

Determinación De La Metodología Para El Análisis De Desempeño Del Habitáculo De Seguridad De Un Vehículo Liviano A Impacto Frontal Sobre Una Pared Rígida Por El Método De Los Elementos Finitos

Edwin Alfonso Chamba Monar

Universidad Particular Internacional Sek

Nota del autor

Edwin A. Chamba Monar, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Internacional

SEK; Director Ing. Juan Carlos Rocha, Msc.; Codirector Phd. Edilberto Llanes.

**Comentado [U1]:** INCLUIR AL CODIRECTOR

**Comentado [U2]:** INCLUIR AL CODIRECTOR

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

echamba.mdm@uisek.edu.ec

### **Declaración Juramentada**

Yo, EDWIN ALFONSO CHAMBA MONAR, con cédula de identidad 1717945768, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

EDWIN ALFONSO CHAMBA MONAR

C.I.: 171794576- 8

### **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a Dios, por permitirme llegar a esta etapa de mi vida y por los nuevos retos que pondrá en mi camino. A mis padres, Martha y Máximo, gracias por ser el motor que me impulsa seguir en las buenas y difíciles etapas, a mi hermano Paúl, por enseñarme que nada es imposible si das tu mayor esfuerzo.

A mi familia y amigos...

*Edwin Alfonso*

### **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Juan Carlos Rocha (Director y amigo), por compartir sus conocimientos y experiencia profesional al dirigir este proyecto y ser parte de este logro.

A mis compañeros de Aula: Bryan, Marco, Diego, Alexander y Andrés, por ver hecho un ambiente diferente, en cada jornada.

Al laboratorio CEND INGENIERIA S.A., por la capacitación impartida para el desarrollo del presente proyecto.

Metodología Para El Habitáculo De Seguridad 5

## CONTENIDO

Declaración Juramentada.....	2
DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTO .....	4
CONTENIDO .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
Índice de Tablas .....	15
RESUMEN.....	17
INTRODUCCIÓN .....	19
Antecedentes .....	19
Planteamiento del problema.....	21
Trabajos Previos.....	30
Seguridad vehicular en el Ecuador.....	30
Resistencia al choque “Crashworthiness”.....	35
La deformación programada .....	37
Ensayos y pruebas de choque.....	38
Modelo de elemento finito de vehículo y barrera .....	39
Tipo de Estudio.....	43
Modalidad de investigación .....	43
Conceptos de física en cuanto al choque .....	43
MÉTODO.....	43

Metodología Para El Habitáculo De Seguridad	6
Selección y asignación de elementos de estudio.....	45
Parámetros del ensayo de impacto frontal .....	47
Construcción de la geometría en un Software para modelado y análisis de elementos finitos	48
Diseño del Cad.....	50
Generación de malla para el análisis MEF.....	52
PREPARACIÓN DEL MODELO .....	52
Relación de aspecto.....	53
Ángulo de Inclinación (Skew Angle).....	54
Deformación (warpage) .....	54
Jacobian Ratio.....	55
LS- Dyna.....	60
Condiciones de frontera del escenario de simulación .....	62
Proceso de la simulación.....	63
Características elásticas de materiales .....	63
Variables obtenidas en el análisis computacional.....	66
Balance de energía .....	69
Modelos matemáticos para el análisis de impacto frontal .....	70
Formulaciones básicas para analizar el sistema dinámico explícito .....	71
Análisis por el método del elemento finito .....	77
RESULTADOS.....	83
PARÁMETROS DE COMPARACIÓN, SOBRE EL HABITÁCULO DE SEGURIDAD: ..	85

Metodología Para El Habitáculo De Seguridad	7
ELECCIÓN DE MATERIALES A EMPLEAR EN EL ESTUDIO.....	85
ACERO GALVANIZADO.....	89
ACERO HABITÁCULO DE SEGURIDAD AVEO .....	92
ALEACIÓN Mg-97.5%Al.....	95
ACERO 1045.....	98
ACERO 1020.....	101
ACERO 1006.....	103
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	107
ANÁLISIS DE RESULTADOS ESFUERZO DE VON MISSES .....	107
ANÁLISIS DE RESULTADOS DEFORMACIÓN PLÁSTICA EN HABITACULO DE SEGURIDAD.....	113
ANÁLISIS DE RESULTADOS DESPLAZAMIENTO EN Z RESPECTO AL HABITACULO DE SEGURIDAD .....	120
ANÁLISIS MULTICRITERIO .....	124
MÉTODO COPRAS.....	124
MÉTODO TOPSIS .....	127
MÉTODO VIKOR.....	131
CONCLUSIONES .....	134
RECOMENDACIONES.....	136
Referencias .....	137
ANEXO IA- PLANOMETRÍA .....	148
ANEXO II PREPROCESO.....	149

Metodología Para El Habitáculo De Seguridad	8
Dibujo del modelo.....	149
Preparación del modelo.....	149
Mallado dentro del modelo .....	150
Reconstrucción de errores de Malla.....	150
Definición de material.....	151
Asignar material y sección al modelo. ....	153
Condiciones de frontera- Restricciones de desplazamiento.....	154
Condiciones de frontera- Velocidad de desplazamiento del vehículo. ....	155
Condiciones de frontera- Definición de contacto. ....	156
Control de simulación (Explícita). ....	156
Almacenamiento para revisión de Resultados.....	157
Grabar archivo extensión .k (keyword).....	158
Correr simulación.....	158
ANEXO IIIA- REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO 034.....	159

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. Directiva 2007/46/CE. Categorías de vehículos. Tomado de (Vicente, Salazar, Sáez, & Álvarez), 2015. ....	23
Figura. 2. Impacto frontal, ensayo real. Tomado de Global Ncap, 2017.....	23
Figura. 3. NCAP - Pruebas Europeas y Americanas. Tomado de Räsänen, 1998.....	26
Figura. 4. NCAP - Pruebas en Asia / Australia. Tomado de Räsänen, 1998.....	27
Figura. 5. Ensayo de impacto NCAP. Tomado de Roman, 2011. ....	28
Figura. 6. Diagrama del sector automotriz y sus derivaciones. Tomado de CINAIE, 2017.....	29

Figura. 7. Homologación de seguridad pasiva. Tomado de CIDAUT,2017..... 31

Figura. 8. Jaula de seguridad y habitáculo. Recuperado de <http://www.chevrolet.com.html>,2017 ..... 33

Figura. 9. Materiales carrocería. Recuperado de <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/materiales-utilizados-en-la-carroceria-del-automovil> ..... 34

Figura. 10. Bastidor monocasco. Recuperado de Du Bois et al., 2000..... 36

Figura. 11. Distribución de la trayectoria de carga para el impacto frontal. Recuperado de Duan, Sun et al. 2016. .... 37

Figura. 12. Espacio de aplastamiento para la estructura de la parte delantera. Recuperado de Duan, Sun et al. 2016. .... 38

Figura. 13. Modelo FEA de ODB: (a) antes del impacto; (B) después del impacto y la validación del ensayo..... 40

Figura. 14. Comparación de deformaciones estructurales entre ensayos experimentales y numéricos ..... 40

Figura. 15. Elementos clave necesarios para la evaluación virtual. Recuperado de Ghosh, Mayer et al., 2016. .... 41

Figura. 16. Modelo simplificado. Recuperado de Chen, Yang et al. ,2015. .... 42

Figura. 17. Diferentes zonas durante el impacto de un vehículo. Recuperado de Muñoz Agudo, 2015..... 42

Figura. 18. Diagrama de proceso-Método ..... 44

Figura. 19. Venta de Vehículos por segmento. Tomado de Cínae,2017. .... 46

Figura. 20. Vehículos más vendidos año 2016. Tomado de Cínae, 2017..... 46

Figura. 21. Dimensiones del vehículo Aveo ..... 47

Figura. 22. Ensayos de choque frontal bajo normativa Americana. Recuperado de Eggers, 2013.....	48
Figura. 23. Ensayos de choque frontal NCAP. Recuperado de Eggers, 2013.....	48
Figura. 24. Estructura a ser modelada.....	50
Figura. 25. Cad vehículo Sedán.....	50
Figura. 26. Cad vehículo Sedán-Estructura habitáculo de seguridad visible.....	51
Figura. 27. Cad vehículo Sedán- Vista en diferentes perspectivas.....	51
Figura. 28. Visualización del factor de triaxialidad en LS-PrePost. Recuperado de Inc, 2012.....	52
Figura. 29. Interfaz SpaceClean.....	53
Figura. 30. Relacion de aspecto. Recuperado de Siemens, 2017.....	54
Figura. 31. Angulo de inclinacion. Recuperado de Ansys- Mesh Quality, 2017.....	54
Figura. 32. Deformación. Recuperado de <a href="http://manual.midasuser.com/EN_Common/FEA/330/FEA/05_Mesh/Check_Quality.htm">http://manual.midasuser.com/EN_Common/FEA/330/FEA/05_Mesh/Check_Quality.htm</a> .....	55
Figura. 33. Habitaculo Mallado.....	56
Figura. 34. Habitaculo y carrocería con malla 2D.....	56
Figura. 35. Numero de elementos de la carroceria.....	57
Figura. 36. Numero de elementos con deformacion.....	57
Figura. 37. Numero de elementos con angulo skew.....	58
Figura. 38. Numero de elementos con ratio jacobian.....	59
Figura. 39. Interfaz de Ls-Prepos.....	62
Figura. 40. Condiciones de borde para escenario de simulación.....	62
Figura. 41. Curva esfuerzo – deformación unitaria de un material. Recuperado de Mott R. 2009 Resistencia de Materiales Quinta Edición.....	64
Figura. 42. Probetas del material.....	64

Metodología Para El Habitáculo De Seguridad	11
Figura. 43. Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga. Recuperado de Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua .....	65
Figura. 44. Material para realizar la simulación .....	66
Figura. 45. Hourglass .....	67
Figura. 46. Energía interna.....	68
Figura. 47. Energía interna. Recuperado de Ls Dyna, 2015.....	69
Figura. 48. Curvas de energía .....	70
Figura. 49. Algoritmo de cálculo para dinamica explícita. Recuperado de Shen Wu y Lei Gu ,2012.....	71
Figura. 50. Vehículo sedan se impacta a 56 Km/h. Diferentes vistas de los cuerpos a impactarse. Choque de los cuerpos totalmente inelástico.....	72
Figura. 51. Zona de estudio de impacto.....	74
Figura. 52. Resultados numéricos previo al Análisis Gráfico. Tomado de Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua .....	75
Figura. 53. Modelado del elemento .....	76
Figura. 54. Mallado del elemento .....	77
Figura. 55. Parte de la estructura analizada en software en términos de deformación. Def Max 0,27 mm. ....	77
Figura. 56. Viga hiperestatica con carga puntual.....	78
Figura. 57. Elemento estructural a ser analizado .....	78
Figura. 58. Cálculo de operaciones entre matrices realizado en Matlab Demo.....	81
Figura. 59. Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga.....	86

Figura. 60. Características mecánicas Acero 1000, inicial. Recuperado de  
<http://www.matweb.com>..... 86

Figura. 61. Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga. Recuperado  
 de Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico  
 Carrocero, Gobierno de Tungurahua ..... 87

Figura. 62. Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga. Recuperado  
 de Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico  
 Carrocero, Gobierno de Tungurahua. .... 87

Figura. 63. Características mecánicas Aluminio 1060. Recuperado de  
<http://www.matweb.com>..... 88

Figura. 64. Impacto frontal vehículo Sedán ..... 89

Figura. 65. Esfuerzo de Von misses - Acero Galvanizado ..... 90

Figura. 66. Deformación plástica – Acero Galvanizado ..... 90

Figura. 67. Desplazamiento en el eje z - Acero Galvanizado ..... 91

Figura. 68. Esfuerzo de von Misses vs Desplazamiento en el eje z - Acero Galvanizado ..... 91

Figura. 69. Esfuerzo de von Misses vs Deformación - Acero Galvanizado ..... 92

Figura. 70. Impacto frontal ..... 93

Figura. 71. Esfuerzo de Von Misses - Probeta habitaculo de Seguridad ..... 93

Figura. 72. Deformación plástica – Probeta habitaculo de Seguridad ..... 94

Figura. 73. Desplazamiento en el eje z - Probeta habitaculo de Seguridad ..... 94

Figura. 74. Esfuerzo de von Misses vs Desplazamiento en el eje z - Probeta habitaculo de  
 Seguridad ..... 95

Figura. 75. Esfuerzo de von Misses vs Deformación - Probeta habitaculo de Seguridad ..... 95

Figura. 76. Impacto frontal ..... 96

Figura. 77. Esfuerzo de Von misses ..... 96

Figura. 78. Deformación plástica – Probeta habitáculo de Seguridad .....	97
Figura. 79. Desplazamiento en el eje z- Probeta habitáculo de Seguridad.....	97
Figura. 80. Resultados de un choque frontal-Acero 1045 .....	98
Figura. 81. Esfuerzo de Von misses-Acero 1045 .....	99
Figura. 82. Deformación plástica –Acero 1045 .....	99
Figura. 83. Desplazamiento en el eje z-Acero 1045 .....	100
Figura. 84. Esfuerzo de von Misses vs Desplazamiento en el eje z-Acero1045 .....	100
Figura. 85. Esfuerzo de von Misses vs Deformación -Acero 1045 .....	101
Figura. 86. Impacto Frontal-Acero 1020 .....	101
Figura. 87. Esfuerzo de Von misses-Acero 1020 .....	102
Figura. 88. Deformación plástica –Acero 1020 .....	102
Figura. 89. Desplazamiento en el eje z-Acero 1020 .....	103
Figura. 90. Esfuerzo de von Misses vs Deformación -Acero 1020 .....	103
Figura. 91. Resultados de un choque frontal-Acero 1006 .....	104
Figura. 92. Esfuerzo de Von misses-Acero 1006 .....	104
Figura. 93. Deformación plástica –Acero 1006 .....	105
Figura. 94. Desplazamiento en el eje z-Acero 1006 .....	105
Figura. 95. Esfuerzo de von Misses vs Deformación -Acero 1006 .....	106
Figura. 96. Impacto frontal- 6 simulaciones .....	107
Figura. 97. Esfuerzo de von Misses 6 simulaciones .....	108
Figura. 98. Esfuerzo de von Misses Vs Tiempo- 6 simulaciones .....	111
Figura. 99. Esfuerzos de Von misses maximos .....	113
Figura. 100. Deformación plástica- 6 simulaciones.....	115
Figura. 101. Deformación plástica Vs Tiempo - 6 simulaciones .....	118
Figura. 102. Deformación plástica.....	119

Metodología Para El Habitáculo De Seguridad	14
Figura. 103. Desplazamiento en eje z- 6 simulaciones	121
Figura. 104. Desplazamiento en eje z Vs Tiempo- 6 simulaciones	122
Figura. 105. Desplazamiento en eje z	123
Figura. 106. Modelo Vehículo Sedán	149
Figura. 107. Interfaz SpaceClaim	149
Figura. 108. Malla del modelo	150
Figura. 109. Errores en malla	151
Figura. 110. Corrección en malla	151
Figura. 111. Asignación de material vehículo	152
Figura. 112. Características mecánicas del material vehículo	152
Figura. 113. Características mecánicas del material vehículo	153
Figura. 114. Asignación de material al modelo	154
Figura. 115. Restricciones de grado de libertad	154
Figura. 116. Restricciones de grado de libertad	155
Figura. 117. Asignación de velocidad de impacto	155
Figura. 118. Definición de contacto	156
Figura. 119. Control de Simulación	156
Figura. 120. Almacenamiento para revisión de resultados	157
Figura. 121. Almacenamiento para revisión de resultados	157
Figura. 122. Grabar archivo en extensión K.	158
Figura. 123. Interfaz LsDyna. Recuperado de <a href="http://www.cmplx.com.mx">www.cmplx.com.mx</a>	158

**Índice de Tablas**

Tabla 1 Diferencias entre Normativa .....26

Tabla 2 Diferencias de Seguridad activa y pasiva entre Europa y Ecuador ..... 32

Tabla 3 Características técnicas .....47

Tabla 4 Unidades para programar en Ls-dyna..... 61

Tabla 5 Condiciones de Frontera ..... 62

Tabla 6 Resultados de caracterización de material ..... 65

Tabla 7 Datos para el cálculo de la fuerza de choque .....72

Tabla 8 Cuadro comparativo de valores de resistencia..... 75

Tabla 9 Condiciones de frontera para resolver el mismo caso por el método de elementos  
..... 78

Tabla 10 Comparativo de resultados obtenidos con diferentes métodos ..... 81

Tabla 11 Rangos de límite elástico para los diferentes tipos de acero..... 83

Tabla 12 Materiales empleados para validación del estudio..... 88

Tabla 13 Materiales empleados para validación del estudio..... 89

Tabla 14 Propiedades de materiales..... 125

Tabla 15 Puntuación de materiales ..... 126

Tabla 16 Puntuación de materiales ..... 126

Tabla 17 Puntuación de materiales ..... 127

Tabla 18 Caractericas materiales Método Topsis ..... 128

Tabla 19 Método Topsis ..... 128

Tabla 20 Método Topsis- Tabla Normalizada ..... 128

Tabla 21 Método Topsis- Tabla Normalizada asignada pesos ..... 129

Tabla 22 Método Topsis- Matriz Positiva ..... 129

Tabla 23 Método Topsis- Matriz Negativa..... 130

Metodología Para El Habitáculo De Seguridad	16
Tabla 24 Método Topsis- Resultados .....	130
Tabla 25 Método Vikor- Variables .....	131
Tabla 26 Método Vikor.....	132
Tabla 27 Método Vikor.....	132
Tabla 28 Método Vikor- Resultados.....	132

**RESUMEN**

Los ingenieros, generalmente utilizan programas computacionales que les permite realizar estudios y análisis basados en métodos explícitos e implícitos, lo cual admite tratar fenómenos físicos que antes eran imposibles analizar con procesos simples de cálculo. El presente estudio se enfoca en *determinar una metodología para el análisis de desempeño del habitáculo de seguridad de un vehículo liviano a impacto frontal sobre una pared rígida por el método de los elementos finitos* , empleando un diseño CAD en un programa computacional, después se realizó el PRE PROCESAMIENTO, donde permite revisar la geometría, es decir validar errores frecuentes al generar malla de elementos finitos por ejemplo : interferencias, separaciones, duplicados, redondeos, caras duplicadas, entre otras, que se generaron al momento de dibujar el modelo, posterior a esto se determina la SOLUCIÓN en el software Ls Dyna, mediante simulación explícita se visualiza convergencia en cada simulación para lo cual se estableció condiciones de borde, para 6 ensayos con 6 diferentes materiales en el habitáculo impactado en una pared rígida de acuerdo a normativa.

Se continuo con un POST- PROCESAMIENTO, que son resultados de la simulación, obtenidos donde se determinó el comportamiento estructural del habitáculo de seguridad evaluando el desempeño al someterse a un impacto frontal a una velocidad de 56 Km/h. Al finalizar la prueba, se determinó que existe un material, que ha superado los esfuerzos máximos, por tanto conlleva a una falla estructural, esto indica que en evento similar puede causar lesiones a los pasajeros del vehículo, es decir no resguardaría y protegería a los ocupantes

Palabras clave: Impacto frontal, simulación, habitáculo de seguridad, elementos finitos, Crashworthiness.

Comentado [U3]: UNA CONCLUSION GENERAL SE DEBE INCLUIR

Comentado [U4]: MINIMO 5 PALABRAS CLAVE??

**ABSTRACT**

Engineers generally use computer programs that allow them to carry out studies and analyzes based on explicit and implicit methods, which makes it possible to deal with physical phenomena that were previously impossible to analyze with simple calculation processes. The present study focuses on determining a methodology for the analysis of the performance of the safety compartment of a light vehicle to frontal impact on a rigid wall by the finite element method, by means of a CAD model in a computer program, after the PRE PROCESSING, where you can check the geometry, that is, validate frequent errors when generating finite element mesh, for example: interferences, separations, duplicates, rounding, duplicated faces, among others, that were generated at the time of drawing the model, after this the SOLUTION is determined in the Ls Dyna software, by means of an explicit simulation, convergence is visualized in each simulation for which edge conditions were established, for 6 tests with 6 different materials in the passenger compartment impacted in a rigid wall according to regulations.

We continued with a POST-PROCESSING, which are results of the simulation, obtained where the structural behavior of the safety compartment was determined, evaluating the performance when subjected to a frontal impact at a speed of 56 km / h. It was determined that there is a material, which has exceeded the maximum efforts, therefore it leads to a structural failure, this indicates that in a similar event it may cause injuries to the passengers of the vehicle, that is, it would not protect and the passengers.

Keywords: Frontal impact, simulation, safety compartment, finite elements, Crashworthiness.

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes

El presente proyecto pretende obtener información sobre el desempeño del habitáculo de seguridad de un automóvil al ser impactado sobre una pared rígida; el estudio dinámico se basa en simulación por el Método de Elementos Finitos (MEF), de la carrocería sometida a carga de impacto frontal.

Con el rápido desarrollo de la economía global y la tecnología de ingeniería, la industria del automóvil ha cambiado inmensamente el estilo de vida de las personas en las últimas décadas, y el uso de vehículos ha sido popular en diversos campos. Pero el accidente de tráfico se ha convertido simultáneamente en un grave problema social. La mortalidad causada por el accidente del vehículo se ha mantenido en un alto nivel. El impacto frontal representa el 40% de todas las colisiones de vehículos, causando el 70% del total de muertes de tráfico (Wang & Wang, 2016).

En la Universidad de Wichita en Estados Unidos se determinó la cinemática y el mecanismo de daño de los pasajeros de los automóviles tipo sedán en un impacto frontal cuyo escenario es definido por el estudio de reportes de accidentes fatales que involucran a vehículos livianos y se concluye que la cabeza, el cuello y conjuntamente con las extremidades inferiores, resultan con mayor daño, ya sea por el contacto cuerpo a cuerpo o por el contacto del cuerpo contra el volante del vehículo (Olivares & Yadav, 2009).

En el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Thonburi en Tailandia se analizó la resistencia estructural y las características de deformación de la estructura de un automóvil sometido a un impacto frontal mediante las regulaciones del reglamento R029. Se modela la sección frontal con la ayuda del programa HYPERMESH y el análisis es configurado como un código dinámico explícito no lineal en ABAQUS. La

seguridad pasiva basada en el espacio de supervivencia no fue satisfactoria para el modelo estudiado por lo que se proponen otros modelos basados en dos zonas estructurales que aumentan la absorción de energía y protegen al conductor de cualquier contacto con la estructura (Gu et al., 2013)

Para validar los resultados de los ensayos propuestos en el reglamento R029 con valores obtenidos por Métodos de Elementos Finitos. La fábrica de camiones y buses ASHOK LEYLAND creó simulaciones que se formularon para verificar varios aspectos de la seguridad de la cabina mediante el software ALTAIR, el solver RADIOSS y se observó que existe una buena correlación de los datos teóricos y los datos experimentales atestando el uso de métodos numéricos en diferentes investigaciones (Philip & Mungale, 2013).

Otro caso que estudia un modelo de automóvil y su comportamiento en un choque es el realizado por el Colegio de Ingeniería de la Universidad Estatal de Florida donde se crea un modelo por Elementos Finitos de todo el auto asignando los diferentes componentes, materiales con los mismos tipos de conexiones y uniones para realizar un estudio de impacto frontal y lateral en diferentes escenarios, otro objetivo de este trabajo fue analizar una estructura modificada a partir del modelo de fábrica como muchos de los fabricantes de autos lo hacen en nuestro país. Se concluye que los resultados numéricos fueron comparados con los resultados experimentales en diferentes niveles de validación, encontrando una buena correlación para cada caso; el ensayo de volcamiento de acuerdo a la norma R 66 puede registrar perturbaciones de las condiciones iniciales dependiendo de la estructura del automóvil (Morka, Kwaśniewski, & Wekezer, 2005).

En el año 2016 se realizó un total de 62.305 ventas de vehículos en Ecuador, las marcas favoritas en la adquisición se encontraron distribuidas de la siguiente manera: Chevrolet (40%), Kia (11%), Hyundai (7%), Suzuki (6%) y Toyota (5%), es decir el 69% de la

participación de mercado. De esta población la preferencia de los clientes ecuatoriano predomina la tendencia de adquirir automóviles en un 44%, los SUV con el 26%, las camionetas en un 21 % y los vehículos de transporte pesado con el 9% (Cinae, 2017).

El modelo que obtuvo mayor aceptación en ventas durante el año 2015 y 2016 fue el vehículo Aveo Emotion GLS AC 1.6 4p 4x2 TM, con un total de 8.233 unidades ingresados al parque automotor ecuatoriano, por esta razón radica la importancia, de estudiar el comportamiento del habitáculo de seguridad, ante un impacto frontal.

El efecto que tiene el proceso de conformado en diferentes componentes estructurales en un choque también fue estudiado, un ejemplo es el estudio realizado por varios investigadores del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Waterloo en Canadá que determinan en primera instancia el esfuerzo residual y la reducción de espesor producidos en el conformado de perfiles circulares de aluminio de rieles tipo S, medidos con técnicas experimentales y validadas mediante simulaciones numéricas para llegar a la conclusión de que la fuerza pico en el impacto aumenta entre un 25-30% y la energía absorbida en el punto de desgarro se incrementa en un 18 % solo por el efecto del conformado. (Oliveira D, et al, 2006)

### **Planteamiento del problema**

En un informe emitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2010 se encontró Ecuador como uno de los países con más muertes por accidentes de tránsito en Latinoamérica. El 50,09% son ocasionados por falta de experiencia o descuido del conductor, el 13,2% por desacato a las leyes de tránsito, el 12,31% por superar límites de velocidad, por embriaguez son el 9,73%, el 7,69% por situaciones externas sin comprobar y el 6,99% por descuido de otros implicados. (Agencia Nacional de Tránsito 2010).

El objetivo del presente estudio es determinar el desempeño de los protocolos de seguridad que brindan protección a los ocupantes de un vehículo en un ensayo computacional de choque frontal sobre una pared rígida mediante una metodología de cálculo simplificada por el análisis de elementos finitos, para verificar la estructural y la mínima rigidez de la estructura en la seguridad de los ocupantes.

Una prueba de choque es una forma de pruebas destructivas para garantizar un diseño seguro en caso de impacto o colisión. Pero no siempre es económico destruir un espécimen para garantizar su seguridad, especialmente en el caso de producción a pequeña escala. La simulación de choque es muy popular últimamente, porque es una representación virtual de un ensayo destructiva de impacto de un vehículo empleando una simulación por computadora con el fin de examinar el nivel de seguridad del vehículo y sus ocupantes en diferentes condiciones como la velocidad de colisión, colisionar el objeto, el material y el número del componente del objeto colisionando, entre otros, por lo tanto ahorra el tiempo y el coste (Mishra & Pradhan, 2016).

Mediante el análisis de una estructura real con el método de los elementos finitos para evaluar el desempeño de la capsula de seguridad del habitáculo del conductor y copiloto a impacto frontal sobre una barrera rígida. El programa de elementos finitos para este análisis es el software de simulación LS DYNA.

El estudio y la metodología de análisis planteados, podrían servir de base y objeto de estudio para ensayos virtuales de impactos frontales, laterales y por alcance.

Además de proporcionar un documento técnico que posiblemente ayude en las investigaciones forenses de accidentes de tránsito.

Los fabricantes de automóviles europeos usan el reglamento ECE R94 “DISPOSICIONES UNIFORMES REFERENTES A LA APROBACIÓN DE AUTOMÓVILES CON

RELACIÓN A LA DEFENSA DE LOS OCUPANTES EN PROCESO DE CHOQUE FRONTAL” para la homologación de vehículos comerciales medianos y pesados en los cuales es importante [verificar y asegurar la zona de supervivencia del ocupante de la cabina ante una colisión de tipo frontal para vehículos de la categoría M1, como se indica en Figura 1.

		DESCRIPCION	RANGO
Vehículos de pasajeros			
M <sub>1</sub>		No mas de 8 plazas (excluida la del conductor)	NA
M <sub>2</sub>		Mas de 8 plazas (excluida la del conductor)	Hasta 5 Tn
M <sub>3</sub>		Mas de 8 plazas (excluida la del conductor)	Mas de 5Tn
M <sub>1</sub>	Especiales 	Autocaravanas, ambulancias, blindados, vehículos con acceso sillas minusválidos	NA
Transporte Mercancias			
N <sub>1</sub>		Furgonetas y camiones ligeros	Hasta 3.5 Tn
N <sub>2</sub>		Furgonetas y camiones tamaño medio	Entre 3.5 y 12Tn
N <sub>3</sub>		Camiones pesados	Mas de 12Tn

Figura. 1. Directiva 2007/46/CE. Categorías de vehículos. Tomado de (Vicente, Salazar, Sáez, & Álvarez), 2015.

Aproximadamente el 80% de las lesiones del impacto del vehículo en las extremidades inferiores son causadas por contacto con los elementos de carrocería que en el fenómeno de choque retroceden y presionan estas partes del cuerpo. (Mallory y Stammen 2006).

Para evaluar la protección de las extremidades rodillas, muslos, la NCAP realiza ensayos reales de diferentes modelos y marcas de vehículos, buses y tracto camiones para calificar bajo criterios de ingeniería su seguridad en caso de colisión como se muestra en la Figura 2.

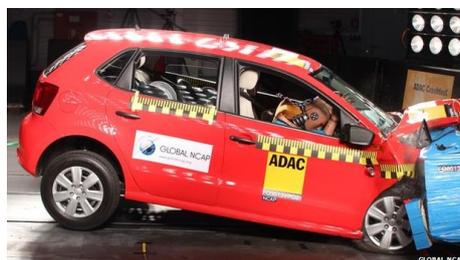


Figura. 2. Impacto frontal, ensayo real. Tomado de Global Ncap, 2017.

Comentado [U5]: RELACIONE A LAS FIGURAS Y TABLAS EN EL PARRAFO ANTERIOR, EN TODO EL TEXTO

Comentado [PCM6]: Superado

La ejecución de las pruebas de impacto o crash-test son realizadas por organismos o entidades, en pequeña escala. Llevando los ensayos de choque con distintos fines, por esta razón, suelen ser diferentes, aunque todas las pruebas buscan verificar la seguridad pasiva del vehículo. (Illescas Pérez, 2009)

A continuación, se presenta agrupados en tres principales grupos que realizan los ensayos de impacto – crash-test:

a) Constructores – Ensambladores

Todas las empresas fabricantes y las ensambladoras realizan distintos tipos de pruebas a sus modelos y marcas, entre las que consta el ensayo de impacto como parte de la etapa de diseño. Estas pruebas y ensayos se las realizan al inicio de la concepción del modelo (Pruebas virtuales) y también cuando ya se ha concebido todo el modelo la finalidad de evidenciar que estos automotores son idóneos para ingresar a un mercado. A partir de un nuevo evento en algún modelo de vehículo, las industrias plasman un diseño computarizado con el fin de no tener inconvenientes con las exigencias de homologación, que exigen atravesar ciertas pruebas con el fin de verificar que el automóvil cumpla con lo mínimo de nivel de seguridad.

Indistinto de las fases anteriormente mencionadas, para el diseño de un nuevo modelo de vehículo se emplean softwares informáticos de simulación multifísica que permiten observar de manera casi realista el comportamiento del vehículo ante diferentes tipos de pruebas y entre ellas las de impacto de tal modo que puedan alertar al diseñador de una falla estructural, dinámica, estática, aerodinámica, etc, del modelo. Sin embargo, existen organizaciones que no les basta la simulación propia de las empresas que fabrican los vehículos por lo que realizan un ensayo propio del modelo usando un vehículo real.(Global Ncap,2017)

b) Organismos de homologación

La homologación es una autorización administrativa, previa a la comercialización del vehículo, que certifica que se cumplen las prescripciones técnicas establecidas por algún

organismo regulatorio nacional o internacional que tiene por objetivo garantizar que los automóviles recién fabricados, los mecanismos o repuestos que se ingresen a un mercado automotor, brinden:

- Gran nivel al usuario de seguridad.
- Defensa del medio ambiente

Al referirse a seguridad, es necesario indicar elementos que vinculan la seguridad activa, mediante ensayos de conducción en pistas de prueba, con respecto a seguridad pasiva, deberá ser realizada en un laboratorio. No obstante, la seguridad pasiva se puede validar elemento por elemento a través de varias pruebas, siendo la principal manera de valoración es mediante ensayos de choque. (Illescas Pérez, 2009)

Para la homologación para automóviles que circulen en carreteras se realizan ensayos de choque de acuerdo a cada normativa existente en cada país, por ejemplo en Europa hay una única normativa que aplica a todos los países que conforman la Unión Europea. Otros países como Japón, Estados Unidos, Australia y Canadá, realizan la misma prueba de crash-test, pudiendo existir diferencias en los parámetros a verificar. (Illescas Pérez, 2009)

#### c) Organizaciones NCAP

Las asociaciones NCAP (New Car Assessment Programme) o Programas de Valoración de Automóviles Nuevos, son sociedades constituidas con el objetivo de evaluar la seguridad en vehículos nuevos que ingresan a un mercado. La sociedad EuroNCAP en Europa facilita a investigadores y público en general, información concerniente a la seguridad pasiva de un automóvil al presentarse en un evento de un choque. Entre los integrantes de esta asociación se destaca al Departamento de Transportes de Reino Unido, Administración de carreteras de Suecia, Alemania, Holanda entre otros países. La Figura 3 indica diferentes ejemplos de pruebas de choque a nivel mundial.

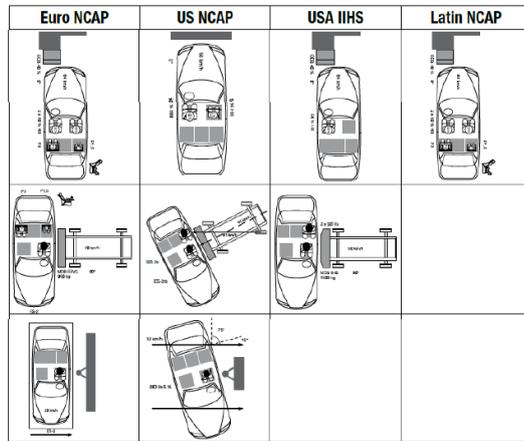


Figura. 3. NCAP - Pruebas Europeas y Americanas. Tomado de Räsänen, 1998.

La siguiente tabla muestra diferencias entre cada Norma a Nivel Mundial, con respecto a un choque Frontal

Tabla 1

Diferencias entre Normativa

UNECE 94	NCAP USA	REGULACIÓN 33	NCAP EURO	NCAP LATIN	IIHS
La prueba de velocidad no debe ser mayor a 60 km/h	Los laboratorios de contratos son dirigidos por el procedimiento para usar una velocidad de impacto de 56.30 +/-0.80 km/h	La velocidad de impacto debe estar entre 48.3 km/h y 53.1 km/h	Los choques frontales son realizados a 64 km/h	Los choques frontales son realizados a 64 km/h	Los choques frontales son realizados a 64 km/h
La barrera para una generación de carros y una barrera rígida demasiado baja para vehículos modernos (tal como en el fondo fuera de la barrera). El golpe afecta al 50% del área frontal	Debe consistir de una estructura reforzada de concreto, de 6ft de alto, 6ft de espesor, 12ft de ancho.	La barrera consiste de un bloque reforzado de concreto no menor a 3m de espesor y no menos a 1.5m de alto.	Barrera que se deforma de 1000mm de ancho por 540mm de profundidad	Barrera deformable de 1000mm de ancho por 540 mm de espesor	Barrera deformable hecha de aluminio
	El golpe afecta al 100% del área frontal		El golpe afecta al 40% del área frontal	El golpe afecta al 40% del área frontal	El golpe afecta al 40% del área frontal

Tomada de Global Ncap(2015).

Estos ensayos de choque se ejecutan a cierta cantidad de automóviles que se encuentren en un mismo segmento es decir utilitario, berlinas, monovolúmenes, entre otros.

La calificación que obtiene cada vehículo se valora por un número de estrellas que oscila entre cero y cinco, siendo cinco la máxima calificación con respecto al grado de seguridad, del automóvil tanto para los peatones que pueden intervenir en un choque del vehículo así como también a los ocupantes. La Figura 4 indica diferentes tipos de pruebas de impactos frontales y laterales, realizadas en Asia.

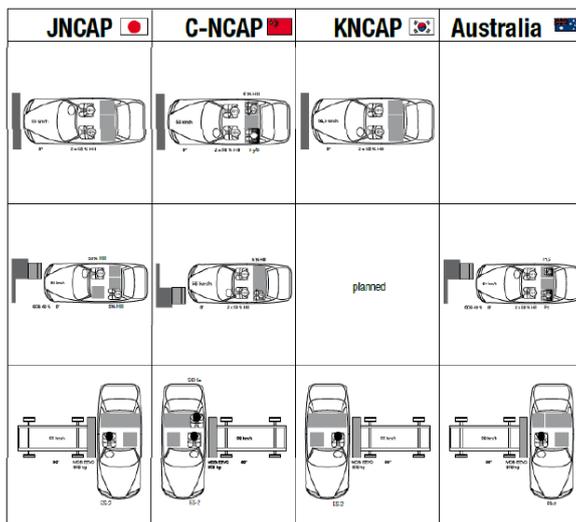


Figura. 4. NCAP - Pruebas en Asia / Australia. Tomado de Räsänen, 1998

El programa de elementos finitos para este análisis es el software de simulación Ls Dyna. En este análisis de la estructura, se pretende comprobar si se cumplen los distintos parámetros que se establecen en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE 034 y la europea ECE R94, como por ejemplo la resistencia de las secciones y soldaduras además de su afectación en el habitáculo de seguridad con sus ocupantes, la Figura 5 muestra dos tipos de accidentes, donde se ve involucrado el habitáculo de seguridad y la seguridad del pasajero.



*Figura. 5.* Ensayo de impacto NCAP. Tomado de Roman, 2011.

En Ecuador, al comenzar los años 70, con el anuncio de la Ley de Fomento al Sector Automotor, en la presidencia de José María Velasco Ibarra, inicio el nacimiento de la industria automovilística ecuatoriana. Posterior a esto, con el apoyo de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) a los países de la región crea procedimientos de industrialización, con el fin de disminuir importaciones, de tal forma, causar el desarrollo en sus economías. (Samaniego Terán, 2014)

En la actualidad, la manufactura automotriz es importante en la economía. Su continuación permite el desarrollo en otros campos industriales como fabricación de carrocerías, equipos eléctricos, electrónica, metalmecánica, fabricación de caucho y plástico, vidrios, química, textil, entre otras es decir genera actividades económicas directas e indirectas. (Samaniego Terán, 2014)

La Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana (CINAE) constituye a ensambladoras como GM OBB, Aymesa, Maresa, Fisum y a las principales empresas de autopartes y servicios de la industria. La fabricación de auto partes es el reflejo de la actividad en gran parte de la industria a automotriz. Pocas industrias generan un encadenamiento productivo en ámbitos muy diversos, que incluyen desde pequeñas y medianas empresas, hasta las grandes de bienes y servicios generando empleos de forma directa e indirecta (CINAE, 2017)

La Figura 6 indica un Diagrama, donde se visualiza la importancia del sector Automotriz, en el comercio ecuatoriano.



Figura. 6. Diagrama del sector automotriz y sus derivaciones. Tomado de CINAIE, 2017.

Al finalizar el año 2016 se evidencio la venta de 62.305 automóviles, entre estos el 50,7%, es decir, 31.563 unidades, fueron de producción nacional. Realizando una comparación con el nivel de ventas en el Ecuador, se visualiza algo similar en el año 2004, que se alcanzó la venta de 62.978 vehículos. (CINAIE, 2017)

La mayor cantidad de comercio por segmento entre Enero - marzo del 2017, se realizó en vehículos Automóviles Sedan con 6.465 unidades y SUV 5 P con 6.051 unidades, así como también entre Enero - marzo del 2016, se realizó ventas entre vehículos Automóviles Sedan con 4.541 unidades y SUV 5 P con 3.173 unidades (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, Autoplus, 2017).

Las estadísticas denotan claramente a Chevrolet como la marca preferida de los consumidores ecuatorianos, por tal motivo, el estudio tomara un vehículo de categoría M1 de la marca Chevrolet para realizar ensayos.

Es importante conocer que en el Ecuador aún no se realiza este tipo de ensayos, por los altos costos que representa, sin embargo, el Programa de Evaluación de Vehículos Nuevos para América Latina y el Caribe (Latin NCAP) ofrece información transparente y real de las pruebas realizadas en Latinoamérica, entre sus principales miembros activos se encuentran los siguientes países: Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Uruguay, Argentina y Brasil. (Latin Ncap, 2018).

