



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ANCLAJES DE ASIENTOS DE UN AUTOBÚS INTERPROVINCIAL BAJO CONDICIONES DE IMPACTO FRONTAL Y LATERAL EN LA EMPRESA METÁLICA PILLAPA”**

**ALCOSER NAULA LUIS SAUL  
MORALES VILLARROEL EDISON EDUARDO**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2017**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2016-05-06

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**LUIS SAUL ALCOSER NAULA**  
**EDISON EDUARDO MORALES VILLARROEL**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ANCLAJES DE ASIENTOS DE UN  
AUTOBÚS INTERPROVINCIAL BAJO CONDICIONES DE IMPACTO  
FRONTAL Y LATERAL EN LA EMPRESA METÁLICA PILLAPA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

\_\_\_\_\_  
Ing. Carlos José Santillán Mariño.  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

\_\_\_\_\_  
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla.  
**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_  
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba.  
**ASESOR DE TESIS**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** LUIS SAUL ALCOSER NAULA

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ANCLAJES DE ASIENTOS DE UN AUTOBÚS INTERPROVINCIAL BAJO CONDICIONES DE IMPACTO FRONTAL Y LATERAL EN LA EMPRESA METÁLICA PILLAPA”

**Fecha de Examinación:** 2017-02-07

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. José Francisco Pérez Fiallos  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** EDISON EDUARDO MORALES VILLARROEL

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ANCLAJES DE ASIENTOS DE UN AUTOBÚS INTERPROVINCIAL BAJO CONDICIONES DE IMPACTO FRONTAL Y LATERAL EN LA EMPRESA METÁLICA PILLAPA”

**Fecha de Examinación:** 2017-02-07

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla. <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba. <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. José Francisco Pérez Fiallos  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Luis Saul Alcoser Naula

---

Edison Eduardo Morales Villarroel

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Luis Saul Alcoser Naula y Edison Eduardo Morales Villarroel, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Luis Saul Alcoser Naula**  
C.I: 180454049-8

---

**Edison Eduardo Morales**  
C.I:180476956-6

## **DEDICATORIA**

A mis padres por ser el pilar fundamental en mi vida, con su apoyo incondicional, por sus consejos, sus valores y confianza para cumplir mis sueños, porque sin ellos nada de esto hubiera sido posible. A mis hermanos, cuñada y primo que son participes en todo este tiempo con su compañía y apoyo moral y a todos mis familiares que me apoyaron de alguna manera para la culminación de este trabajo de titulación.

A esa persona en especial que permaneció a mi lado en todo el transcurso de mi etapa universitaria y por su amor infinito, tú sabes quién eres, esto también es por ti NOCTA.

**Luis Saúl Alcoser Naula**

A mis padres Aníbal y Alexandra.

A mis hermanos Luis y Josué.

Por creer en mí, brindarme amor y apoyo incondicional en los momentos más difíciles que se presentaron a lo largo de esta etapa para ver hecho realidad este sueño que tiempo atrás me propuse y hoy lo estoy cumpliendo.

**Edison Morales Villarroel**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la sabiduría y protegerme, levantándome siempre en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis padres por el esfuerzo realizado día a día para que pueda cumplir este sueño, viviré eternamente agradecidos, ya que este triunfo es gracias a ustedes y a todos los que fueron ayuda para culminar este proyecto.

A mi tutor Ing. Edwin Pozo y Asesor Ing. Miguel Aquino.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

**Luis Saúl Alcoser Naula**

A Dios por brindarme la sabiduría suficiente para poder finalizar este largo camino, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

A la empresa Metálica Pillapa en especial a Leonardo que dio todas las facilidades para poder realizar esta investigación.

A mi tutor Ing. Edwin Pozo, a mi asesor Ing. Miguel Aquino por brindarme los conocimientos necesarios para la realización de este proyecto. A todos mis familiares que con sus palabras de apoyo contribuyeron para cumplir esta meta, un sincero agradecimiento para todos los amigos, compañeros y personas que me apoyaron durante la etapa estudiantil.

**Edison Morales Villarroel**



## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 <i>Objetivo general.</i> ....	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	4
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Marco conceptual .....	5
2.2 Marco teórico.....	6
2.2.1 <i>Asientos de pasajeros.</i> .....	6
2.2.2 <i>Tipos de asientos</i> .....	7
2.2.3 <i>Anclajes.</i> .....	9
2.2.4 <i>Resistencia de asientos y sus anclajes.</i> .....	10
2.2.5 <i>Ensayos para la verificación de la resistencia de los asientos y sus anclajes.</i> .....	11
2.2.6 <i>Tipos de ensayos</i> .....	11
2.2.7 <i>Ensayos Dinámicos.</i> .....	11
2.2.8 <i>Condiciones para el ensayo.</i> .....	12
2.2.9 <i>Simulación del Impacto.</i> .....	12
2.2.10 <i>Ensayos Estáticos.</i> .....	13
2.2.11 <i>Condiciones para el ensayo.</i> .....	13
2.2.12 <i>Aparato de ensayo.</i> .....	14
2.2.13 <i>Procedimiento del ensayo.</i> .....	14
2.2.14 <i>Impacto frontal.</i> .....	16
2.2.15 <i>Instalación y preparación del vehículo para un ensayo de impacto frontal</i> .....	17
2.2.16 <i>Alineación del vehículo con respecto a la barrera.</i> .....	18
2.2.17 <i>Estado del vehículo</i> .....	19
2.2.18 <i>Asientos.</i> .....	19
2.2.19 <i>Propulsión y trayectoria del vehículo.</i> .....	20
2.2.20 <i>Velocidad de ensayo.</i> .....	20
2.2.21 <i>Impacto lateral.</i> .....	20
2.2.22 <i>Instalación y preparación del vehículo para un ensayo de impacto lateral</i> .....	21
2.2.23 <i>Condiciones de ensayo.</i> .....	21

