UNCor, 2015.

ILLESCAS PÉREZ, David. Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería) Madrid : Universidad Carlos III, 2009.

INEN 034 (4R). *REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 034 (4R). "ELEMENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES"*. Quito : s.n., 2016.

JULIÁN, TECNI AUTO. *TECNI AUTO JULIÁN opel*. [Consulta: 15 Noviembre 2019] Disponible en: <https://www.tecniautojulian.com/es/noticias/5-sntomas-de-que-la-suspension-de-tu-coche-est-en-mal-estado>.

LOAEZA, A. *Obtención de curvas esfuerzo - deformación verdaderas del PP y copolímeros en bloque a velocidad de deformación constante aplicando correlaciones de imágenes digitales*. Barcelona : Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, 2014.

LSTC. *LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL. Volume II LS-DYNA R10.0; Revisión 9024*. California : LIVERMORE SOFTWARE TECHNOLOGY CORPORATION, 2017.

LUQUE RODRIGUEZ, Pablo; ÁLVARES MÁNTARAS, Daniel. Investigación de accidentes de tráfico. Estudio del automóvil. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería) Universidad de Oviedo. Oviedo : Universidad de Oviedo, 2003.

LUQUE, Javier. Tecnología. *Ensayo de Tracción*. [Consulta: 08 Abril 2019] Disponible en: http://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo_de_traccion.html.

Materiales ópticos. Propiedades de los materiales orgánicos. Universidad Nacional del Sur. s.l. : Tecnicatura Universitaria en Óptica. Universidad Nacional del Sur, 2006.

MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos Sexta edición*. Mexico : Universidad de Dayton Pearson Education, 2006.

NAVAL, Centro E.U.I.T. *Aplicación del "análisis por elementos finitos" en Ingeniería Naval.* s.l. : Universidad de Cádiz, 2010.

NOVILLO, Jaime Condés. Simulación de ensayos de choque de vehículos; validación de un modelo de dummy en 2 dimensiones. Universidad Carlos III, Madrid : 2005.

PARERA, Albert Martí. *Sistema de seguridad y confort en vehículos automóviles.* s.l. : Marcombo, 2000.

PAVÓN ZORI, Alberto. Simulación de un choque lateral contra barrera deformable y contra un poste. (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Madrid : Universidad Carlos III, 2011.

Primotor. 2012. Primotor/Noticias. [Consulta: 01 Noviembre 2019] Disponible en: <http://primotor.blogspot.com/2012/11/>.

RIVAS, Carlos. Tema 8: Propiedades mecánicas curva Esfuerzo - Deformación unitaria. 2005.

ROHRIG, Bryan. *La maravilla para reducir impactos D3O.* febrero - marzo de 2017.

Sc, Carmen. TurboSquid. [Consulta: 15 Octubre 2019] Disponible en: <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/3d-body-car-frame-1199489>.

Smith, Tyler. PADT, Inc. *The focus.* [Consulta: 05 Septiembre 2019] Disponible: <http://www.padtinc.com/blog/tag/cfx/>.

Support, LS-DYNA. *LS-DYNA support site.* [Consulta: 26 Agosto 2019] Disponible en: <https://www.dynasupport.com/howtos/element/hourglass>.

TECNISEGURO. *Estadísticas sorprendentes de autos en Ecuador. Corresponsales de MARSH.* [Consulta: 15 Julio 2019] Disponible en:

<https://www.tecniseguros.como.ec/blog/vehículos/estadísticas-de-autos/>.

VALERO, Eduardo Frias. *Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de elementos finitos.* s.l. : Departamento de Ingeniería Eléctrica. UPC, 2004.

VOLKSWAGEN. *Volkswagen. Técnica.* [Consulta: 10 Agosto 2019] Disponible en: <http://www.volkswagen.es>.

ANEXOS

Anexo A. Ensayo de Tracción de Probetas de Material Automotriz.

Anexo B. Ensayo de Tracción de Probetas de Lastomero.