### **Trabajos Previos**

#### **Seguridad vehicular en el Ecuador**

El país se encuentra innovado de manera constante y se ha actualiza de acuerdo a seguridad vehicular, el primer paso fue la emisión y cumplimiento del Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE) 034 , Anexo III A, que exigió la incorporación de elementos mínimos de seguridad en cualesquier automóvil que se comercialice.(Arízaga Cáceres & Gómez Rodríguez, 2015)

La industria de ensambladoras y fabricantes de autopartes del Ecuador han realizado grandes inversiones para el cumplimiento de la normativa. En la actualidad el resultado es alentador, ya que cualquier vehículo que se ensamble o fabrique en el país cuenta con estándares de seguridad que van a la evolución con bastantes países de la región, al exigir la incorporación de elementos de seguridad, cumpliendo normas internacionales, estos son:

- Dos airbag.
- Sistema ABS.
- Cinturones de seguridad de tres puntos para todos los pasajeros.
- Control electrónico de estabilidad (a partir del año modelo 2020).
- Sistema de anclaje ISOFIX (asiento de bebé).
- Calificaciones NCAP superiores a las 3 estrellas

Desde el año 1996, se ha modificado la ley de tránsito en el país, ya que el Transporte Terrestre tuvo y seguirá asumiendo un rol principal en la historia del Ecuador, con el único fin de disminuir progresivamente la pérdida de vidas humanas. (Cueva Chacón, Mayo et al. 2010)

A comienzos de año 2001, se promovió la creación de normativas INEN orientadas en disposiciones internacionales. Mismo que fue impulsado por varios entes privados, como la CINAE, AEADE y el Colegio de Ingenieros Mecánicos, con el único fin impulsar procesos mediante normativas internacionales. A partir del año 2009, se envuelven nuevos actores gubernamentales, quienes emitieron observaciones y generaron cambios radicales en temas de seguridad, ocasionando incluso, que modelos exitosos del mercado salgan del mercado. (CINAE, 2017).

Lo que motivo a un progreso en la fabricación de vehículos, obteniendo como objetivo principal que cualquier automóvil sea seguro en las carreteras ecuatorianas; pero, la mayoría de accidentes son causados por imprudencia, impericia, e irrespeto a las leyes de tránsito, lo que indica de una manera clara que el conductor y las decisiones que realiza en pequeños instantes son primordiales. Por lo que respetar las señales de tránsito, no exceder límites de velocidad, usar el cinturón de seguridad no es suficiente, lo que determina que el principal objeto de estudio son estructuras de los automóviles y las protecciones que ofrecen a los ocupantes en caso de un siniestro de mayores proporciones. La Figura 7 indica los elementos de Seguridad Pasiva que conforma un vehículo del tipo M1.

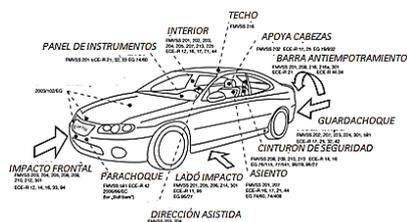


Figura. 7. Homologación de seguridad pasiva. Tomado de CIDAUT, 2017

La tabla 2 realiza una comparación Europa con respecto a la de Ecuador, con respecto a las exigencias de seguridad en vehículos

Tabla 2

*Diferencias de Seguridad activa y pasiva entre Europa y Ecuador*

ECUADOR	EUROPA
Dispositivos de alumbrado y señalización luminosa y de visibilidad. Todos los asientos de los vehículos automotores deben tener apoyacabezas. Se exceptúan las motocicletas, asiento de pasajeros de autobuses urbanos, los asientos ubicados en paralelo aleje longitudinal del vehículo y los asientos posteriores de furgonetas. Los vehículos automotores de cuatro o más ruedas deben disponer al menos de dos sistemas de frenos de acción independientes uno del otro (servicio y estacionamiento) y por lo menos uno de estos debe accionar sobre todas las ruedas del vehículo. Los vehículos automotores de dos o tres ruedas o cuadrantes deben contar como mínimo de dos sistemas de frenado, uno que actúe sobre la rueda o ruedas delanteras y otro sobre las posteriores. Los neumáticos incluido el de emergencia deben cumplir con RTE INEN 011. Los vehículos automotores deben disponer de un sistema de suspensión en todos sus ejes o ruedas, respetando los diseños originales del fabricante. Los vehículos automotores deben disponer de un sistema de dirección, respetando los diseños originales del fabricante. El chasis para ser cabinado o recibir una carrocería no debe ser modificado y debe respetar los diseños originales del fabricante Para la fabricación o ensamblado de buses para pasajero el chasis debe ser de diseño original para transporte de pasajeros, sin modificaciones, aditamentos o extensiones. Todo vehículo, con la excepción de motocicletas, deben disponer de un sistema con regulación de temperatura y control de dispersión al habitáculo de las personas el cual debe incluir un dispositivo anti vaho para el parabrisas frontal Los vidrios que se utilicen en los vehículos deben ser vidrios de seguridad para automotores, y deben cumplir con NTE INEN 1 669.	SEGURIDAD ACTIVA Y PASIVA Sistema de control electrónico de estabilidad o programa electrónico de estabilidad (ESC o ESP). Sistema electrónico de distribución de fuerza de frenado (EBD). Sistema de frenos antibloqueo (ABS). Sistema de Asistencia en frenado (BAS). Sistema de frenado de emergencia automático o autónomo (AEB). Sistema para detección de colisión u obstáculo (detección de vehículo, detección de peatón). Sistema de control electrónico de tracción (TCR, ASR, ATC o EDS). Luces de peligro ante frenada brusca. Sistema de frenado automático o sistema de frenado electrónico (EBS). Sistema limitador de velocidad máxima. Sistema inteligente para recordar el uso del cinturón de seguridad. Sistema de prevención de abandono de carril. Sistema de permanencia en carril. Sistema de información de punto ciego. Control de cruceo adaptativo. Sistema de monitoreo de atención del conductor. Sistema activo de luces frontales o sistema adaptativo de luces frontales. Sistema para estacionamiento automático. Sistema activo de suspensión. Sistema para detección de baches. Sistema de asistencia para ascenso y descenso de pendiente. Sistema de alerta de tránsito cruzado en reversa. Sistema de advertencia de velocidad elevada en curva próxima. Sistema inteligente de accertamiento de velocidad (ISA) Sistema de advertencia de probable hielo sobre el camino. Sistema de evasión de choque en vuelta izquierda. Estructura estable del vehículo para protección de pasajeros en caso de choque frontal, lateral y vuelco. Zonas de deformación programada. Cinturones de seguridad de tres puntos con pretensión y limitación de carga. Apoyacabezas. Bolsas de aire frontales de doble etapa Bolsas de aire laterales instaladas en asientos. Bolsas de aire laterales tipo cortina. Bolsas de aire para rodillas. Sistemas ISOFIX para montaje y fijación de sillas para niños. Sistema de protección de peatones. Sistema de dirección colapsable

Tomada de Unece (2018) y RTE034.

La principal diferencia del habitáculo con los demás elementos de seguridad del automóvil, es que el conductor puede apreciar y evidenciar el estado y funcionamiento de los sistemas de seguridad activa y pasiva en cualquier instante, sin que el vehículo sufra ningún deterioro. Mientras tanto, la demostración de la protección brindada por el habitáculo de seguridad sólo observarse en caso de sufrir un impacto violento a gran escala. La eficacia en un habitáculo de seguridad puede demostrarse si el vehículo se encuentra destrozado manteniéndose intacta la zona predestinada a los ocupantes. (Pérez 2009), la Figura 8 indica un ejemplo de Habitáculo de Seguridad.



Figura. 8. Jaula de seguridad y habitáculo. Recuperado de <http://www.chevrolet.com.html>,2017

Sin embargo, el habitáculo se diseña de forma que canalice y distribuya en su estructura la mayor cantidad posible de energía liberada en un impacto. Por dentro, el habitáculo se encuentra acolchado y dotado cada vez de más airbags (frontales, laterales y de techo). Al existir un accidente múltiple, los paramédicos evalúan el estado de los ocupantes de acuerdo a la deformación que ha obtenido el habitáculo de seguridad. De forma directamente proporcional, por ejemplo, a menor deformidad del habitáculo, menor riesgo de gravedad de las lesiones. (Jara, 2017)

En la fabricación del habitáculo se emplea materiales muy resistentes, como aceros de ultra alta resistencia, en la actualidad se ensayan materiales aún más resistentes, con menor peso, de tal forma ampliar el grado de seguridad y disminuir el consumo del vehículo.

La figura 9, es un claro ejemplo de la variedad de aceros o materiales compuestos empleados en un habitáculo de seguridad.



*Figura. 9.* Materiales carrocería. Recuperado de <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/materiales-utilizados-en-la-carroceria-del-automovil>

El material dominante en la fabricación de habitáculos es el acero, por sus excelentes propiedades mecánicas, así como también, brinda un precio económico con relación a otros materiales (Toledo & Uziel).

Entre los principales se encuentran los siguientes:

- Aceros convencionales (mild Steel).
- Aceros de alta resistencia (High strength steel).
- Aceros de muy alta resistencia.
- Aceros de ultra alta resistencia.

De acuerdo a Bloeck.(2012), en la actualidad se emplean materiales novedosos, por ejemplo el Aluminio en paneles exteriores o en la carrocería, la ventaja que se obtiene es la reducción de peso del vehículo, sin embargo, es un material blando y puede ser penetrado fácilmente por otro material más duro, es decir en su estado natural no presenta alta resistencia mecánica, pero al ser aleado con otro material, incrementa esta propiedad, generalmente se emplean aleaciones conformadas por AlMgSi y AlMg.

Según Benedyk. (2010), las principales propiedades físicas que diferencia al Aluminio es su baja densidad de  $2,69 \text{ g/cm}^3$ , es decir un tercio la del acero y su módulo de elasticidad de  $69 \text{ GPa}$ , que equivale al 33% de la que cuenta el acero.

### **Resistencia al choque “Crashworthiness”**

El análisis computacional de la resistencia al choque de vehículos a impacto se ha convertido en una herramienta poderosa, reduciendo el tiempo de coste y desarrollando un nuevo producto que resuelve la seguridad corporativa y de choque de requisitos exigidos por gobiernos. Hoy en día, los elementos finitos no lineales permiten análisis de choque simulados con éxito en bastantes vehículos, y son capaces de diseñar automóviles que cumplan con las pautas de seguridad para impactos frontales, impactos laterales, choque en el techo, impacto en el cabezal interior, impacto trasero y vuelco. (Youn, Choi et al. 2004)

Durante los primeros años de la industria automotriz se buscó hacer las carrocerías y chasis más rígidos, casi indeformables ante los impactos, porque se tenía la creencia de que así serían más seguros, con el tiempo se observó que cuando los coches totalmente rígidos colisionaban la mayor parte de la energía del choque se transmitía a los pasajeros ocasionándoles severos traumas e incluso hasta la muerte (Arechiga).

La estructura monocasco, que se muestran en la Figura 10, misma que comprende la mayoría de los vehículos de pasajeros de categoría M1. Estos vehículos combinan el cuerpo, marco y chapa frontal en una sola unidad construida a partir de chapa metálica estampada y ensamblados mediante soldadura por puntos u otros métodos de fijación.



*Figura. 10.* Bastidor monocasco. Recuperado de Du Bois et al., 2000.

Al diseñar los elementos estructurales se visualiza como único objetivo absorber energía en impactos a pequeñas y grandes velocidades (crashworthiness), en el área de Ingeniería automovilística y aeronáutica ha incrementado la exigencia en seguridad. Existen nuevos componentes estructurales, que presentan como beneficio ser más ligeros permitiendo la disminución en consumo de combustible y manteniendo la propiedad de absorción de energía, lo que obliga a optimizar los diseños empleando herramientas numéricas que disminuyen el costo en ensayos en modelos completos. (Millán, 2013)

De manera similar, en la industria del automóvil, los requerimientos de seguridad en los ocupantes del automóvil, en el caso de generarse un choque, es necesario considerar la absorción de la energía, con el fin de que los pasajeros a bordo disminuyan el riesgo, es decir que la carrocería será la encargada de absorber y detener el golpe. Para esto se encuentran dos zonas en las carrocerías que son los travesaños delantero y trasero que se encargan de atenuar el golpe al deformarse como un acordeón (Pérez, 2009).

Para un vehículo de carrocería o bastidor, la parte frontal es el principal subsistema estructural para atrapar la energía liberada en un impacto frontal. Idealmente, para cada situación de choque grave, se debe utilizar toda la longitud de deformación disponible y toda la energía de impacto debe ser absorbida sin deformar el compartimento de pasajeros (Nimir, Abdullah, & Lon, 2014).

La jaula de seguridad se utiliza para resistir la carga de choque y mantener la integridad del habitáculo. La Figura 11 indica el papel principal de la zona de transición, es transferir las cargas de choque del extremo frontal al extremo trasero del vehículo, mientras que el papel principal de la zona de aplastamiento es absorber lo más posible la energía cinética por modos de deformación plástica. La absorción de energía y la relación de absorción de energía en las partes claves deformables. Se puede ver que el haz longitudinal delantero es el camino de carga principal, que transfiere el 70% de la carga de choque y absorbe más del 50%. (Duan et al., 2016).

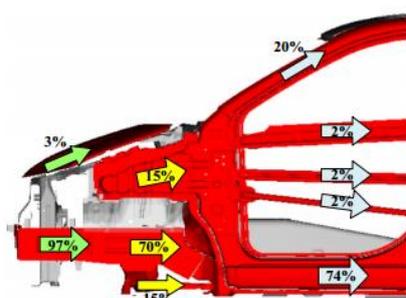


Figura. 11. Distribución de la trayectoria de carga para el impacto frontal. Recuperado de Duan, Sun et al. 2016.

Por lo tanto, el objetivo de “crashworthiness” es una estructura de vehículo optimizada que puede absorber la energía del choque por deformaciones controladas del vehículo mientras que mantiene el espacio adecuado de modo que la energía residual del choque pueda ser manejada por los sistemas de retención para minimizar la transferencia de las cargas de choque a los ocupantes del vehículo. (Deformación Programada). (Du Bois et al., 2000)

### La deformación programada

En caso de un impacto en el vehículo, la carrocería permitirá una desaceleración suave del habitáculo de pasajeros, conservando la integridad del mismo. Es decir aunque se produzca un choque a baja velocidad, las estructuras se deformaran progresivamente absorbiendo la energía del golpe (Rosero Añazco, 2009)

La Figura 12 muestra la viga longitudinal delantera (FLB) que tiene un patrón mixto de deformación axial y de flexión bajo el impacto frontal del vehículo. En comparación con la deformación por flexión, el modo de deformación axial es un patrón preferido para absorber la energía cinética. Para aprovechar al máximo el espacio de trituración de la zona de aplastamiento y explotar el máximo potencial de absorción de energía (Duan et al., 2016).

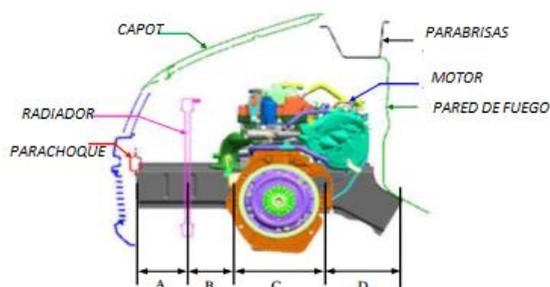


Figura. 12. Espacio de aplastamiento para la estructura de la parte delantera. Recuperado de Duan, Sun et al., 2016.

El FLB se divide en 4 espacios diferentes, donde se espera que el espacio A y el espacio B generen un colapso axial relativamente uniforme y progresivo, el espacio C se define por las dimensiones del compartimento del motor y el espacio D espera que la alta rigidez de flexión resista a la deformación por flexión. Entre estos espacios, el 'espacio A', 'espacio B' y 'espacio C' pertenecen a la zona de aplastamiento, que se utilizan para absorber la energía cinética, mientras que el 'espacio D' pertenece a la zona de transición, cuyo objetivo principal es la transferencia de carga de impacto (Duan et al., 2016) .

### Ensayos y pruebas de choque

Las colisiones de vehículos en el mundo real son eventos dinámicos únicos en los que el vehículo puede chocar con otro vehículo de forma, rigidez y masa similares o diferentes; o puede chocar con otro objeto estacionario tal como un árbol, una pared o un pilar de puente. Generalmente, con el propósito de desarrollar un reglamento y normas, los expertos en

seguridad clasifican las colisiones de vehículos como choques frontales, laterales, traseros o de vuelco. Además, el vehículo puede experimentar un solo impacto o múltiples impactos.

Por otra parte, los accidentes de vehículos se producen en una amplia gama de velocidades, que persisten durante una fracción de segundo, como cuando un vehículo golpea un árbol, o por pocos segundos como en eventos de vuelco. Estos factores ilustran algunas de las complejas tareas involucradas en el diseño de estructuras de vehículos para satisfacer las restricciones de resistencia a choques para todos los escenarios de colisión. (Du Bois, y otros, 2000)

#### **Modelo de elemento finito de vehículo y barrera**

Para realizar el choque frontal completo, el vehículo debe someterse a un impacto de pared rígido con una velocidad inicial de 50 km / h para simular un choque frontal compensado del 40% con una velocidad inicial de 64 km / h, La barrera deformable se construye según el estándar europeo Euro NCAP (Euro NCAP).

La Figura 13, muestra un estudio realizado por MEF(Método de elementos finitos) de un vehículo a gran escala donde se utilizó para simular dos tipos de accidentes de vehículos, impactos de barrera rígida completa (FRB) y los impactos frontales incluyendo la barrera deformable (ODB) . El modelo del vehículo (FRB) poseía mallas detalladas de 528 componentes que consisten en 520.372 nodos y 907.526 elementos. Aproximadamente el 90% de los elementos son elementos de envoltura con una masa total de 1510 kg. El modelo ODB tiene 167.182 nodos y 206.160 elementos, siendo el 76% elementos sólidos. Antes de realizar cualquier estudio de parámetro y optimización en el modelo de simulación, el modelo debe ser validado con datos de pruebas físicas(Gu, Dai, Huang, & Li, 2017).



Gu & Sun (2013), afirma que para realizar un estudio mediante FEA es necesario representar curvas históricas de deceleración contra una pared rígida, estos datos se generan a partir de la simulación y la prueba física, lo que representa una medida crítica de la resistencia al choque del vehículo. Posterior a esto es necesario comparar la simulación con el experimento y las áreas totales bajo las curvas y valores máximos para considerar un modelo FE válido y eficaz para la posterior optimización de un diseño como indica en la Figura 14.

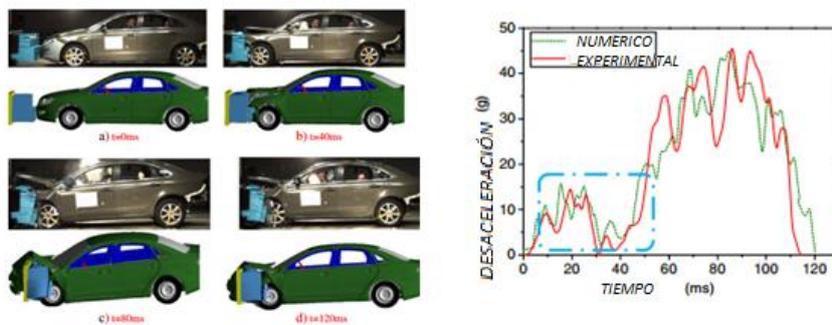
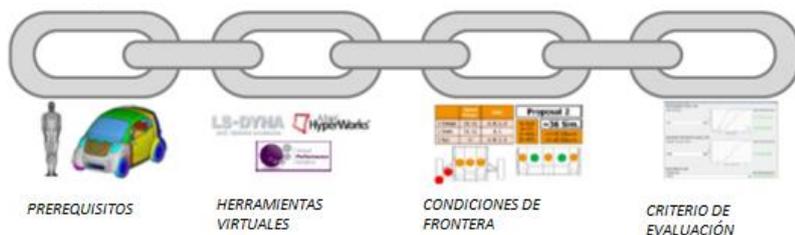


Figura. 14. Comparación de deformaciones estructurales entre ensayos experimentales y numéricos  
Recuperado de Gu & Sun ,2013.

La Figura 15 indica un método empleado por IRCOBI, es decir un estudio para la evaluación virtual puede producir resultados correctos, si se adopta un enfoque de validación de modelo estructurado, indicando que es un requisito previo para cualquier evaluación

virtual. Para lo cual se realizó una comparación de un modelo de vehículo genérico de referencia en LS-DYNA y VPS. (Ghosh et al., 2016)

Lo que es clara justificación la utilización del método en estudios similares de impacto frontal.

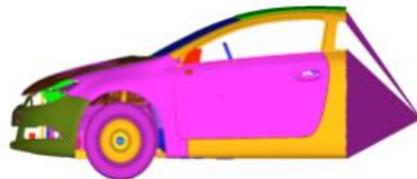


**Figura. 15.** Elementos clave necesarios para la evaluación virtual. Recuperado de Ghosh, Mayer et al., 2016.

Los datos obtenidos de una simulación de choque indican la capacidad de la carrocería del vehículo para proteger a los ocupantes del vehículo durante una colisión contra lesiones. En un análisis de falla mediante FE de la cabina de camión comercial en dos casos diferentes (cabina desnuda y cabina cargada). Se utilizó una cabina de camión desnuda y una pared rígida para simular condiciones de choque con diferentes ángulos de velocidad de impacto. En donde se empleó el software CAD - CATIA para el modelado de los componentes de la cabina seleccionada, seguido de la malla FE a través de Hypermesh y luego el análisis se realiza utilizando LS-DYNA estableciendo las condiciones de los límites, las propiedades del material, etc (Mishra & Pradhan, 2016).

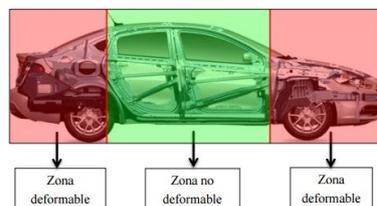
En el Colegio de Ingeniería Automotriz de la Universidad de Ingeniería y Ciencia en Shanghai, como indica la Figura 16, se realizó un estudio sobre el rendimiento de absorción de energía, ya que es uno de los índices más importantes en la seguridad del vehículo durante el impacto, en donde se verificó, que la modificación debe hacerse en la parte frontal del vehículo mejorando la absorción de energía y la seguridad de la cabina, así como también la

utilización de un modelo simplificado para disminuir el gasto computacional (Chen, Yang, & Wang, 2015).



*Figura. 16.* Modelo simplificado. Recuperado de Chen, Yang et al. ,2015.

El impacto frontal “ideal”, que presenta menos daños en los ocupantes y vehículo, es completamente frontal. Es decir, si la trayectoria es inclinada , se genera mayor perjuicio en la carrocería, ya que la distribución de fuerzas no es uniforme permitiendo que existan áreas desprotegidas a un choque (Muñoz Agudo, 2015). La Figura 17 indica diferentes zonas durante el impacto de un vehículo.



*Figura. 17.* Diferentes zonas durante el impacto de un vehículo. Recuperado de Muñoz Agudo, 2015.

**Tipo de Estudio**

El presente proyecto se basa en un enfoque de investigación histórico lógico, en la fase inicial se refiere a los antecedentes, trabajos realizados sobre el tema y donde se obtienen fuentes de investigación, permitiendo construir un marco sobre los referentes teóricos en las áreas científicas y técnicas sobre impactos en vehículos sedan, posterior, se revisan las normativas para ensayos de choque, y los programas computacionales que permitan realizar los estudios virtuales. Luego utilizará el método de análisis síntesis para el diseño de la carrocería del vehículo sedán . Finalmente se procede con la simulación mediante el método de elementos finitos para realizar el estudio de la metodología para el análisis de desempeño del habitáculo de seguridad de un vehículo liviano a impacto frontal sobre una pared rígida por el método de los elementos finitos.

**Modalidad de investigación**

En la presente investigación se va a desarrollar una simulación del habitáculo de seguridad de un vehículo Sedan categoría M1. Para lo cual se lo realizara en el software Cad , presentando análisis dinámico en Ls-Dyna para evaluar el desempeño.

**Conceptos de física en cuanto al choque**

Para orientar el trabajo se debe tener en cuenta que el choque en física es un impacto entre dos o más elementos, tomando en cuenta que el impactado se encuentra en reposo. Un impacto físico o mecánico se encuentra realizado por una desaceleración causada normalmente por un choque (DeSilva, 2005).

**MÉTODO**

El enfoque CAD-FEM propuesto se basa en cuatro fases principales secuencialmente acoplados como se resume en la Figura 18. En la primera fase se desarrollará la asignación de

elementos de estudio para realizar la geometría CAD del habitáculo de seguridad y la revisión de Normativa para realizar Crash Test; el modelado 3D comprende la segunda fase y será realizado con operaciones de diseño computacional que permitan su posterior análisis.

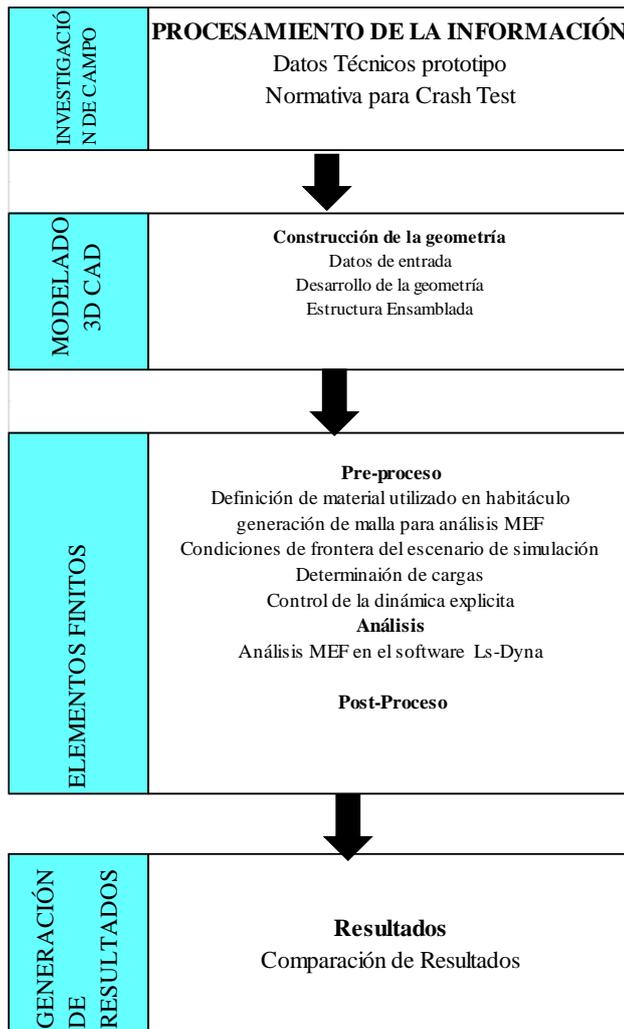


Figura. 18. Diagrama de proceso-Método

La tercera fase se centra en tres fases que son: preproceso, análisis y Post proceso. En el preproceso para el método de elementos finitos cuasi-estáticos del habitáculo de seguridad se

importará el modelo CAD al software LS DYNA, obteniendo como resultado el modelo 3D importado a un sistema de elementos finitos sin perder ningún detalle de diseño, donde se creará una malla ideal, se establecerán las condiciones de frontera para el escenario de simulación y se realizará el control de la dinámica explícita.

El Análisis al Método de Elementos Finitos comprende el “solver” que es un método numérico aplicado al ensayo deseado que se acerca al comportamiento real del fenómeno físico simulado, para lo cual el software aplica algoritmos matemáticos y resolución de ecuaciones diferenciales avanzadas.

El Post proceso corresponde a la validación de los resultados obtenidos mediante el Software Ls Dyna, con un método numérico, para esto se realizará en el programa MATLAB Demo, ya que posee un lenguaje amigable en la programación, así como también presenta herramientas matemáticas y numéricas con respecto a la resolución de matrices.

La cuarta fase corresponde a la comparación de resultados, con respecto a la simulaciones realizadas, adicional, se empleará un total de 6 materiales para validación del estudio y mediante métodos de selección de materiales se verificará cual podría ser el sustituto al caracterizado.

#### **Selección y asignación de elementos de estudio.**

La Figura 19, indica que se realizaron 62.305 ventas de vehículos en el año 2016. 62.305, de los cuales hubo producción local del 50,7% que corresponde a 31.563 unidades. Entre las marcas favoritas en la compra de vehículos se encontraban : Chevrolet (40%), Kia (11%), Hyundai (7%), Suzuki (6%) y Toyota (5%). Lo que equivale decir al 69% de la participación de mercado. Los vehículos que prefiere el mercado ecuatoriano son los siguientes: los automóviles con el 44%, los SUV con el 26%, las camionetas abarcan el 21 % y los vehículos de transporte pesado con el 9% (Cinae, 2017).

VENTA DE VEHÍCULOS POR SEGMENTO 2016 (unidades)			
			
AUTOMÓVIL	CAMIONETA	SUV	PESADO
26.617	16.122	13.187	5.379

Figura. 19. Venta de Vehículos por segmento. Tomado de Cinae, 2017.

La Figura 20 indica los Vehículos más vendidos año 2016 por marca en el Ecuador.

MODELO	MARCA	2015	2016	Part. 2016
AVEO EMOTION GLS AC 1.6 4P 4X2 TM	CHEVROLET	4.015	4.218	15,3 %
AVEO FAMILY STD 1.5 4P 4X2 TM	CHEVROLET	3.554	4.085	14,8 %
SAIL AC 1.4 4P 4X2 TM	CHEVROLET	3.642	3.380	12,2 %
RIO R LX AC 1.4 4P 4X2 TM	KIA	103	1.446	5,2 %
ACCENT 1.6 4P 4X2 TM	HYUNDAI	1.525	1.154	4,2 %
AVEO EMOTION ADVANCE GLS AC 1.6 4P 4X2 TM	CHEVROLET	412	770	2,8 %
SAIL STD 1.4 4P 4X2 TM	CHEVROLET	911	737	2,7 %
VERSA AC 1.6 4P 4X2 TM	NISSAN	527	686	2,5 %
AVEO FAMILY AC 1.5 4P 4X2 TM	CHEVROLET	3.559	613	2,2 %
RIO R LX 1.4 4P 4X2 TM	KIA	-	591	2,1 %
SPARK GT FULL AC 1.2 5P 4X2 TM	CHEVROLET	614	565	2,0 %
SPARK LIFE AC 1.0 5P 4X2 TM	CHEVROLET	3	558	2,0 %
LOGAN EXPRESSION 8V AC 1.6 4P 4X2 TM	RENAULT	47	516	1,9 %
SAIL AC 1.4 5P 4X2 TM	CHEVROLET	565	511	1,9 %
ACCENT 1.4 4P 4X2 TM	HYUNDAI	22	492	1,8 %
PICANTO R LX 1.2 4P 4X2 TM	KIA	-	482	1,7 %
SPARK LIFE 1.0 5P 4X2 TM	CHEVROLET	-	443	1,6 %
CRETA AC 1.6 5P 4X2 TM	HYUNDAI	-	443	1,6 %
SONATA AC 2.0 4P 4X2 TA HYBRID	HYUNDAI	397	422	1,5 %
LOGAN DYNAMIQUE 16V AC 1.6 4P 4X2 TM	RENAULT	49	335	1,2 %
CERATO STD AC 1.6 4P 4X2 TA	KIA	91	328	1,2 %
PICANTO R LX 1.0 4P 4X2 TM	KIA	334	222	0,8 %
PRIUS C SPORT AC 1.5 5P 4X2 TA HYBRID	TOYOTA	148	211	0,8 %
SONATA FE AC 2.0 4P 4X2 TA HYBRID	HYUNDAI	-	198	0,7 %
Q AC 1.0 5P 4X2 TM	CHERY	-	189	0,7 %
SANDERO STEPWAY AC 1.6 5P 4X2 TM	RENAULT	-	180	0,7 %
CERATO STD AC 1.6 4P 4X2 TM	KIA	712	163	0,6 %
CERATO LX ABS AC 1.6 4P 4X2 TM	KIA	12	138	0,5 %
VERSA AC 1.6 4P 4X2 TA	NISSAN	137	137	0,5 %
Z500 AC 1.5 4P 4X2 TM	ZOTYE	-	128	0,5 %
OTROS MODELOS	-	8.975	3.276	11,9 %
<b>TOTAL AUTOMÓVILES</b>		<b>30.354</b>	<b>27.617</b>	<b>100%</b>

Figura. 20. Vehículos más vendidos año 2016. Tomado de Cinae, 2017.

Por esta razón el estudio se realizará sobre el vehículo Sedan Chevrolet Aveo Emotion GLS AC 1.6 4P 4X2 TM, la Figura 21, indica las medidas principales:



**Figura. 21.** Dimensiones del vehículo Aveo

Recuperado de <http://automotoresonline.blogspot.com/2016/03/chevrolet-aveo-lt-16-manual.html>

La tabla 3 indica las principales características técnicas que posee el vehículo.

Tabla 3

*Características técnicas*

Variable	Valor
Cilindrada	1.6 litros
Potencia	103 HP @ 6000
Torque	15.1 @ 3750
Compresión	9.5:1
Válvulas	16
Árbol de levas	DOHC
Transmisión	Mecánica
Suspensiones	McPherson / brazo de torsión
Largo/Alto/Ancho	4.3 / 1.50 / 1.7(m)
Peso (kg)	1085
Frenos	Disco / Tambor
Airbags	2
Aire acondicionado.	Serie
Paquete eléctrico	Vidrios, espejos, seguros.
Sis. seguridad	Alarma, apertura a distancia e inmovilizador.
Vol carga	220 litros
Llantas	185/55 R15
GRUPO	MANUFACTURA

Recuperado de <http://automotoresonline.blogspot.com>

**Parámetros del ensayo de impacto frontal**

La NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration, que en español significa Agencia Norteamericana de Seguridad en Carretera, realizo por primera ocasión el 1 de enero de 1972, normas de impactos para vehículos. El ensayo a superar radicaba en superar un

impacto a velocidades de 40 a 56 Km/h contra un muro rígido, normal al desplazamiento del vehículo. Consistiendo por defecto que usan los fabricantes, organizaciones de homologación y NCAP, como muestra la Figura 22.

 <b>ENSAYOS CHOQUE FRONTAL</b>						
H-III 50 th Male Driver & Passenger				H-III 5 th Female Driver & Passenger		
Unbelted 40Km/h Rigid	Unbelted 40Km/h Rigid 100%	Unbelted 40Km/h Rigid	Belted 56 Km/h Rigid	Unbelted 40Km/h Rigid	Belted 56Km/h Rigid	Belted 40Km/h Deformable 40%

Figura. 22. Ensayos de choque frontal bajo normativa Americana. Recuperado de Eggers, 2013.

Para el presente estudio se tomara los parámetros de choque frontal de US-NCAP, choque frontal sobre una pared rígida, a 56 km/h, como se visualiza en la Figura 23.

IIHS		EuroNCAP			US-NCAP		Japan NCAP	
64 km/h	54 km/h	64 km/h	50 km/h	29 km/h	56 km/h	62 km/h	64 km/h	56 km/h

Figura. 23. Ensayos de choque frontal NCAP. Recuperado de Eggers, 2013.

### Construcción de la geometría en un Software para modelado y análisis de elementos finitos

El modelado de la carrocería y habitáculo de seguridad vehículo Sedan Chevrolet Aveo Emotion GLS AC 1.6 4P 4X2 TM, se la realizará en el programa NX, llamado Siemens NX o sencillamente Unigraphics, consiste en un software CAD/CAM/CAE creado por la Empresa Siemens PLM Software.

El software para análisis estructurales de NX utiliza NX Nastran, el solver de FEA más avanzado en materia de rendimiento computacional, precisión, fiabilidad y escalabilidad. El

solver NX Nastran se integra en el entorno de NX CAE, o bien puede utilizarse como solver empresarial independiente. NX CAE también es compatible con soluciones para análisis estructurales de otros solvers comerciales de elementos finitos, como Ansys, Abaqus y LS-Dyna (Siemens, 2017).

Sus usos, son los siguientes:

- Modelado (diseño paramétrico y seguido de sólidos/superficies).
- Estudios de ingeniería (estático, dinámico, electromagnético y térmico mediante el método de elementos finitos, y análisis de fluidos con el método de volúmenes finitos.
- Producción digital para la industria de la maquinaria.
- Análisis lineal que resuelve una gran variedad de problemas de análisis en los que ningún material se fuerza más allá de su comportamiento lineal y en los que las deformaciones son pequeñas con respecto a sus dimensiones totales.
- Análisis no lineal que simula componentes sencillos sujetos a comportamientos no lineales (como un pasador de plástico) o conjuntos complejos (como el análisis de deformación del techo de un vehículo) utilizando solvers para análisis no lineales implícitos y explícitos.
- Dinámica estructural que evalúa los efectos de una gran variedad de problemas de dinámica, como cargas transitorias, frecuencias, cargas aleatorias, respuesta a choques y dinámica rotacional.
- Análisis de fatiga y durabilidad para mejorar la durabilidad de los productos y valida la integridad estructural de los mismos durante toda la vida útil en condiciones de carga reales.

Garantizando que el modelado del vehículo Sedán será realizado en un software capaz de soportar e inclusive compartir con otros programas la información para un correcto análisis

de la estructura.

### Diseño del Cad

Se obtendrá las medidas del vehículo real para ingresarlas en el software, la figura 24, es un claro ejemplo del modelo de habitáculo de seguridad, así como también en ANEXO IA, se encuentran los planos del modelo.

**Comentado [U7]:** ANEXO 3X PLANOS, SE DEBE INCLUIR



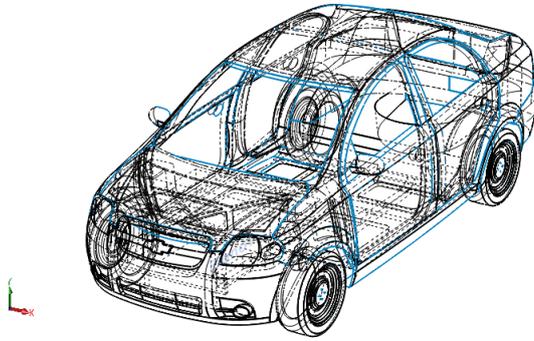
*Figura. 24.* Estructura a ser modelada.

La Figura 25 indica una vista en perspectiva del vehículo Sedán, finalizado el modelado.



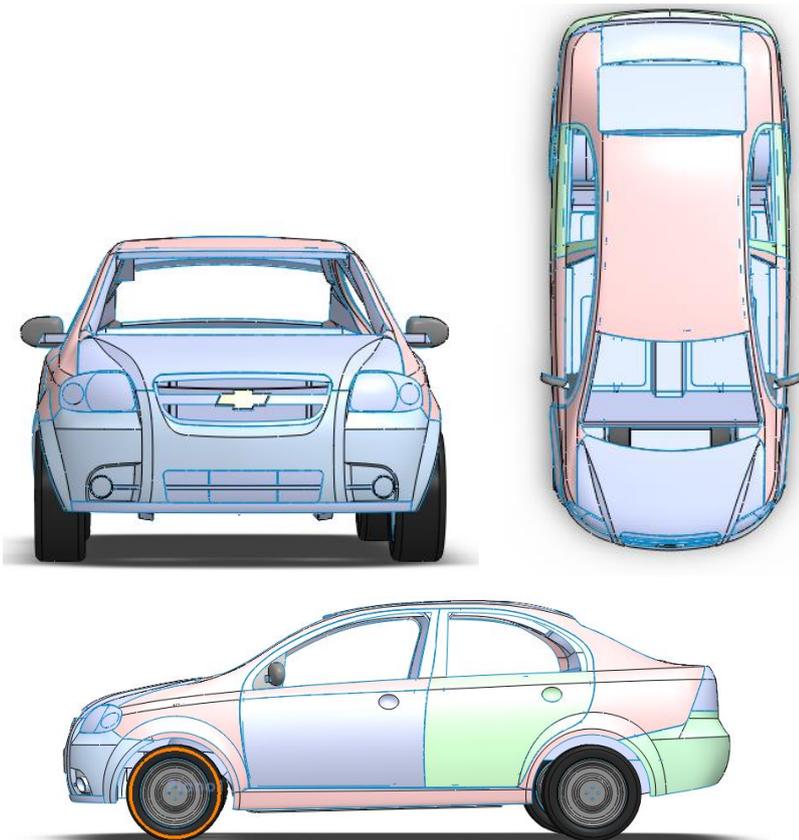
*Figura. 25.* Cad vehículo Sedán

La Figura 26 permite observar el habitáculo de seguridad del modelado realizado.



*Figura. 26.* Cad vehículo Sedán-Estructura habitáculo de seguridad visible

La Figura 27, indica en diferentes perspectivas el modelo realizado.



*Figura. 27.* Cad vehículo Sedán- Vista en diferentes perspectivas

**Generación de malla para el análisis MEF**

La Figura 28, indica las diferentes opciones que ofrece LS- Pre post, que es un avanzado pre y pos procesador que se incluye con el programa LS- DYNA, para la simulación realizada se utilizó Versión Demo.

El pre-procesamiento es una función del programa empleada para la creación de mallas (mallado de superficie, mallado de sólido, herramientas para edición del mallado, mallado 2D, por bloques) y se emplea en estudios como forja de metales, ubicación de maniquí, Sujeción o acoplamiento de cinturón de seguridad, demostración de penetración, comprobación de modelo)

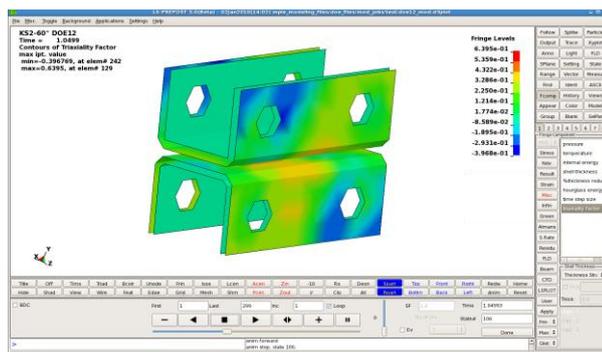


Figura. 28. Visualización del factor de triaxialidad en LS-PrePost. Recuperado de Inc, 2012

**PREPARACIÓN DEL MODELO**

Al realizar diseños en procesos CAD o al transformar archivos al software CAE, se visualiza errores involuntarios provocados al realizar el dibujo, en superficies, por ejemplo:

- Líneas de partición
- Superficies duplicadas
- Separaciones
- Entrecruzamientos, entre las principales.