2.2.23	<i>Velocidad de ensayo.</i>	23
2.2.24	<i>Método de Elementos Finitos.</i>	24
2.2.25	<i>Descripción general del MEF (Método de los Elementos Finitos).</i>	25
2.2.26	<i>Preproceso (Preparación del problema).</i>	25
2.2.27	<i>Proceso (Solución del problema).</i>	26
2.2.28	<i>Postproceso (Análisis y evaluación de los resultados).</i>	26
<b>3.</b>	<b>SIMULACIÓN DE IMPACTO FRONTAL Y LATERAL PARA ANCLAJES DE ASIENTO</b>	
3.1.	Obtención del modelo tridimensional de la estructura del asiento y autobús.	27
3.2.	Materiales y perfiles utilizados en los asientos.	29
3.2.1.	<i>Elementos utilizados en el ensamble del asiento al bus.</i>	30
3.2.2.	<i>Dimensiones del asiento.</i>	30
3.3.	Definición del Preproceso.	31
3.3.1.	<i>Generación de la geometría.</i>	31
3.3.2.	<i>Condiciones Generales para el modelado de la estructura.</i>	32
3.3.3.	<i>Materiales utilizados en la fabricación de carrocerías.</i>	34
3.4.	Generación de la malla	35
3.4.1.	<i>Generación de la malla impacto frontal y lateral.</i>	35
3.4.2.	<i>Criterio para evaluar el tipo de malla.</i>	37
3.4.3.	<i>Condiciones de borde para impacto frontal.</i>	40
3.4.4.	<i>Condiciones de borde para impacto lateral.</i>	41
3.5.	Proceso de la simulación.	43
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
4.1.	Definiciones de parámetros utilizados para evaluar el análisis de resultados.	44
4.1.1.	<i>Esfuerzo.</i>	44
4.1.2.	<i>Deformación</i>	44
4.1.3.	<i>Diagrama esfuerzo-deformación.</i>	45
4.2.	Operacionalización de variables.	47
4.3.	Postproceso de la simulación.	49
4.4.	Resultados del impacto frontal de la estructura del asiento a 56 Km/h.	49
4.5.	Validación de estudio computacional.	56
4.5.1.	<i>Control de Hourglass.</i>	56
4.5.2.	<i>Energía interna.</i>	57
4.6.	Resultados del impacto frontal de la estructura del asiento a 90 Km/h.	58
4.7.	Resultados de impacto lateral de la estructura del asiento a 50 Km/h	64
4.8.	Resultados del impacto frontal de la estructura del asiento a 90 Km/h.	70

<b>5.</b>	<b>REDISEÑO DE LOS ANCLAJES DE ASIENTO DE AUTOBÚS INTERPROVINCIAL</b>	
5.1.	Rediseño de los elementos del asiento .....	77
5.1.1.	<i>Pata de anclaje</i> .....	77
5.1.2.	<i>Anclaje al zócalo.</i> .....	79
5.1.3.	<i>Estructura del asiento</i> .....	80
5.2.	Simulación de impacto de la estructura del asiento modificado.....	81
5.3.	Resultados del impacto frontal de la estructura y modelo de anclajes del asiento propuesto a 56 Km/h.....	81
5.4.	Resultados del impacto lateral de la estructura y modelo de anclajes del asiento propuesto a 50 Km/h.....	88
5.5.	Construcción del prototipo de anclajes de asiento autobús interprovincial.....	94
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1.	Conclusiones.....	97
6.2.	Recomendaciones .....	98

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 3-1. Materiales utilizados en la estructura del asiento.....	30
Tabla 3-2. Elementos utilizados en el ensamblaje de asiento.....	30
Tabla 3-3. Propiedades mecánicas acero ASTM A36. ....	34
Tabla 4-1. Variables para determinar esfuerzos y deformaciones.....	48

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2-1. Asientos de pasajeros para servicio de transporte urbano.....	7
Figura 2-2. Asiento de pasajeros servicio de transporte interprovincial.....	8
Figura 2-3. Asientos de los pasajeros para bus interprovincial. ....	9
Figura 2-4. Configuración asientos tipo brasileño.....	9
Figura 2-5. Configuración anclajes autobús interprovincial.....	10
Figura 2-6. Ensayos dinámicos sobre asientos y anclajes. ....	10
Figura 2-7. Ensayos estáticos sobre asientos y anclajes. ....	11
Figura 2-8. Ensayo dinámico en un asiento doble. ....	12
Figura 2-9. Tipos de ensayos dinámicos en anclajes de asientos. ....	13
Figura 2-10. Ensayo estático.....	13
Figura 2-11. Aparato de ensayo estático.....	14
Figura 2-12. Ensayo estático para anclajes de asiento. ....	15
Figura 2-13. Impacto frontal.....	16
Figura 2-14. Representación de las energías que se producen en un impacto frontal. ...	17
Figura 2-15. Barrera de impacto. ....	18
Figura 2-16. Alineación del vehículo con respecto a la barrera. ....	18
Figura 2-17. Ensayo de impacto frontal de acuerdo al Reglamento 94 CEPE/ONU. ....	20
Figura 2-18. Impacto lateral.....	21
Figura 2-19. Diseño de compactador. ....	22
Figura 2-20. Parte superior del compactador.....	23
Figura 2-21. Carro impactador con barrera deformable. ....	23
Figura 2-22. Ensayo de impacto lateral Euroncap. ....	23
Figura 2-23. Sistema físico a analizar.....	25
Figura 3-1. Asiento de pasajeros autobús interprovincial.....	27
Figura 3-2. Modelado 3D de bus interprovincial modelo ALFA 700. ....	28
Figura 3-3. Vista lateral e isométrica de sección frontal. ....	28
Figura 3-4. Vista lateral e isométrica de sección lateral. ....	29
Figura 3-5. Elementos constitutivos del asiento. ....	29
Figura 3-6. Dimensiones de asiento servicio interprovincial. ....	31
Figura 3-7 Preparación de sección para impacto frontal. ....	32
Figura 3-8 Preparación de sección para impacto lateral. ....	32
Figura 3-9. Modelo CAD y modelo real asiento autobús interprovincial. ....	33
Figura 3-10. Anclajes de asiento autobús interprovincial, objeto de estudio. ....	33
Figura 3-11. Gráfica esfuerzo deformación acero estructural. ....	35
Figura 3-12. Generación de la malla para impacto frontal ....	36
Figura 3-13. Generación de la malla para impacto lateral. ....	36
Figura 3-14. Generación de la malla de los asientos ....	36
Figura 3-15. Gráfico estadístico calidad de malla impacto frontal.....	37
Figura 3-16. Gráfico calidad de malla impacto lateral. ....	38
Figura 3-17 Método del tamaño de celda. ....	39
Figura 3-18. Método del ángulo de desviación.....	40
Figura 3-19. Criterios de aceptabilidad de calidad de malla.....	40
Figura 3-20. Asignación de la velocidad para ensayo. ....	40
Figura 3-21. Condiciones de borde para impacto frontal. ....	41
Figura 3-22. Asignación de la velocidad para ensayo. ....	42