Conflictos topológicos Cad, que suelen generar errores durante el proceso de mallado, es decir formas irregulares, lo que genera gasto computacional y resultados de mínima precisión, para lo cual es necesario limpiar y simplificar las superficies, La calidad de la malla es importante en la precisión de los resultados. (Manual Hyper Works, 2015)

La figura 29 indica la interfaz del programa Space Clean, utilizado para resolver conflictos topológicos.



**Figura.29.** Interfaz SpaceClean

Existen índices que permiten otorgar un criterio para evaluar la calidad del tipo de malla, dentro de las herramientas que ofrece Ls-Prepost se encuentran: Relación de aspecto, Ratio Jacobian, RatioWarping, Angle Skewness.

### **Relación de aspecto.**

La Figura 30, indica que una malla sólida, se puede definir entre la relación del lado más largo y el lado más corto del elemento, esto puede depender del comportamiento del material, tipo de elemento, función desplazamiento, entre otros, por ejemplo un cuadrado tiene la relación de aspecto de 1 ya que sus lados tienen la misma longitud. A medida que se aleja de la forma cuadrada, la relación de aspecto se vuelve más pequeña que 1. (LS-Dyna support, 2015)



Figura. 30. Relación de aspecto. Recuperado de Siemens, 2017.

**Ángulo de Inclinación (Skew Angle)**

La Figura 31, indica los ángulos que se forma por dos líneas que atraviesan puntos medios de los lados del cuadrilátero. El ángulo de inclinación representa un valor absoluto de la diferencia entre el ángulo y 90 grados. Un rectángulo tiene el ángulo de inclinación de 0, ya que el ángulo formado entre las líneas es de 90 grados. Para elementos sólidos (Tetra, Hexa, Prisms), calcula el ángulo de inclinación para cada elemento y se asigna con el valor mínimo.

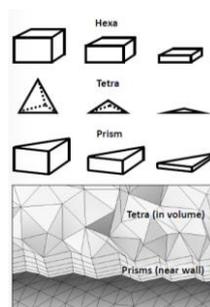


Figura. 31. Angulo de inclinación. Recuperado de Ansys- Mesh Quality, 2017.

**Deformación (warpage)**

La deformación de los elementos cuadriláteros se define como la desviación de un plano de mejor ajuste que contiene el elemento. No siempre es un caso definir un plano con 4 nodos. Por lo tanto, un nodo del elemento cuadrilátero puede formarse fuera de un plano. El deformación es una medida de cómo este nodo ha sido desviado, a medida que se acerca a 0, el elemento se vuelve más plano. Para los elementos cuadriláteros, la deformación se

encuentra como se muestra en la Figura 32. Para el elemento sólido (Hexa, Wedge), calcula la deformación para cada elemento y se asigna con el valor máximo. (Recuperado de <http://manual.midasuser.com/>,2017)

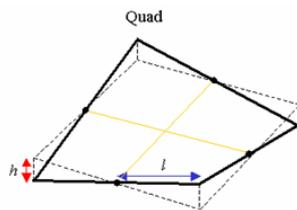


Figura 32. Deformación. Recuperado de [http://manual.midasuser.com/EN\\_Common/FEA/330/FEA/05\\_Mesh/Check\\_Quality.htm](http://manual.midasuser.com/EN_Common/FEA/330/FEA/05_Mesh/Check_Quality.htm)

### Jacobian Ratio

El cálculo Jacobiano se realiza en los puntos de integración de elementos comúnmente conocidos como Gauss Point. En cada punto de integración, se calcula el determinante Jacobiano, y la proporción Jacobiana se determina por la relación del valor determinante máximo y mínimo. El Determinante Jacobiano de los elementos 2D se calcula después de haber sido proyectado sobre un plano. Si el elemento cuadrilátero no es convexo, se obtendrá la relación Jacobiana negativa, y los elementos con la razón Jacobiana negativa no se pueden resolver con el resultado correcto.

Para el presente estudio se va a utilizar una Malla 2D tipo superficie, tamaño 30 mm, teniendo en cuenta el número de elementos para la simulación, como indica la Figura 33 y 34.

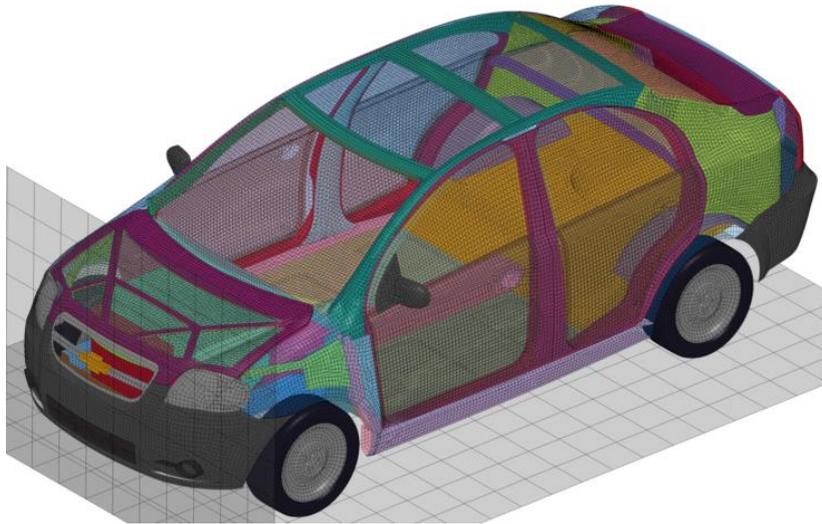


Figura. 33. Habitaculo Mallado

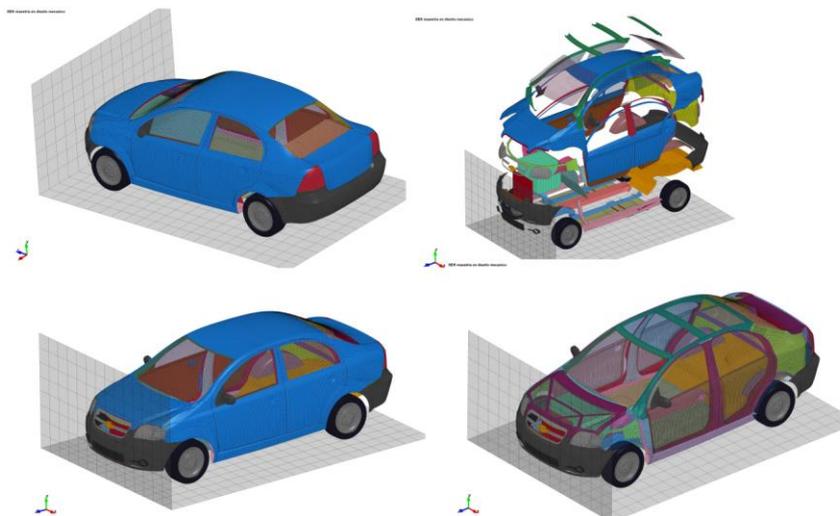


Figura. 34. Habitaculo y carrocería con malla 2D

La Figura 35 indica el número de elementos que se obtuvieron en la carrocería, es decir 114.143 elementos finitos, de acuerdo al tamaño de la malla.

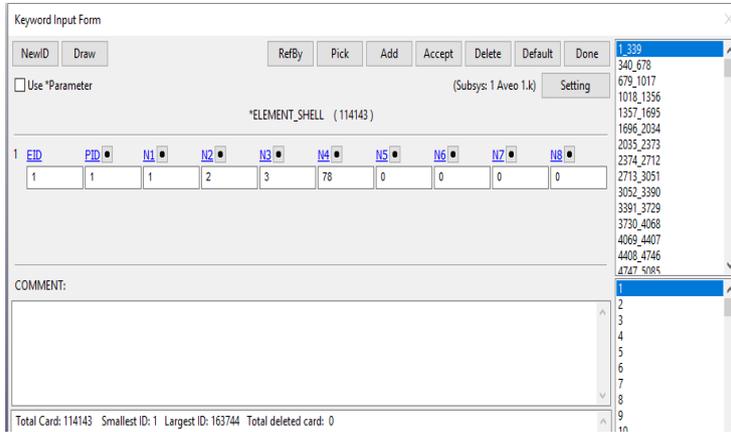


Figura. 35. Numero de elementos de la carroceria

La Figura 36, indica la revisión de malla, con respecto a Warpage. Los elementos con deformaciones (warpage), presentan elementos fuera de rango con un porcentaje 0.0131 %, muy bajo con respecto a la cantidad de elementos, por tanto en este tipo de elementos que se encuentran con valor admisible.

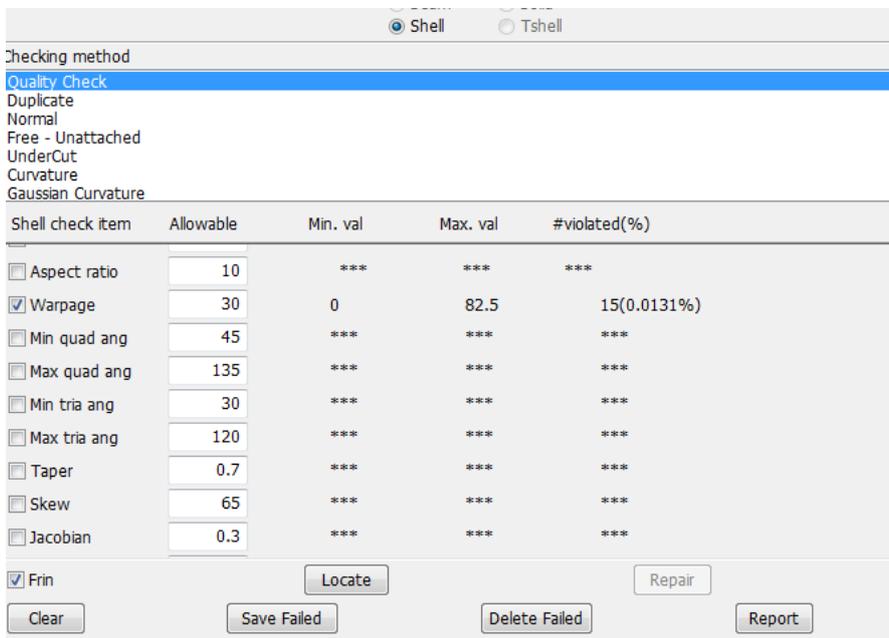


Figura. 36. Numero de elementos con deformacion.

La Figura 37 indica el número admisible de elementos con un ángulo de inclinación con error es de 69, por tanto el porcentaje de elemento fuera de rango es 0,00613%.

<input type="radio"/> Beam <input type="radio"/> Solid <input checked="" type="radio"/> Shell <input type="radio"/> Tshell				
Checking method				
Quality Check				
Duplicate				
Normal				
Free - Unattached				
UnderCut				
Curvature				
Gaussian Curvature				
Shell check item	Allowable	Min. val	Max. val	#violated(%)
<input type="checkbox"/> Aspect ratio	10	***	***	***
<input type="checkbox"/> Warpage	30	***	***	***
<input type="checkbox"/> Min quad ang	45	***	***	***
<input type="checkbox"/> Max quad ang	135	***	***	***
<input type="checkbox"/> Min tria ang	30	***	***	***
<input type="checkbox"/> Max tria ang	120	***	***	***
<input type="checkbox"/> Taper	0.7	***	***	***
<input checked="" type="checkbox"/> Skew	65	0	69.4	7(0.00613%)

Figura. 37. Numero de elementos con angulo skew.

La Figura 38 muestra el número de elementos fuera de rango con el parámetro jacobiano en 0%, indicando con esto, que no es probable existan jacobianos negativos, por tanto el tamaño de malla es el idóneo para realizar la simulación.

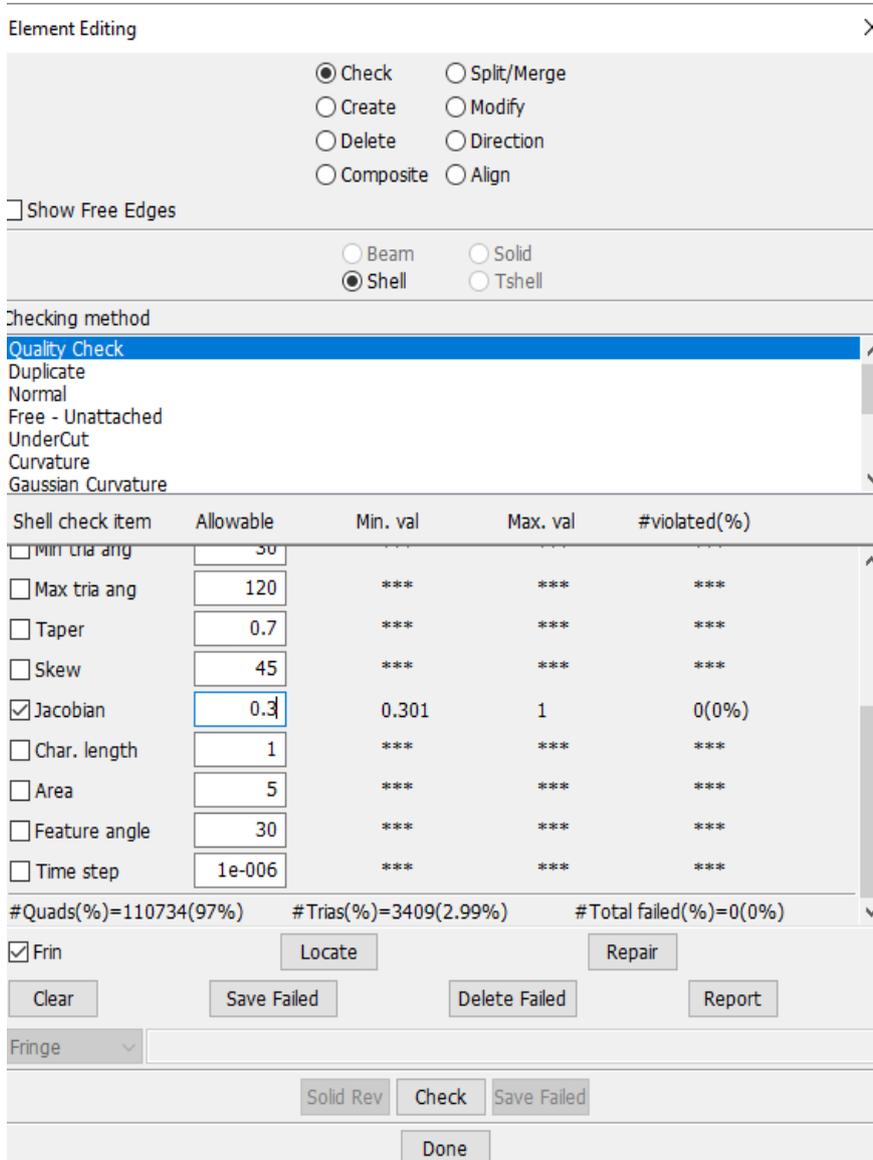


Figura. 38. Numero de elementos con ratio jacobian

Una vez obtenida esta información, simplifica el análisis del tamaño ideal de la malla, lo que elimina análisis de congruencia, así como también el estudio de elementos paramétricos, subparamétricos y superparamétricos.

**LS - Dyna.**

La simulación del presente trabajo, se realiza en el programa LS-Dyna versión Demo, que es un paquete computacional de elementos finitos, que permite estudiar y simular problemas complejos que se presentan en la realidad. Se emplea en la industria automotriz, aeroespacial, construcción, militares, de fabricación y de bioingeniería. El programa de LS-DYNA 3D es un software explícito, no lineal, de elementos finitos. Permite resultados transitorios de sólidos y estructuras en tres dimensiones, que se verifican a grandes deformaciones. El software aprovecha formulación básica de principios físicos de las ecuaciones de movimiento de un sistema, derivadas del principio de conservación del momentum (Mucino, 1999).

Para un estudio de simulación transitorio, es necesario definir condiciones de frontera, como velocidades iniciales, restricciones. Ls Dyna entrega una extensa diversidad de condiciones iniciales adaptables a problemas ingenieriles. Estos parámetros por lo general son a cargas aplicadas y a la simulación de superficies de contacto, permitiendo realizar el estudio de reacciones mecánicas entre dos sólidos o entre partes del mismo sólido. . (Manjarrés y Santillán, 2016)

Los principios del código se fundamentan en el análisis no lineal y elementos finitos, que posee dinámica transitoria con la integración en tiempo explícito (LS-DYNA Support, 2015).

La definición de “No lineal” representa al menos una o los siguientes conceptos estén presentes:

- Condiciones de frontera varían con el tiempo.
- Deformaciones notorias, por ejemplo el arrugamiento de sólidos fabricados de chapa.
- Materiales no lineales, es decir no poseen estructura y/o comportamiento elástico, como polímeros termo-plásticos

La segunda definición se trata de “dinámica transitoria” que realiza análisis en velocidad alta, en eventos de breve duración, es decir, son fuerzas de inercia importantes, que se emplea para la simulación de los siguientes casos:

- Impacto automotriz como deformación de carrocería y chasis, empleo de airbag, fuerzas empleadas en el cinturón de seguridad.
- Detonaciones (Minas, Industria naval por ejemplo submarinos).
- Producción (hoja de metal estampado).

Se definen las unidades coherentes a utilizar por el programa LS-Dyna. La siguiente tabla proporciona ejemplos de sistemas consistentes de unidades. Como puntos de referencia, la densidad de masa y el módulo de Young de acero se proporcionan en cada sistema de unidades. "GRAVEDAD" es la aceleración gravitatoria.

Tabla 4

*Unidades para programar en Ls-dyna*

Mass	Length	Time	Force	Stress	E	Density	Young's	35mph 56.33kmph	Gravity
Ton	mm	s	N	MPa	N-mm	7.83e-09	2.07e+05	1.56e+04	9.806e+03

Recuperado de LS-Dyna support (2017).

La Figura 39 muestra la interface del software LS-PrePost, que permite realizar estudios eficientes e intuitivos. LS-PrePost se ejecuta en Windows utilizando gráficos OpenGL (Open Graphics Library) es decir aplicaciones multilenguaje y multiplataforma que crean gráficos 2D y 3D , mediante renderizados y ploteos rápidos en XY.

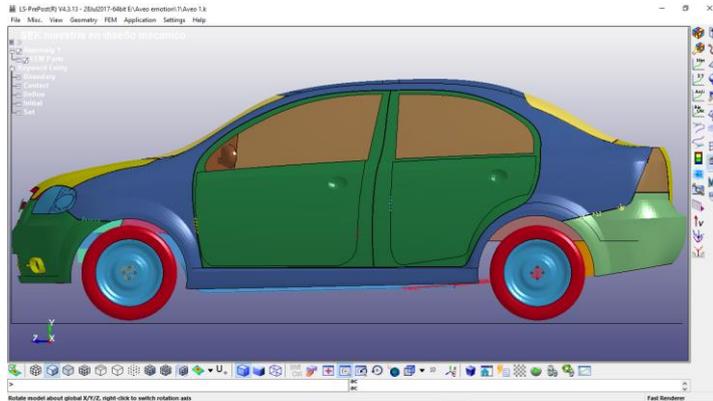


Figura. 39. Interfaz de Ls-Prepos.

**Condiciones de frontera del escenario de simulación**

En el programa LS- Prepost es donde se van a cargar las condiciones de frontera para la simulación. La tabla 5 especifica las variables ingresadas como condiciones de frontera:

Tabla 5

*Condiciones de Frontera*

Variable	Valor
Norma	USNCAP-EUCE 94
Velocidad	56 Km/h (15.5 m/s; 1.556e+004 mm/s)
Muro	Pared Solida de 70 Ton.
Tiempo	0,50 ms
Material	024-Piece Wire_Linear_Plasticity

La Figura 40 indica el modelo del vehículo antes de realizar la simulación.

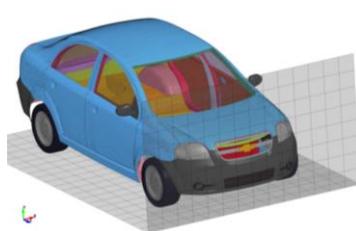


Figura. 40. Condiciones de borde para escenario de simulación

En esta fase, se resuelve de manera iterativa los diferentes sistemas de ecuaciones y los escenarios establecidos en el pre-proceso, lo que proporciona resultados para verificar e explicar en el pos-proceso.

#### **Proceso de la simulación.**

En esta etapa el software realiza todo el cálculo a través de un conjunto de ecuaciones matemáticas expresadas en forma matricial y se genera las soluciones del problema propuesto.

#### **Características elásticas de materiales**

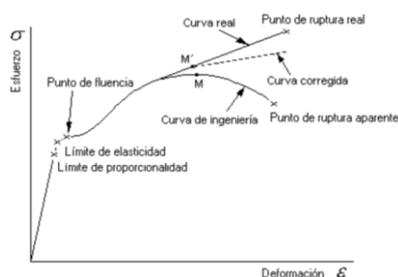
**Comentado [U8]:** ESTA INCOMPLETO EL SUBTITULO

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo de tracción hasta que se produce la rotura. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión deben ser pequeñas.

En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos:

- Módulo de elasticidad o Módulo de Young,
- Coeficiente de Poisson,
- Límite de proporcionalidad:
- Límite de fluencia o límite elástico aparente
- Límite elástico.
- Carga de rotura.
- Alargamiento de rotura.
- Área de estricción

En el ensayo de tracción se genera una curva de esfuerzo vs deformación unitaria donde se registran varias de las propiedades mecánicas como se observa en la Figura 41:



**Figura. 41.** Curva esfuerzo – deformación unitaria de un material. Recuperado de Mott R. 2009 Resistencia de Materiales Quinta Edición

Programas que realizan estudios de elementos finitos, traen librerías precargadas de materiales para realizar análisis, adicional, se puede incluir características del material constructivo real del habitáculo en el análisis.

Para obtener las características mecánicas reales, se realizó 5 probetas bajo la norma técnica ASTM E8 de material y aprovechar la opción que presenta el software, fue necesario someter a cinco probetas del material del habitáculo de seguridad a pruebas de tracción, como se observa en la Figura 42, estas pruebas se realizaron en el laboratorio de análisis de materiales del centro de Fomento Productivo carrocerero Metal Mecánico de la ciudad de Ambato, obteniendo los siguientes resultados:



**Figura. 42.** Probetas del material

Tabla 6

Resultados de caracterización de material

Probeta	Resistencia a la rotura (Mpa)	Límite de fluencia (Mpa)
1	197,25	195,09
2	139,06	139,73
3	219,33	202,06
4	238,94	230,15
5	201,09	205,16
<b>Promedio <math>\bar{x}</math></b>	<b>247,234</b>	<b>194,438</b>

Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

La figura 43, muestra información proporcionada de la caracterización del material, mediante el esfuerzo deformación en una probeta:

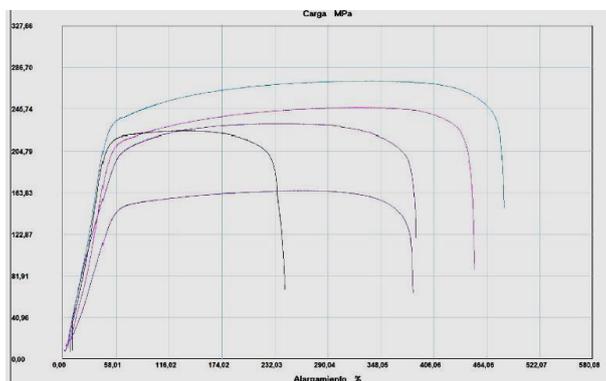


Figura. 43. Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga. Recuperado de Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

Las resistencias de materiales no lineales se asignan al Cad. La prueba de tracción se terminó en componentes de patrón para obtener la curva de deformación-deformación de ingeniería. El esfuerzo real y la tensión auténtica se utilizaron como centro de la tarjeta de material en el software. La tarjeta de material utilizada en LS\_DYNA es "Mat Piecewise linear

Plasticity\_24". Esta ley modela el material plástico elástico isotrópico usando características definidas para la curva de esfuerzo-tensión de plástico. Esta es una versión elástica de plástico que aplica el módulo de Young si el esfuerzo es menor que el límite de elasticidad y las curvas de esfuerzo-deformación medidas si la tensión es mayor que la tensión de fluencia, la Figura 44, indica la interfaz, para ingresar características mecánicas en el software.

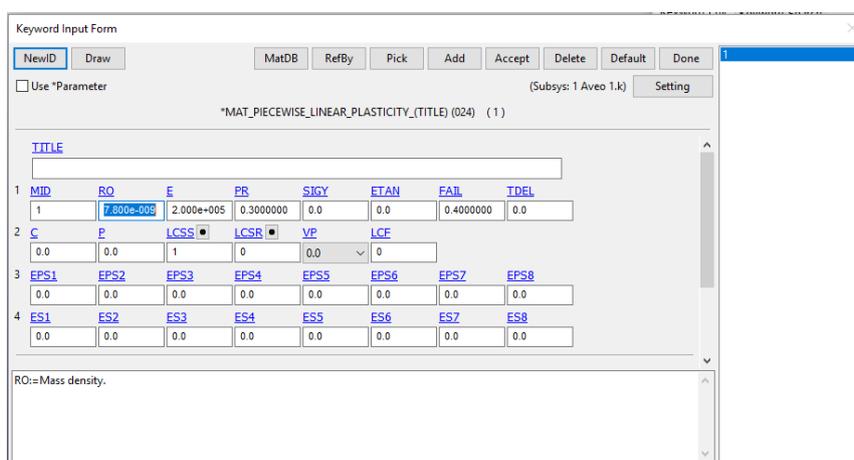


Figura. 44. Material para realizar la simulación

### Variables obtenidas en el análisis computacional

Los resultados obtenidos en el análisis se exponen a continuación, para la validación del estudio se va a trabajar en base a la concordancia que surgirá con la energía interna y el Hourglass (control de reloj de arena).

Para la representación de los resultados expresados mediante gráficos y curvas que permitan evaluar y analizar los resultados logrados en el pos procesado se utiliza el módulo LS-Prepost 3.2 donde se puede extraer información de la simulación.

### Control de Hourglass

Para el control del fenómeno del reloj de arena o llamado Hourglass , se hace referencia a formas no físicas de deformación producidas en los elementos no integrados y sin producir esfuerzos.

La Figura 45, indica el valor de energía Hourglass en un tiempo de 0,05 segundos es  $1,3 \times 10^6$  Nmm.

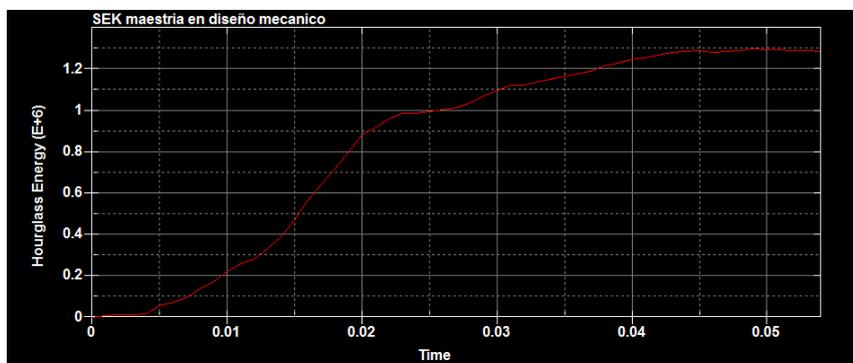


Figura.45. Hourglass

### Energía interna

De acuerdo a los principios físicos, se define a la energía interna como la adición en un cuerpo de todas las energías presentes en las partículas del mismo, siendo complicada el cálculo debido a que cada partícula tiene un tipo de energía diferente por lo que usualmente se suele calcular la variación de la energía interna, como se muestra en la Figura 46, el valor de energía interna es de  $122 \times 10^6$  N.mm a un tiempo de 0,05 s.

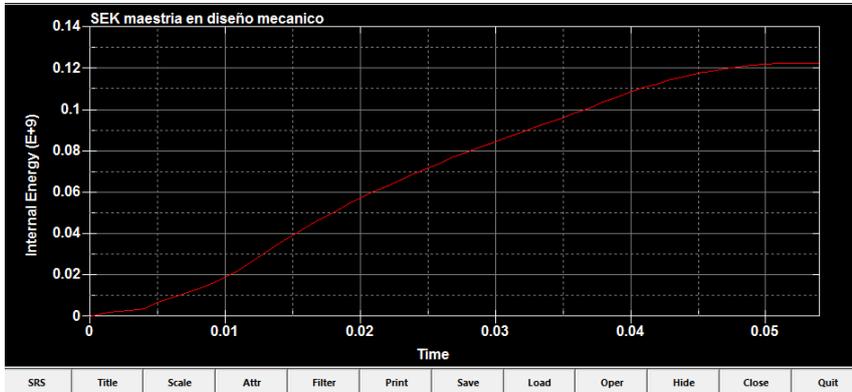


Figura. 46. Energía interna

Una manera óptima de validar los resultados, es mediante la relación entre la energía interna de deformación de impacto versus el valor de la energía del Hourglass. Es decir, si la energía de Hourglass es menor al 10 % de la Energía Interna la solución es aceptable (LIVEMORE ,2014).

Se procede al cálculo de la relación entre la energía interna por deformación vs la energía Hourglass.

$$H = \frac{Hourglass}{Energia_{int}} \tag{1}$$

$$H = \frac{1.3 * 10^6 Nmm}{122 * 10^6 Nmm} * 100\%$$

$$H = 1.065\%$$

$$H < 10\%$$

El valor obtenido de H es menor al 10% por lo tanto el análisis es válido para las condiciones establecidas en la simulación a 56 km/h. En la figura se muestra el comportamiento de la energía interna y la energía Hourglass que no sobrepasa el 10% de la energía interna.

### Balance de energía

Hace mención a la disipación de la energía en la estructura de manera de deformación en cada elemento constitutivo, como indica en la Figura 47.

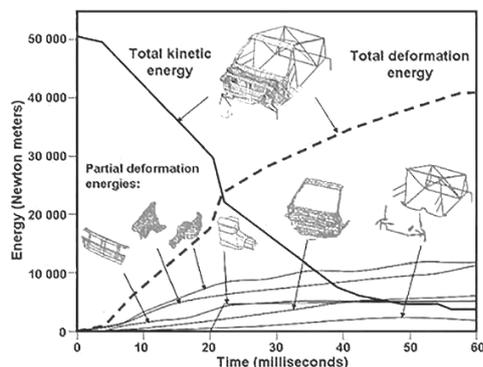


Figura. 47. Energía interna. Recuperado de Ls Dyna, 2015

Para el presente estudio se observa en la Figura 48, que mientras la energía total permanece constante, la energía cinética decae totalmente a los 0.05 s. Así como también, la energía interna del sistema asciende, formando un entrecruzamiento a los 0.025 s, permitiendo visualizar la transformación de energía.

La gráfica de energía frente al tiempo para el modelo de elementos finitos completo del habitáculo con la carrocería durante la prueba de impacto frontal se ilustra en la Figura 48. La precisión del modelo está asegurada ya que la energía total permanece constante y la energía del hourglass no superó el 10 % de la energía interna.

En un estudio realizado Liu, Song, & Wang. (2014), indica que Las propiedades de los materiales adecuados para el resultado de la simulación tienen una influencia importante en la colisión de vehículos experimental. La gran mayoría de datos de material se obtiene a través de experimentos en el modelo de elementos finitos del vehículo, así como también, el nivel total mantenimiento en el diagrama de energías indicado en la Figura 48 es similar al

presentado en dicho estudio. Por lo tanto, la credibilidad de toda la simulación cumple con el requisito.

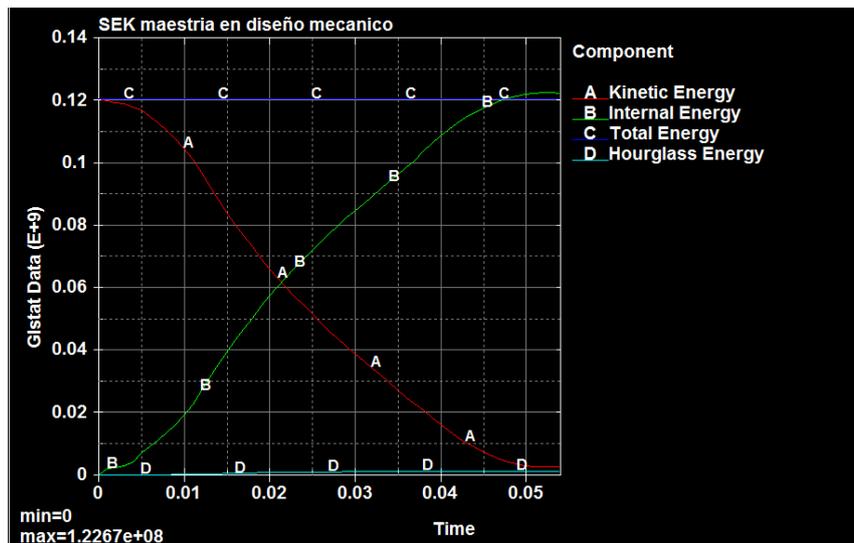


Figura. 48. Curvas de energía

El balance energético es un método para evaluar la corrección del análisis numérico. La energía cinética cae continuamente desde el comienzo de la carrera (tiempo 0 segundos a 0.05 segundos). En el momento instancia de 0,050 segundos. La curva se inclina hacia abajo bruscamente, lo que muestra que la energía es absorbida debido a la fricción deslizando.

#### Modelos matemáticos para el análisis de impacto frontal

Para el desarrollo de modelos matemáticos y su resolución para análisis de impactos es importante conocer e identificar las leyes y principios matemáticos y físicos que presenta este tipo de fenómeno físico. Es de suma importancia establecer con precisión las condiciones de borde del análisis, el comportamiento y variación de las fuerzas, las propiedades de los elementos involucrados, dimensiones y el tipo de fuerzas, entre otras las mismas que pueden tener variación en función del tiempo, además que permiten la formulación de ecuaciones diferenciales, y estas de acuerdo al tipo de su resolución pueden ser implícitas o explícitas,

para el presente estudio en el cual las condiciones del problema son dinámicas, se aplican modelos de resolución explícita.

**Formulaciones básicas para analizar el sistema dinámico explícito**

**Comentado [U9]:** PARA QUE? SE DEBE COMPLEMENTAR ESTE TITULO

De acuerdo a Shen Wu y Lei Gu (2012), presenta el Algoritmo indicado en la Figura 49 para el cálculo para dinámica explícita.

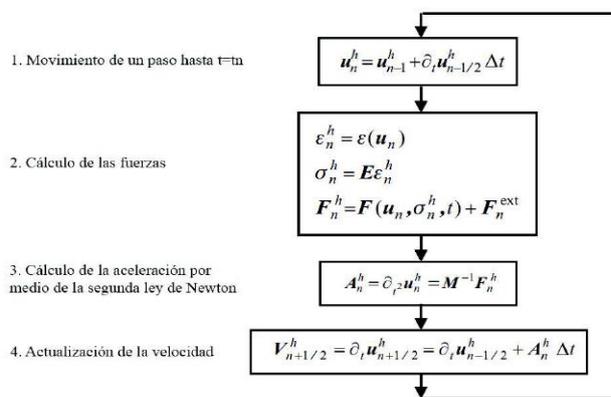
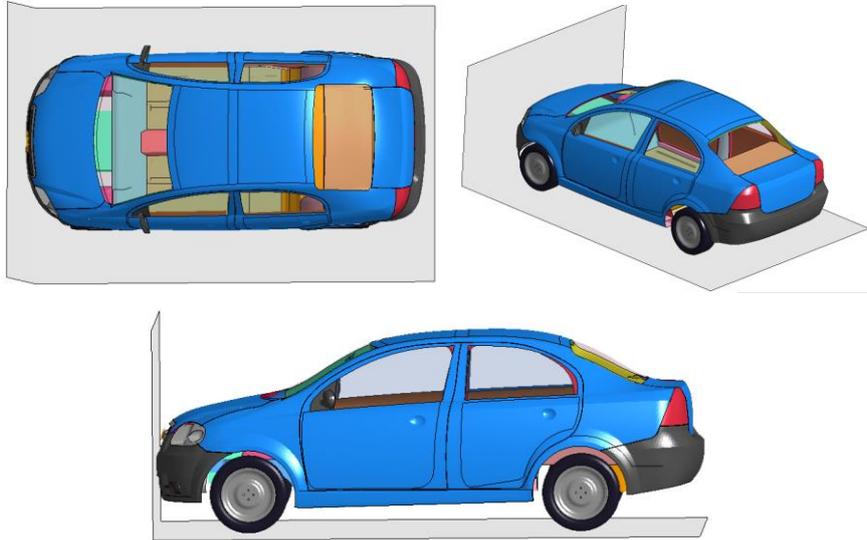


Figura. 49. Algoritmo de cálculo para dinámica explícita. Recuperado de Shen Wu y Lei Gu ,2012.

Para calcular la fuerza de impacto de los cuerpos (estructura y pared indeformable), se utiliza la teoría del impulso y cantidad de movimiento. Por definición, el impulso es el producto de la carga aplicada sobre un cuerpo y el tiempo de duración, es la cantidad de movimiento (P) y es igual a la masa (m) por la velocidad final (Vf) menos la masa por la velocidad inicial (Vo), considerando que el impacto entre dos vehículos es totalmente inelástico, es decir el coeficiente de restitución (K) es cero. La cantidad de movimiento, es un resultado del impulso, aunque matemáticamente son lo mismo, conceptualmente existen diferencias. La Figura 50, indica diferentes vistas del models antes que el vehículo impacte.



**Figura. 50.** Vehículo sedan se impacta a 56 Km/h. Diferentes vistas de los cuerpos a impactarse. Choque de los cuerpos totalmente inelástico.

A continuación se presenta la Tabla 7 con los valores de velocidad, tiempo y masa para el cálculo de la fuerza de choque usando la teoría del impulso y cantidad de movimiento.

Tabla 7

*Datos para el cálculo de la fuerza de choque*

Concepto	Valor
Velocidad inicial de la barrera fija	Cero
Velocidad del vehículo sedan	56 Km/h
Tiempo de contacto en el choque	50 ms
Masa del vehículo	1085 Kg (m1)
Masa de la barrera fija	70000 Kg (m2)

El análisis matemático se lo realiza en la parte de la pared de fuego del habitáculo de seguridad, donde se determinó que es la zona crítica al momento del impacto, para el habitáculo de seguridad.

Aplicando la teoría del impulso se tiene:

$$P_1 = P_2 \quad (2)$$

$$m_1 v_{01} + m_2 v_{02} = m_1 v_{f1} + m_2 v_{f2} \quad (3)$$

Donde:

$P$  Cantidad de movimiento

$m$  Masa

$v$  Velocidad

Por ser un choque totalmente inelástico las masas se suman, teniendo una velocidad de rebote (VR) de:

$$VR = \frac{m_1 v_{01} + m_2 v_{02}}{m_1 + m_2} \quad (4)$$

$$VR = 0.8547 \frac{Km}{h}$$

Entonces se puede calcular la fuerza producida en el choque:

$$I = \Delta P = P_f - P_0 \quad (5)$$

$$P = mV$$

$$I = \Delta P = m V_f - mV_0$$

$$I = \Delta P = 1085 \left( 56 \frac{Km}{h} - 0.8547 \frac{Km}{h} \right)$$

$$I = 59832.6505 \text{ Kg} \frac{m}{s}$$

$$F = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (6)$$

$$F = 1196653,00 \text{ N}$$

De acuerdo a Duan Sun et al (2016), las fuerzas en un impacto frontal se distribuyen de acuerdo a lo indicado en la Figura 11, en donde indica que la fuerza resultante en el habitáculo de seguridad se encuentra entre un 15% a 20% de la fuerza total.

Para realizar el cálculo sobre la pared de fuego se tomará el 17.5 % de la fuerza total del impacto.

$$F_i = F * 17.5\% \quad (7)$$

$$F_i = 209414,27 \text{ N}$$

Tomando la muestra en una viga, se puede determinar el esfuerzo normal por compresión al cual está sometida la placa, así como su deformación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (8)$$

El área correspondiente a la pared de fuego se determina mediante el largo de 1629.71 mm con 2 mm de espesor, como se muestra en la Figura 51:

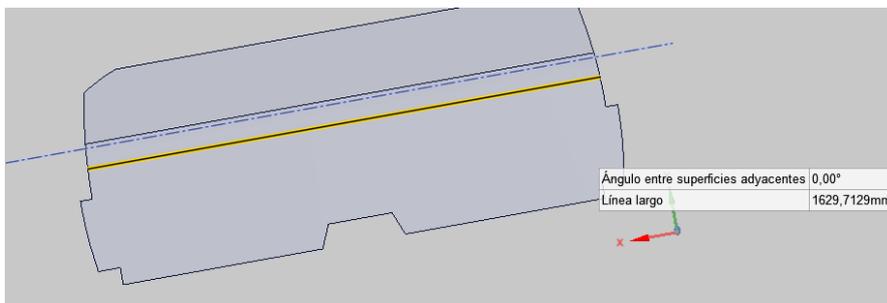


Figura. 51.Zona de estudio de impacto

$$A=3.259,42 \text{ mm}^2$$

Por tanto el esfuerzo al que está sometida la plancha es:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{209414,27}{3259,42}$$

$$\sigma = 64,25 \text{ MPa}$$

El esfuerzo calculado se compara con obtenido en la tabla de ensayo realizado. Para los ensayos de tracción se utilizó 5 probetas siguiendo la norma ASTM E8, la figura 29 muestra el detalle de los valores obtenidos.

Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
■ 1	2702,78	2281,51	2306,75	231,12	195,09	197,25
■ 2	2716,98	2289,40	2278,35	165,83	139,73	139,06
■ 3	2685,43	2196,31	2384,07	247,06	202,06	219,33
■ 4	2892,12	2437,71	2530,80	273,05	230,15	238,94
■ 5	2784,83	2546,58	2496,09	224,35	205,16	201,09
<b>Media</b>	<b>2756,428</b>	<b>2350,302</b>	<b>2399,212</b>	<b>228,281</b>	<b>194,438</b>	<b>199,134</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>84,696</b>	<b>139,929</b>	<b>111,900</b>	<b>39,624</b>	<b>33,321</b>	<b>37,445</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,031</b>	<b>0,060</b>	<b>0,047</b>	<b>0,174</b>	<b>0,171</b>	<b>0,188</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>3010,517</b>	<b>2770,088</b>	<b>2734,913</b>	<b>347,151</b>	<b>294,400</b>	<b>311,468</b>

*Figura. 52.* Resultados numéricos previo al Análisis Gráfico. Tomado de Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

El valor promedio obtenido en los ensayos de tracción tiene un valor de 228,281 MPa, siendo este valor el que servirá para hacer la comparación con el valor obtenido analíticamente.

A continuación se presenta una tabla comparativa de los valores obtenidos.

Tabla 8

Cuadro comparativo de valores de resistencia

Resistencia del material	Resistencia calculada
228,281 MPa	64,25 MPa

De acuerdo a datos de la tabla el esfuerzo que se aplica en la superficie no supera el límite, por lo tanto el elemento no ha superado la zona elástica.

Para determinar su deformación total por resistencia de materiales se determina de la siguiente manera:

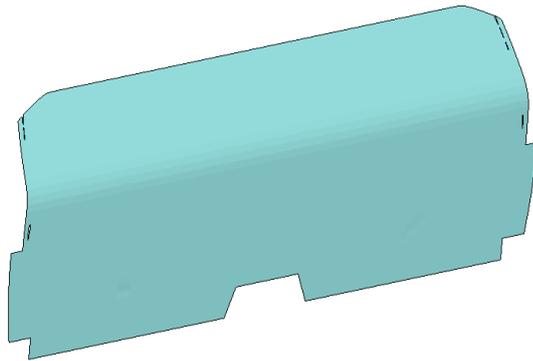
$$\delta = \frac{F \left(\frac{L}{2}\right)}{AE} \quad (17)$$

$$\delta = \frac{209414,27 * 814.855}{3.259,42 * 207 \text{ GPa}}$$

$$\delta = 0,252 \text{ mm}$$

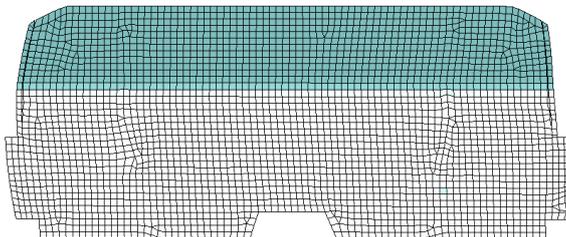
Para contrastar los resultados obtenidos analíticamente, se procede de la siguiente forma:

Se procede al modelado de la placa, como lo indica la Figura 53.



**Figura. 53.** Modelado del elemento

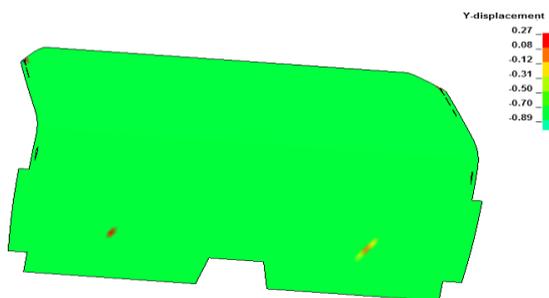
El siguiente paso después de realizar el modelado, es el mallado, donde se aplica el tipo de malla el tamaño como lo indica la Figura 54.



*Figura. 54.* Mallado del elemento

Luego se le asigna las restricciones, en este caso una restricción fija, aplicando la restricción en un extremo de la placa como indica la Figura 55. Luego se aplica axialmente la misma fuerza normal de compresión que se utilizó en el cálculo matemático del método anterior que tiene un valor de 209414,27 N.

En el gráfico, en la escala de valores indica que la parte de color roja (Figura 55) significa que es donde se ejerce la fuerza normal de compresión, es por ésta razón que se genera la mayor deformación y va disminuyendo mientras se acerca al punto de fijación.



*Figura. 55.* Parte de la estructura analizada en software en términos de deformación. Def Max 0,27 mm.

El resultado del cálculo del software es de 0,27 mm de deformación total de la parte analizada por este método.

### **Análisis por el método del elemento finito**

Para este análisis se va a utilizar el método directo, que puede verse como una extensión del método de rigidez, que es ampliamente utilizado en análisis estructural. Este enfoque tiene una ventaja de presentar los aspectos principales del MEF, sin mucha manipulación matemática, como se muestra en la Figura 56 y 57.

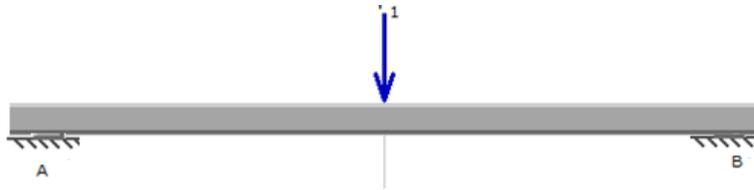


Figura. 56. Viga hiperestática con carga puntual.

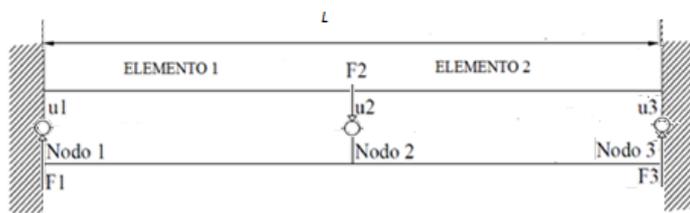


Figura. 57. Elemento estructural a ser analizado

La  $F$  representa la fuerza que se aplica al nodo y  $\mu$  es el desplazamiento del nodo. La discretización ocupada mediante dos elementos lineales, se puede observar en la figura 57. Considerese el elemento de la viga uniforme y homogéneo. Al precisar 3 nodos, existen 3 grados de libertad, de éstos, en el nodo 2, está definido el desplazamiento, el único grado de libertad en fuerzas se define para el nodo 2, además, los dos siguientes nodos están restringidos por tanto su desplazamiento es cero (0), para este caso se tiene:

Tabla 9

Condiciones de frontera para resolver el mismo caso por el método de elementos

Concepto	Valor
Desplazamiento $u_1$	0
Desplazamiento $u_2$	Incógnita
Desplazamiento $u_3$	0
Fuerza $F_1$	Incógnita
Fuerza $F_2$	209414 N
Fuerza $F_3$	Incógnita

Nota: Valores de cada nodo propuesto para la resolución del ejercicio

Según la teoría se tiene dos tipos de notaciones:

La forma general

$$[F] = [K][\mu]$$

Dónde:  $[K]$  es la matriz de rigidez y  $[\mu]$  es el vector de desplazamientos nodales y  $[F]$  es el vector de fuerzas nodales.

La notación matricial general para cada elemento con dos grados de libertad

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{ii} & K_{ij} \\ K_{ji} & K_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \end{bmatrix}$$

La matriz de rigidez para cada elemento discretizado que en este caso será una estructura matricial de dos por dos.

$$F = \begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K \end{bmatrix}$$

Se calcula el valor de  $K$  que es una constante para reemplazar en la matriz tomando en cuenta la longitud del elemento por la propia definición de los coeficientes de rigidez  $K_{ij}$  de la teoría básica de la resistencia de materiales en mecánica de sólidos donde el desplazamiento de un elemento uniforme viene dado por:

$$u = \frac{FL}{AE}$$

Por lo tanto el valor constante  $K$  es:

$$K = \frac{EA}{L}$$

$$K = \frac{207 \text{ GPa} * 1629,71 \text{ mm}^2}{814.855 \text{ mm}}$$

$$K = 414000000 \text{ N/m}$$

Por tanto las matrices para los dos elementos de este caso quedan así:

Para el elemento 1

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 414000000 & -414000000 \\ -414000000 & 414000000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ u2 \end{bmatrix}$$

Para el elemento 2

$$\begin{bmatrix} F2 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 414000000 & -414000000 \\ -414000000 & 414000000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Ensamblando las matrices para tener una matriz de rigidez global se generan las siguientes matrices:

Para el elemento 1 se tiene:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 414000000 & -414000000 & 0 \\ -414000000 & 414000000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ u2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Para el elemento 2 se tiene:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 414000000 & -414000000 \\ 0 & -828000 & 828000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ u2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Sistema global representado con la matriz de rigidez

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 414000000 & -414000000 & 0 \\ -414000000 & 414000000 + 414000000 & -414000000 \\ 0 & -414000000 & 414000000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ u2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Aplicar las condiciones de frontera:  $u1=0$ ;  $F2=209414$ ;  $u3=0$ ;  $F3=0$

Reemplazando en el vector de fuerzas y vector de desplazamiento en la matriz global:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ 209414 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -414000000 & 0 \\ -414000000 & 414000000 + 414000000 & -414000000 \\ 0 & -414000000 & 414000000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ u2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Se resuelve el sistema de ecuaciones y se obtiene dos subsistemas:

$$F1 = -414000000u2$$

$$\begin{bmatrix} 209414 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 828000000 & 0 \\ -414000000 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Resolviendo las matrices con el programa Matlab Demo, se obtiene lo siguiente:

$$K = [828000000]$$

$$F = [209414 \ N]$$

$$u = K^{-1}F$$

Posterior se ingresan los cálculos en el Software Matlab, como indica en la Figura 58.

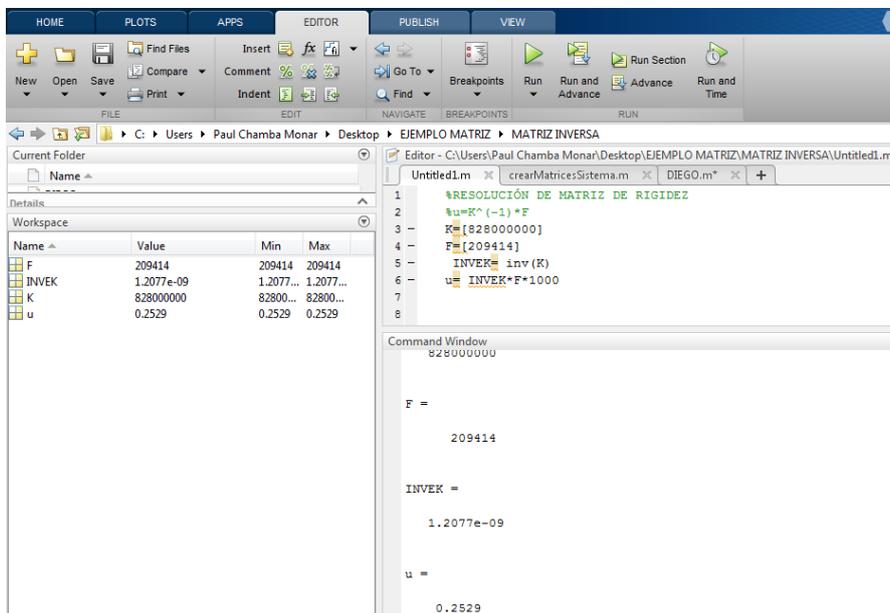


Figura. 58. Cálculo de operaciones entre matrices realizado en Matlab Demo.

De acuerdo a los datos obtenidos en el software Matlab el desplazamiento calculado es de:

$$u2 = 0.2529 \text{ mm}$$

Los datos obtenidos en referencia al desplazamiento son los mismos para ello se lo compara en la Tabla 10:

Tabla 10

Comparativo de resultados obtenidos con diferentes métodos

Materiales - deformación	Esfuerzo	Software MEF directo	Elementos finitos método
0,252 mm	0,27 mm	0,2529 mm	

De acuerdo a los resultados obtenidos en los diferentes métodos, se deduce que los valores son resultados conservadores.

## RESULTADOS

La manera óptima para certificar una simulación computacional, será realizar un experimento físico con características parecidas, con condiciones iguales a las programadas dentro del software, pero la misma generaría un análisis costoso. Partiendo de esto no sería rentable realizar una validación física, para lo cual, al presente estudio se realizó de la siguiente manera:

- Validación mediante el método de Energía de Hourglass.
- Validación del fenómeno por elementos finitos método directo.

De acuerdo a Gonzales. (2013), respecto a los tipos de materiales empleados en las carrocerías, el acero ocupa el 75% del peso total, seguido por aluminio, plásticos entre otros.

La tabla 11, indica los diferentes rangos de límite elástico para diferentes tipos de acero empleados en la fabricación de una carrocería en un vehículo.

Tabla 11

Rangos de límite elástico para los diferentes tipos de acero

GRUPO	LÍMITE ELÁSTICO	TIPO	MANUFACTURA
<b>Aceros convencionales</b>	<220 Mpa		
<b>Aceros de alta resistencia</b>	160-300 Mpa	BH	Reforzados en Hornos
	>340 Mpa	ALE	Afino de Grano
	> 220 Mpa	Refosforad	Solución sólida
		o	
<b>Aceros de muy alta resistencia</b>	500-600 Mpa	DP	Fases duras
	600-800 Mpa	TRIP	Fases duras
	800-1000 Mpa	CP	Fases duras
<b>Aceros de ultra alta resistencia</b>	1000-1250 Mpa	MS	Fases duras
	>1250 Mpa	BOR	Fases duras

Recuperado de Gonzales (2013).

Una vez que no se evidencio mayor margen de error, se procederá a realizar simulaciones con 6 diferentes materiales, empleados a nivel nacional e internacional, que puedan otorgar prestaciones similares o mejores a la obtenida en la probeta.

Según Ashby y Johnson. (2010), la característica de un acero dulce no aleado convencional, se encuentra en ser laminado en frio con un bajo porcentaje de carbono, siendo un acero prácticamente suave, por esta razón, deben ser de mayores espesores, para soportar esfuerzos a los que se encuentran sometidos, se emplea como láminas para techar paneles automotrices.

García. (2009), afirma que los aceros de alta resistencia se dividen según el proceso de endurecimiento, es decir en aceros reforzados, microaleados y refosforados, que se emplean en la industria automotriz en la fabricación de molduras exteriores, como son, puertas, cofres, techo, o elementos estructurales como bastidores inferiores, refuerzos de suspensión, travesaños , largueros.

De acuerdo a Benedyk. (2010), indica que el aluminio es ligero en relación al acero inoxidable, de tal forma que su empleo en la manufactura automotriz, incrementa constantemente, siendo la primera aleación ligera, junto con el titanio y el Magnesio. Otra característica indica al aluminio de producción económica, sin embargo, se encuentra en relación 2:1, con respecto a los aceros.

Bloeck. (2012), menciona acerca de las diferentes aleaciones del Aluminio en la fabricación de paneles automotrices, e indica que las más utilizadas son aleaciones de AlMgSi y AlMg, especial en los paneles exteriores, debido a las excelentes propiedades de resistencia y conformado, que presenta.

### PARÁMETROS DE COMPARACIÓN, SOBRE EL HABITÁCULO DE SEGURIDAD:

- Esfuerzo de Von Mises, al tratarse de un criterio de falla, indica cuándo termina el régimen elástico y obtiene una deformación permanente, es decir, un material dúctil pierde sus características mecánicas cediendo ubicación cuando el esfuerzo de Von Mises equivale al límite de tensión. Por esta razón, el límite elástico es igual al límite de esfuerzo.
- Deformación plástica, es importante este parámetro ya que indica que está sucediendo en un material al tensarse (esfuerzo), posterior, supera su límite elástico, indicando que el material posee una deformación permanente, al ya no poseer carga alguna sobre el mismo, cuando ocurre esto, se utiliza el término que el material presente un comportamiento elástico.
- Desplazamiento en z, indica el recorrido de puntos críticos en la simulación, que permitirá evaluar el comportamiento del habitáculo de seguridad, ante un impacto.

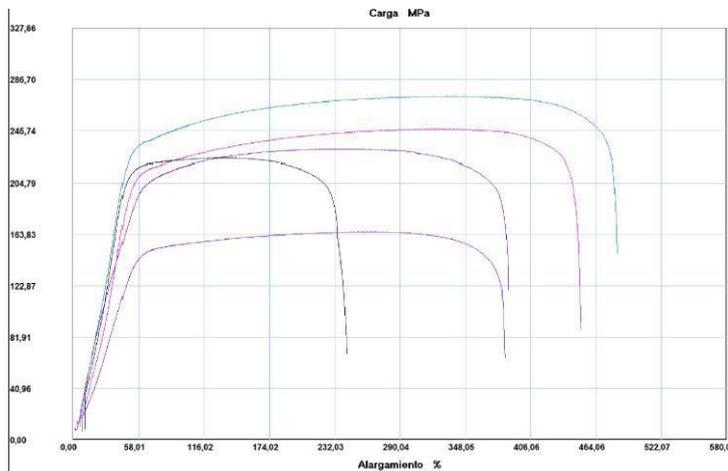
**Comentado [U10]:** EXPLICAR PORQUE ES ESENCIAL, CADA PARAMETRO

### ELECCIÓN DE MATERIALES A EMPLEAR EN EL ESTUDIO

De acuerdo a lo indicado en los párrafos anteriores, el estudio se llevará en materiales de carrocería, es decir, aceros convencionales, de alta resistencia, de muy alta resistencia y una aleación de aluminio existente en el Ecuador.

Se realizó probetas bajo la norma técnica ASTM E8 de 3 diferentes materiales, para caracterizar el material.

El primer material empleado fue recuperado de un habitáculo de seguridad en un vehículo Aveo, la Figura 59, indica la gráfica del ensayo de tracción, en donde en el eje de las abscisas representa el porcentaje de alargamiento y en el eje de las ordenadas la carga en Mpa, que resistió el material.



**Figura. 59.** Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga. Recuperado de Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

De acuerdo a los resultados, las características mecánicas, indica que es un acero convencional, con características similares al Acero 1000 como se indica en la Figura 60.

Physical Properties	Metric
Density	7.84 - 7.87 g/cc
Mechanical Properties	Metric
Hardness, Brinell	86.0 - 500
Hardness, Knoop	103 - 392
Hardness, Rockwell B	49.0 - 100
Hardness, Rockwell C	9.00 - 71.0
Hardness, Vickers	88.0 - 384
Tensile Strength, Ultimate	295 - 2210 MPa
Tensile Strength, Yield	165 - 1260 MPa
Elongation at Break	5.00 - 48.0 %
Reduction of Area	13.4 - 72.5 %
Modulus of Elasticity	186 - 206 GPa
Bulk Modulus	148 - 163 GPa
Poissons Ratio	0.290
Machinability	40.0 - 160 %
Shear Modulus	72.0 - 80.0 GPa
Izod Impact	3.00 - 135 J

**Figura. 60.** Características mecánicas Acero 1000, inical. Recuperado de <http://www.matweb.com>

El segundo material objeto de estudio es el Acero Galvanizado ASTM 36, que se emplea en la fabricación de carrocerías de buses, la Figura 61, indica la gráfica del ensayo de tracción, y permite visualizar que es un acero de alta resistencia.

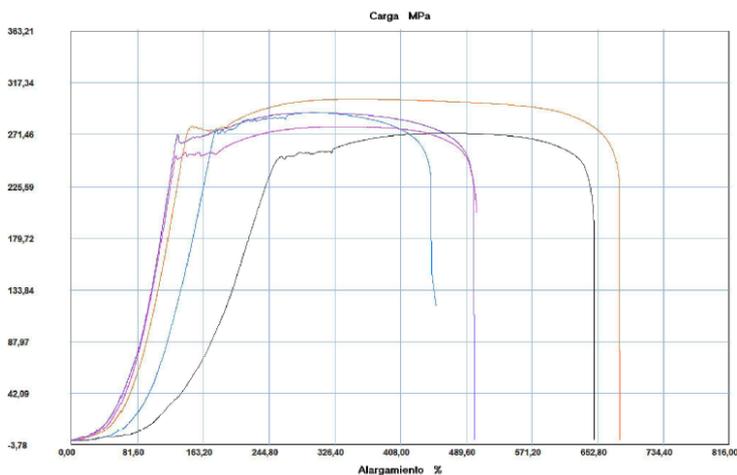


Figura. 61. Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga. Recuperado de Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

Como tercer material se selecciona una aleación de 2.5 % Mg - 97.5 % de Al, existente en Ecuador, con el fin, de determinar la curva de esfuerzo deformación, así como también las características mecánicas, la Figura 62, muestra la curva de esfuerzo vs deformación .

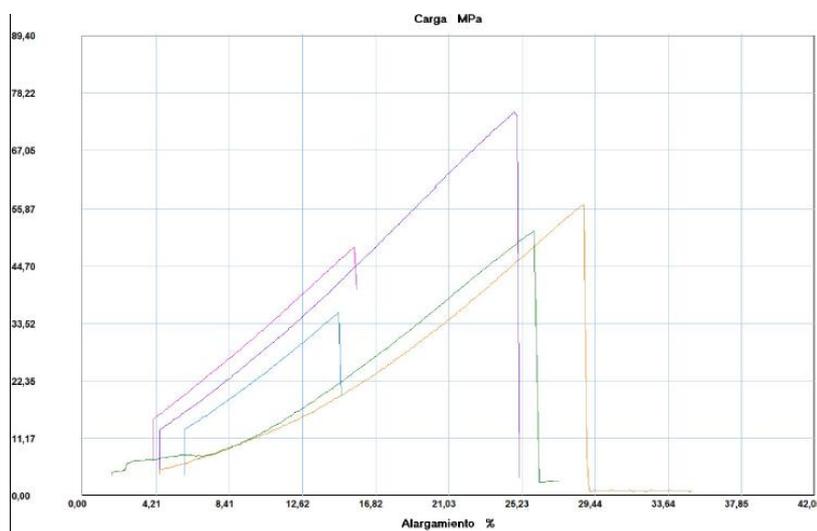


Figura. 62. Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga. Recuperado de Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua.

De acuerdo a los resultados, las características mecánicas, indica que en una aleación de Aluminio con características similares a la del Al1060, como indica en la Figura 63.

Physical Properties	Metric
Density	2.705 g/cc
Mechanical Properties	Metric
Tensile Strength, Ultimate	58.0 - 95.0 MPa
	>= 58.0 MPa
	@Thickness 0.254 - 12.7 mm
	>= 62.0 MPa
	@Thickness 25.43 - 76.2 mm
	>= 70.0 MPa
	@Thickness 12.7 - 25.4 mm
	>= 75.0 MPa
	@Thickness 6.35 - 12.7 mm
Tensile Strength, Yield	>= 17.0 MPa
	>= 17.0 MPa
	@Thickness 0.254 - 12.7 mm
Elongation at Break	>= 10 %
	>= 20 %
	@Thickness 12.7 - 25.4 mm
	>= 25 %
	@Thickness 25.43 - 76.2 mm
	>= 30 %
	@Thickness 1.27 - 4.29 mm
Modulus of Elasticity	69.0 GPa
Poissons Ratio	<= 0.33
Shear Modulus	25.9 GPa

Figura. 63. Características mecánicas Aluminio1060..Recuperado de <http://www.matweb.com>

Por esta razón, las primeras 3 simulaciones se realizarán con respecto a las características indicadas en la tabla 12.

Tabla 12

Materiales empleados para validación del estudio

TIPO DE MATERIAL/	F MAX (N)	F ROT (N)	F YIELD (N)	C Max (Mpa)	C Rot (Mpa)	C. Yield (Mpa)
<b>CARACTERÍSTICAS</b>						
<b>ACERO GALVANIZADO-AST 36</b>	18261,101	1658,267	627,01	322,49	297,368	10,987
<b>ACERO 1000</b>	2756,428	2350,302	2399,212	228,281	194,438	199,134
<b>ALEACIÓN 2,5 % MAGNESIO Y 97,5 % AL</b>	1463,57	199,12	1459,152	53,366	7,282	53,19

Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales, Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocer, Gobierno de Tungurahua

Los 3 siguientes materiales, se realiza la selección de aceros de alta resistencia.

Comentado [U11]: REVISAR

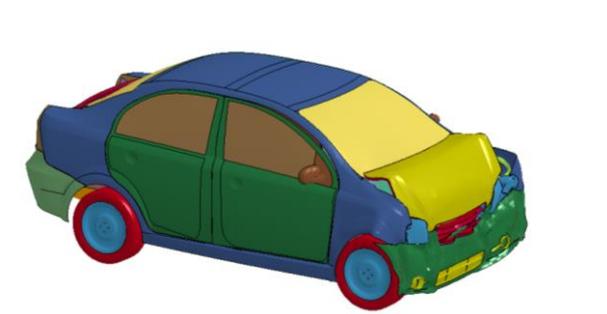
Tabla 13

Materiales empleados para validación del estudio

<i>TIPO DE MATERIAL/ CARACTERÍSTICAS</i>	<i>Density</i>	<i>Tensile Strength Ultimate</i>	<i>Tensile Strength Yield</i>	<i>Elongation at Break</i>	<i>Modulus of elasticity</i>	<i>Poissons Ratio</i>
ACERO 1045- Acero de alta resistencia	7,85 g/cc	675 Mpa	405 Mpa	24%	206 Gpa	0,29
ACERO 1020- Acero de alta resistencia	7,87 g/cc	420 Mpa	350 Mpa	15%	186 Gpa	0,29
ACERO 1006- Acero de alta resistencia	7,872 g/cc	330 Mpa	285 Mpa	20 %	206 Gpa	0,29

Recuperado de: <http://www.matweb.com>**ACERO GALVANIZADO**

Para el primer ensayo se utilizará el material empleado en una carrocería de bus en el Ecuador, la Figura 64, indica el resultado, después de un impacto frontal. Indicando que como material del habitáculo de seguridad de un vehículo sedán, no presenta, gran deformación en la zona de seguridad del ocupante.

**Figura. 64.** Impacto frontal vehículo Sedán

Como se observa en la Figura 65 el esfuerzo principal de Von mises en el instante inmediato del Impacto, en el elemento 96698 es de 435.866 MPa , teniendo en cuenta, de acuerdo a las características mecánicas del material, su esfuerzo máximo es de 322 MPa , lo que sugiere

que el elemento 96698, presenta un comportamiento elástico, presentando fluctuaciones, a partir de este punto.

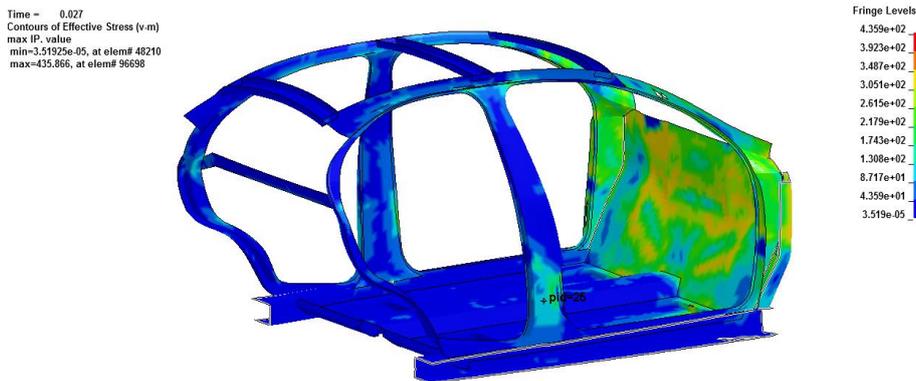


Figura. 65. Esfuerzo de Von misses-Acero Galvanizado

En la Figura 66 se visualiza el comportamiento de los elementos críticos del habitáculo de seguridad con respecto a la deformación plástica del material, se observa que en el elemento 96698 posee una deformación de 0.357019, lo que quiere decir que una vez superado este valor como límite elástico aparecen deformaciones elasticas, permanentes, tras finalizar el impacto, lo que permite sustentar el comportamiento del habitáculo de seguridad con el material asignado.

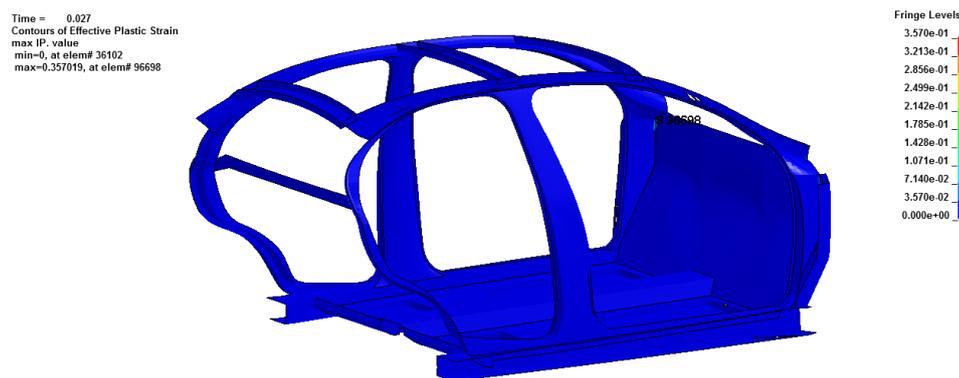


Figura. 66. Deformación plástica –Acero Galvanizado

Con respecto al traslado realizado en el eje Z, se visualiza en la Figura 67, que el habitáculo de seguridad no sufre mayor deformación, ya que el impacto es absorbido en su mayoría por la parte delantera del vehículo, adicional, se observa que en el nodo 52666 se determina un desplazamiento máximo de 477.745 mm.

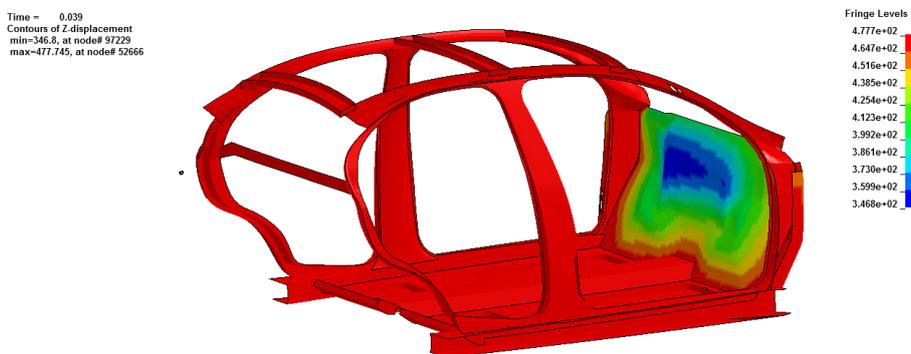


Figura. 67. Desplazamiento en el eje z-Acero Galvanizado

En la Figura 68, se observa que el esfuerzo máximo es de 435.866 MPa aproximadamente, esto ocurre cuando el elemento 96698, perteneciente al habitáculo de seguridad se ha desplazado 390 mm, aproximadamente, después de eso sufre una caída brusca del esfuerzo, lo que presupone el colapso del elemento.

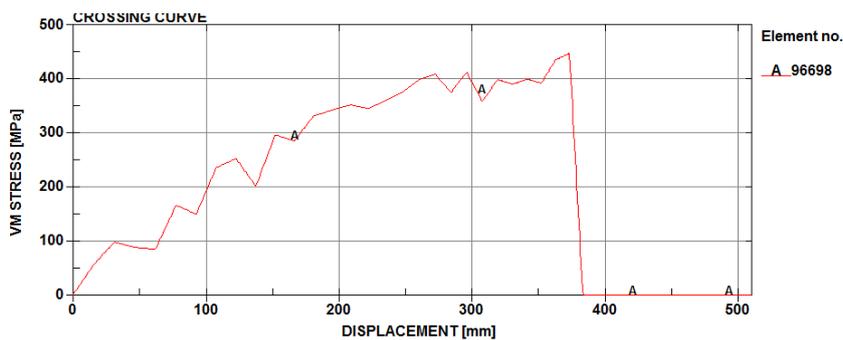


Figura. 68. Esfuerzo de von Misses vs Desplazamiento en el eje z-Acero Galvanizado

Con respecto al elemento 96698, como indica en la figura 69, se observa comportamiento elástico hasta un esfuerzo de 298 MPa, con una deformación de 0.02. Posterior se visualiza que el comportamiento para el ajuste lineal plástico isotrópico alcanza un esfuerzo de 401 MPa, en un tiempo de 0.02 s después de ver iniciado el impacto y llega a un valor máximo de 435.866 correspondiendo a un tiempo de 0.028 s, continuando con una disminución brusca del esfuerzo, presuponiendo el colapso del elemento.

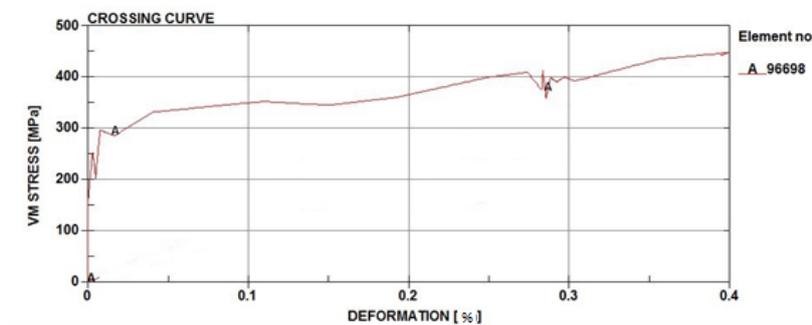


Figura. 69. Esfuerzo de von Misses vs Deformación -Acero Galvanizado

#### ACERO 1000

Para el segundo ensayo en el habitáculo de seguridad se utilizará el material empleado en un vehículo Aveo. La Figura 70, indica que las características mecánicas asignadas al material resisten a un impacto, frontal, conociendo esto, se realiza el estudio sobre el habitáculo de seguridad.

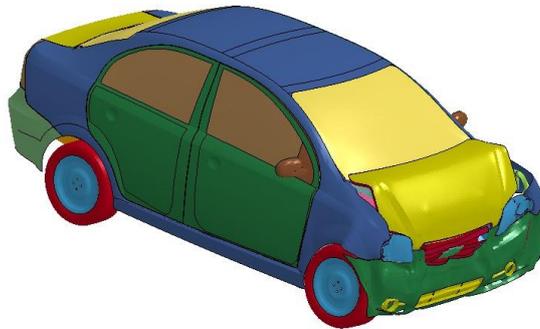


Figura. 70. Impacto frontal

Como indica la Figura 71 el esfuerzo principal de Von misses en el instante inmediato del Impacto, se encuentra en el elemento 97564 con un valor de 264.593 MPa , teniendo en cuenta, de acuerdo a las características mecánicas del material, su esfuerzo máximo es de 270 MPa , lo que sugiere que el elemento 97564, presenta un comportamiento elástico, presentando fluctuaciones, a partir de este punto.

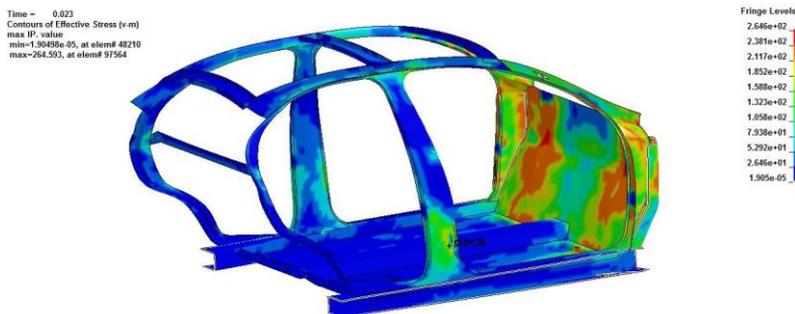


Figura. 71. Esfuerzo de Von Misses - Probeta habitaculo de Seguridad

En la Figura 72 se visualiza el comportamiento de los elementos críticos del habitáculo de seguridad con respecto a la deformación plástica del material, se observa que en el elemento 97564 posee un porcentaje de deformación de 0.348001, lo que quiere decir que una vez superado este valor como límite elástico aparecen deformaciones elásticas permanentes, tras finalizar el impacto, lo que permite sustentar el comportamiento del

habitáculo de seguridad con el material asignado.



Figura. 72. Deformación plástica– Probeta habitaculo de Seguridad

Con respecto al traslado realizado en el eje Z, se visualiza en la Figura 73, que el habitáculo de seguridad no sufre mayor deformación, ya que el impacto es absorbido en su mayoría por la parte delantera del vehículo, adicional, se observa que en el nodo 52667 se determina un desplazamiento máximo de 520.251 mm.

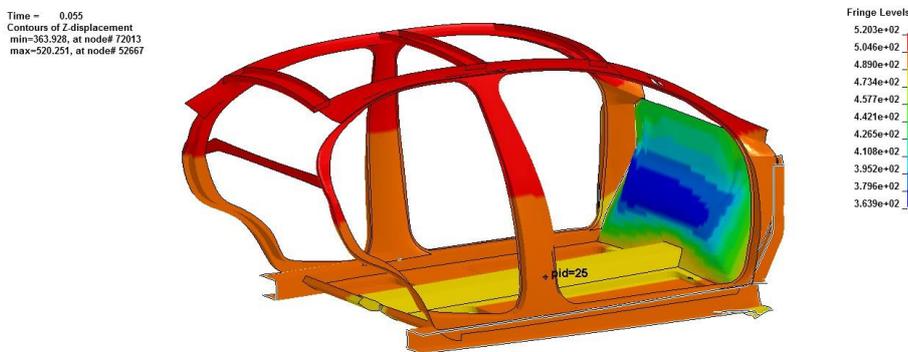


Figura. 73. Desplazamiento en el eje z- Probeta habitaculo de Seguridad

En la Figura 74, se observa que el esfuerzo máximo es de 264.593 MPa. Aproximadamente, esto ocurre cuando el elemento 97564, perteneciente al habitáculo de seguridad se ha desplazado 380 mm, aproximadamente, después de eso sufre una caída brusca del esfuerzo, lo que presupone el colapso del elemento.



Figura. 74. Esfuerzo de von Misses vs Desplazamiento en el eje z- Probeta habitaculo de Seguridad

Con respecto al elemento 97564, se observa en la Figura 75 el comportamiento elástico hasta un esfuerzo de 230 MPa, con una deformación de 0.02, posterior se visualiza que el comportamiento para el ajuste lineal plástico isotrópico alcanza un esfuerzo de 250 MPa, en un tiempo de 0.01 s después de ver iniciado el impacto y llega a un valor máximo de 264.593 Mpas correspondiendo a un tiempo de 0.023 s, continuando con una disminución brusca del esfuerzo, presuponiedo el colapso del elemento.

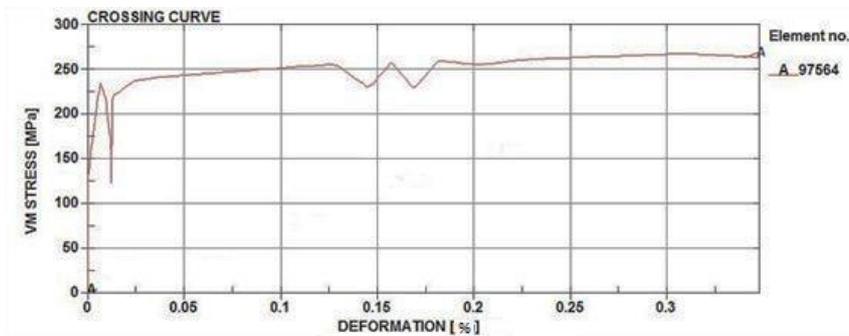


Figura. 75. Esfuerzo de von Misses vs Deformación - Probeta habitaculo de Seguridad

**ALEACIÓN Mg-97.5%Al.**

Para el tercer ensayo se empleó una aleación de 2.5 % Mg - 97.5 % de Al, como material en el habitáculo de seguridad. Se observa que las características mecánicas asignadas al material no resisten a un impacto frontal, ya que se visualiza que comienza a

desintegrarse en el momento del impacto, para realizar un análisis de lo indicado se procederá a realizar el estudio sobre el habitáculo de seguridad, como se observa en la Figura 76.