Figura 3-23. Condiciones de borde para impacto lateral. ....	42
Figura 3-24. Solución del impacto frontal y lateral. ....	43
Figura 4-1. Probeta de prueba para ensayo de tracción. ....	45
Figura 4-2. Curva esfuerzo vs. Deformación para un acero estructural. ....	46
Figura 4-3. Interfaz de Ls-PrePost. ....	49
Figura 4-4. Ingreso del modelo geométrico al Ls-PrePost modelo frontal. ....	50
Figura 4-5. Secuencia de imágenes de impacto frontal con asiento actual 56 km/h. ....	51
Figura 4-6. Distribución de esfuerzos en la sección para impacto frontal. ....	52
Figura 4-7. Esfuerzo de Von Mises en la pata de anclaje a 56 km/h. ....	53
Figura 4-8. Variación de esfuerzos de Von Mises elementos seleccionados. ....	53
Figura 4-9. Desplazamientos máximos de elementos seleccionados. ....	54
Figura 4-10. Fallo de sujeción en pata de anclaje a 56 Km/h. ....	54
Figura 4-11. Esfuerzo de Von Mises en anclaje unido al zócalo a 56 km/h. ....	55
Figura 4-12. Variación de energía cinética y interna impacto frontal a 56 km/h. ....	55
Figura 4-13. Energía Hourglass impacto frontal a 56 km/h. ....	56
Figura 4-14. Energía interna a 56 km/h. ....	57
Figura 4-15. . Energía interna y energía Hourglass impacto frontal a 56 km/h. ....	58
Figura 4-16. Distribución de esfuerzos a 90 km/h. ....	59
Figura 4-17. Secuencia de imágenes de impacto frontal con asiento original. ....	60
Figura 4-18. Esfuerzo de Von Mises en pata de anclaje a 90km/h. ....	61
Figura 4-19. Detalle de elementos seleccionados en anclajes. ....	61
Figura 4-20. Esfuerzo de V-M en elementos de pata de anclaje. ....	62
Figura 4-21. Desplazamiento de elementos seleccionados. ....	62
Figura 4-22. Esfuerzo de Von Mises en anclaje unido al zócalo a 90 km/h. ....	63
Figura 4-23. Variación de energía cinética y interna impacto frontal a 90 km/h. ....	63
Figura 4-24. . Energía hourglass en impacto frontal a 90km/h. ....	64
Figura 4-25. Vista general de estructura y bloque impactador. ....	65
Figura 4-26. Ingreso del modelo geométrico al Ls-PrePost modelo lateral. ....	65
Figura 4-27. Secuencia de imágenes impacto lateral para 50 km/h. ....	66
Figura 4-28. Distribución de esfuerzos en la sección para impacto lateral. ....	67
Figura 4-29. Deformación producida en el anclaje unido al sócalo a 50 km/h. ....	67
Figura 4-30. Deformación de V-M en anclaje del zócalo en impacto lateral 50 km/h. ....	68
Figura 4-31. Deformación de V-M en la pata de anclaje en impacto lateral 50 km/h. ....	68
Figura 4-32. Elementos críticos anclaje del zócalo en impacto lateral a 50 Km/h. ....	69
Figura 4-33. Esfuerzo de Von Mises de elementos críticos seleccionados. ....	69
Figura 4-34. Desplazamiento de elementos críticos seleccionados. ....	70
Figura 4-35. Gráfica de variación de energías para una velocidad de 50 km/h. ....	70
Figura 4-36. Secuencia de imágenes de impacto lateral con asiento original. ....	72
Figura 4-37. Esfuerzo de Von Mises en pata de anclaje a 90km/h. ....	73
Figura 4-38. Esfuerzo de Von Mises en anclaje unido al zócalo a 90 km/h. ....	73
Figura 4-39. Esfuerzos de Von Mises de elementos críticos. ....	74
Figura 4-40. Desplazamientos de elementos críticos. ....	74
Figura 4-41. Variación de energía cinética e interna impacto lateral a 90 km/h. ....	75
Figura 4-42. Energía hourglass en impacto frontal a 90km/h. ....	75
Figura 4-43. Variación energía interna a 90 km/h. ....	76
Figura 4-44. Energía interna y energía Hourglass impacto lateral a 90 km/h. ....	76
Figura 5-1. Alternativa 1 pata de anclaje. ....	78
Figura 5-2. Alternativa 2 pata de anclaje. ....	78
Figura 5-3. Alternativa 1 anclaje al zócalo. ....	79
Figura 5-4. Alternativa 2 anclaje al zócalo. ....	79