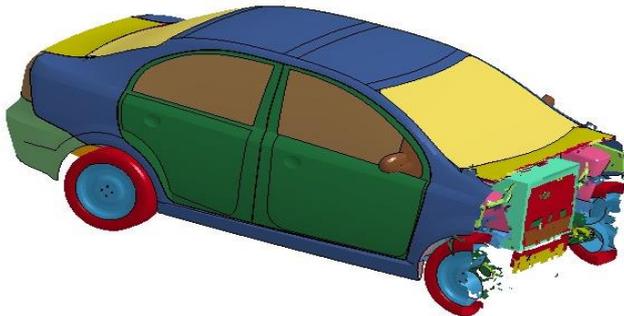


Figura. 76. Impacto frontal

En la Figura 77, se observa el esfuerzo principal de Von misses en el instante inmediato del Impacto, ocurre en el elemento 96369 con 73.2274 MPa, teniendo en cuenta, de acuerdo a las características mecánicas del material, que su esfuerzo máximo es de 60 MPa , lo que sugiere que el elemento 96369 , presenta un comportamiento elástico por encima de este valor.

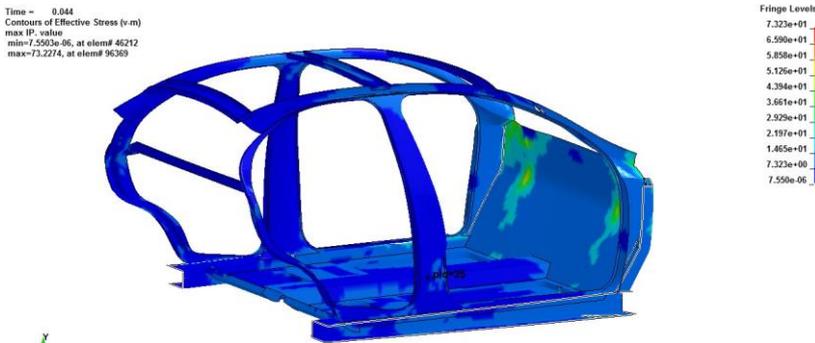


Figura. 77. Esfuerzo de Von misses

En la Figura 78 visualiza el comportamiento de los elementos críticos del habitáculo de seguridad con respecto a la deformación plástica del material, se observa que en el elemento 96369 posee un porcentaje de deformación de 0.023001, lo que quiere decir que el

límite elástico es mínimo, de tal forma aparece deformaciones plásticas, permanentes, tras finalizar el impacto, lo que permite sustentar que el material asignado no es recomendable para un habitáculo de seguridad.

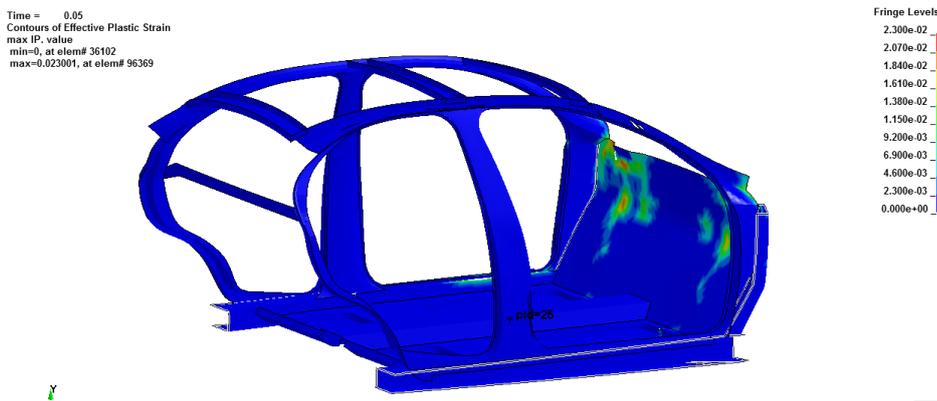


Figura. 78. Deformación plástica – Probeta habitáculo de Seguridad

Con respecto al traslado realizado en el eje Z, se visualiza en la Figura 79, que el habitáculo de seguridad sufre mayor deformación, ya que el impacto no es absorbido en su mayoría por la parte delantera del vehículo, adicional, se observa que en el nodo 49767 determina un desplazamiento máximo de 871,703 mm.

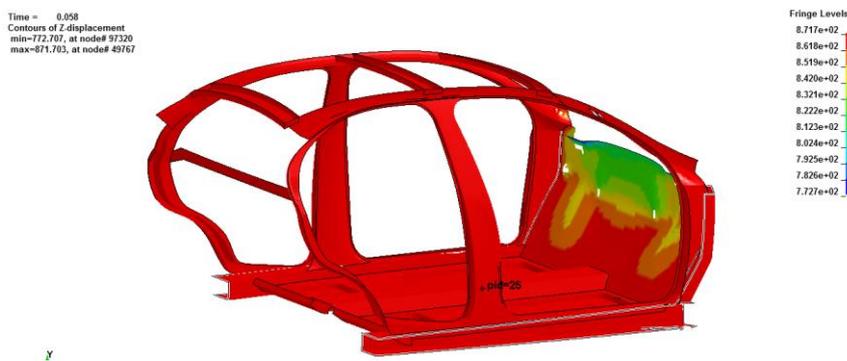
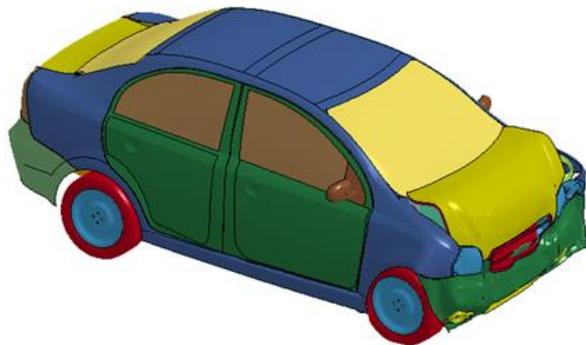


Figura. 79. Desplazamiento en el eje z- Probeta habitáculo de Seguridad

**ACERO 1045**

Para el tercer ensayo se empleará las características mecánicas del acero 1045, en el habitáculo de seguridad.

Se observa en la Figura 80, que las características mecánicas asignadas al material resisten a un impacto frontal, ya que se visualiza que al momento del impacto, que el choque es absorbido por la parte delantera, por lo que se procederá a realizar el análisis sobre el habitáculo de seguridad.



*Figura. 80.* Resultados de un choque frontal-Acero 1045

Como se observa en la Figura 81, el esfuerzo principal de Von mises en el instante inmediato del Impacto, se produce en el elemento 96698 con un valor de 705,862 MPa, teniendo en cuenta, de acuerdo a las características mecánicas del material, su esfuerzo máximo es de 675 MPa, lo que sugiere que el elemento 96698, presenta un comportamiento elástico, presentando fluctuaciones, a partir de este punto.

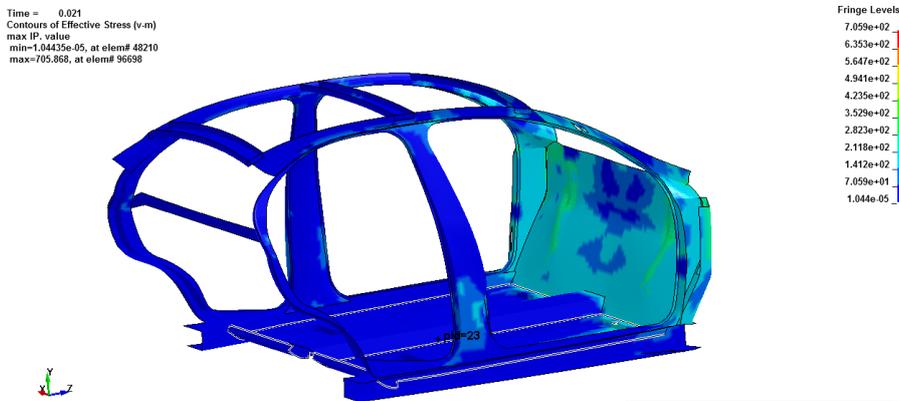


Figura. 81. Esfuerzo de Von misses-Acero 1045

En la figura 82 se visualiza el comportamiento de los elementos críticos del habitáculo de seguridad con respecto a la deformación plástica del material, se observa que en el elemento 96698 posee una deformación de 0.85001, lo que quiere decir que una vez superado este valor como límite elástico aparecen deformaciones plásticas, permanentes, tras finalizar el impacto e indica que el material asignado presenta excelente resistencia a un impacto.

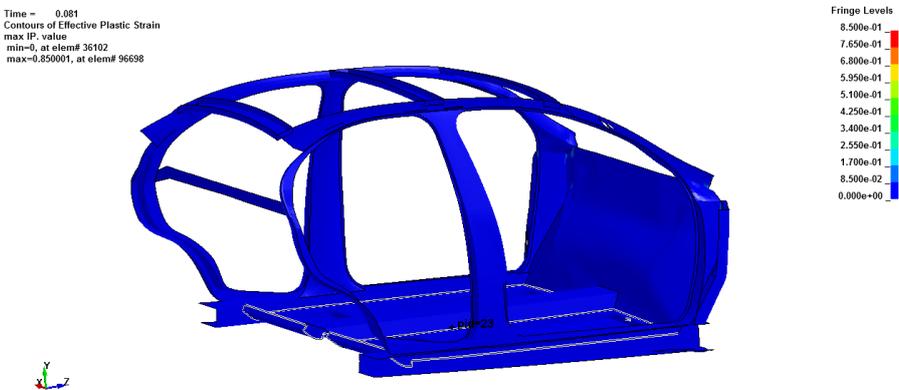


Figura. 82. Deformación plástica –Acero 1045

Con respecto al traslado realizado en el eje Z, se visualiza en la Figura 83, que el habitáculo de seguridad no sufre mayor deformación, ya que el impacto es absorbido en su

mayoría por la parte delantera del vehículo, adicional, se observa que en el nodo 52888 existe un desplazamiento máximo de 504.829 mm.

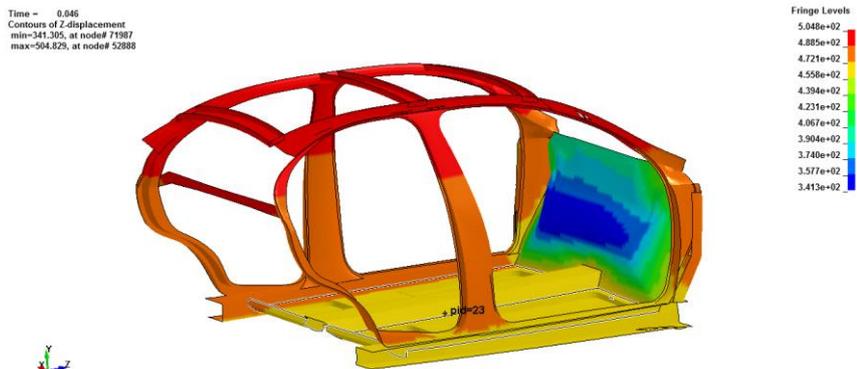


Figura. 83. Desplazamiento en el eje z-Acero 1045

En la Figura 84, se observa que el esfuerzo máximo es de 800 MPa aproximadamente, esto ocurre cuando el elemento 96698, perteneciente al habitáculo de seguridad se ha desplazado 400 mm, aproximadamente, después de eso se mantiene constante el esfuerzo, lo que presupone el colapso del elemento.

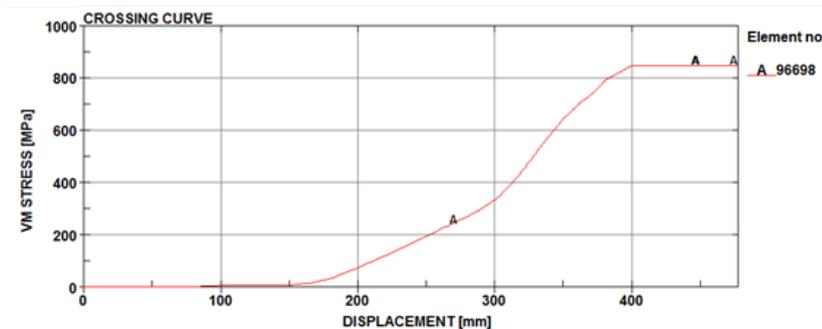


Figura. 84. Esfuerzo de von Misses vs Desplazamiento en el eje z-Acero1045

Con respecto al elemento 96698, se observa en la Figura 85, un comportamiento elástico del material hasta un esfuerzo de 200 MPa, con una deformación de 0.02. Posterior se visualiza que el comportamiento para el ajuste lineal plástico isotrópico alcanza un esfuerzo de 650 MPa, en una deformación de 0.25 después de ver iniciado el impacto y llega a un

valor máximo de 810 Mpa, correspondiendo a un porcentaje de deformación de 0.82, continuando con una disminución brusca del esfuerzo, presuponiendo el colapso del elemento.

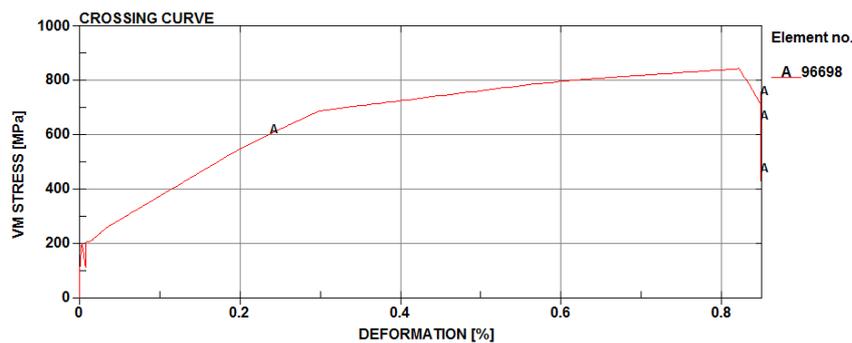


Figura. 85. Esfuerzo de von Mises vs Deformación -Acero 1045

### ACERO 1020

El siguiente ensayo se empleará las características mecánicas del acero 1020, se visualiza en la Figura 86, que las características mecánicas asignadas al material resisten a un impacto frontal, ya que el choque es absorbido por la parte delantera, permitiendo realizar el análisis en el habitáculo de Seguridad.

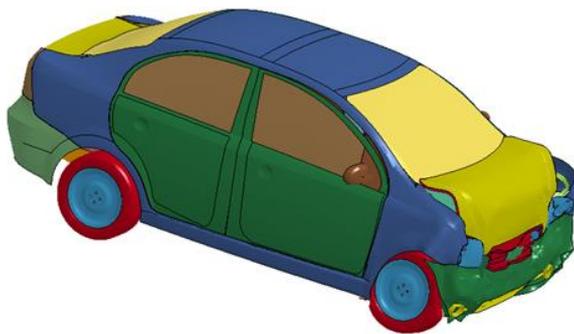


Figura. 86. Impacto Frontal-Acero 1020

Como se observa en la Figura 87 el esfuerzo principal de Von misses en el instante inmediato del Impacto, se produce en el elemento 96825 con un valor de 536.952 MPa , teniendo en

cuenta, de acuerdo a las características mecánicas del material, su esfuerzo máximo es de 420 MPa , lo que sugiere que el elemento 96825, presenta un comportamiento plástico, presentando fluctuaciones, a partir de este punto.

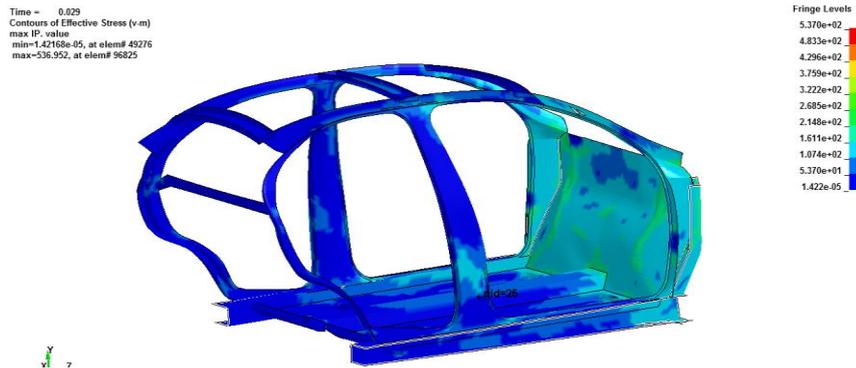


Figura. 87. Esfuerzo de Von misses-Acero 1020

En la Figura 88 se visualiza el comportamiento de los elementos críticos del habitáculo de seguridad con respecto a la deformación plástica del material, se observa que en el elemento 96825 posee una deformación de 0.356507, lo que quiere decir que una vez superado este valor como límite elástico aparecen deformaciones plásticas, permanentes, tras finalizar el impacto.

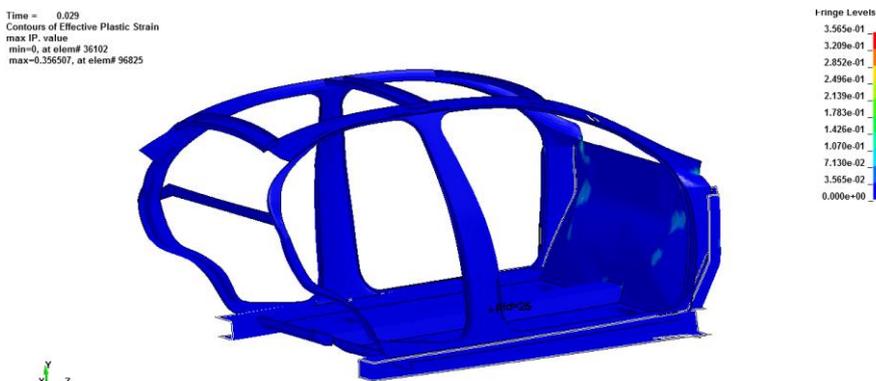


Figura. 88. Deformación plástica –Acero 1020

Con respecto al traslado realizado en el eje Z, se visualiza en la Figura 89, que el habitáculo de seguridad no sufre mayor deformación, ya que el impacto es absorbido en su mayoría por

la parte delantera del vehículo, adicional, se observa que en el nodo 52888 presenta un desplazamiento de 575,981 mm.

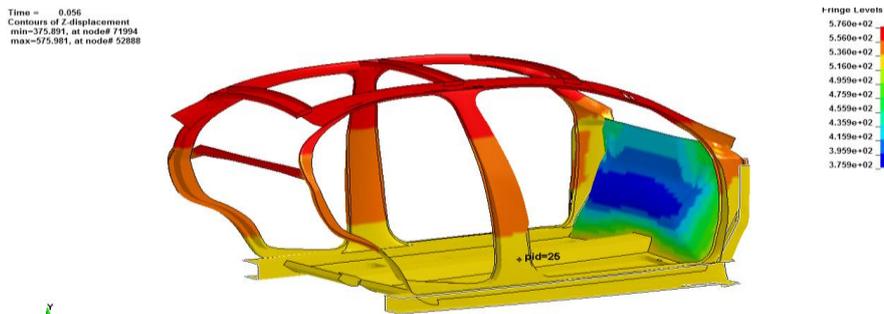


Figura. 89. Desplazamiento en el eje z-Acero 1020

Con respecto al elemento 96825, se observa en la Figura 90 un comportamiento elástico del material hasta un esfuerzo de 150 MPa, con una deformación de 0.001 % . Posterior se visualiza que el comportamiento lineal plástico isotrópico alcanza un esfuerzo de 550 MPa, en una deformación de 0.5 % después de ver iniciado el impacto, manteniéndose constante, es decir sin presentar ruptura del material.

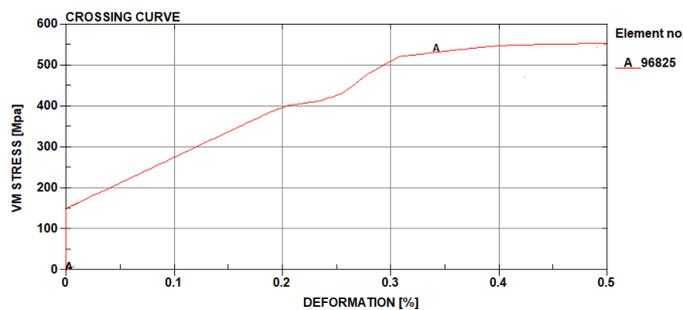


Figura. 90. Esfuerzo de von Mises vs Deformación -Acero 1020

**ACERO 1006**

Se empleó las características del acero 1006, se observa en la Figura 91, que las propiedades mecánicas asignadas al material resisten a un impacto frontal, ya que se

visualiza que choque, es absorbido por la parte delantera, por lo que se procederá a realizar el análisis sobre el habitáculo de seguridad.

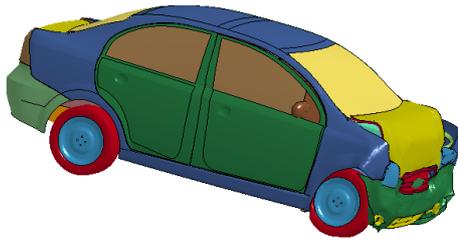


Figura. 91. Resultados de un choque frontal-Acero 1006

Como se observa en la Figura 92 el esfuerzo principal de Von misses en el instante inmediato del Impacto, se produce en el elemento 96698 con un valor de 410.986 MPa , teniendo en cuenta, de acuerdo a las características mecánicas del material, su esfuerzo máximo es de 330 MPa , lo que sugiere que el elemento 96698, presenta un comportamiento elástico , presentando fluctuaciones, a partir de este punto.

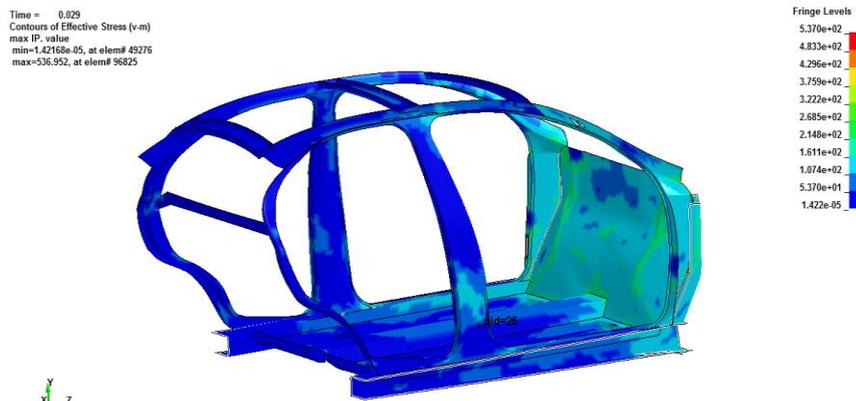


Figura. 92. Esfuerzo de Von misses-Acero 1006

En la figura 93 se visualiza el comportamiento de los elementos críticos del habitáculo de seguridad con respecto a la deformación plástica del material, se observa que en el elemento

96698 posee una deformación de 0.4810, lo que quiere decir que una vez superado este valor como límite elástico aparecen deformaciones plásticas, permanentes, tras finalizar el impacto.



Figura. 93. Deformación plástica –Acero 1006

Con respecto al traslado realizado en el eje Z, se visualiza en la Figura 94, que el habitáculo de seguridad no sufre mayor deformación, ya que el impacto es absorbido en su mayoría por la parte delantera del vehículo, adicional, se observa que en el nodo 52890 presenta un desplazamiento de 530.193 mm.

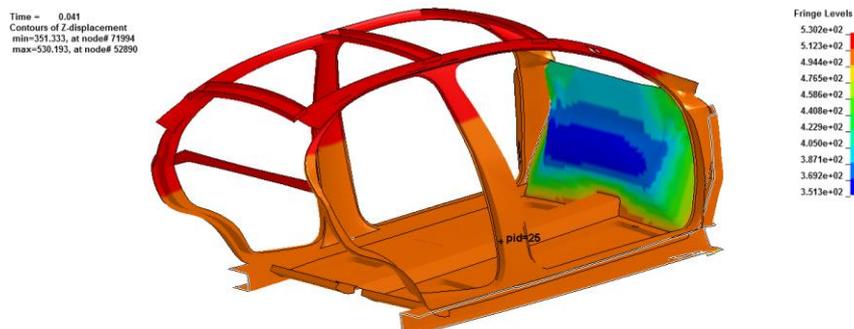


Figura. 94. Desplazamiento en el eje z-Acero 1006

Con respecto al elemento 96698, se observa en la Figura 95, un comportamiento elástico del material hasta un esfuerzo de 150 MPa, con una deformación de 0.02. Posterior se visualiza que el comportamiento para el ajuste lineal plástico isotrópico alcanza un esfuerzo de 500 MPa, en una deformación de 0.3, después de ver iniciado el impacto y llega a un

valor máximo de 550 Mpa, correspondiendo a un porcentaje de deformación de 0.45, continuando con una disminución brusca del esfuerzo, presuponiendo el colapso del elemento.

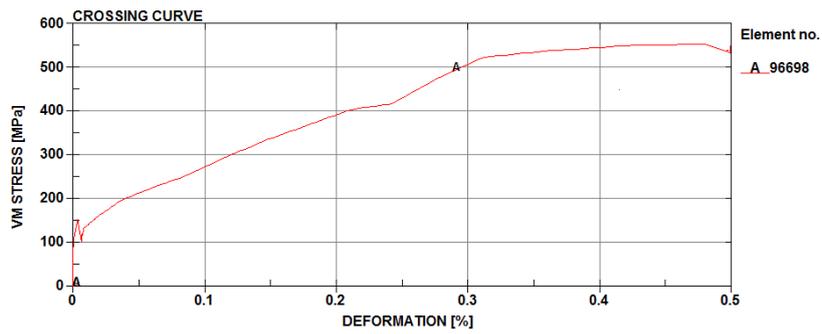


Figura. 95. Esfuerzo de von Mises vs Deformación -Acero 1006

**ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En la zona crítica de cada material con respecto al habitáculo de seguridad, se ha extraído los elementos finitos que presentan mayor deformación para realizar una comparación con cada uno de ellos, de acuerdo a tres parámetros, la Figura 96, indica cada resultado obtenido con cada impacto.

**Comentado [U12]:** CONSIDERE ESTA ESTRUCTURA PARA EL CAPITULO FINAL

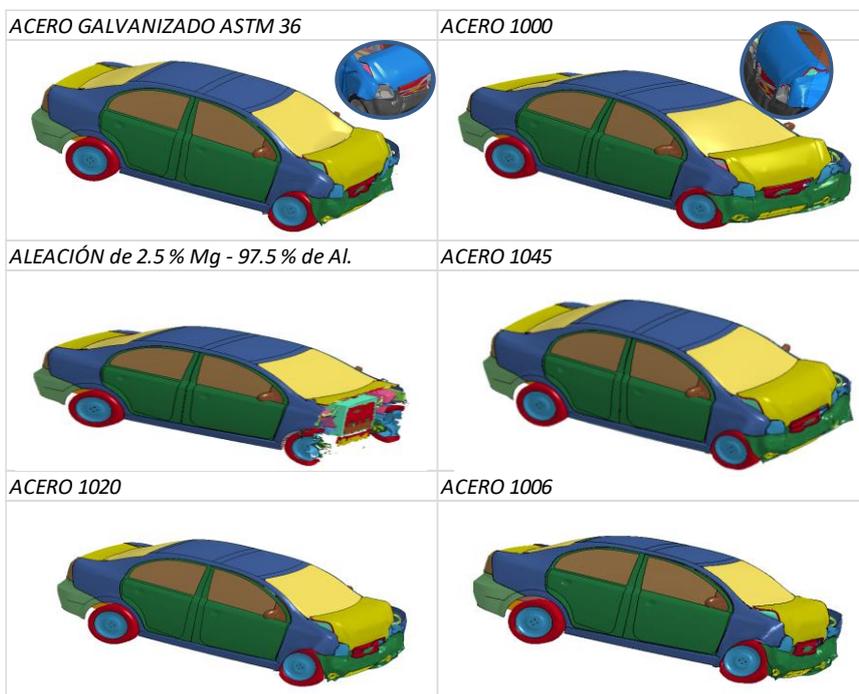


Figura. 96. Impacto frontal- 6 simulaciones

**ANÁLISIS DE RESULTADOS ESFUERZO DE VON MISSES**

Con respecto al esfuerzo de Von misses se verificaron los siguientes elementos como críticos en el habitáculo de seguridad: E96698, E97564, E96369, E96825.

La Figura 97 indica los resultados obtenidos en las 6 simulaciones, con distintos materiales, en donde se visualiza que la zona que sufre más afectación después de sufrir un impacto frontal es la pared de fuego y los parantes delanteros.

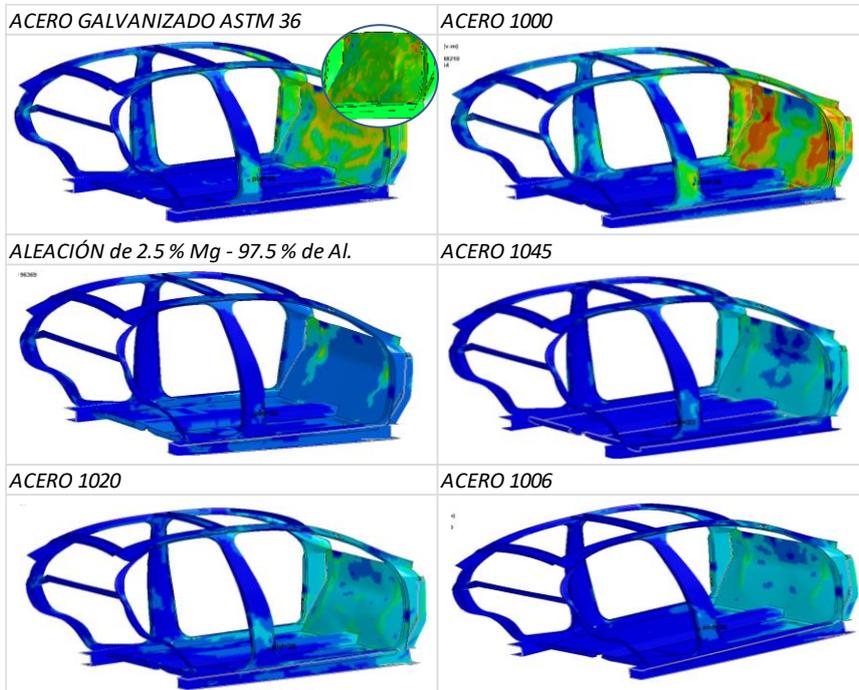


Figura. 97. Esfuerzo de von Mises 6 simulaciones

En los elementos seleccionados se observa el comportamiento con respecto al esfuerzo de Von misses , como se indica en la Figura 98, se tienen los siguientes resultados:

Con respecto al Acero galvanizado ASTM36, en el instante inmediato del impacto el comportamiento de los 4 elementos son parecidos, alcanzando valores aproximados a 310 Mpa en los primeros 0,01 s luego del impacto, posterior a esto en los elementos E96698, E97564, E96825 , se observa que se presenta un incremento en el valor del esfuerzo , llegando a un valor de 430 Mpa, luego de haber transcurrido los 0,03 s, s partir de los 0,035 s, se visualiza que el esfuerzo decae en los 3 elementos, lo que indica que ha superado la zona elástica del material, produciendo rotura en dichos elementos indicando un comportamiento muy similar entre ellos. El elemento E96369, mantiene constante después de los 0,025 s, de transcurrido el impacto, esto es una singularidad propia del programa.

Continuando con el análisis del Acero 1000, los 4 elementos son parecidos, alcanzando valores aproximados a 260 Mpa en los primeros 0,01 s luego del impacto, posterior a esto los elementos E96698, E 97564, E96825 , se observa que se presenta un incremento en el valor del esfuerzo , llegando a un valor de 275 Mpa aproximadamente, luego de haber transcurrido los 0,02 s, partir de los 0,022 s, se visualiza que el esfuerzo decae en los 3 elementos, lo que indica que ha superado la zona elástica del material, produciendo rotura en dichos elementos indicando un comportamiento muy similar entre ellos. El elemento E96369, se mantiene constante después de los 0,012 s, de transcurrido el impacto, esto es una singularidad propia del programa.

Con respecto al material de Aleación de 2.5 % Mg - 97.5 % de Al., en el instante inmediato del impacto el comportamiento de los 4 elementos son parecidos, alcanzando valores aproximados a 10 Mpa en los primeros 0,01 s luego del impacto, posterior a esto los elementos E96698, E 97564, E96825 , se observa que se presenta un incremento en el valor del esfuerzo , llegando a un valor de 50 Mpa aproximadamente, luego de haber transcurrido los 0,03 s, s partir de los 0,031 s, se visualiza que el esfuerzo decae en los 3 elementos, lo que indica que ha superado la zona elástica del material, produciendo rotura en dichos elementos indicando un comportamiento muy similar entre ellos. Se observa que el elemento E96369, se mantiene constante en el transcurso del choque, esto es una singularidad propia del programa.

Con respecto al análisis del acero 1045 , los 4 elementos son parecidos, alcanzando valores aproximados a 200 Mpa en los primeros 0,01 s luego del impacto, posterior a esto los elementos E96698, E 97564, E96825 , se observa que se presenta un incremento en el valor del esfuerzo , llegando a un valor de 600 Mpa aproximadamente, luego de haber transcurrido los 0,02 s, partir de los 0,03 s, se visualiza que el esfuerzo supera los 800 Mpa en los 3 elementos, posterior a esto decae el esfuerzo, manteniéndose la zona elástica del material, en

el trascurso del impacto. El elemento E96369, se mantiene constante después de los 0,01 s, de transcurrido el impacto, esto es una singularidad propia del programa.

Con respecto al análisis del acero 1020, los 4 elementos son parecidos, alcanzando valores aproximados a 150 Mpa en los primeros 0,01 s luego del impacto, posterior a esto los elementos E96698, E 97564, E96825, se observa que se presenta un incremento en el valor del esfuerzo, llegando a un valor de 550 Mpa aproximadamente, luego de haber transcurrido los 0,028 s, partir de este tiempo en los 3 elementos decae el esfuerzo, superando la zona elástica del material, en el trascurso del impacto. El elemento E96369, se mantiene constante después de los 0,01 s, de transcurrido el impacto, esto es una singularidad propia del programa.

Para finalizar el análisis de la sexta simulación, corresponde al acero 1006, los 4 elementos son parecidos, alcanzando valores aproximados a 150 Mpa, en los primeros 0,01 s luego del impacto, posterior a esto los elementos E96698, E 97564, E96825, se observa que se presenta un incremento en el valor del esfuerzo, llegando a un valor de 550 Mpa aproximadamente, luego de haber transcurrido los 0,028 s, partir de este tiempo en los 3 elementos decae el esfuerzo, superando la zona elástica del material, en el trascurso del impacto. El elemento E96369, se mantiene constante después de los 0,01 s, de transcurrido el impacto, esto es una singularidad propia del programa.

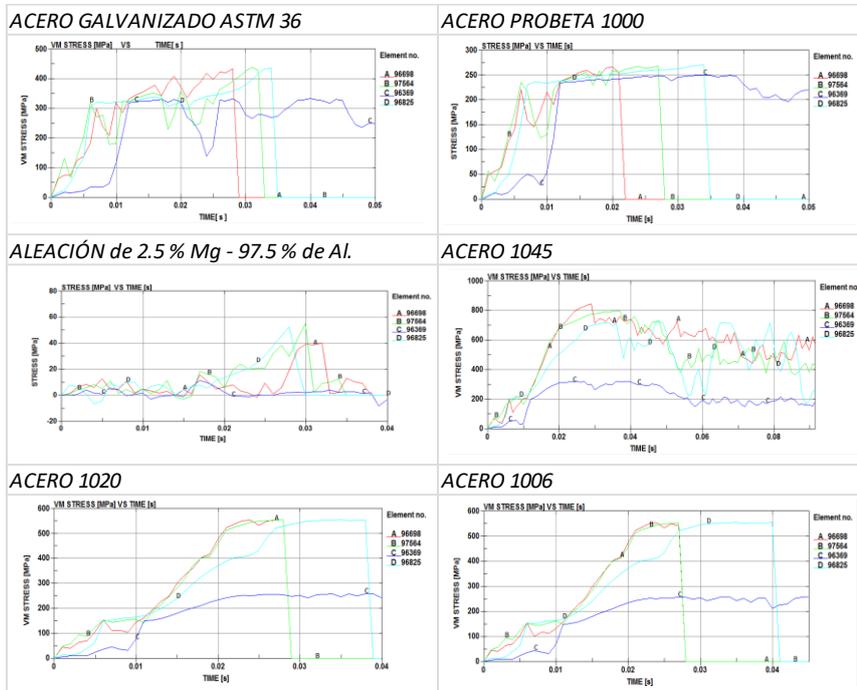


Figura. 98. Esfuerzo de von Misses Vs Tiempo- 6 simulaciones

Se observa que el acero 1045, presenta gran resistencia a un choque frontal en el habitáculo de seguridad, seguido del acero 1020, el acero galvanizado A36, el acero 1006 que pueden reemplazar al material colocado en el habitáculo de un vehículo, adicional se observa que no es apropiado colocar una aleación, por la poca resistencia que presenta, como indica en la Figura 90.

Según Portillo et al. ( 2011), una vez realizada la simulación del impacto en el modelo con las condiciones de carga, restricción de movimiento, características de sincretizado y con las condiciones del impacto; se observan dos regiones de máxima deformación y por consiguiente de máximo esfuerzo. La primera de ellas, en su parte frontal y la segunda zona de máxima deformación, se encuentra justo en la sección de unión del motor con el chasis de vehículo, con respecto al habitáculo de seguridad el volumen permanece casi constante, esta

zonas no presenta un falla o ruptura por tracción o compresión del mismo, ya que las magnitudes de estos esfuerzos de Von Mises no superan el esfuerzo de rotura del material.

En un estudio realizado por JD Mazuera Robledo, JI Gómez Gómez(2015) , en la Universidad Tecnológica de Pereira indica que las propiedades mecánicas del acero 1006, es similar el esfuerzo de Von Misses adicional que es un acero simple al carbono de uso general que se produce en diferentes formas como barras, láminas y chapa calibrada (lámina delgada),

De acuerdo a Rachello Dolmen, F. (2009), en un estudio realizado sobre al acero 1006, represento la variación del esfuerzo de fluencia contra el porcentaje de deformación del espesor en láminas de acero SAE 1006, mismas que son similares al Esfuerzo de Von Misses presente en este estudio.

Según Este and Sáenz. (2004), Sobre el comportamiento a fatiga de aceros de medio y bajo carbono, respecto al acero 1020, se observa similar comportamiento mecánico en el Esfuerzo de Von misses, adicional, se observa que la microestructura de dicho material se encuentra compuesta por perlita y ferrita, en donde se determina que el límite de fatiga y la resistencia a fatiga incrementan a medida que aumenta el porcentaje de carbono

De acuerdo a Fonseca, et al. (2002), determino distintas propiedades mecánicas del acero C45E según norma EN10083 (AISI 1045). Las propiedades mecánicas analizadas fueron dureza, límite elástico convencional, resistencia a la tracción, resiliencia y módulo de Young. Presentando similar resistencia a la tracción, como la indicada en el presente estudio.

La Figura 99, indica los esfuerzos deformaciones en el elemento 96698, con respecto a los 6 diferentes materiales.

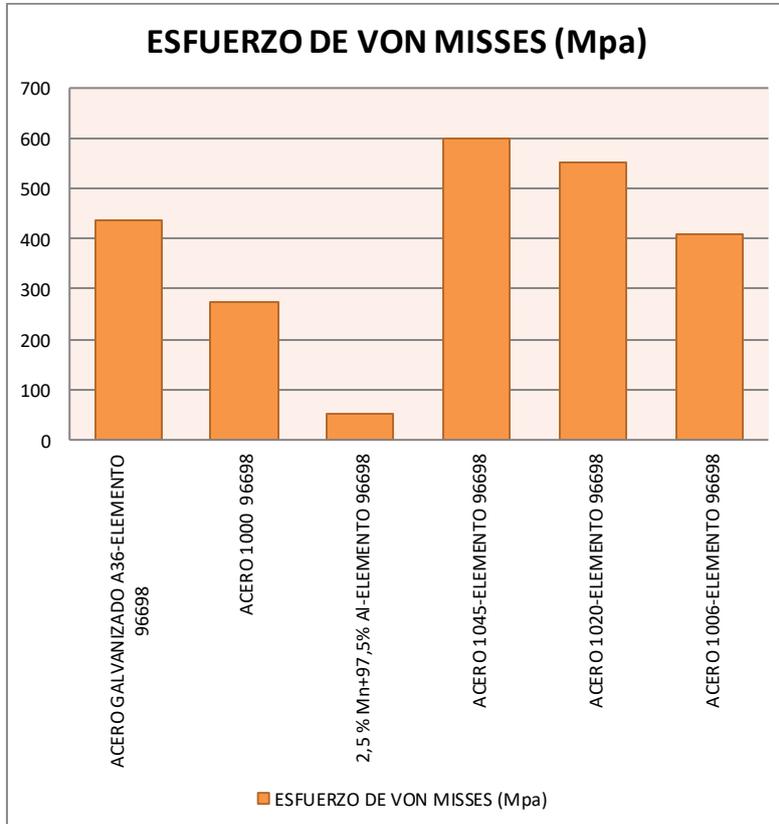


Figura. 99. Esfuerzos de Von misses maximos

**ANÁLISIS DE RESULTADOS DEFORMACIÓN PLÁSTICA EN HABITACULO DE SEGURIDAD**

La Figura 100, indica los resultados obtenidos en las 6 simulaciones, con distintos materiales, de tal forma, visualizar las deformaciones elásticas del material hasta un punto donde la curva comenzará a desviarse, zona que corresponderá al inicio de un régimen plástico, es decir el límite elástico del material.