Figura 5-5. Alternativa 1 Rigidizadores .....	80
Figura 5-6. Alternativa 2 Rigidizadores. ....	80
Figura 5-7. Estructura del asiento propuesto a ensayar. ....	81
Figura 5-8. Visualización del modelo de anclaje propuesto para impacto frontal. ....	82
Figura 5-9. . Secuencia de imágenes con anclaje de asiento propuesto a 56 km/h.....	82
Figura 5-10. Esfuerzos sección para impacto frontal con la propuesta de anclajes.....	83
Figura 5-11. Esfuerzo de Von Mises en la pata de anclaje.....	84
Figura 5-12. Esfuerzo de Von Mises de los elementos críticos en la pata de anclaje. ...	84
Figura 5-13. Esfuerzo sistema de sujeción propuesto en anclaje del zócalo. ....	85
Figura 5-14. Esfuerzo de Von Mises de los elementos críticos anclaje del zócalo. ....	85
Figura 5-15. Variación de energía cinética e interna con modelo propuesto. ....	86
Figura 5-16. Energía Hourglass. ....	86
Figura 5-17. Energía interna. ....	87
Figura 5-18. Energía interna y energía Hourglass impacto frontal a 56 km/h.....	87
Figura 5-19. Secuencia con anclaje de asiento propuesto a la velocidad de 50 km/h. ...	89
Figura 5-20. Esfuerzos sección lateral con la propuesta de anclajes de asiento. ....	90
Figura 5-21. Esfuerzo de Von Mises en la pata de anclaje.....	90
Figura 5-22. Esfuerzo de Von Mises de los elementos críticos en la pata de anclaje. ...	91
Figura 5-23. Esfuerzo sistema de sujeción propuesto en anclaje del zócalo. ....	91
Figura 5-24. Esfuerzo de Von Mises de los elementos críticos anclaje del zócalo. ....	92
Figura 5-25. Variación de energía cinética y energía interna con modelo propuesto. ...	92
Figura 5-26. Energía Hourglass. ....	93
Figura 5-27. Energía interna. ....	93
Figura 5-28. Energía interna y energía Hourglass impacto lateral a 50 km/h. ....	94
Figura 5-29. Configuración de anclajes originales y propuestos.....	95
Figura 5-30. Pata de anclaje propuesto.....	95
Figura 5-31. Configuración de anclaje unido al zócalo. ....	96
Figura 5-32. Propuesta de rigidizadores en asiento. ....	96

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>2D</b>	Dos Dimensiones
<b>ANT</b>	Agencia Nacional de Tránsito
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana de Ensayo de Materiales
<b>CAD</b>	Diseño Asistido por Computador
<b>CAE</b>	Ingeniería Asistida por Computadora
<b>CEPE</b>	Comisión Económica Para Europa
<b>EURONCAP</b>	Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>MEF</b>	Método de los Elementos Finitos
<b>NTE</b>	Norma Técnica Ecuatoriana
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>RTE</b>	Reglamento Técnico Ecuatoriano



## **LISTA DE ANEXOS**

- A**            Reglamento n° 80 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE).
- B**            Reglamento n° 94 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE).
- C**            Reglamento n° 95 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE).
- D**            Planos de construcción asiento.

## RESUMEN

El diseño y construcción los anclajes de asientos de un autobús interprovincial bajo condiciones de impacto frontal y lateral en la empresa Metálica Pillapa, se realizó un análisis dinámico por elementos finitos aplicando el software ANSYS del diseño original de los anclajes, para verificar su resistencia en condiciones de impacto frontal y lateral de una sección de carrocería de autobús teniendo como base de estudio los reglamentos n° 80, 94 y 95 de la CEPE/ONU, a las velocidades que establece las normativas y a 90 km/h que es la velocidad máxima a la que pueden circular este tipo de vehículos, según las normativas ecuatorianas vigentes establecidas por la ANT. Con los resultados obtenidos se verificó que a la velocidad máxima los anclajes de asientos no resisten, por ello se procede a realizar un rediseño con software CAD el mismo que es sometido a los análisis y condiciones mencionados anteriormente, utilizando como material base el acero estructural, obteniendo resultados satisfactorios que garantizan el cumplimiento del reglamento n° 80 para posteriormente proceder a la construcción del prototipo de anclajes. El rediseño de los anclajes se somete a los ensayos propuestos, condiciones necesarias para la aceptación del modelo de asiento propuesto. Se recomienda modelar la geometría correctamente para posteriormente no tener problemas de malla en el modelo matemático y por tanto obtener resultados confiables y coherentes para garantizar la seguridad de los ocupantes del autobús.

PALABRAS CLAVE: <ANCLAJES DE ASIENTOS>, <ANSYS (SOFTWARE)>, <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR (CAD)>, <COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA (CEPE)>, <ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU)>, <AGENCIA NACIONAL DE TRÁNSITO (ANT)>, <ACERO ESTRUCTURAL>, <MODELO MATEMÁTICO>.

## ABSTRACT

The design and construction of the seat anchorages of an interprovincial bus under frontal and lateral conditions in the company Metálica Pillapa, was made on the basis of a dynamic analysis by finite elements applying ANSYS software to the original design of the anchors, to verify their resistance in frontal and lateral impact conditions of a bus body section based on UN/ECE regulations n°. 80, 94 and 95, at the speeds established by regulations: 90 km/h, which is the maximum speed to which these types of vehicles can operate, according to current Ecuadorian regulations established by the ANT (National Transit Agency). The results obtained demonstrated that at the maximum speed of 90 km/h the seat anchors are not resistant. Thus, a redesign of the seat anchors with CAD software was carried out and the resulting prototype was subjected to the analyzes and conditions mentioned above, using structural steel as the base material. Satisfactory results were obtained that guarantee the fulfillment of the regulation n°. 80 and thus allowed for the construction of the anchor prototype. The redesign anchors were submitted to the proposed tests and withstood the impact conditions previously established, and the resistance of the anchors was also verified, conditions necessary for the proposed seat model to be accepted. It is recommended that geometry be modeled correctly to subsequently have no mesh problems in the mathematical model and therefore obtain reliable and consistent results to ensure the safety of bus occupants.

KEY WORDS: <SEAT ANCHORS>, <ANSYS (SOFTWARE)>, <COMPUTER ASSISTED DESIGN (CAD)>, <ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (ECE)>, <NATIONAL TRANSIT AGENCY (ANT)>, <STRUCTURAL STEEL>, <MATHEMATICAL MODEL>.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Los ensayos de verificación de la resistencia de los anclajes de asientos en vehículos destinados al transporte de pasajeros se realizan en los países de la unión europea basándose en legislaciones vigentes de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa CEPE/ONU que dicta algunos parámetros y directrices para la realización de estos ensayos. Se realizan ensayos físicos destructivos, debido al gran número de producción de autobuses por cada cierto número de unidades, una es elegida para realizar este tipo de ensayos garantizando así la seguridad de los pasajeros.

Existen investigaciones basadas en el Método de los Elementos Finitos que se realizan ensayos virtuales a través Ingeniería Asistida por Computador (CAE) que proporciona resultados muy aproximados a los reales, con una respuesta inmediata. Según investigadores de Porsche AG el costo de la simulación es solo el 60% del valor del ensayo físico, pero los subsiguientes ensayos virtuales son menos del 10%. El tiempo requerido en la primera simulación numérica es solo el 25% del tiempo necesario para un ensayo físico y cae a un 6% en las siguientes simulaciones.

En el Ecuador se desarrolló una investigación en la Universidad Técnica de Ambato en la carrera de Ingeniería Mecánica la tesis de Agustín Remache en el año 2015 con el tema: Estudio de los Anclajes de Asientos de Autobús en un Impacto Frontal Para Determinar Las Deformaciones Y Esfuerzos Máximos En La Empresa Miviltech Soluciones Industriales S.A. se toma como referencia parámetros para su estudio la calidad de malla, aspect ratio (radio de aspecto), propiedades mecánicas del material y poder realizar la simulación de la resistencia del anclaje de asiento del autobús interprovincial. Con la finalización del presente estudio de investigación se determinara que el anclaje propuesto para el asiento de autobús interprovincial en el caso de impacto frontal resiste, garantizando la seguridad de los ocupantes bajo los parámetros mencionados.

## **1.2 Justificación**

Actualmente en el país para la construcción de carrocerías es indispensable el cumplimiento de normas y reglamentos emitidos por el servicio ecuatoriano de normalización INEN, donde se establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías.

Dentro de los parámetros de diseño el cálculo estructural es el que permite verificar la deformación máxima y la relación demanda capacidad en sus elementos estructurales debido a las cargas sometidas, evitando que dichos elementos invadan la zona de seguridad de los pasajeros.

Las actualizaciones de las normas y reglamentos exigen realizar ensayos en otros componentes que forman parte de la seguridad activa y pasiva de la carrocería. En tal virtud la verificación de la resistencia en los anclajes de asientos permitirá proteger la integridad física de los pasajeros en el caso que ocurra un accidente que puede provocar lesiones a los ocupantes.

Para el diseño de los anclajes en los asientos se desarrollara con la ayuda de software CAE que permitirá la simulación de distintos escenarios de funcionamiento, logrando resultados muy aproximados a los reales y evitando la realización de ensayos físicos destructivos en los cuales se utilizan los crash test dummies, que están equipados con docenas de sensores, este equipo es complejo y costoso respecto a su tecnología electrónica que es la encargada realmente de detectar datos sobre fuerzas a las que se sometería este elemento de pruebas. Hasta ahora, sólo había unos cuantos fabricantes para estos componentes en todo el mundo, pero gracias a métodos de simulación este tipo de pruebas podrían abaratare y simplificarse considerablemente.

El presente trabajo es de gran importancia para el sector carrocerero del Ecuador, debido a las modificaciones en las normativas técnicas vigentes obligan a las empresas a realizar ensayos de los anclajes de los asientos con fines de homologación, pero en el Ecuador no se cuenta con laboratorios especializados y calificados para realizar este tipo de estudios y no se cuenta con la certificación y aprobación del Reglamento N° 80 (CEPE/ONU). y además el costo de este tipo de ensayo es muy elevado lo que es una

camisa de fuerza para la industria carrocera del país debido al número de producción de unidades, es por eso que se pretende realizar el estudios virtuales mediante software de elementos finitos para poder validar la construcción de los asientos y sus anclajes, el estudio se basa en los reglamentos 80, 94 y 95 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) los que adopta la norma INEN 2708 vigente en el Ecuador esta proporciona directrices para realizar ensayos en los anclajes de los asientos durante diferentes condiciones de impacto en caso de llegarse a producir accidentes de tránsito.

## **1.3       Objetivos**

### **1.3.1   Objetivo general.**

Diseñar y construir los anclajes de asientos de un autobús interprovincial bajo condiciones de impacto frontal y lateral en la empresa Metálica Pillapa.