Las pruebas en un choque se realizan por lo general para garantizar los estándares de diseño de seguridad en resistencia a los impactos es decir la capacidad de un vehículo para ser

deformada plásticamente y sin embargo mantiene un espacio de supervivencia eficiente para sus ocupantes durante el escenario de choque. (Munyakwiye, Karimi, & Robbersmyr, 2016)

Se observa que el comportamiento de los materiales, son similares al resultado obtenido en un estudio similar presentado por Manjarrés y Santillan (2016), con respecto a la deformación plástica en un metal.

En donde se han analizado los elementos finitos que presentan mayor deformación en cada material para realizar una comparación con cada uno de ellos, estos se denominarán: E96698, E 97564, E96369, E96825.

Con respecto al Acero galvanizado ASTM36, como se muestra en la Figura 100, en el instante inmediato del impacto el comportamiento de los 4 elementos son parecidos, alcanzando valores aproximados a 0,02 % en los primeros 0,01 s luego del impacto, posterior a esto el elemento E96698 alcanza un porcentaje de deformación de 0,28 % a los 0,018 s, posterior alcanza el máximo límite elástico en 0,4% a los 0,028 s, donde se visualiza que alcanza el límite plástico, colapsando el material. Con respecto a los elementos E 97564, E96825, se observa que se comportamiento similar, alcanza el máximo límite elástico en 0,4% a los 0,035 s lo que indica que ha superado la zona plástica del material, produciendo rotura en dichos elementos indicando un comportamiento muy similar entre ellos. Se observa que el elemento E96369, se mantiene constante después de los 0,017 s, de transcurrido el impacto, esto es una singularidad propia del programa.

**Comentado [U13]:** AQUÍ SE DEBE INCLUIR A LOS AUTORES QUE SE RELACIONAN CON TRABAJOS SIMILARES EN EL TEMA, Y NO SUELTO COMO LO HAZ PLANTEADO

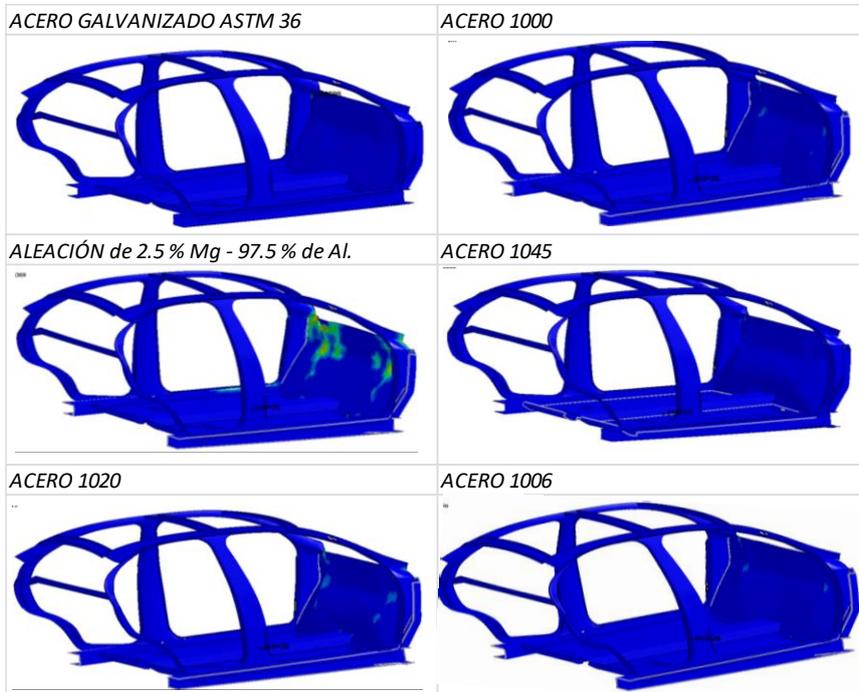


Figura. 100. Deformación plástica- 6 simulaciones

Con respecto al Acero 1000, como indica la Figura 101 , en el instante inmediato del impacto el comportamiento de los 4 elementos son parecidos, alcanzando valores aproximados a 0,15 % en los primeros 0,015 s luego del impacto, posterior a esto el elemento E96698 alcanza el máximo límite elástico en 0,33% a los 0,028 s, donde se visualiza que alcanza el límite plástico, colapsando el material. Con respecto a los elementos E 97564, E96825, se observa que se comportamiento similar, alcanza el máximo límite elástico en 0,35% a los 0,025 s y 0,35 s lo que indica que ha superado la zona plástica del material, produciendo rotura en dichos elementos indicando un comportamiento muy similar entre ellos. Se observa que el elemento E96369, se mantiene constante después de los 0,025 s, de transcurrido el impacto, esto es una singularidad propia del programa.

Con respecto al comportamiento de la Aleación de 2.5 % Mg - 97.5 % de Al

, como indica la Figura 101, en el instante inmediato del impacto el comportamiento de los 4 elementos son parecidos, alcanzando valores aproximados a 0,005 % en los primeros 0,02 s luego del impacto, posterior a esto el elemento E96825 alcanza un porcentaje de deformación de 0,0225% a los 0,028 s, alcanzando el máximo límite elástico, donde se visualiza que alcanza el límite plástico, colapsando el material. Con respecto a los elementos E 97564, E96698, se observa que se comportamiento similar, alcanza el máximo límite elástico en 0,0225% a los 0,035 s lo que indica que ha superado la zona plástica del material, produciendo rotura en dichos elementos indicando un comportamiento muy similar entre ellos. Se observa que el elemento E96369 deja de permanecer constante después de los 0,023 s, indicando que pronto alcanzará la zona plástica del material.

Con respecto al Acero 1045, como indica la Figura 101, en el instante inmediato del impacto el comportamiento de los 4 elementos son parecidos, alcanzando valores aproximados a 0,15 % en los primeros 0,015 s luego del impacto, posterior a esto el elemento E96698 alcanza el máximo límite elástico en 0,82% a los 0,028 s, donde se visualiza que alcanza el límite elástico, permaneciendo constante hasta finalizar el impacto. Con respecto a los elementos E 97564, E96825, se observa que el comportamiento es diferente, el primero alcanza el máximo límite elástico en 0,6% a los 0,03 s y el segundo a los 0,35% a los 0,03 % permaneciendo constante posterior a esto, hasta finalizar el impacto. Se observa que el elemento E96369, se mantiene constante después de los 0,02 s, de transcurrido el impacto, esto es una singularidad propia del programa.

Con respecto al Acero 1020, como indica la Figura 101, en el instante inmediato del impacto el comportamiento de los 4 elementos son parecidos, alcanzando valores aproximados a 0,015 % de deformación en los primeros 0,012 s luego del impacto, posterior a esto los elementos E96698 y E97564 alcanza el máximo límite elástico en 0,5% a los 0,025 s aproximadamente, donde se visualiza que sobrepasa la zona plástica produciendo rotura en

dichos elementos indicando un comportamiento muy similar entre ellos . Con respecto al elemento E96825, se observa que el comportamiento alcanza el máximo límite elástico en 0,5% a los 0,035 s y sobrepasa la zona plástica produciendo rotura en dicho elemento. Se observa que el elemento E96369, se mantiene constante después de los 0,023 s, de transcurrido el impacto, esto es una singularidad propia del programa.

Con respecto al Acero 1006, como indica la Figura 101, en el instante inmediato del impacto el comportamiento de los 4 elementos son parecidos, alcanzando valores aproximados a 0,015 % de deformación en los primeros 0,012 s luego del impacto, posterior a esto los elementos E96698 y E97564 alcanza el máximo límite elástico en 0,4810% a los 0,025 s aproximadamente, donde se visualiza que sobrepasa la zona plástica produciendo rotura en dichos elementos indicando un comportamiento muy similar entre ellos . Con respecto al elemento E96825, se observa que el comportamiento alcanza el máximo límite elástico en 0,4810% a los 0,035 s y sobrepasa la zona plástica produciendo rotura en dicho elemento. Se observa que el elemento E96369, se mantiene constante después de los 0,023 s, de transcurrido el impacto, esto es una singularidad propia del programa.

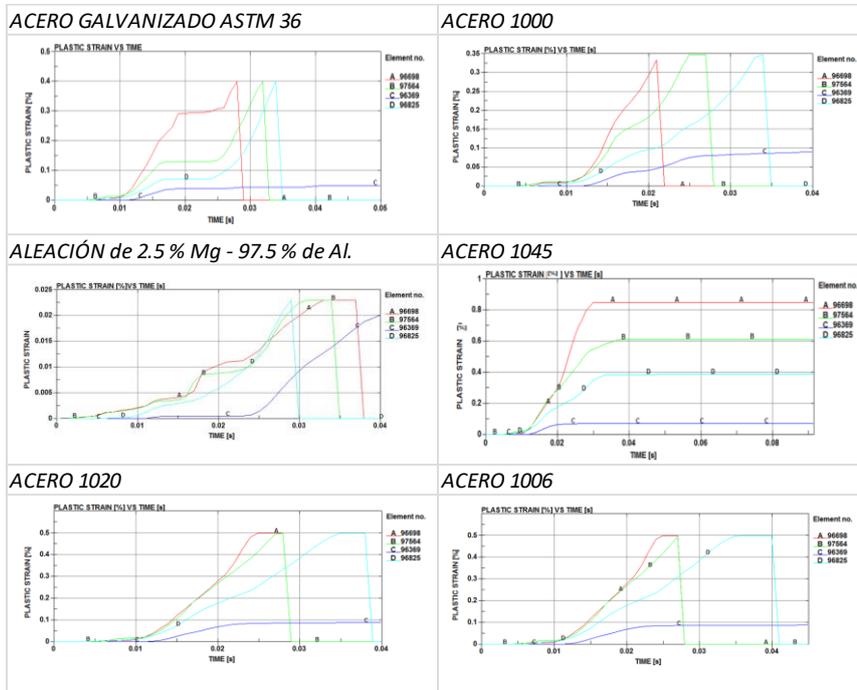


Figura. 101. Deformación plástica Vs Tiempo - 6 simulaciones

De los análisis realizados se ha resumido en la Figura 102, los resultados obtenidos en el Elemento 96698, respecto al acero 1045, presenta grandes características con respecto a la deformación plástica en un choque frontal en el habitáculo de seguridad, seguido del acero 1006, el acero galvanizado A36, el acero 1020 que pueden reemplazar al material colocado en el habitáculo de un vehículo, adicional se observa que no es apropiado colocar una aleación, por la poca resistencia plástica que presenta.

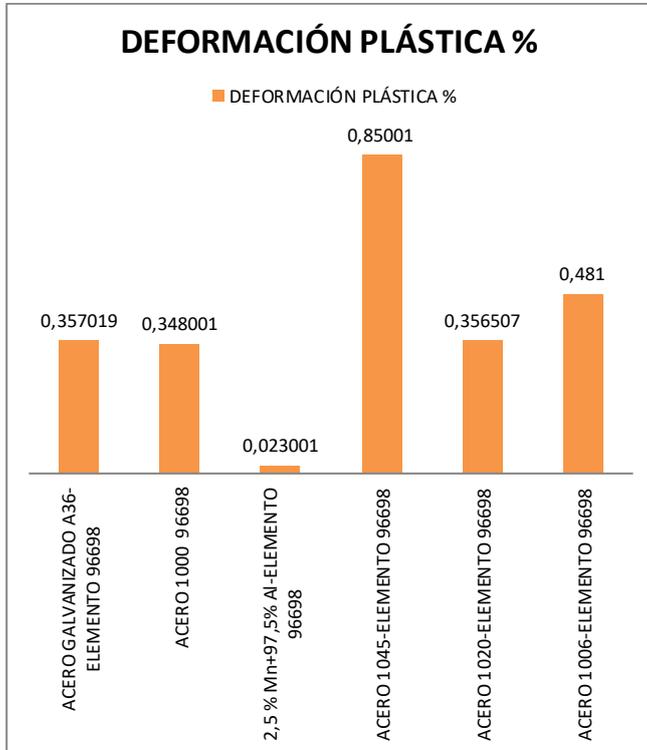


Figura. 102. Deformación plástica

## ANÁLISIS DE RESULTADOS DESPLAZAMIENTO EN Z RESPECTO AL HABITACULO DE SEGURIDAD

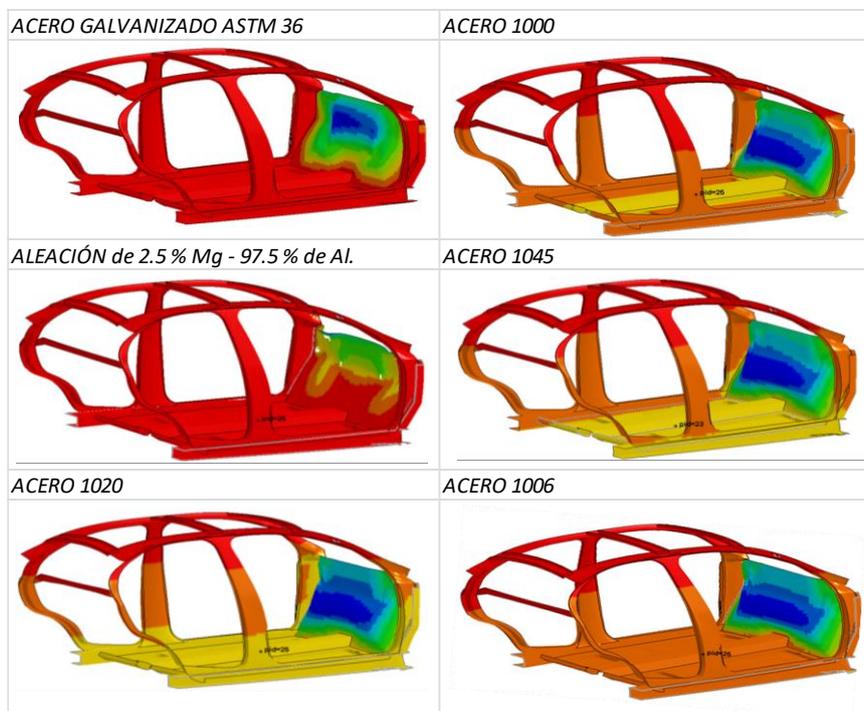
Según Illescas (2009), se puede apreciar a grandes rasgos en el habitáculo de seguridad tras verse afectado en una colisión, observando si existe desplazamiento del montante del parabrisas hacia atrás, si en el techo o en el suelo aparecen pliegues y también si las puertas se han abierto, arqueado o descajado.

Según Martín (2009), realizado en un estudio similar indica que desplazamiento en el eje Z es consecuencia de las deformaciones que experimenta el vehículo a un impacto frontal.

Según Cheng et al. (2001) La animación de respuestas dinámicas del modelo ante un impacto se muestra que las deformaciones de ciertos elementos en una o más partes en un impacto continúan aumentando de manera irrealista a grandes desplazamientos en LS-DYNA.

La Figura 103 indica los resultados obtenidos en las 6 simulaciones, con distintos materiales, en el desplazamiento ocurrido en el eje z, los nodos que presentan mayor desplazamiento en cada material para realizar una comparación con cada uno de ellos se denominaran: N52666, N52667, N49767, N52888, N52890, que se encuentran en la pared de fuego y parantes del habitáculo.

**Comentado [U14]:** SE DEBE INCLUIR ACA MISMO LA DISCUSIÓN



*Figura. 103.* Desplazamiento en eje z- 6 simulaciones

Con respecto al acero galvanizado, como se observa en la Figura 104, los 5 nodos tienen el mismo comportamiento, se visualiza que a los 0,05 s se visualiza el máximo desplazamiento de 500 mm aproximadamente.

Con respecto al acero 1000, se observa que los 5 nodos tienen el mismo comportamiento, se visualiza que a los 0,05 s se visualiza el máximo desplazamiento de 520 mm aproximadamente.

Con respecto a la aleación 2.5 % Mg - 97.5 % de Al, se observa que los 5 nodos tienen el mismo comportamiento, un comportamiento lineal y como máximo desplazamiento de 1,2 mm hasta que comienza a destruirse el material.

Con respecto al acero 1045, como se observa en la Figura 104, los 5 nodos tienen el mismo comportamiento, se visualiza que a los 0,04 s aproximadamente se visualiza el máximo desplazamiento de 500 mm aproximadamente.

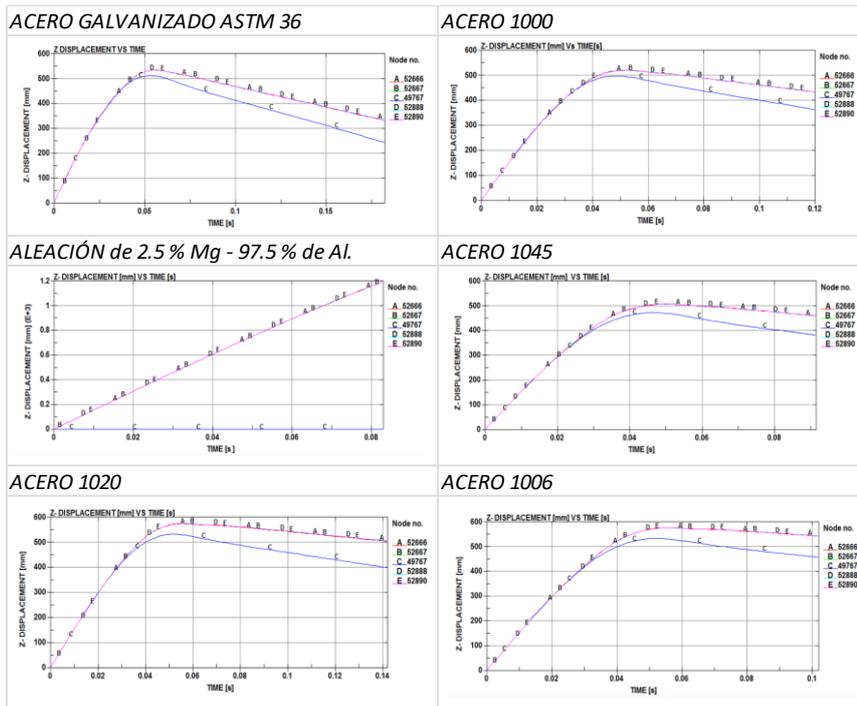


Figura. 104. Desplazamiento en eje z Vs Tiempo-6 simulaciones

Con respecto al acero 1020, como se observa en la Figura 104, los 5 nodos tienen el mismo comportamiento, se visualiza que a los 0,06 s aproximadamente se visualiza el máximo desplazamiento, alrededor de 600 mm.

Con respecto al acero 1006, como se observa en la Figura 104, los 5 nodos tienen el mismo comportamiento, se visualiza que a los 0,05 s aproximadamente se visualiza el máximo desplazamiento, alrededor de 600 mm.

En resumen, la Figura 105 indica con respecto al desplazamiento, que existen aleaciones que presentan un bajo índice de resistencia al impacto, de tal forma, no son adecuadas emplearlas como material en un habitáculo de seguridad, a diferencia de los aceros que tienen en promedio el mismo comportamiento.



Figura. 105. Desplazamiento en eje z

La conclusión de los datos obtenidos es la siguiente: En el caso del esfuerzo, presente en los elementos indicados para el análisis, desde el tiempo inicial, hasta finalizar el estudio existe un incremento brusco del valor del esfuerzo aproximadamente has 0,015 s, en el momento del impacto, posterior a esto, el esfuerzo tiende a oscilar entre valores que se consideran aproximadamente promedios, hasta cuando el suceso termina, se puede apreciar el comportamiento plástico del material durante estas fases.

En caso de la deformación, se puede observar que en los elementos estudiados de cada material presentan un comportamiento semejante, aunque los valores tienden a variar a excepción de la aleación, que se observa que no es buen material para realizar una simulación de impacto.

Luego la deformación permanente que se presenta indica, que cada material que compone el habitáculo de seguridad realiza absorción de energía de deformación, posterior a cierto tiempo del impacto, alcanza un pico a partir del cual tiende a bajar bruscamente la curva, porque el material trabaja en zona elástica,.

### **ANÁLISIS MULTICRITERIO**

Chatterjee & Chakraborty. ( 2012), indican la importancia de los materiales en el proceso de diseño de ingeniería para un producto en particular ya que es una de las tareas críticas para los diseñadores, con el fin de encajar conceptos de diseño factibles y cumplir los requisitos finales del producto. Hay una gran variedad de materiales con diversas propiedades disponibles para los diseñadores para satisfacer diferentes requerimientos de diseño.

Para seleccionar la mejor alternativa para el presente estudio, se evaluara 7 propiedades de los materiales relevantes y obtenidos en los resultados en simulaciones, se utilizaran los siguientes métodos para tomar decisión cual es el material más apropiado.

- Evaluación compleja proporcional (COPRAS).
- Técnica para el orden de preferencia por similitud a solución real (TOPSIS).
- Optimización multidisciplinar y solución de compromiso (VIKOR).

### **MÉTODO COPRAS**

Evalúa las alternativas realizando el sumatorio del valor normalizado de cada criterio por su peso correspondiente. Puede ser aplicado tanto para criterios que se desean maximizar como minimizar. Pla (2017).

Como primer variable, es necesario la construcción de una matriz inicial X, que permitirá anticipar las alternativas para la selección de criterios, como se muestra en la Tabla 15, para esto se usó las propiedades mecánicas de los materiales empleadas en las 6 simulaciones.

Tabla 14

Propiedades de materiales

Material	ESFUERZO DE VON MISES (Mpa)		DEFORMACIÓN PLÁSTICA %		DESPLAZAMIENTO EN Z (mm)		Density g/cc		RADIO DE POISON		MODULO DE YOUNG (Gras)		TENSILE STRENGTH ULTIMATE (Mpa)	
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7							
ACERO GALVANIZADO ASTM36	435,866	400	0,357019	0,3	477,745	400	7,8	7,7	0,29	0,29	200	199	322	300
ACERO 1000	275	250	0,348001	0,3	520,251	450	7,8	7,7	0,29	0,29	200	199	270	250
2,5 % Mn+97,5% Al	50	40	0,023001	0,02	871,703	800	2,705	4,4	0,1	0,1	90	89	60	50
ACERO 1045	600	550	0,85001	0,8	504,829	450	7,85	7,8	0,29	0,29	200	199	675	600
ACERO 1020	550	500	0,356507	0,3	575,981	520	7,87	7,8	0,29	0,29	200	199	420	350
ACERO 10060	410,986	350	0,481	0,4	530,193	450	7,872	7,8	0,29	0,29	200	199	330	250

Un problema común, es la selección de criterios al diseñar la matriz, ya que algunas no presentan igual dimensiones en filas y columnas, para superar la matriz X, es modificada por una matriz adimensionalizada r como se indica en la ecuación 18.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i = 1, \dots, m ; j=1, \dots, n \tag{18}$$

La tabla 15, indica el cálculo de la matriz de peso normalizada, mediante ponderaciones de la forma Vij de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

$$V_{ij} = r_{ij} \cdot w_j \quad i=1, \dots, m ; j=1, \dots, n \tag{19}$$

Donde w<sub>j</sub> es el peso de todos los jésimos criterios o atributos de acuerdo.

$$r_{ij} = \sum_{j=1}^n w_j = 1 \tag{20}$$

Tabla 15

Matriz de peso normalizada

Σ	2321,85	2090	2,41553	2,12	3480,70	3070	43,63	43,2	1,55	1,55	1090	1084	2077	1800
x1	0,1976	0,181	0,1574	0,132	0,1459	0,122	0,179	0,177	0,187	0,187	0,184	0,183	0,166	0,154
1		3		3		1	7	4	1	1	0	1	1	8
x1	0,1247	0,113	0,1535	0,132	0,1588	0,137	0,179	0,177	0,187	0,187	0,184	0,183	0,139	0,129
2		3		3		4	7	4	1	1	0	1	3	0
x1	0,0227	0,018	0,0101	0,008	0,2661	0,244	0,102	0,101	0,064	0,064	0,082	0,081	0,031	0,025
3		1		8		2	3	3	5	5	8	9	0	8
x1	0,2720	0,249	0,3748	0,352	0,1541	0,137	0,180	0,179	0,187	0,187	0,184	0,183	0,348	0,309
4		3		8		4	8	7	1	1	0	1	2	5
x1	0,2493	0,226	0,1572	0,132	0,1759	0,158	0,181	0,179	0,187	0,187	0,184	0,183	0,216	0,180
5		7		3		8	3	7	1	1	0	1	7	6
x1	0,1863	0,158	0,2121	0,176	0,1619	0,137	0,181	0,179	0,187	0,187	0,184	0,183	0,170	0,129
6		7		4		4	3	7	1	1	0	1	2	0

Se continua, mediante la determinación de la matriz de peso normalizada D, es decir la suma de los valores normalizados de peso adimensionales en cada criterio, es siempre igual al peso como cada criterio .

$$D = [y_{ij}]r_{ij} * w_j \tag{21}$$

Donde  $r_{ij}$  es el valor normalizado de la  $i^{ésimo}$  alternativa sobre el  $j^{ésimo}$  criterio y  $w_j$  es el peso del  $j^{ésimo}$  criterio, este calculo indica la Tabla 16.

Tabla 16

Matriz de peso bimalizada D

X11	0,0340	0,0312	0,0008	0,0007	0,0621	0,0520	0,0525	0,0518	0,0191	0,0191	0,0188	0,0187	0,0169	0,0158
X12	0,0214	0,0195	0,0008	0,0007	0,0677	0,0585	0,0525	0,0518	0,0191	0,0191	0,0188	0,0187	0,0142	0,0132
X13	0,0039	0,0031	0,0001	0,0000	0,1134	0,1040	0,0299	0,0296	0,0066	0,0066	0,0084	0,0084	0,0032	0,0026
X14	0,0468	0,0429	0,0019	0,0018	0,0657	0,0585	0,0528	0,0525	0,0191	0,0191	0,0188	0,0187	0,0355	0,0316
X15	0,0429	0,0390	0,0008	0,0007	0,0749	0,0676	0,0529	0,0525	0,0191	0,0191	0,0188	0,0187	0,0221	0,0184
X16	0,0320	0,0273	0,0011	0,0009	0,0690	0,0585	0,0529	0,0525	0,0191	0,0191	0,0188	0,0187	0,0174	0,0132

Como último paso se realiza la sumatoria de atributos de la matriz de decisión, es decir, atributos beneficiosos y no beneficiosos, de acuerdo al criterio de evaluación, es decir son asociados una maximización o minimización, de acuerdo a la ecuación (22), esto se refleja como resultado en la tabla 17.

$$S_{+i} = \sum_{i=1}^m y + ij \tag{22}.$$

Tabla 17  
Puntuación de materiales

Material	Pi	Ri	Qi	PUNTUACIÓN FINAL	RANK
ACERO GALVANIZADO ASTM36	0,1963	0,0004	0,1967	98,2696	3,0000
ACERO 1000 2,5 % Mn+97,5% Al	0,1874	0,0005	0,1879	93,8743	2,0000
ACERO 1045	0,1594	0,0005	0,1599	79,8757	1,0000
ACERO 1020	0,2321	0,0006	0,2327	116,2756	6,0000
ACERO 1020	0,2231	0,0006	0,2237	111,7622	5,0000
ACERO 1006	0,1996	0,0005	0,2001	100,0000	4,0000

Donde se verifica que el material ideal en la construcción de un habitáculo de seguridad sería el Acero 1045, por las diferentes características mecánicas que posee.

### MÉTODO TOPSIS

Según Pla. (2017), el método TOPSIS consiste en buscar soluciones que estén más cerca de la solución ideal positiva (SIP) y más lejos de la solución ideal negativa (NIP). El SIP de cada criterio será el máximo si se quiere maximizar el criterio y el mínimo si se quiere minimizar el criterio, y el NIP será el mínimo si se quiere maximizar el criterio y el máximo si se quiere minimizar el criterio.

La idea básica de TOPSIS es que la mejor decisión debe ser tomada a ser el más cercano al ideal y la más alejada de la no ideal. Tales soluciones ideales positivas y negativas se calculan teniendo en cuenta las diversas alternativas, el porcentaje más alto corresponde a la mejor. La Tabla 18 indica las propiedades mecánicas de los materiales.

Tabla 18

Caractericas materiales Método Topsis

Material	MODULO DE YOUNG(Gpas)	ESFUERZO DE VON MISSES (Mpa)	TENSILE STRENGH ULTIMATE (Mpa)	DEFORMACIÓN PLÁSTICA %	RADIO DE POISON	Density g/cc
ACERO GALVANIZADO ASTM36	200	435,866	322	0,357	0,29	7,8
ACERO 1000	200	275	270	0,348	0,29	7,8
2,5 % Mn+97,5% Al	90	50	60	0,023	0,1	2,705
ACERO 1045	200	600	675	0,850	0,29	7,85
ACERO 1020	200	550	420	0,357	0,29	7,87
ACERO 1006	200	410,986	330	0,481	0,29	7,872

El primer paso es formar la matriz decisión  $n_{ij}$  de acuerdo a la siguiente ecuación

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \tag{23}$$

Tabla 19

Método Topsis

40000	189979,17	103684	0,12746257	0,0841	60,84
40000	75625	72900	0,1211047	0,0841	60,84
8100	2500	3600	0,00052905	0,01	19,7136
40000	360000	455625	0,722517	0,0841	61,6225
40000	302500	176400	0,12709724	0,0841	61,9369
40000	168909,492	108900	0,231361	0,0841	61,968384

Posterior se sincroniza el peso  $w_j$  y se normaliza la matriz  $n_{ij}$ , en base a la siguiente ecuación(22), como paso 2, la Tabla 22, indica los resultados obtenidos.

$$v_{ij} = n_{ij} * w_j \tag{24}$$

$(i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$

Tabla 20

Método Topsis- Tabla Normalizada

NORMALIZATE DATA					
0,438423632	0,41567383	0,33550605	0,30956641	0,44198896	0,43139285
0,438423632	0,26226019	0,28132495	0,30174702	0,44198896	0,43139285
0,197290634	0,04768367	0,06251666	0,01994386	0,15240999	0,24556208
0,438423632	0,57220406	0,70331238	0,73703232	0,44198896	0,43415818
0,438423632	0,52452039	0,43761659	0,30912246	0,44198896	0,43526432
0,438423632	0,39194643	0,34384161	0,41706868	0,44198896	0,43537493

Como paso 3, es necesario obtener soluciones positivas que se llaman ( $V^+$ ) y soluciones negativas ( $V^-$ ), para esto se conforma la matriz Normalizada, la tabla 21, muestra los resultados.

Tabla 21

Método Topsis- Tabla Normalizada asignada pesos

WEIGHTED NORMALIZED MATRIX					
0,12758128	3,2838E-02	0,06911425	0,05819848	0,04331492	0,05996361
0,12758128	0,020718555	0,05795294	0,05672844	0,04331492	0,05996361
0,05741157	0,00376701	0,01287843	0,00374945	0,01493618	0,03413313
0,12758128	0,045204121	0,14488235	0,13856208	0,04331492	0,06034799
0,12758128	0,041437111	0,09014902	0,05811502	0,04331492	0,06050174
0,12758128	0,030963768	0,07083137	0,07840891	0,04331492	0,06051712

Para lo cual se emplea las siguientes ecuaciones:

$$\{V_1^+, V_2^+, \dots, V_n^+\} = \{(max X_i V_{ij} | j \in K), (min_i V_{ij} | j \in K')\} \quad \{i = 1, 2, \dots, m\} \quad (25)$$

$$\{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\} = \{(min_i V_{ij} | j \in K), (min X_i V_{ij} | j \in K')\} \quad \{i = 1, 2, \dots, m\} \quad (26)$$

Donde  $K$  y  $K'$  son el conjunto de índices de los criterios de prestaciones y el índice de un conjunto de criterios en razón al peso.

La Tabla 22, indica los resultados de Matriz con criterios positivos.

Tabla 22

Método Topsis- Matriz Positiva

POSITIVE MATRIX					
0,12758128	0,04520412	0,14488235	0,13856208	0,04331492	0,03413313
0,12758128	0,04520412	0,14488235	0,13856208	0,04331492	0,03413313
0,12758128	0,04520412	0,14488235	0,13856208	0,04331492	0,03413313
0,12758128	0,04520412	0,14488235	0,13856208	0,04331492	0,03413313
0,12758128	0,04520412	0,14488235	0,13856208	0,04331492	0,03413313

0,12758128	0,04520412	0,14488235	0,13856208	0,04331492	0,03413313
------------	------------	------------	------------	------------	------------

La Tabla 23, indica los resultados de Matriz con criterios negativos.

Tabla 23

Método Topsis- Matriz Negativa

NEGATIVE MATRIX					
0,05741157	0,00376701	0,01287843	0,00374945	0,01493618	0,06051712
0,05741157	0,00376701	0,01287843	0,00374945	0,01493618	0,06051712
0,05741157	0,00376701	0,01287843	0,00374945	0,01493618	0,06051712
0,05741157	0,00376701	0,01287843	0,00374945	0,01493618	0,06051712
0,05741157	0,00376701	0,01287843	0,00374945	0,01493618	0,06051712
0,05741157	0,00376701	0,01287843	0,00374945	0,01493618	0,06051712

Como paso 4, la distancia ideal en la solución es necesario cuantificar. Las dos distancias Euclidianas para cada alternativa se calculan de acuerdo a las ecuaciones (27) y (28).

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=i}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{27}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=i}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{28}$$

La proximidad relativa se calcula por la ecuación (29).

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- - S_i^+} \quad i = 1, 2, \dots, m; 0 \leq C_i \leq 1 \tag{29}$$

La tabla número 24 indica los resultados de mayor a menor, de los materiales idealizados con mejores prestaciones, utilizados para el presente estudio.

Tabla 24

Método Topsis- Resultados

MATERIAL	Si +	Si -	Ci	RANK
ACERO GALVANIZADO				
A36	0,02523221	0,11270203	0,8170707	4
ACERO 1000	0,03940625	0,10418871	0,7255736	2
2,5 % Mn+97,5%	0,11789607	0,02638399	0,18286649	1

Al					
ACERO 1045	0,00068722	0,20747453	0,99669863		6
ACERO 1020	0,01392978	0,12678539	0,90100727		5
ACERO 1006	0,02403842	0,12410231	0,83773255		3

**MÉTODO VIKOR**

Según Pla. (2017), el método VIKOR busca aquella solución que esté más cerca de la solución ideal positiva (SI+) y más lejos de la solución ideal negativa (SI-).

Como primer paso es necesario calcular los mejores,  $f_i^+$ , y los peores,  $f_i^-$ , es decir los valores de cada criterio, la Tabla 25, indica las variables ha comparar.

Tabla 25

Método Vikor- Variables

Material	MODULO DE YOUNG(Gpas)	ESFUERZO DE VON MISSES (Mpa)	TENSILE STRENGH ULTIMATE (Mpa)	DEFORMACIÓN PLÁSTICA %	RADIO DE POISON	Density g/cc
ACERO GALVANIZADO ASTM 36	210	435,866	322	0,357019	0,29	7,8
ACERO 1000	200	275	270	0,348001	0,29	7,8
2,5 % Mn+97,5% Al	90	50	60	0,023001	0,1	2,705
ACERO 1045	200	601	675	0,85001	0,29	7,85
ACERO 1020	200	550	420	0,356507	0,29	7,87
ACERO 10060	200	410,986	330	0,481	0,29	7,872
suma xi^2	212200,0	1100714,7	921109,0	1,3	0,4	326,9
raíz(suma xi^2)	460,7	1049,1	959,7	1,2	0,7	18,1
máximo	210	601	675	0,85001	0,29	4,44
mínimo	90	50	60	0,023001	0,1	7,872

Como paso 2, se calculan valores  $S_j, R_j$  y  $Q_j$ , para cada alternativa, de acuerdo a la ecuación (30)

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \frac{f_i^+ - f_{ij}}{f_i^+ - f_{ij}^-} \tag{30}$$

$$R_j = \max_i \left[ w_i \frac{f_i^+ - f_{ij}}{f_i^+ - f_{ij}^-} \right] \tag{31}$$

$$R_j = v \frac{S_j - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \frac{R_j - R^+}{R^- - R^+} \tag{32}$$

La tabla 26, indica los resultados, al ordenar variables.

Tabla 26

Método Vikor

Ei	E1	0,39007005	Fi	F1
j=1,...,m=6	E2	0,45685223		F2
i=1,...,n=9	E3	0,862		F3
	E4	0,16235897		F4
	E5	0,36808147		F5
	E6	0,38993964		F6

Como paso 3, consiste en ordenar las alternativas, según valores S, R y Q, en orden decreciente.

Tabla 27

Método Vikor

Material	MODULO DE YOUNG (Gpas)	ESFUERZO DE VON MISES (Mpa)	TENSILE STRENGTH ULTIMATE (Mpa)	DEFORMACIÓN PLÁSTICA %	RADIO DE POISSON	Density g/cc
ACERO GALVANOZADO						0,1360 F1 0,1360
ASTM 36	0	0,0236762	0,11824065	0,11206929	0	8392 max 8392
ACERO 1000 2,5 % Mn+97,5%	0,02425	0,04674047	0,135658537	0,1141193	0	8392 max 8392
Al	0,291	0,079	0,206	0,188	0,098	0 max 0,291
ACERO 1045	0,02425	0	0	0	0	0,1381 F4 0,1381
ACERO 1020	0,02425	0,00731216	0,085414634	0,11218568	0	0897 max 0897
ACERO 1006	0,02425	0,02724339	0,115560976	0,08388528	0	0,1389 F5 0,1389
						19 max 19
						F6
						0,139 max 0,139

La tabla 28 indica los resultados de los materiales idoneos para la simulación del habitaculo de seguridad de menor a mayor.

Se verifica que un resultado es aceptable cuando se tiene los siguientes parámetros.

$Q(A^2) - Q(A^1) \geq DQ$ , donde  $A^2$ , Es la segunda alternativa según la clasificación de los

valores de Q, y  $DQ = \frac{1}{j-1}$ , siendo j el número de alternativas.

Tabla 28

Método Vikor- Resultados

ACERO GALVANIZAD O A36	F1 max	0,13608392	F1 min	0	P4	0,16273422
ACERO 1000	F2 max	0,13608392	F2 min	0	P2	0,21046025
2,5 % Mn+97,5% Al	F3 max	0,291	F3 min	0	P1	1
ACERO 1045	F4 max	0,13810897	F4 min	0	P6	0,00653598
ACERO 1020	F5 max	0,138919	F5 min	0	P5	0,15617041
ACERO 1006	F6 max	0,139	F6 min	0	P3	0,17205284

Como resultado se obtiene que el acero 1045, sea la mejor opción y sustituto para un habitáculo de seguridad, mientras que la Aleación Aluminio Magnesio, a pesar de ser un material ligero se visualiza que no resistiría fuerzas de impacto

**CONCLUSIONES**

Se evaluó el desempeño del habitáculo de seguridad que brindan protección a los ocupantes de un vehículo en un ensayo computacional de choque frontal sobre una pared rígida mediante una metodología de cálculo simplificada por el análisis de elementos finitos asistido por computador, que permite evaluar, la correcta interacción estructural y las zonas afectadas en caso de un evento similar al analizado.

La metodología empleada permitió cubrir las hipótesis trazadas para el proyecto que se dividió en 4 etapas, asignación de elementos de estudio, seguido de un modelado 3D, evaluación de materiales y análisis de resultados, que garantizan la confiabilidad y repetitividad del estudio realizado.

La selección del material citado demuestra la aplicabilidad, utilidad y exactitud de un modelo de decisión como son COPRAS, TOPSIS y VIKOR, que tienen un alto potencial en la solución de problemas de selección material complejo, que implican criterios cualitativos, cuantitativos. En todos los métodos considerados, se consigue una mejor evaluación de los materiales alternativos, es decir, se observa el mejor y peor de los materiales estudiados, así como también, que son los mismos en los tres métodos.

Se visualiza el desempeño del habitáculo de seguridad mediante resultados realizados en cada simulación, en donde se determinó que el acero 1045, sería un gran sustituto del actual material, ya que presenta mejores propiedades mecánicas, para brindar seguridad y protección a un pasajero en caso de colisión.

Se pudo determinar que en el habitáculo, por los diferentes desplazamientos y esfuerzos al cual se encontró sometido la estructura, se presentaron deformaciones que no presentan amenaza para los ocupantes al tratarse de un material de tipo Acero, adicional, al ser el impacto absorbido por la parte frontal en su totalidad, disminuye la amenaza para los

**Comentado [U15]:** TOME EVIDENCIA DEL TRABAJO QUE HIZO Y ESO PLASME EN ESTA SECCION COMO CONCLUSIÓN

pasajeros, es decir el riesgo de lesiones es mínima, con la condición que los ocupantes utilicen los cinturones de seguridad.

Los elementos como el parachoques, el motor y los rieles absorben la mayor parte de la energía antes que el habitáculo de seguridad sea afectado. Una gran proporción de la energía de choque es absorbida por estos componentes después de aproximadamente 0.025seg de la iniciación del choque.

De acuerdo a los datos obtenidos del desplazamiento se concluye que existe una deformación mínima del habitáculo de seguridad, además que si bien hubo intrusión de componentes en la pared de fuego estos son mínimos. Por lo tanto, se puede suponer que los ocupantes de la cabina no sufrirían ningún daño si un componente se introduce en la cabina en caso de colisión.

El comportamiento diferente en los cinco modelos de prueba se puede atribuir al hecho de que el material de los componentes se modificó, lo que cambió el resultado de la simulación. Y esto se debe a las propiedades de los materiales con los cuales se cargó el programa para generar los resultados.