### **1.3.2       Objetivos específicos:**

- Definir los tipos de ensayos que se realizan en anclajes de los asientos a través de la investigación y establecer el más adecuado.
- Investigar los parámetros necesarios para la simulación en los anclajes de los asientos en base a normativas vigentes para introducirlos en el software CAE.
- Obtener el modelo geométrico de la estructura de la carrocería y asientos con la ayuda de un software CAD, para la realización de la simulación.
- Determinar los esfuerzos y deformaciones producidos en los anclajes de los asientos mediante un ensayo dinámico para una condición de impacto frontal.
- Determinar los esfuerzos y deformaciones producidas en los anclajes de los asientos mediante un ensayo dinámico para una condición de impacto lateral.
- Construir un prototipo de anclajes para asientos, verificando la resistencia para un impacto frontal y lateral.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Marco conceptual

*Asiento.* Una estructura que puede anclarse a la estructura del vehículo, que incluya la tapicería y los elementos de fijación, diseñada para su uso en un vehículo y para que se sienten en ella una o más personas adultas. (REGLAMENTO N° 80 CEPE/ONU).

*Anclaje.* La parte del suelo o de la carrocería del vehículo en que pueden fijarse los asientos. (REGLAMENTO N° 80 CEPE/ONU).

*Barrera deformable móvil.* El aparato contra el que se hace colisionar el vehículo de ensayo; se compone de un carro y un impactador. (REGLAMENTO N° 95 CEPE/ONU).

*Método de los Elementos Finitos.* El método de los elementos finitos (FEM), o análisis de elemento finito (FEA) por sus siglas en inglés, está basado en la idea de construir un objeto complicado con bloques simples, o, dividiendo un objeto complicado en piezas pequeñas y manejables. La aplicación de esta idea simple puede ser encontrada en todas partes en la vida cotidiana, así como en la ingeniería.

*Modelo matemático.* Define las condiciones de borde como un sistema de ecuaciones que expresa las características de un sistema físico en términos de sus variables que describe este sistema. (REDDY, 2006)

*Protección para impacto lateral.* Sistema o elemento de seguridad que minimiza los daños ocasionados a los ocupantes en caso de impacto lateral. (RTE INEN 034 3R).

*Protección para impacto frontal.* Sistema o elemento de seguridad que minimiza los daños ocasionados a los ocupantes en caso de impacto frontal. (RTE INEN 034 3R).



*Protección para impacto frontal.* Sistema o elemento de seguridad que minimiza los daños ocasionados a los ocupantes en caso de impacto frontal. (RTE INEN 034 3R).

## **2.2 Marco teórico**

En el Ecuador la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) es la encargada de planificar, regular y controlar la gestión del Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial en el territorio nacional, a fin de garantizar la libre y segura movilidad terrestre. Las empresas fabricantes de carrocerías deben cumplir normas y reglamentos dispuestos por la ANT en las áreas de construcción de la estructura, dimensionamiento de elementos internos y elementos mínimos de seguridad que debe cumplir un vehículo de transporte de pasajeros estos son los siguientes:

- NTE 1323:2013. Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos.
- NTE 2205:2010. Vehículos automotores. Bus urbano. Requisitos.
- NTE INEN 1668. Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional interprovincial e intraprovincial.
- NTE 2656:2012. Clasificación Vehicular.
- RTE INEN 034 (3R). Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores.
- RTE INEN 038 (2R). Bus Urbano.
- RTE INEN 041 (2R). Vehículos de transporte escolar.
- RTE INEN 043 (3R). Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial.

**2.2.1 Asientos de pasajeros.** La regla de transporte terrestre 32004 de Nueva Zelanda define como un conjunto, o una parte de un conjunto, proyectada para acomodar al menos una persona, que puede o no ser parte integral de la estructura del vehículo. (GOSCHE, 2002).

Los asientos de pasajeros pueden ser individuales o dobles, de estructura fuerte, siendo ligeros y resistentes al uso, acojinados o rígidos, sin bordes o filos peligrosos o

cualquier otro elemento que pueda provocar un accidente. (VÁSQUEZ VELÁSQUEZ, 2011).

De acuerdo con el reglamento técnico ecuatoriano 034 “*ELEMENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD PARA VEHÍCULOS AUTOMOTORES*” define al asiento como una 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. (INEN RTE 043 3R).

### **2.2.2** *Tipos de asientos*

**2.2.2.1.** *Asiento de pasajero para transporte urbano.* Este tipo de asientos se fabrican en plástico con asidero superior, se utiliza este tipo de asiento debido a que los trayectos dentro de la ciudad son cortos, la ergonomía, el confort de los asientos no son prioridad.

Figura 2-1. Asientos de pasajeros para servicio de transporte urbano.



Fuente. <http://www.cepesa.com/prod.htm>

**2.2.2.2.** *Asiento de pasajero para transporte intraprovincial e interprovincial.*

Este tipo de asientos se fabrican con una esponja de poliuretano la misma que brinda confort y seguridad a los pasajeros, se utiliza este tipo de asientos debido a que este tipo de transporte sus trayectos son más largos, el confort, la ergonomía son fundamentales. En los vehículos de transporte intraprovincial e intrarregional también se usa este tipo de asiento la única diferencia es que la distancia entre asientos varía con respecto al vehículo de transporte interprovincial.

Figura 2-2. Asiento de pasajeros servicio de transporte interprovincial.