Al realizar la simulación del impacto frontal de un vehículo sedán mediante el paquete computacional LS Dyna, al ser un software fabricado para análisis de impacto , para eventos de dinámica explícita no lineal, es necesario que las condiciones de frontera sean lo más reales posibles de esta manera, se generaría reprocesos.

Se trabajó con un tamaño de malla de 30 mm, para toda la estructura, con elementos bidimensionales, así como también *material piece wise linear plasticity*, que otorga el privilegio de ingresar valores reales en un proceso de caracterización de materiales, mediante pruebas físicas o datos de resistencias mecánicas de los materiales.

Se validó los resultados mediante el método de energía de Hourglass, obteniendo un error de 1,065%, rango por debajo del 5% de error, aceptable en un análisis estructural.

En la simulación se observa que la estructura del habitáculo cuenta con el sistema de seguridad ante un evento, salvaguardando la vida de los ocupantes de la cabina, ante un impacto frontal. La deformación programada evidenciada en el presente estudio, que disipa la energía cinética proveniente de la marcha del vehículo.

### **RECOMENDACIONES**

Sería importante dar continuidad a este tipo de estudio, realizando una caracterización del material utilizado en las partes laterales y posteriores del vehículo, de tal forma simular choque en alcance y lateral, verificando la seguridad de un vehículo Sedán a este tipo de eventos.

Realizar un acercamiento a GM, de tal forma acceder a planos o escaneos 3D, del vehículo, lo que permitirá disminuir el tiempo en elaboración del modelo, acercándose a un 99% de semejanza, ya que el bosquejo actual, presenta de un 60 a 70 %, además, sería importante conocer las características mecánicas de los materiales empleados en el habitáculo, lo que evitaría realizar probetas bajo normativa.

Se observó buenos resultados, utilizando otro tipo de aceros en el habitáculo de seguridad, indicando que pueden ser sustitutos en la elaboración del mismo a excepción de aleaciones.

Con el constante avance de la tecnología digital y empleando Cae, la simulación en el Ecuador, se convertirá en una herramienta esencial y útil en la etapa de diseño, como alternativa rentable conjuntamente con el análisis por elemento finitos.

**Referencias**

Arechiga, David Alonso García. Evolución de la carrocería.

Arízaga Cáceres, Edison Reinaldo, & Gómez Rodríguez, Diego Patricio. (2015). Análisis de los sistemas faltantes de seguridad vehicular de la categoría M1 en la norma NTE INEN 034: 2010 y una propuesta de mejora.

Chen, Hao, Yang, Yali, & Wang, Liangjie. (2015). Vehicle front structure energy absorbing optimization in frontal impact. *Open Mechanical Engineering Journal*, 9(1), 168-172.

Du Bois, Paul, C. Chou, Clifford, Fileta, Bahig, Khalil, Tawfik, King, Albert, Mahmood, Hikmat, . . . Wismans, Jac. (2000). *Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection*. Southfield, Michigan, EEUU: Automotive Applications Committee, American Iron and Steel Institute.

Duan, Libin, Sun, Guangyong, Cui, Junjia, Chen, Tao, Cheng, Aiguo, & Li, Guangyao. (2016). Crashworthiness design of vehicle structure with tailor rolled blank. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 53(2), 321-338.

Ghosh, Pronoy, Mayer, Christian, Deck, Caroline, Bourdet, Nicolas, Meyer, Frank, Willinger, Remy, . . . Weber, Jens. (2016). Head Injury Risk Assessment in Pedestrian Impacts on Small Electric Vehicles using Coupled SUFEHM-THUMS Human Body Models Running in Different Crash Codes. Paper presented at the IRCOBI Conference Proceedings.

Gu, Xianguang, Dai, Jianhua, Huang, Xiaodong, & Li, Guangyao. (2017). Reliable optimisation design of vehicle structure crashworthiness under multiple impact cases. *International Journal of Crashworthiness*, 22(1), 26-37.

Gu, Xiangang, Sun, Guangyong, Li, Guangyao, Huang, Xiaodong, Li, Yongchi, & Li, Qing. (2013). Multiobjective optimization design for vehicle occupant restraint system under frontal impact. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 47(3), 465-477.

Jara, Raquel (Producer). (2017, Junio 06). El habitáculo del coche: de la seguridad a la superconectividad. Retrieved from <http://www.seguros.es/blog/el-habitaculo-del-coche.html>

Millán, Marcos Rodríguez. (2013). Análisis experimental y numérico de la influencia del estado tensional en la deformación de fallo de elementos estructurales de aluminio. Universidad Carlos III de Madrid.

Mishra, Neeraj Kumar, & Pradhan, Sharad K. (2016). Crashworthiness of a truck cabin using finite element simulation. *International Journal of Vehicle Structures & Systems*, 8(4), 250.

Morka, Andrzej, Kwaśniewski, Lesław, & Wekezer, Jerry W. (2005). Assessment of passenger security in paratransit buses. *Journal of Public Transportation*, 8(4), 4.

Muñoz Agudo, Daniel. (2015). Diseño optimizado de elementos estructurales para absorción de energía en choques. Viga con apoyo doble sometida a comprensión.

Nimir, Yassin Lutfi, Abdullah, Kassim, & Lon, Wong Lek. (2014). Assessment of crashworthiness of the frontal part of a local car model. *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 9(3-4), 352-362.

Olivares, Gerardo, & Yadav, Vikas. (2009). Injury mechanisms to mass transit bus passengers during frontal, side and rear impact crash scenarios. Paper presented at the Proceedings of the 21st (ESV) International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles.

Pérez, D Illescas. (2009). Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera. Madrid: Universidad Carlos III-Escuela Politécnica Superior Departamento de Ingeniería Mecánica.

Philip, J, & Mungale, S. (2013). Correlation of test results for ECE-R29 load cases with CAE simulation. Paper presented at the Proc. Altair Technology Conf.

Portillo, Martin, Chacón, Rubén, Moreno, Miguel, & Ponzo, Francisco Ignacio Bongiorno. (2011). Simulación y análisis de una prueba de choque de un automóvil tipo deportivo, utilizando un software basado en el método de los elementos finitos. Ciencia e Ingeniería, 69-78.

Rosero Añazco, Ramiro Andrés. (2009). Desarrollo de un reglamento técnico referente a elementos de seguridad para vehículos de categoría M1.

Samaniego Terán, José Daniel. (2014). Lecciones del intervencionismo estatal en el desarrollo industrial del Ecuador: un análisis a partir de la industria automotriz. Quito, Ecuador: Flacso Ecuador.

Vicente, José Manuel Barrios, Salazar, Andrés Aparicio, Sáez, Luis Martínez, & Álvarez, Antonio García. ESTUDIO DE LA SEGURIDAD DE LOS NIÑOS EN LOS AUTOCARES.

Wang, Tao, & Wang, Liangmo. (2016). Numerical Simulation and Structural Improvement for the Crashworthiness Capacity of M1 Type Commercial Vehicle. Paper presented at the ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference.

Gu, Xianguang, Sun, Guangyong, Li, Guangyao, Huang, Xiaodong, Li, Yongchi, & Li, Qing. (2013). Multiobjective optimization design for vehicle occupant restraint system under frontal impact. Structural and Multidisciplinary Optimization, 47(3), 465-477.

Philip, J. and S. Mungale (2013). Correlation of test results for ECE-R29 load cases with CAE simulation. Proc. Altair Technology Conf.

Morka, A., et al. (2005). "Assessment of passenger security in paratransit buses." Journal of Public Transportation 8(4): 4.

AGENCIA NACIONAL DE TRANSITO "Estadísticas de transporte terrestre y seguridad vial" 2015 [En línea] Recuperado: <http://www.ant.gob.ec/index.php/noticias/estadisticas#.Vir5EqxZER> (febrero, 2015)

AGENCIA NACIONAL DE TRANSITO" Normas y Reglamentos INEN aplicados al Transporte, Tránsito y Seguridad Vial "[En línea] Recuperado: <http://www.ant.gob.ec/old/index.php/normas-y-reglamentos-inen-aplicados-al-transporte> (febrero, 2015)

Samaniego Terán, J. D. (2014). Lecciones del intervencionismo estatal en el desarrollo industrial del Ecuador: un análisis a partir de la industria automotriz, Quito, Ecuador: Flacso Ecuador.

La Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana (CINAE). Recuperado de : <http://www.cinae.org.ec/Anuario/anuario2017.pdf>

ASOCIACIÓN DE EMPRESAS AUTOMOTRICES DEL ECUADOR [En línea] Recuperado: [http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2017/04/Sector-en-cifras\\_7-abril-2017-2.pdf](http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2017/04/Sector-en-cifras_7-abril-2017-2.pdf)

Arízaga Cáceres, E. R. and D. P. Gómez Rodríguez (2015). Análisis de los sistemas faltantes de seguridad vehicular de la categoría M1 en la norma NTE INEN 034: 2010 y una propuesta de mejora.

Cueva Chacón, D. G., et al. (2010). "El control en la aplicación de penas y reducción de puntos en contravenciones en la ley orgánica de transporte terrestre, tránsito y seguridad vial periodo enero-agosto del 2009."

Pérez, D. I. (2009). "Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera." Madrid: Universidad Carlos III-Escuela Politécnica Superior Departamento de Ingeniería Mecánica.

Youn, B. D., et al. (2004). "Reliability-based design optimization for crashworthiness of vehicle side impact." *Structural and Multidisciplinary Optimization* 26(3): 272-283.

Arechiga, D. A. G. "Evolución de la carrocería."

Millán, M. R. (2013). Análisis experimental y numérico de la influencia del estado tensional en la deformación de fallo de elementos estructurales de aluminio, Universidad Carlos III de Madrid.

Pérez, D. I. (2009). "Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera." Madrid: Universidad Carlos III-Escuela Politécnica Superior Departamento de Ingeniería Mecánica.

Rosero Añazco, R. A. (2009). "Desarrollo de un reglamento técnico referente a elementos de seguridad para vehículos de categoría M1."

Nimir, Y. L., et al. (2014). "Assessment of crashworthiness of the frontal part of a local car model." *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing* 9(3-4): 352-362.

Duan, L., et al. (2016). "Crashworthiness design of vehicle structure with tailor rolled blank." *Structural and Multidisciplinary Optimization* 53(2): 321-338.

Wang, T. and L. Wang (2016). Numerical Simulation and Structural Improvement for the Crashworthiness Capacity of M1 Type Commercial Vehicle. ASME 2016 International

Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, American Society of Mechanical Engineers.

Gu, X., et al. (2017). "Reliable optimisation design of vehicle structure crashworthiness under multiple impact cases." *International Journal of Crashworthiness* 22(1): 26-37.

Gu, X., et al. (2013). "Multiobjective optimization design for vehicle occupant restraint system under frontal impact." *Structural and Multidisciplinary Optimization* 47(3): 465-477.

Ghosh, P., et al. (2016). Head Injury Risk Assessment in Pedestrian Impacts on Small Electric Vehicles using Coupled SUFEHM THUMS Human Body Models Running in Different Crash Codes. IRCOBI Conference Proceedings.

Mishra, N. K. and S. K. Pradhan (2016). "Crashworthiness of a truck cabin using finite element simulation." *International Journal of Vehicle Structures & Systems* 8(4): 250.

Chen, H., et al. (2015). "Vehicle front structure energy absorbing optimization in frontal impact." *Open Mechanical Engineering Journal* 9(1): 168-172.

Muñoz Agudo, D. (2015). Diseño optimizado de elementos estructurales para absorción de energía en choques. Viga con apoyo doble sometida a compresión.

Mallory, A. and J. Stammen (2006). "Lower extremity pedestrian injury in the US: A summary of PCDS data." NHTSA Vehicle Research and Test Center, UNECE Document number WP29-44-03e.

DeSilva, C. (2005). Las vibraciones y los choques.

Manjarrés Arias, F. J., & Santillán Mariño, E. R. (2016). Análisis Estructural a cargas de impacto frontal de un bus tipo Interprovincial mediante el Método de Elementos Finitos. Quito, 2016.

JD Mazuera Robledo, JI Gómez Gómez- Scientia et ..., (2015) .Conformabilidad de láminas de acero AISI/SAE 1006 utilizadas para estampado/embutición en el Valle de Aburrá.

Rachello Dolmen, F. (2009). Estudio de la deformación elasto-plástica de láminas planas de acero SAE 1006 y su relación con el proceso de laminación en frío (Master's thesis, Maestría en Ingeniería Mecánica).

Este, P., & Sáenz, L. A. (2004). Evaluación de la resistencia a fatiga y límite de fatiga de aceros de medio y bajo carbono. *Revista Ingeniería UC*, 11(1).

Fonseca, I, Benito, JA, Mejía, I, Jorba, J, & Roca, A. (2002). Variación del módulo de Young en el acero C45E (norma EN 10083) tratado térmicamente. *Revista De Metalurgia*, 38(4), 249-255.

Fernández-Columbié, T, Rodríguez-González, I, Alcántara-Borges, D, & Fernández-Guilarte, E. (2012). Tensiones de contacto por el Método de Elementos Finitos del acero AISI 1045 endurecido por rodillo. *Revista de Metalurgia*, 48(1), 5-12.

Liu, Chunke, Song, Xinping, & Wang, Jiao. (2014). Simulation analysis of car front collision based on LS-DYNA and hyper works. *Journal of Transportation Technologies*, 4(04), 337.

Arechiga, David Alonso García. Evolución de la carrocería.

Arízaga Cáceres, Edison Reinaldo, & Gómez Rodríguez, Diego Patricio. (2015). Análisis de los sistemas faltantes de seguridad vehicular de la categoría M1 en la norma NTEINEN 034: 2010 y una propuesta de mejora.

Chen, Hao, Yang, Yali, & Wang, Liangjie. (2015). Vehicle front structure energy absorbing optimization in frontal impact. *Open Mechanical Engineering Journal*, 9(1), 168-172.

Du Bois, Paul, C. Chou, Clifford, Fileta, Bahig, Khalil, Tawfik, King, Albert, Mahmood, Hikmat, . . . Wismans, Jac. (2000). *Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection*.

Southfield, Michigan, EEUU: Automotive Applications Committee, American Iron and Steel Institute.

Duan, Libin, Sun, Guangyong, Cui, Junjia, Chen, Tao, Cheng, Aiguo, & Li, Guangyao. (2016). Crashworthiness design of vehicle structure with tailor rolled blank. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 53(2), 321-338.

Ghosh, Pronoy, Mayer, Christian, Deck, Caroline, Bourdet, Nicolas, Meyer, Frank, Willinger, Remy, . . . Weber, Jens. (2016). Head Injury Risk Assessment in Pedestrian Impacts on Small Electric Vehicles using Coupled SUFEHM-THUMS Human Body Models Running in Different Crash Codes. Paper presented at the IRCOBI Conference Proceedings.

Gu, Xianguang, Dai, Jianhua, Huang, Xiaodong, & Li, Guangyao. (2017). Reliable optimisation design of vehicle structure crashworthiness under multiple impact cases. *International Journal of Crashworthiness*, 22(1), 26-37.

Gu, Xianguang, Sun, Guangyong, Li, Guangyao, Huang, Xiaodong, Li, Yongchi, & Li, Qing. (2013). Multiobjective optimization design for vehicle occupant restraint system under frontal impact. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 47(3), 465-477.

Jara, Raquel (Producer). (2017, Junio 06). El habitáculo del coche: de la seguridad a la superconectividad. Retrieved from <http://www.seguros.es/blog/el-habitaculo-del-coche.html>

Millán, Marcos Rodríguez. (2013). Análisis experimental y numérico de la influencia del estado tensional en la deformación de fallo de elementos estructurales de aluminio. Universidad Carlos III de Madrid.

Mishra, Neeraj Kumar, & Pradhan, Sharad K. (2016). Crashworthiness of a truck cabin using finite element simulation. *International Journal of Vehicle Structures & Systems*, 8(4), 250.

Morka, Andrzej, Kwaśniewski, Lesław, & Wekezer, Jerry W. (2005). Assessment of passenger security in paratransit buses. *Journal of Public Transportation*, 8(4), 4.

Muñoz Agudo, Daniel. (2015). Diseño optimizado de elementos estructurales para absorción de energía en choques. *Viga con apoyo doble sometida a compresión*.

Nimir, Yassin Lutfi, Abdullah, Kassim, & Lon, Wong Lek. (2014). Assessment of crashworthiness of the frontal part of a local car model. *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 9(3-4), 352-362.

Olivares, Gerardo, & Yadav, Vikas. (2009). Injury mechanisms to mass transit bus passengers during frontal, side and rear impact crash scenarios. Paper presented at the Proceedings of the 21st (ESV) International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles.

Pérez, D Illescas. (2009). Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera. Madrid: Universidad Carlos III-Escuela Politécnica Superior Departamento de Ingeniería Mecánica.

Philip, J, & Mungale, S. (2013). Correlation of test results for ECE-R29 load cases with CAE simulation. Paper presented at the Proc. Altair Technology Conf.

Rosero Añazco, Ramiro Andrés. (2009). Desarrollo de un reglamento técnico referente a elementos de seguridad para vehículos de categoría M1.

Samaniego Terán, José Daniel. (2014). Lecciones del intervencionismo estatal en el desarrollo industrial del Ecuador: un análisis a partir de la industria automotriz. Quito, Ecuador: Flacso Ecuador.

Vicente, José Manuel Barrios, Salazar, Andrés Aparicio, Sáez, Luis Martínez, & Álvarez, Antonio García. ESTUDIO DE LA SEGURIDAD DE LOS NIÑOS EN LOS AUTOCARES.

Wang, Tao, & Wang, Liangmo. (2016). Numerical Simulation and Structural Improvement for the Crashworthiness Capacity of M1 Type Commercial Vehicle. Paper presented at the ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference.

Martín Cadenas, J. (2009). Simulación mediante LS-DYNA del ensayo de choque de un todoterreno (Master's thesis).

Munyakwiye, B. B., Karimi, H. R., & Robbersmyr, K. G. (2016, April). A mathematical model for vehicle-occupant frontal crash using genetic algorithm. In *Computer Modelling and Simulation (UKSim), 2016 UKSim-AMSS 18th International Conference on* (pp. 141-146). IEEE.

Cheng, ZQ, Thacker, JG, Pilkey, WD, Hollowell, WT, Reagan, SW, & Sieveka, EM. (2001). Experiences in reverse-engineering of a finite element automobile crash model. *Finite elements in analysis and design*, 37(11), 843-860.

Chatterjee, Prasenjit, & Chakraborty, Shankar. (2012). Material selection using preferential ranking methods. *Materials & Design*, 35, 384-393.

Pla, V. P. (2017). Aplicación de la toma de decisión multicriterio al diseño sostenible de puentes de hormigón.

Toledo, López, & Uziel, Alain. Modelado y simulación de un capó automotriz.

Bloeck, N., Aluminum sheet for automotive applications, *Advance Materials in Automotive Engineering*, 1a Edición, Ed. Woodhead Publishing, pp85-108, 2012.

Benedyk, J.C., Aluminum alloys for lightweight automotive structures, Materials, Design and Manufacturing for Lightweight vehicles, 1a Edición. Ed. Woodhead Publishing, pp79-113, 2010.

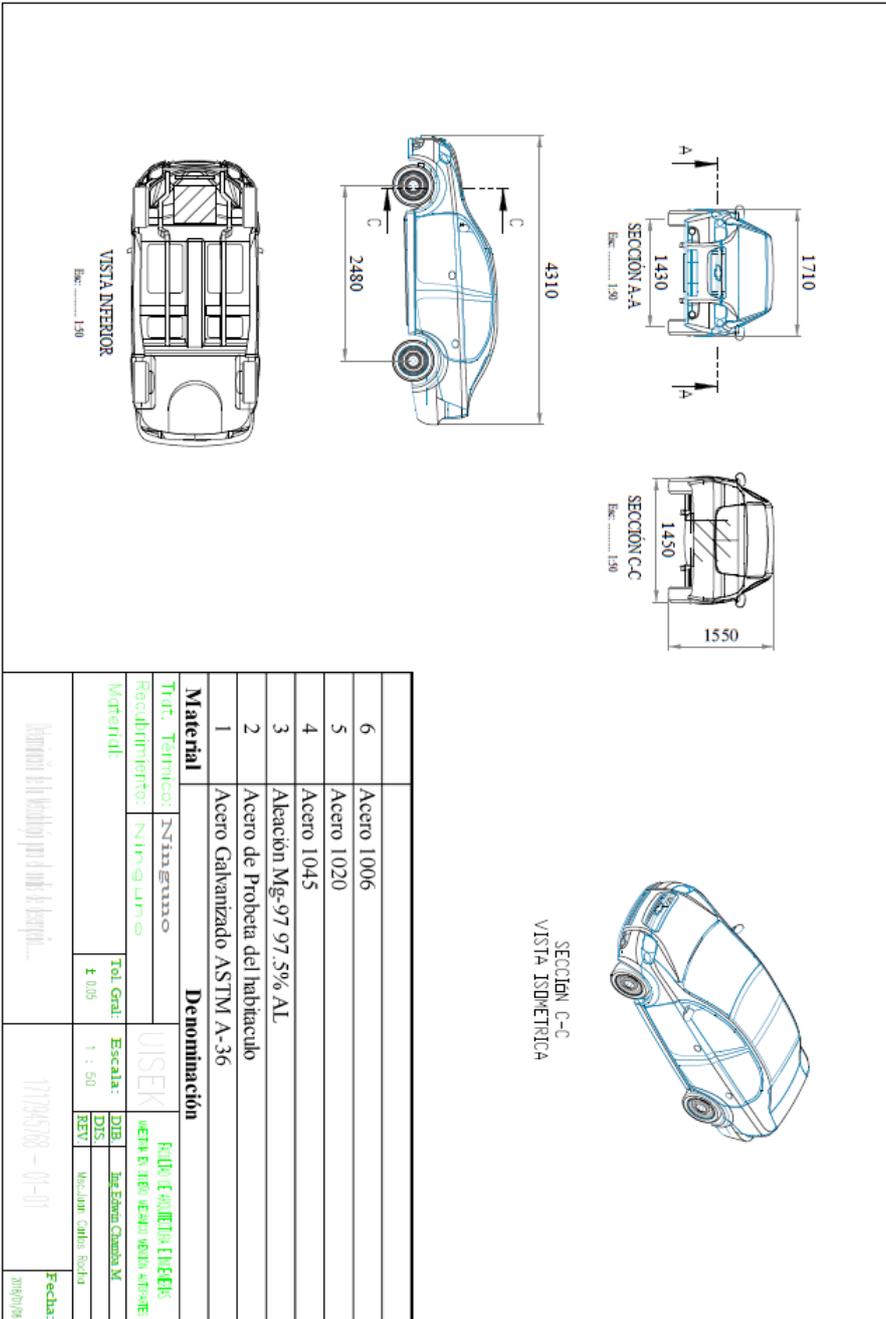
Ashby, M. y Johnson, K, Materials and Design, 2da Edición, Ed. Elsevier, pp 26-244, 2010.

Livianos-González, F., Reparación de golpes laterales en vehículo con aceros ALE, Revista Técnica de Reparación y Peritación de Danios en Carrocería y Pintura de Automóviles, No 83. Centro de Experimentación y Seguridad Vial MAPFRE, pp 10-14, 2013.

Benedyk, J.C., Aluminum alloys for lightweight automotive structures, Material, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles, 1a Edición, Ed. Woodhead Publishing, pp 79-113, 2010.

Bloeck, N., Aluminum sheet for automotive applications. Advanced Materials in Automotive Engineering, 1a Edición, Ed. Woodhead Publishing, pp 85-108, 2012.

**ANEXO IA- PLANOMETRÍA**



## ANEXO II PREPROCESO

### Dibujo del modelo

Como primer paso es necesario dibujar el modelo del vehículo Sedán en un Software CAD-CAM, para este caso se utilizó Nx, como indica en la Figura 106.

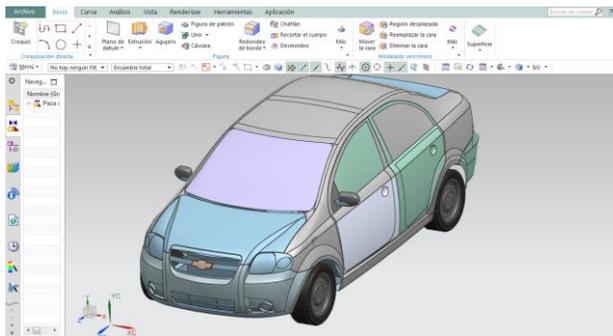


Figura. 106. Modelo Vehículo Sedán

### Preparación del modelo

Continuando, es necesario preparar el modelo, mediante herramientas especiales para reconstruir elementos erróneos exportados, simplificar elementos, ubicar fallas de elementos. Para el presente estudio se usó la versión estudiantil del Software SpaceClaim, con el fin de generar una malla más eficiente con menores elementos, lo que permite reducir el gasto computacional y evitar reproceso al momento de correr la simulación como lo indica la Figura 107.

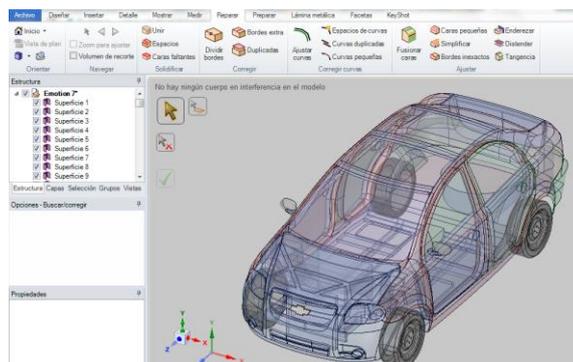


Figura. 107. Interfaz SpaceClaim

### Mallado dentro del modelo

En todo FEA, es necesario la generación de la malla en la geometría a realizar el estudio, para realizar este procedimiento se selecciona la opción Element and Mesh dentro de la barra de herramientas principal derecha, posteriormente se selecciona Auto Mesher. La Figura 108 indicada el mallado del modelos, en donde el tamaño óptimo fue de 30 mm.

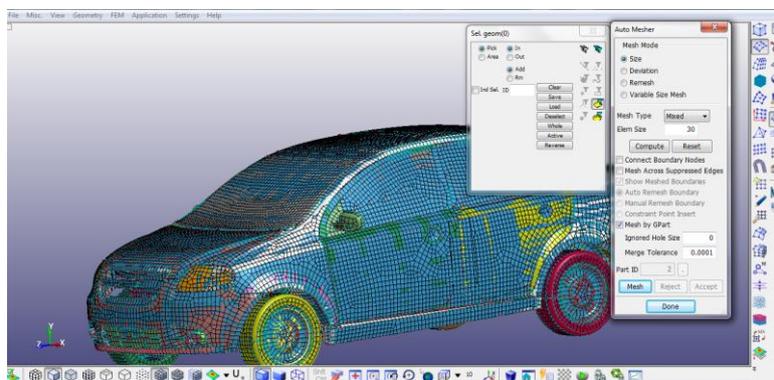


Figura. 108. Malla del modelo

### Reconstrucción de errores de Malla

Al realizar el mallado de las superficies, se generan errores, que de correr el programa con estos, generaría gasto computacional, así como también imprecisión en los resultados, es necesario editar y corregir los mismos.

La Figura 109 muestra un error en la generación de la malla, Para esto se accede a Node Editing, se borra los elementos que presentan este inconveniente.

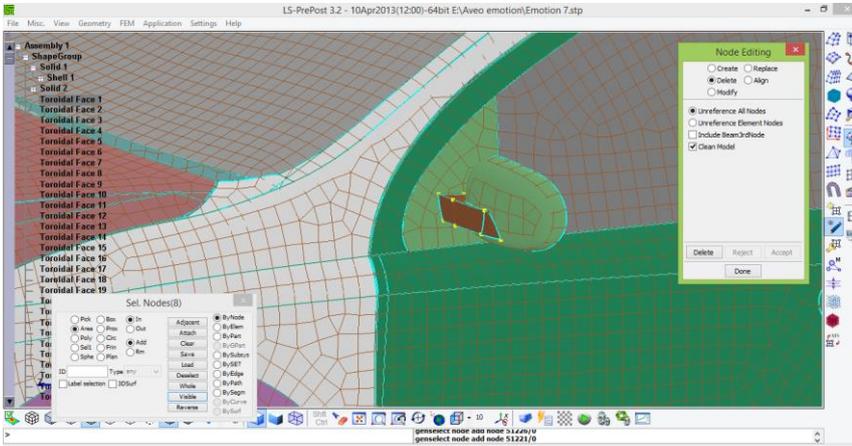


Figura. 109. Errores en malla

Posterior a esto se borra la superficie y se realiza la creación de una nueva, y se genera malla en el elemento que presento el inconveniente, como indica en la Figura 110.

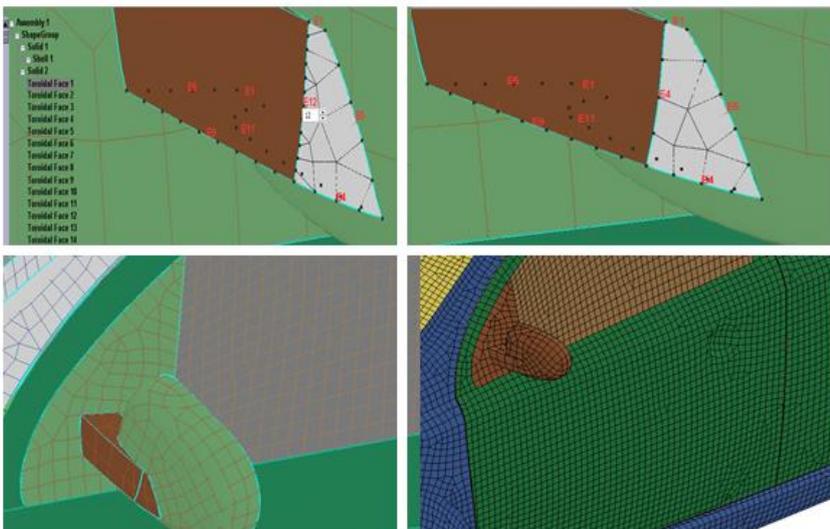


Figura. 110. Corrección en malla

### Definición de material

Para definir las propiedades del material, es necesario entrar a Model and Part dentro del menú principal, para después seleccionar Keyword Manager. Posterior, en la ventana que se

despliega dar clic en All, para después buscar en la lista la opción de MATERIAL y dar doble clic, buscar la opción marcada como 024-PIECE WIRE\_LINEAR\_PLASTICITY, para el vehículo como indica en la Figura 111.

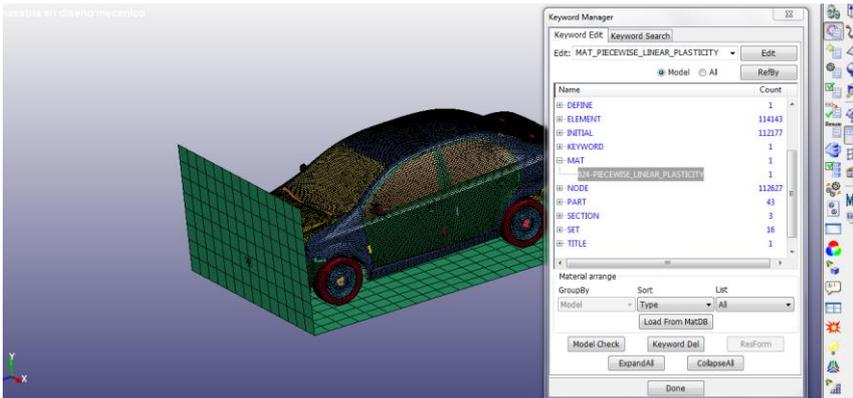


Figura. 111. Asignación de material vehículo

Paso siguiente es desplegar una nueva ventana que permitirá designar las propiedades del material, para lo cual se ingresará en New Id, para que el software designe un ID al material a definir, en donde es necesario llenar los valores de RO (densidad), E (Módulo de Young) y PR (Coeficiente de Poisson). Una vez llenadas las propiedades, como indica la Figura 112.

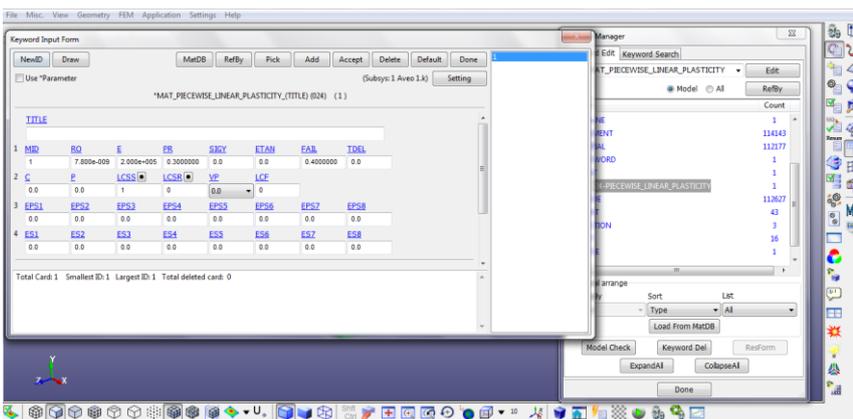


Figura. 112. Características mecánicas del material vehículo

Para definir el material de la pared como indica la Figura 113, es necesario entrar a Model and Part dentro del menú principal, para después seleccionar Keyword Manager. En la lista de MATERIAL y buscar la opción marcada como 020-RIGID.

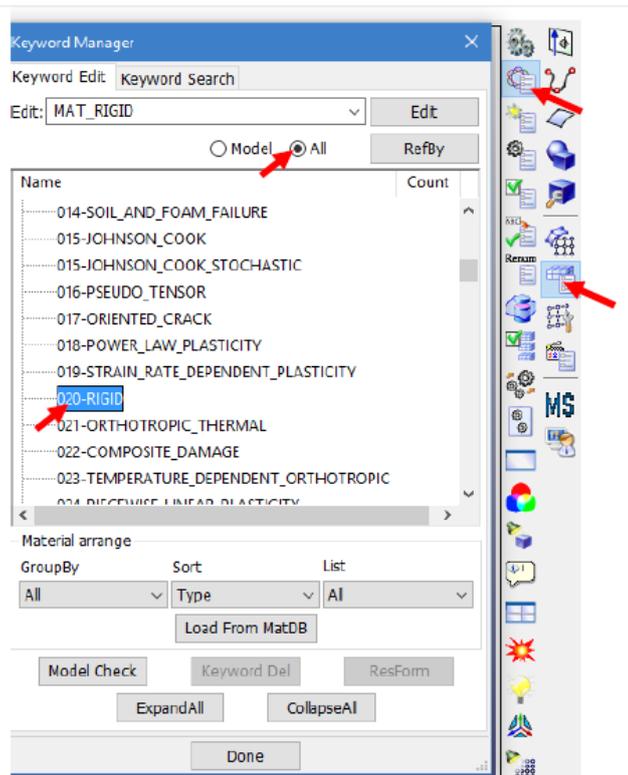


Figura. 113. Características mecánicas del material vehículo

#### Asignar material y sección al modelo.

A cada una de las partes del modelo, hay que asignarle su respectivo material y sección.

Dentro de Model and Part, seleccionar Part Data. En la nueva ventana desplegada, seleccionar Asssign, como se indica en la Figura 114.

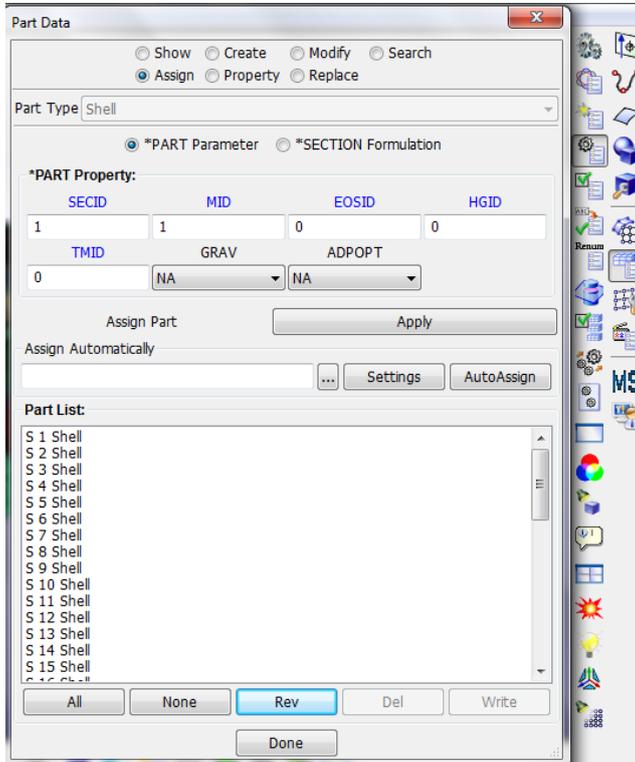


Figura. 114. Asignación de material al modelo

**Condiciones de frontera- Restricciones de desplazamiento.**

Asumiremos que todos los nodos exteriores de la pared rígida tendrán restricciones de desplazamiento en todos los grados de libertad (x, y, z), como se indica en la Figura 115.

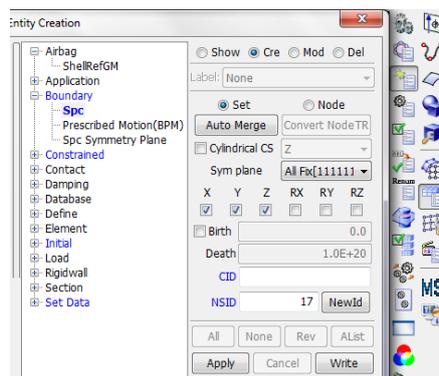


Figura. 115. Restricciones de grado de libertad

Para la geometría del vehículo asumiremos que ningún de los nodos exteriores del modelo Sedan tendrán restricciones de desplazamiento en todos los grados de libertad (x, y, z). Como se indica en la Figura 116.

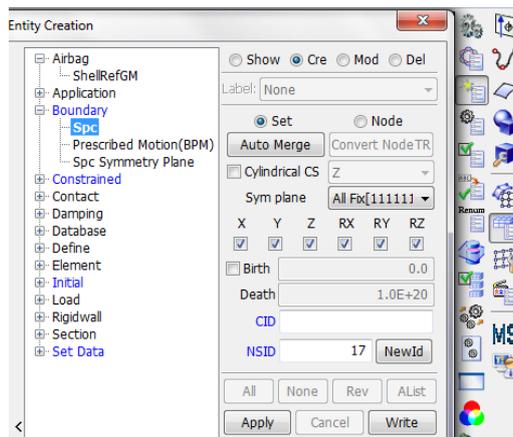


Figura. 116. Restricciones de grado de libertad

**Condiciones de frontera- Velocidad de desplazamiento del vehículo.**

Se definirá la velocidad inicial de desplazamiento del modelo, para esto dentro de Entity Creation, desplegaremos la sección de Initial para posteriormente seleccionar Velocity. Se Define las velocidades como se muestra en la Figura 117, para lo cual se empleó las normas NCAP, en donde determina que el test de impacto se realiza contra una pared rígida a una velocidad de 15,5 m/s.

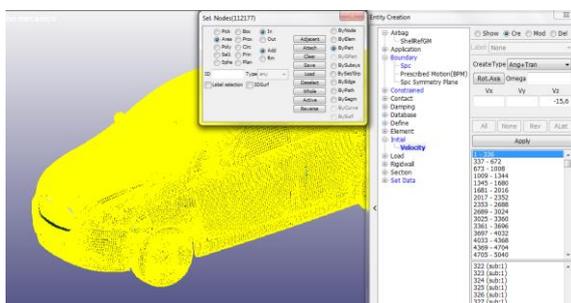


Figura. 117. Asignación de velocidad de impacto

**Condiciones de frontera- Definición de contacto.**

Es necesario indicarle a LS-DYNA que hay un contacto entre la pared y el vehículo, para ello tenemos que definir primero la zona en la que habrá contacto, esto se realiza en la interfaz Set Data, posteriormente en \*SET\_PART y Cre, seleccionar las 2 partes del modelo (pared y el vehículo), como se indica en la Figura 118.

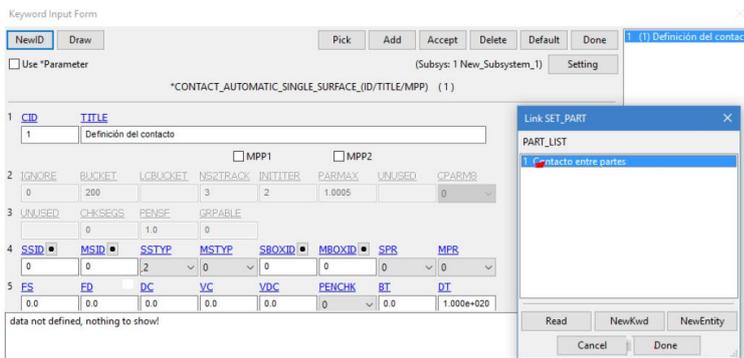


Figura. 118. Definición de contacto

**Control de simulación (Explícita).**

Posterior, es necesario definir el tiempo de terminación de la simulación, esto se realiza dentro del Keyword Manager, se ingresa en la sección All. Posteriormente dentro de la lista, buscar la opción CONTROL y se selecciona TERMINATION, y dentro de ENDTIM (Termination Time), escribir 0.30, esto quiere decir que nuestra simulación será de 0 a 0,3 segundos, como indica la Figura 119.

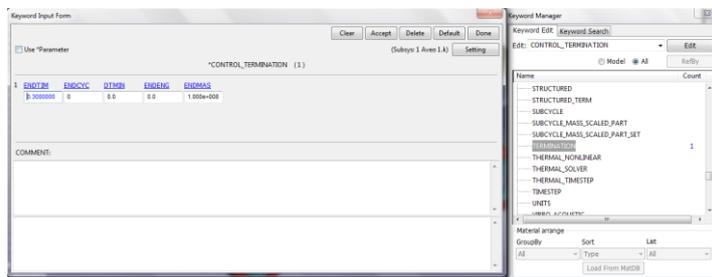


Figura. 119. Control de Simulación

**Almacenamiento para revisión de Resultados**

La Figura 120, indica la interfaz para ver los resultados de manera gráfica en la simulación, esta herramienta almacena datos de manera binaria en un archivo para que LS-PrePost los lea y muestre. Dentro de DT (Time interval between outputs), escribir 0.001, con el objetivo de guardar datos con intervalos de 1 milisegundos dentro de nuestra simulación.



Figura. 120. Almacenamiento para revisión de resultados

Posterior es necesario activar la opción de almacenar datos de tipo ASCII, para ello dentro de DATABASE se debe seleccionar ASCII\_option, una vez abierto, escribir 0.001 y después tecla ENTER , activando las opciones GLSTAT (global statistics) y MATSUM (material energy summary) como se muestra en la Figura 121.

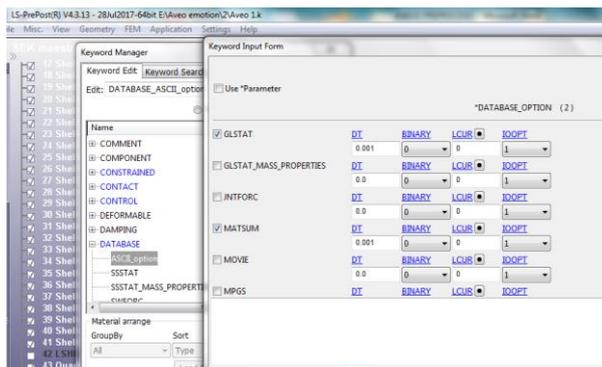


Figura. 121. Almacenamiento para revisión de resultados

**Grabar archivo extensión .k (keyword).**

Finalizando el preproceso de simulación, el manual recomienda grabar el modelo por precaución, como se indica en la Figura 122.

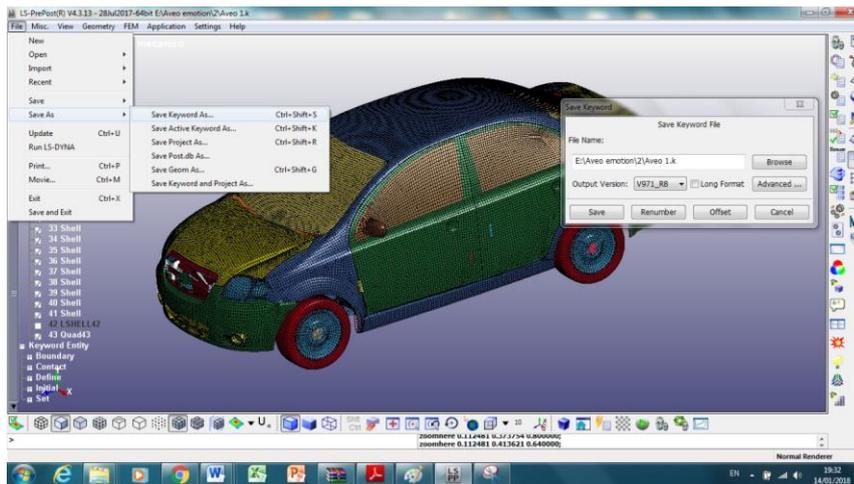


Figura. 122. Grabar archivo en extensión K.

**Correr simulación**

Para correr la simulación, primero tenemos que abrir la interfaz principal de LS- DYNA Program Manager, después en el menú principal, buscar la opción Start LS-DYNA análisis. Hecho lo anterior, buscaremos el archivo “k” del modelo que se quiera correr dentro de LS-DYNA, dar clic en la opción Browse , en Input File y seleccionar el archivo de interés, como muestra en la Figura 123.



Figura. 123. Interfaz LsDyna. Recuperado de [www.cmplx.com.mx](http://www.cmplx.com.mx)

**ANEXO IIIA- REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO 034**



---

**REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO      RTE INEN 034:2010**  
**Segunda revisión**

---

**ELEMENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES.**

**Primera Edición**

SAFETY MINIMUM ELEMENTS FOR ROAD VEHICLES.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, elementos de seguridad.  
MC 08.05-902  
CDU: 629.11.01  
CIIU: 3843  
ICS: 43.040

**RESOLUCIÓN No. 134-2010**

EL DIRECTORIO DEL INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

## CONSIDERANDO:

Que, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 52 de la Constitución Política de la República del Ecuador, es deber del Estado garantizar el derecho a disponer de bienes y servicios de óptima calidad y a elegirlos con libertad, así como a recibir información precisa y no engañosa sobre su contenido y características;

Que, el Protocolo de Adhesión de la República del Ecuador al Acuerdo por el que se establece la Organización Mundial del Comercio – OMC, se publicó en el Suplemento del Registro Oficial No. 853 de 2 de enero de 1996;

Que, el Acuerdo de Obstáculos Técnicos al Comercio - AOTC de la OMC en su artículo 2 establece las disposiciones sobre la elaboración, adopción y aplicación de Reglamentos Técnicos por instituciones del gobierno central y su notificación a los demás Miembros;

Que, se deben tomar en cuenta las Decisiones y Recomendaciones adoptadas por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio de la OMC;

Que, el Anexo III del Acuerdo OTC establece el Código de Buena Conducta para la elaboración, adopción y aplicación de normas;

Que, la Decisión 376 de 1995 de la Comisión de la Comunidad Andina creó "El Sistema Andino de Normalización, Acreditación, Ensayos, Certificación, Reglamentos Técnicos y Metrología", modificada por la Decisión 419 de 31 de Julio de 1997;

Que, la Decisión 562 de junio de 2003 de la Comisión de la Comunidad Andina, establece las "Directrices para la elaboración, adopción y aplicación de Reglamentos Técnicos en los Países Miembros de la Comunidad Andina y a nivel comunitario";

Que, el Ministerio de Comercio Exterior, Industrialización, Pesca y Competitividad, a través del Consejo del Sistema MNAC, mediante Resolución No. MNAC-0003 de 10 de Diciembre de 2002, publicada en el Registro Oficial No. 739 de 7 de Enero de 2003, establece los procedimientos para la elaboración, adopción y aplicación de Reglamentos Técnicos Ecuatorianos;

Que, mediante Ley No. 2007-76 publicado en el Suplemento del Registro Oficial No. 26 del jueves 22 de febrero del 2007, se establece el Sistema Ecuatoriano de la Calidad, que tiene como objetivo establecer el marco jurídico destinado a:

i) regular los principios, políticas y entidades relacionados con las actividades vinculadas con la evaluación de la conformidad, que facilite el cumplimiento de los compromisos internacionales en esta materia; ii) garantizar el cumplimiento de los derechos ciudadanos relacionados con la seguridad, la protección de la vida y la salud humana, animal y vegetal, la preservación del medio ambiente, la protección del consumidor contra prácticas engañosas y la corrección y sanción de estas prácticas; y, iii) promover e incentivar la cultura de la calidad y el mejoramiento de la competitividad en la sociedad ecuatoriana;

Que, es necesario garantizar que la información suministrada a los consumidores sea clara, concisa, veraz, verificable y que ésta no induzca a error al consumidor;

Que, mediante Resolución No. 152-2009 de 2009-U3-24 publicada en el Registro Oficial No. 611 de 2009-06-12, el Directorio del INEN oficializó con el carácter de Obligatorio la Primera Revisión del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 "Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores"; y se encuentra en vigencia desde el 24 de marzo de 2009;

Que, en consideración a las solicitudes de los sectores interesados: importadores, ensambladores y la Cámara de la Industria Automotriz, de revisar algunos de los requisitos que contempla el RTE INEN 034:2009 (Primera Revisión), el Directorio del INEN estableció una Primera Modificatoria que fue publicada en el Registro Oficial No. 70 de 2009-11-19 y una Segunda Modificatoria que fue publicada en el Registro Oficial No. 227 de 2010-07-02;

Que, el Directorio del INEN, mediante Resolución No. 003-10/03/26, dispuso la Segunda Revisión del RTE INEN 034 en el respectivo Comité Técnico;

Que, una vez que el respectivo Comité Técnico culminó con el proyecto de la Segunda Revisión del RTE INEN 034, el Directorio del INEN en su reunión ordinaria efectuada el 29 de octubre de 2010, conoció y aprobó con el carácter de Obligatorio la oficialización del mencionado reglamento;

Que, por disposición del Directorio del INEN, el Presidente del Directorio debe proceder a la oficialización con el carácter de **OBLIGATORIO**, mediante su publicación en el Registro Oficial de la Segunda Revisión del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 "Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores"; y,

En ejercicio de las facultades que le concede la Ley.

#### **RESUELVE:**

**ARTÍCULO 1°:** Oficializar con el carácter de OBLIGATORIO la Segunda Revisión del siguiente:

Reglamento Técnico Ecuatoriano **RTE INEN 034**  
"Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores".

#### **1. OBJETO**

**1.1** Este Reglamento Técnico Ecuatoriano establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los vehículos automotores con la finalidad de prevenir los riesgos para la salud, la vida de las personas y evitar prácticas que puedan inducir a error a los usuarios.

#### **2. CAMPO DE APLICACIÓN**

**2.1** Este Reglamento Técnico Ecuatoriano se aplica a todo vehículo que va a ingresar al parque automotor ecuatoriano, sean importados o ensamblados en el país, o por importación temporal para lo cual deben contener los elementos mínimos de seguridad obligatorios especificados en el numeral 4, con excepción de los vehículos prototipos destinados para las ensambladoras o comercializadoras para pruebas del comportamiento del motor o de exhibición y que no serán comercializados.

**2.2** Este Reglamento Técnico Ecuatoriano no aplica a vehículos de transporte ferroviario, equipo caminero y agrícola y a vehículos de competencia deportiva.

**2.3** Los vehículos objeto del presente Reglamento Técnico Ecuatoriano se encuentran comprendidos en la siguiente clasificación arancelaria:

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
8701.20.00.80	-- En CKD
8709.20.00.90	-- Los demás
<b>87.02</b>	<b>Vehículos automóbiles para transporte de diez o más personas, incluido el conductor</b>
8702.10	- Con motor de émbolo (pistón), de encendido por compresión (Diesel o semi-Diesel)
8702.10.10	-- Para el transporte de un máximo de 16 personas, incluido el conductor:
8702.10.10.80	--- En CKD
8702.10.10.90	--- Los demás
8702.10.90	-- Los demás:
8702.10.90.80	--- En CKD
8702.10.90.90	--- Los demás
8702.90	- Los demás:
8702.90.10	-- Trolebuses:
8702.90.10.80	--- En CKD
8702.90.10.90	--- Los demás
8702.90.91	-- Los demás:
	--- Para el transporte de un máximo de 16 personas, incluido el conductor:
8702.90.91.80	---- En CKD
8702.90.91.90	---- Los demás
8702.90.99	-- Los demás:
8702.90.99.80	---- En CKD
8702.90.99.90	---- Los demás
<b>87.03</b>	<b>Automóviles de turismo y demás vehículos automóbiles concebidos principalmente para transporte de personas (excepto los de la partida 87.02), incluidos los del tipo familiar ("break" o "station wagon") y los de carreras</b>
8703.10.00.00	- Vehículos especialmente concebidos para desplazarse sobre nieve; vehículos especiales para transporte de personas en campos de golf y vehículos similares:
	- Los demás vehículos con motor de émbolo (pistón) alternativo, de encendido por chispa:
8703.21.00	-- De cilindrada inferior o igual a 1.000 cm <sup>3</sup>
8703.21.00.80	--- En CKD
8703.21.00.90	--- Los demás
8703.22	-- De cilindrada superior a 1.000 cm <sup>3</sup> pero inferior o igual a 1.500 cm <sup>3</sup>
8703.22.10	--- Camperos (4x4):
8703.22.10.08	---- En CKD
8703.22.10.90	---- Los demás
8703.22.90	--- Los demás:
8703.22.90.80	---- En CKD
8703.22.90.90	---- Los demás
8703.23	-- De cilindrada superior a 1.500 cm <sup>3</sup> pero inferior o igual a 3.000 cm <sup>3</sup>
8703.23.10	--- Camperos (4x4):
8703.23.10.80	---- En CKD
8703.23.10.90	---- Los demás
8703.23.90	--- Los demás:
8703.23.90.80	---- En CKD
8703.23.90.90	---- Los demás
8703.24	-- De cilindrada superior a 3.000 cm <sup>3</sup>
8703.24.10	--- Camperos (4x4):

8703.24.10.80	--- En CKD
8703.24.10.90	--- Los demás
8703.24.90	--- Los demás:
8703.24.90.80	--- En CKD
8703.24.90.90	--- Los demás
	- Los demás vehículos con motor de émbolo (pistón), de encendido por compresión (Diesel o semi-Diesel):
	-- De cilindrada inferior o igual a 1.500 cm <sup>3</sup> :
8703.31	--- Camperos (4x4):
8703.31.10	--- En CKD
8703.31.10.80	--- Los demás
8703.31.10.90	--- Los demás:
8703.31.90	--- En CKD
8703.31.90.80	--- Los demás
8703.31.90.90	-- De cilindrada superior a 1.500 cm <sup>3</sup> pero inferior o igual a 2.500 cm <sup>3</sup> :
8703.32	--- Camperos (4x4):
8703.32.10	--- En CKD
8703.32.10.80	--- Los demás
8703.32.10.90	--- Los demás:
8703.32.90	--- En CKD
8703.32.90.80	--- Los demás
8703.32.90.90	-- De cilindrada superior a 2.500 cm <sup>3</sup> :
8703.33	--- Camperos (4x4):
8703.33.10	--- En CKD
8703.33.10.80	--- Los demás
8703.33.10.90	--- Los demás:
8703.33.90	--- En CKD
8703.33.90.80	--- Los demás
8703.33.90.90	--- Los demás:
8703.90.00	- Los demás:
8703.90.00.80	-- En CKD
8703.90.00.90	-- Los demás
<b>8704</b>	<b>Vehículos automóbiles para transporte de mercancías</b>
8704.10.00	- Volquetes automotores concebidos para utilizarlos fuera de la red de carretera
8704.10.00.80	-- En CKD
8704.10.00.90	-- Los demás
	- Los demás, con motor de émbolo (pistón), de encendido por compresión (Diesel o semi-Diesel):
	-- De peso total con carga máxima inferior o igual a 5 t:
8704.21	--- inferior o igual a 4,537t:
8704.21.10	--- En CKD
8704.21.10.80	--- Los demás
8704.21.10.90	--- Los demás:
8704.21.90	--- En CKD
8704.21.90.80	--- Los demás
8704.21.90.90	-- De peso total con carga máxima superior a 5 t pero inferior o igual a 20 t:
8704.22	--- inferior o igual a 6,2t:
8704.22.10	--- En CKD
8704.22.10.80	--- Los demás
8704.22.10.90	--- Superior a 6,2 t, pero inferior o igual a 9,3 t:
8704.22.20	--- En CKD
8704.22.20.80	--- Los demás
8704.22.20.90	--- Superior a 9,3 t:
8704.22.90	--- En CKD
8704.22.90.80	--- Los demás
8704.22.90.90	---

8704.23.00	-- De peso total con carga máxima superior a 20 t:
8704.23.00.80	--- En CKD
8704.23.00.90	--- Los demás
	- Los demás, con motor de émbolo (pistón), de encendido por chispa:
8704.31	-- De peso total con carga máxima inferior o igual a 5 t:
8704.31.10	--- Inferior o igual a 4,537 t:
8704.31.10.80	---- En CKD
8704.31.10.90	--- Los demás:
8704.31.90	--- Los demás
8704.31.90.80	---- En CKD
8704.31.90.90	---- Los demás
8704.32	-- De peso total con carga máxima superior a 5 t:
8704.32.10	--- Inferior o igual a 6,2 t:
8704.32.10.80	---- En CKD
8704.32.10.90	---- Los demás
8704.32.20	--- Superior a 6,2 t, pero inferior a 9,3 t:
8704.32.20.80	---- En CKD
8704.32.20.90	---- Los demás
8704.32.90	Superior a 9,3 t:
8704.32.90.80	---- En CKD
8704.32.90.90	---- Los demás
8704.90.00	- Los demás:
8704.90.00.80	-- En CKD
8704.90.00.90	-- Los demás
<b>87.05</b>	<b>Vehículos automóviles para usos especiales, excepto los concebidos principalmente para transporte de personas o mercancías (por ejemplo: coches para reparaciones (auxilio mecánico), camiones grúa, camiones de bomberos, camiones hormigonera, coches barredera, coches esparcidores, coches taller, coches radiológicos).</b>
8705.10.00.00	- Camiones grúa
8705.20.00.00	- Camiones automóviles para sondeo o perforación
8705.30.00.00	- Camiones de bomberos
8705.40.00.00	- Camiones hormigonera
8705.90	- Los demás:
	-- Coches barredera, regadores y análogos para la limpieza de vías públicas:
8705.90.11.00	--- Coches barredera
8705.90.19.00	--- Los demás
8705.90.20.00	-- Coches radiológicos
8705.90.90.00	-- Los demás
<b>8706.00</b>	<b>Chasis de vehículos automóviles de las partidas 87.01 a 87.05, equipados con su motor</b>
8706.00.10	- De vehículos de la partida 87.03:
8706.00.10.80	-- En CKD
8706.00.10.90	-- Los demás
	- De vehículos de las subpartidas 8704.21 y 8704.31
8706.00.21	-- De peso total con carga máxima inferior a 4,537 t:
8706.00.21.80	--- En CKD
8706.00.21.90	--- Los demás:
8706.00.29	-- Los demás:
8706.00.29.80	--- En CKD
8706.00.29.90	--- Los demás
	- Los demás:
8706.00.91	-- De vehículos de peso total con carga máxima superior a 5 t pero

	<i>inferior o igual a 6,2 t</i>
8706.00.91.80	--- En CKD
8706.00.91.90	--- Los demás
8706.00.92	-- De vehículos de peso total con carga máxima superior a 6,2 t
8706.00.92.80	--- En CKD
8706.00.92.90	--- Los demás
8706.00.99	-- Los demás:
8706.00.99.80	--- En CKD
8706.00.99.90	--- Los demás
<b>87.11</b>	<b>Motocicletas (incluidos los ciclomotores) y velocípedos equipados con motor auxiliar, con sidecar o sin él; sidecares.</b>
8711.10.00	- Con motor de émbolo (pistón) alternativo de cilindrada inferior o igual a 50 cm <sup>3</sup>
8711.10.00.10	-- En CKD
8711.10.00.90	-- Los demás
8711.20.00	- Con motor de émbolo (pistón) alternativo de cilindrada superior a 50 cm <sup>3</sup> pero inferior o igual a 250 cm <sup>3</sup> :
8711.20.00.10	-- En CKD
8711.20.00.90	-- Los demás
8711.30.00	- Con motor de émbolo (pistón) alternativo de cilindrada superior a 250 cm <sup>3</sup> pero inferior o igual a 500 cm <sup>3</sup> :
8711.30.00.10	-- En CKD
8711.30.00.90	-- Los demás
8711.40.00	- Con motor de émbolo (pistón) alternativo de cilindrada superior a 500 cm <sup>3</sup> pero inferior o igual a 800 cm <sup>3</sup> :
8711.40.00.10	-- En CKD
8711.40.00.90	-- Los demás
8711.50.00	- Con motor de émbolo (pistón) alternativo de cilindrada superior a 800 cm <sup>3</sup> :
8711.50.00.10	-- En CKD
8711.50.00.90	-- Los demás
8711.90.00	-- Los demás:
8711.90.00.10	-- En CKD
8711.90.00.90	-- Los demás

### 3. DEFINICIONES

**3.1** Para los efectos de este Reglamento Técnico Ecuatoriano, se adoptan las definiciones contempladas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 155, en la norma ISO 611, en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 011, las pertinentes del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 038 y las que a continuación se detallan:

**3.1.1 Asiento.** Estructura que puede anclarse a la carrocería del vehículo, que incluye la tapicería y los elementos de fijación, destinados a ser utilizados en un vehículo y diseñado ergonómicamente para la comodidad del pasajero (ver Anexo A).

**3.1.2 Asiento individual.** Diseñado y construido para el alojamiento de un pasajero sentado.

**3.1.3 Asiento doble.** Diseñado y construido para el alojamiento de dos pasajeros sentados.

**3.1.4 Asiento fijo.** Asiento de un solo cuerpo rígido que puede permitir movimiento de sus componentes, su estructura debe anclarse a la carrocería del vehículo, éste asiento incluye la tapicería y los elementos de fijación.

**3.1.5 Asiento abatible.** Asiento cuyo espaldar gira con relación a su base y/o la misma con relación al punto de anclaje, pudiendo ser complementado con un movimiento de traslación en el sentido longitudinal del vehículo.

**3.1.6 Asiento plegable.** Asiento auxiliar destinado al uso ocasional y que normalmente esta plegado.

**3.1.7 Banca.** Asiento de un solo cuerpo diseñado y construido para el alojamiento de dos o más pasajeros sentados.

**3.1.8 Protección para impacto lateral.** Sistema o elemento de seguridad que minimiza los daños ocasionados a los ocupantes en caso de impacto lateral.

**3.1.9 Cinturones de seguridad tensables.** Son los dispositivos de retención personal consistentes en una banda de gran resistencia sujeta en dos o tres puntos de ajuste manual, que tiene como objetivo amortiguar la desaceleración ante una frenada brusca o impacto.

**3.1.10 Cinturones de seguridad autotensables.** Son los dispositivos de retención personal consistentes en una banda de gran resistencia sujeta en dos o tres puntos de ajuste automático, que tienen como objetivo amortiguar la desaceleración ante una frenada brusca o impacto.

**3.1.11 Chasis.** Armazón del vehículo que comprende el bastidor, ruedas, transmisión, con o sin motor, excluida la carrocería y todos los accesorios necesarios para acomodar al conductor, pasajeros o carga.

**3.1.12 Chasis compacto o autoportante.** Su estructura metálica está construida por la unión de elementos de chapa de diferentes formas y espesores, en la cual la chapa externa del vehículo soporta algo o toda la carga estructural del vehículo.

**3.1.13 Diseño original.** Comprende los planos, normas técnicas de fabricación y demás documentos técnicos en los cuales se sustentan los requisitos del diseño de origen del vehículo.

**3.1.14 Espacio de supervivencia.** Espacio al interior del vehículo para proteger al máximo la supervivencia de los ocupantes en caso de accidente del vehículo

**3.1.15 Protección para impacto lateral.** Sistema o elemento de seguridad que minimiza los daños ocasionados a los ocupantes en caso de impacto lateral.

**3.1.16 Proveedor.** Toda persona natural o jurídica de carácter público o privado que desarrolle actividades de producción, fabricación, importación, construcción, distribución, alquiler o comercialización de bienes, así como prestación de servicios a consumidores, por las que se cobre precio o tarifa. Esta definición incluye a quienes adquieran bienes o servicios para integrarlos a procesos de producción o transformación, así como a quienes presten servicios públicos por delegación o concesión.

**3.1.17 Tacógrafo.** Dispositivo de registro o almacenamiento de parámetros de funcionamiento y operación de vehículos, destinado a servir como fuente de información para fines de seguridad en la transportación

**3.1.18 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).** Es un sistema global de navegación por satélite que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave.

**3.1.19 Limitador de velocidad.** Dispositivo cuya función principal consiste en prevenir que el vehículo sobrepase el límite máximo de velocidad establecido por la autoridad competente.

---

#### 4. REQUISITOS DEL PRODUCTO

##### 4.1 Dispositivos de alumbrado y de señalización luminosa y de visibilidad

4.1.1 Los dispositivos de alumbrado y de señalización luminosa, y de visibilidad deben cumplir con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 155 vigente; o las normas o directivas equivalentes que le sean aplicables.

##### 4.2 Condiciones ergonómicas:

###### 4.2.1 Asientos y sus anclajes

4.2.1.1 Todos los asientos de los vehículos automotores deben tener apoyo cabezas. Se exceptúan de esta obligación las motocicletas, los asientos de pasajeros de autobuses de transporte urbano, los asientos plegables, los puestos intermedios de bancas, los asientos ubicados en sentido paralelo al eje longitudinal del vehículo y los asientos posteriores de furgonetas destinadas al transporte escolar. Los asientos y el apoyo cabezas deben cumplir con los requisitos establecidos en las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN vigentes (ver nota 1).

4.2.1.2 La estructura y fijación de los asientos debe cumplir con los requisitos establecidos en las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN vigentes (ver nota 1).

##### 4.3 Frenos

4.3.1 Los vehículos automotores de cuatro o más ruedas deben disponer al menos dos sistemas de frenos de acción independientes uno del otro (servicio y estacionamiento) y por lo menos uno de estos debe accionar sobre todas las ruedas del vehículo y debe cumplir con los requisitos establecidos en las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN vigentes (ver nota 1).

4.3.2 Los vehículos automotores de dos o tres ruedas o cuadrones deben contar como mínimo de dos sistemas de frenado, uno que actúe sobre la rueda o ruedas delanteras y otro que actúe sobre la rueda o ruedas posteriores.

4.4 Neumáticos. Los neumáticos de vehículos automotores incluido el de emergencia deben cumplir con lo establecido en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 011, o las normas o directivas equivalentes que le sean aplicables.

4.5 Suspensión. Los vehículos automotores deben disponer de un sistema de suspensión en todos sus ejes o ruedas, respetando los diseños originales del fabricante.

4.6 Dirección. Los vehículos automotores deben disponer de un sistema de dirección, respetando los diseños originales del fabricante.

4.7 Chasis. El chasis para ser cabinado o recibir una carrocería no debe ser modificado y debe respetar los diseños originales del fabricante.

NOTA 1 En caso de no existir Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN, se deben utilizar las siguientes normas o directivas que le sean aplicables: Regulaciones del Código Federal para la Homologación de Seguridad Vehicular, de los Estados Unidos de América (FR 49 – 571); Regulaciones para la Homologación Vehicular de Tipo de la Comunidad Económica Europea (Type Approval CEE); Regulaciones de Seguridad para Vehículos de Carretera para la Certificación de Japón (S.R.R.V); Regulaciones de Seguridad para Vehículos Motorizados de Corea (K.M.V.S.S); Regulaciones de Seguridad Vehicular del Consejo Nacional de Tránsito de Brasil (CONTRAN). Podrán ser aceptadas como normas equivalentes a las normas antes indicadas, las reconocidas por la autoridad nacional competente.

4.7.1 Para la fabricación o ensamblado de buses para pasajeros el chasis debe ser de diseño original para transporte de pasajeros, sin modificaciones, aditamentos o extensiones.

**4.8 Ventilación.** Todo vehículo, con la excepción de las motocicletas, debe disponer de un sistema de ventilación con regulación de temperatura y control de dispersión al habitáculo de las personas, el cual debe incluir un dispositivo antivaho para el parabrisa frontal.

**4.9 Vidrios.** Los vidrios que se utilicen en los vehículos deben ser vidrios de seguridad para automotores y deben cumplir con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 669 vigente, o las normas o directivas equivalentes que le sean aplicables.

#### **4.10 Cinturones de seguridad**

**4.10.1** Todo vehículo automotor, excepto las motocicletas y los asientos de los pasajeros de buses urbanos debe disponer de cinturones de seguridad de acuerdo a la siguiente aplicación:

**4.10.1.1** Cinturón de seguridad de tres puntos en los asientos frontales laterales y posteriores laterales de todos los vehículos, excepto en puestos posteriores de furgonetas y los adyacentes a puertas corredizas

**4.10.1.2** Cinturón de seguridad de al menos dos puntos en asientos de base plegable de uso ocasional y en todos los demás asientos.

**4.10.2** Los buses de pasajeros intraprovinciales e interprovinciales deben cumplir con lo dispuesto en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 043

**4.10.3** Los buses de pasajeros urbanos deben cumplir con lo dispuesto en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2205 y en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 038

**4.10.4** Todos los vehículos destinados al transporte escolar clasificados en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 041 deben cumplir con lo establecido en el numeral 4.10.1 de este reglamento

**4.10.5** Los cinturones de seguridad deben cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN vigentes (ver nota 1).

#### **4.11 Parachoques frontal y posterior**

**4.11.1** Los vehículos automotores, excepto chasis y motocicletas, deben disponer de parachoques frontal y posterior, respetando los diseños originales del fabricante. Los tractocamiones dispondrán únicamente el parachoques frontal.

**4.11.2** Se prohíbe el uso de elementos de defensa adicionales a los originales del vehículo (tumba burros, aumentos a parachoques originales, ganchos o bolas, porta remolques no removibles que sobresalgan de la carrocería).

#### **4.12 Barras antiempotramiento posteriores para vehículos pesados**

**4.12.1** Los vehículos pesados (autobuses (ómnibus), camión, tanquero, volqueta o tractocamión (trailer), unidades de carga, etc.), deben estar contruidos y/o equipados de manera que ofrezcan en todo su ancho en la parte posterior una protección eficaz contra la incrustación de vehículos livianos de pasajeros, debajo de la plataforma de carga del vehículo pesado. Estos elementos deben cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN aplicables vigentes (ver nota 1).

**4.13 Protección para impacto lateral.** Los vehículos automotores livianos deben disponer de protección para impacto lateral.

**4.14 Bolsas de aire (AIR BAGS).** Los vehículos de transporte de pasajeros de 4 ruedas para un máximo de 8 pasajeros además del conductor, cuyo peso bruto vehicular no supere los 2 500 kg y los vehículos destinados al transporte de mercancías con un peso bruto vehicular hasta 3 500 kg deben tener como mínimo dos bolsas de aire frontal, una para el conductor y otra para el pasajero acompañante, respetando los diseños originales del fabricante y cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN aplicables vigentes (ver nota 1).

**4.14.1** Las bolsas de aire tanto para el conductor como para el acompañante serán obligatorias para vehículos desde año modelo 2014.

**4.15 Avisador acústico.** Será el original del vehículo y se prohíbe el cambio por otro avisador acústico de mayor nivel de ruido que los permitidos por las normas ambientales o las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN vigentes (ver nota 1).

**4.16 Cerraduras con sistema de bloqueo de apertura interior.** Todo vehículo automotor liviano que disponga de puertas posteriores laterales, debe tener en las mismas un sistema de bloqueo de apertura interior independiente del sistema de seguridad convencional, para prevenir la apertura involuntaria de las puertas.

**4.17 Capó.** Para los vehículos automotores que dispongan de capó, estos deben contener un dispositivo manual de seguridad que evite aperturas involuntarias, adicional al control remoto de apertura.

**4.18 Tacógrafo.** Será obligatorio en los vehículos que determine la autoridad competente y debe cumplir con los requisitos establecidos en las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN vigentes (ver nota 1).

**4.19 Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).** Serán obligatorios en los vehículos que determine la autoridad competente y deben cumplir con los requisitos establecidos en las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN vigentes (ver nota 1).

**4.20 Limitador de velocidad.** Será obligatorio en los vehículos que determine la autoridad competente y debe cumplir con los requisitos establecidos en las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN vigentes (ver nota 1).

**4.21** El Tacógrafo, limitador de velocidad y el Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) pueden ser colocados en origen, o en destino siempre que la instalación se efectuó en talleres autorizados o calificados para tal efecto por la autoridad competente

**4.21.1** Estos dispositivos deben ser compatibles en funcionamiento, registro y entrega de información.

## 5. ENSAYOS PARA EVALUAR LA CONFORMIDAD

**5.1** Los métodos de ensayo para evaluar la conformidad de los elementos de seguridad indicados en el presente Reglamento Técnico Ecuatoriano, según corresponda, deben ser los especificados en las normas nacionales o extranjeras referidas.

## 6. DOCUMENTOS NORMATIVOS CONSULTADOS O DE REFERENCIA

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 155. *Vehículos automotores. Dispositivos para mantener o mejorar la visibilidad.*

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 669. *Vidrios de seguridad para automotores. Requisitos.*

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 205. *Vehículos automotores. Bus urbano. Requisitos*

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 611. *Vehículos automotores. Frenado de vehículos automovilísticos y de sus remolques. Vocabulario*

Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 011. *Neumáticos*

Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 038. *Bus urbano*

Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 043. *Bus interprovincial e intraprovincial*

Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 041. *Vehículos de transporte escolar*

#### **7. DEMOSTRACIÓN DE LA CONFORMIDAD CON EL PRESENTE REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO**

**7.1** Los importadores, fabricantes y ensambladores nacionales de vehículos automotores deben cumplir con lo dispuesto en el presente Reglamento Técnico Ecuatoriano y con las demás disposiciones establecidas en otras leyes y reglamentos vigentes aplicables a estos vehículos.

**7.2** La demostración de la conformidad con el presente Reglamento Técnico Ecuatoriano debe realizarse mediante la presentación de un certificado de conformidad expedido por un organismo acreditado o designado en el Ecuador, de acuerdo con lo que establece la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, o por aquellos que se hayan emitido en relación a los acuerdos vigentes de reconocimiento mutuo con el país.

**7.2.1** La declaración del fabricante será una manera válida de la demostración de la conformidad de los vehículos automotores con este Reglamento Técnico Ecuatoriano ante el Organismo acreditado o designado en el Ecuador

#### **8. ORGANISMOS ENCARGADOS DE LA EVALUACION Y LA CERTIFICACIÓN DE LA CONFORMIDAD**

**8.1** La evaluación de la conformidad y la certificación de la conformidad exigida en el presente Reglamento Técnico Ecuatoriano debe ser realizada por entidades debidamente acreditadas o designadas de acuerdo con lo establecido en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

**8.2** En el caso de que en el Ecuador no existan laboratorios acreditados para este objeto, el organismo certificador utilizará, bajo su responsabilidad, datos de un laboratorio designado por el Consejo Nacional de la Calidad, CONCAL.

#### **9. AUTORIDAD DE FISCALIZACIÓN Y/O SUPERVISIÓN.**

**9.1** Las instituciones del estado que en función de sus leyes constitutivas tengan facultades de fiscalización y supervisión son las autoridades competentes para efectuar las labores de vigilancia y control del cumplimiento de los requisitos del presente Reglamento Técnico Ecuatoriano, de acuerdo con lo que establece la Ley Orgánica de Defensa del Consumidor y la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

#### 10. TIPO DE FISCALIZACIÓN Y/O SUPERVISIÓN

10.1 La fiscalización y/o supervisión del cumplimiento del presente Reglamento Técnico Ecuatoriano lo realizarán las autoridades pertinentes legalmente reconocidas en materia de transporte, previamente a la matriculación o a que entren en circulación los vehículos automotores.

#### 11. RÉGIMEN DE SANCIONES

11.1 Los importadores, fabricantes y ensambladores nacionales de estos vehículos que incumplan con lo establecido en el presente Reglamento Técnico Ecuatoriano recibirán las sanciones previstas en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad y demás leyes vigentes, según el riesgo que implique para los usuarios y la gravedad del incumplimiento.

#### 12. RESPONSABILIDAD DE LOS ORGANISMOS DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

12.1 Los organismos de certificación o demás instancias de control que hayan extendido certificados de conformidad o informes erróneos o que hayan adulterado deliberadamente los datos de los resultados o de los certificados, tendrán responsabilidad administrativa, civil, penal y/o fiscal de acuerdo con lo establecido en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad y demás leyes vigentes.

#### 13. REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN

13.1 Con el fin de mantener actualizadas las disposiciones del presente Reglamento Técnico Ecuatoriano, el Instituto Ecuatoriano de Normalización-INEN, lo revisará en un plazo no mayor a cinco (5) años contados a partir de la fecha de su entrada en vigencia, para incorporar avances tecnológicos o requisitos adicionales de seguridad para la protección de la salud, la vida y el ambiente, de conformidad con lo establecido en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

**ARTICULO 2º.** Este Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 (Segunda Revisión), reemplaza al RTE INEN 034:2009 (Primera Revisión), y entrará en vigencia a partir de la fecha de su promulgación en el Registro Oficial.

COMUNIQUESE Y PUBLIQUESE en el Registro Oficial.

Dado en Quito, Distrito Metropolitano, 2010-11-30

**Ing. Diego Cueva**  
**PRESIDENTE DEL DIRECTORIO**

**Ing. Bolívar Aguilera, M. Sc.**  
**SECRETARIO DEL DIRECTORIO**

ANEXO A

<p><b>Asiento Individual</b></p>		
<p><b>Asiento Abatible</b></p>		
<p><b>Asiento Plegable</b></p>		
<p><b>Banca</b></p>		

<b>INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA</b>	
<b>Documento:</b> RTE INEN 034	<b>TÍTULO: ELEMENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES.</b>
<b>Código:</b> MC 08.05-902	
<b>Segunda revisión</b>	
<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio:	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior del Directorio 2009-01-15 Oficialización con el Carácter de OBLIGATORIO por Resolución No. 152-2009 de 2009-03-24 publicado en el Registro Oficial No. 611 de 2009-06-12  Fecha de iniciación del estudio:
<b>Fechas de consulta pública: de</b>	
a	
<b>Subcomité Técnico: Comité Técnico de Reglamentación "Elementos de seguridad en vehículos automotores"</b>	
Fecha de iniciación: 2010-04-30	Fecha de aprobación: 2010-09-17
<b>Integrantes del Subcomité Técnico:</b>	
<b>NOMBRES:</b>	<b>INSTITUCIÓN REPRESENTADA:</b>
Clemente Ponce (Presidente)	AEADE
Marcelo Llagui	CCICEV- ESCUELA POLITÉC. NAC.
Giovanny Pillajo	CCICEV-ESCUELA POLITEC. NAC.
Alex Pillajo	CCICEV-ESCUELA POLITEC. NAC.
Angel Portilla	CCICEV-ESCUELA POLITEC. NAC.
Christian Guachamin	CCICEV-ESCUELA POLITEC. NAC.
Ricardo Rosales	AUTOMOTORES Y ANEXOS (AYASA)
Jorge Cevallos	AUTOMOTORES Y ANEXOS (AYASA)
José Camargiani	COMISION DE TRANS. DEL GUAYAS
Raúl Paillacho	TEOJAMA COMERCIAL S.A
Edison Navas	TOYOTA DEL ECUADOR
Vinicio Manzano	CNNTTSV-DNCTSU
Paul Arteaga	INTRANSFISUM
George Naranjo	SERVIFAST/FUL-MAR
Mario Iván Aguirre	SERFAS CIA.LTDA
Flavio Cotacachi	CNNTTSV
María Victoria López	DNCTSV
Fernando Salazar	TOYOTA
Roberto Jiménez	AYMESA
Ramiro Gutiérrez	AYMESA
Dario Bolaños	MAYESA
Alex Loza	MARESA
Iván Paredes	CINAE
Amira Cerezo	MTOP
Daniel Manjares	CORPAIRE
Edgar Subia	MARESA
Fernando Quito	MIPRO-CONCAL
Marcelo Aguilar	MIPRO-CONCAL
Jaime Galán M.	MIPRO
Ramiro Ruano	MIPRO
Amira Cerezo	MTOP-DTTTSV
Antonio Chanoero	EPMMOP
Fabian Narvez	EPMMOP
Jhenny Vilafuila	EPMMOP
Alex Guzmán	CORPAIRE
José Palacios A.	PROCELEC
José Palacios V.	PROCELEC
Karla Rosero	HUNTER
José Gómez	ANETA
Andrés Zamátraga	GM
Mario Lasso	OBG
Ernesto Timpe	OBG
Mario Lasso	OBG
Andrea Montufar	OBG
Rolando Díaz	CTG
Fernando Silva	CTG
Fuiste Lara (Secretario Técnico)	INEN
<b>Otros números: Este RTE INEN 034-2010 (Segunda Revisión) reemplaza al RTE INEN 034-2009 (Primera Revisión)</b>	
<b>El Directorio del INEN aprobó este proyecto de reglamento en sesión de 2010-10-29</b>	
Oficializada como: Obligatorio	Por Resolución No. 134-2010 de 2010-11-30
Registro Oficial No. 352 de 2010-12-30	

---

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno ES-29 y Av. 6 de Diciembre**  
Cajilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2) 2 501826 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815  
Dirección General: E-Mail: [direccion@inen.gov.ec](mailto:direccion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Normalización: E-Mail: [normalizacion@inen.gov.ec](mailto:normalizacion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Certificación: E-Mail: [certificacion@inen.gov.ec](mailto:certificacion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Verificación: E-Mail: [verificacion@inen.gov.ec](mailto:verificacion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: [tsenosti@inen.gov.ec](mailto:tsenosti@inen.gov.ec)  
Regional Guayas: E-Mail: [inenguayas@inen.gov.ec](mailto:inenguayas@inen.gov.ec)  
Regional Azuay: E-Mail: [inencuayas@inen.gov.ec](mailto:inencuayas@inen.gov.ec)  
Regional Chimborazo: E-Mail: [inenriobamba@inen.gov.ec](mailto:inenriobamba@inen.gov.ec)  
URL: [www.inen.gov.ec](http://www.inen.gov.ec)