Fuente: <http://www.cepesa.com/prod.htm>

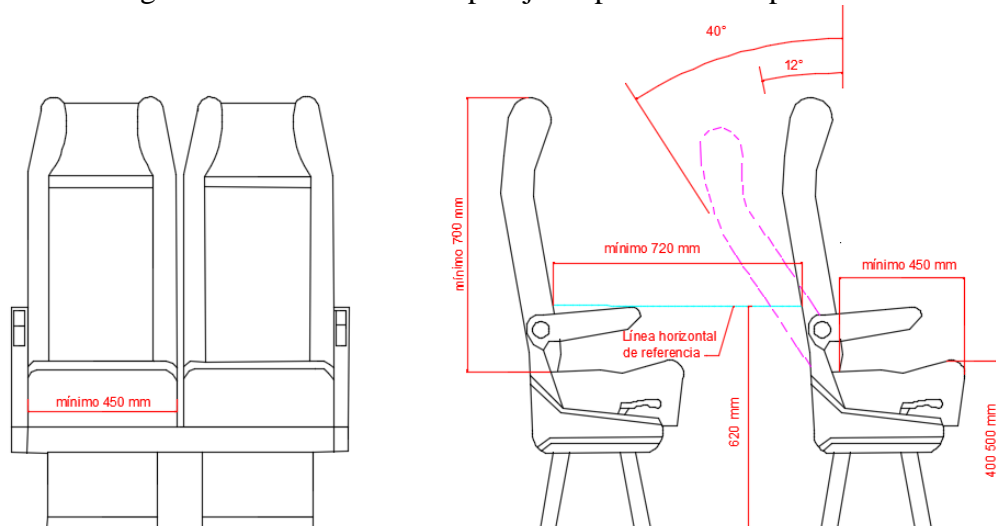
En la norma INEN 1668 “*VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL. REQUISITOS*” se establece que los asientos para pasajeros deben ser fijos a la carrocería y estar dispuestos según el eje longitudinal del vehículo en el sentido de marcha o viceversa, de tal forma que se proporcione la mayor seguridad y confort a los pasajeros, respetando los diseños de los fabricantes del vehículo o chasis para la distribución de las cargas a los ejes del vehículo. (INEN 1668).

Además en la norma se establece que los vehículos poseerán dos hileras de hasta dos asientos individuales, la última fila dispondrá de máximo 5 asientos, de las siguientes dimensiones:

- Profundidad mínima: 420 mm para buses intraprovinciales y 450 mm para buses intrarregionales e interprovinciales;
- Ancho libre mínimo del asiento: 400 mm para intraprovincial y 450 mm para intrarregional e interprovincial;
- Altura desde el piso a la base del asiento entre 400 mm y 500 mm;
- Distancia entre asientos medidas a una altura de 620 mm desde el piso con los asientos en posición normal, debe ser para bus interprovincial e intrarregional mínimo de 720 mm y para bus intraprovincial mínimo de 680 mm.

- Posiciones de reclinación mínima: dos, con un ángulo mínimo de  $12^\circ$  y  $30^\circ \pm 2^\circ$  para intraprovincial, y  $12^\circ$  y  $40^\circ \pm 2^\circ$  para interprovincial e intrarregional;
- Altura total del respaldo del asiento incluido el apoyacabezas: mínima 700 mm. (INEN 1668).

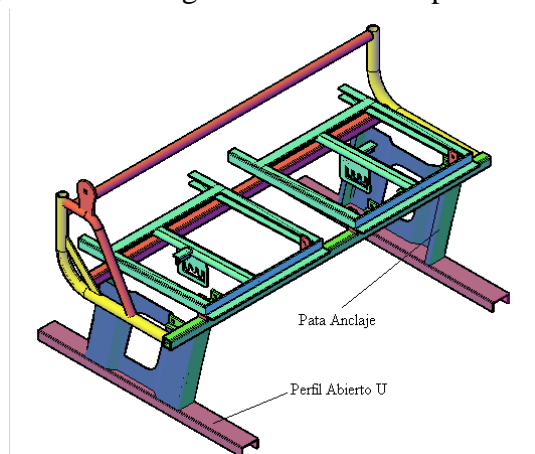
Figura 2-3. Asientos de los pasajeros para bus interprovincial.



Fuente: Autores.

**2.2.3 Anclajes.** Los anclajes de los asientos son una parte fundamental del asiento, debido a que si se produce un siniestro vial este debe quedar fijo a la carrocería, esta medida de seguridad es esencial para limitar las lesiones que un pasajero puede sufrir en caso de impacto frontal, reteniendo su asiento hasta altos niveles de colisión.

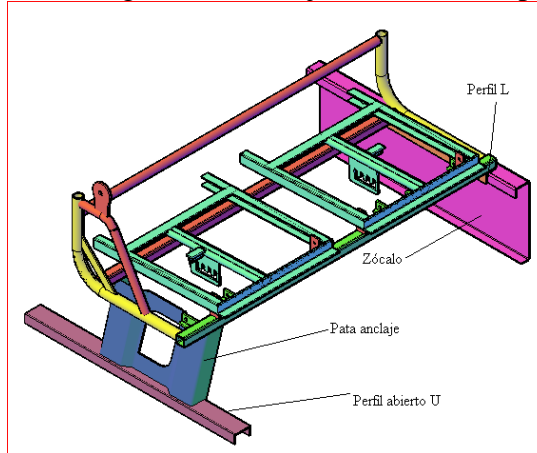
Figura 2-4. Configuración asientos tipo brasileño.



Fuente: Autores.

Existen diferentes configuraciones de los anclajes de asientos, pero en el Ecuador generalmente se utiliza la configuración mostrada en la Figura. 5 la pata anclaje va sujeta al piso de la carrocería por medio de pernos de sujeción a un perfil U abierto, el otro anclaje va sujeto a un perfil denominado zócalo.

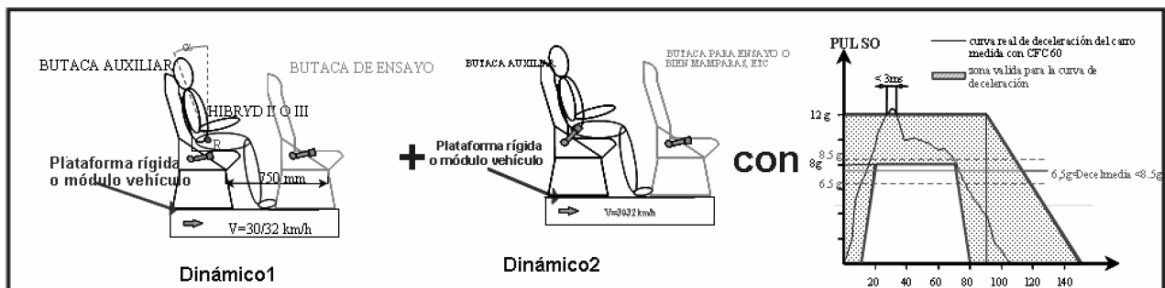
Figura 2-5. Configuración anclajes autobús interprovincial.



Fuente: Autores.

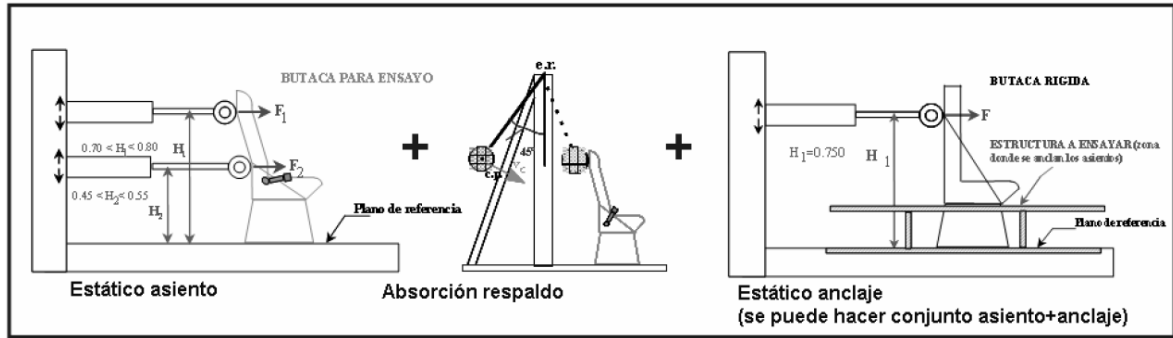
**2.2.4 Resistencia de asientos y sus anclajes.** Directiva 74/408-2005/39/CE o Reglamento 80R01. Requisitos para garantizar que los asientos y su fijación al vehículo presentan una adecuada retención del pasajero que va en él y el que va detrás ante impactos frontales, sin que los criterios de lesión superen unos límites. El fabricante puede escoger entre ensayo dinámico o ensayo estático “equivalente”. Las mediciones tienen por objeto garantizar la ausencia de lesiones así como la resistencia del asiento y sus anclajes, aunque existe la opción de ensayar por separado el asiento (sobre módulo rígido) y el anclaje (con asiento rígido). (VICENTE CORRAL, 2010).

Figura 2-6. Ensayos dinámicos sobre asientos y anclajes.



Fuente: [http://oa.upm.es/3213/1/INVE\\_MEM\\_2008\\_53550.pdf](http://oa.upm.es/3213/1/INVE_MEM_2008_53550.pdf)

Figura 2-7. Ensayos estáticos sobre asientos y anclajes.



Fuente: [http://oa.upm.es/3213/1/INVE\\_MEM\\_2008\\_53550.pdf](http://oa.upm.es/3213/1/INVE_MEM_2008_53550.pdf)

### 2.2.5 Ensayos para la verificación de la resistencia de los asientos y sus anclajes.

Los ensayos en asientos se desarrollaron con la finalidad de comprobar si el asiento y sus anclajes son capaces de resistir a fuerzas generadas en accidentes de tránsito, precautelando la integridad física de sus ocupantes, esto se logra por medio de bancos de pruebas que simulan las fuerzas que actúan en un accidente.

Para la realización de estas pruebas en el país se implanto la norma INEN 2708:2013, esta norma es similar al reglamento N° 80 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas (CEPE), poniendo a disposición los procedimientos y métodos para ejecutar pruebas de resistencia física de modo destructivo, de esta manera los fabricantes pueden validar sus productos como productos seguros y de calidad.

### 2.2.6 Tipos de ensayos

Por prescripción de la norma INEN 2708:2013, da a conocer dos tipos de ensayos en asientos:

- Ensayos Dinámicos
- Ensayos Estáticos

**2.2.7 Ensayos Dinámicos.** Son ensayos destructivos que se realizan colocando asientos sobre un carro móvil denominado trineo, utilizando dummies que simulan el

comportamiento y fuerzas ejercidas por una persona real, este ensayo pretende verificar la resistencia del asiento y sus anclajes frente a una condición de impacto frontal.

Figura 2-8. Ensayo dinámico en un asiento doble.



Fuente: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv16/98S4P19.PDF>

**2.2.8** *Condiciones para el ensayo.* La prueba se ejecutara en un carro, encima de una plataforma se situara el asiento a ensayar con su respectiva parte representativa del bus, este contendrá 2 filas de asientos, un asiento a ensayar y otro auxiliar, estos situados a la misma altura con una separación entre asientos de 750 mm. El asiento debe estar completo, incluida la tapicería y los accesorios, la posición del respaldo será para uso normal en caso de tener regulaciones, si lleva un apoyacabezas regulable en altura, esta se hallara en la posición más baja. También se dispondrán de un maniquí situado en el asiento auxiliar, con posición base como se establece en la norma.

**2.2.9** *Simulación del Impacto.* Para la simulación del impacto se presentan dos escenarios para el estudio de la resistencia de los anclajes de asientos.

*Ensayo 1.* El maniquí se ubicara en el asiento auxiliar sin retención. La velocidad del carro que simule el impacto estará entre 30 y 32 km/h. La aceleración y desaceleración estará comprendida entre 6,5 veces g y 8,5 veces g.

*Ensayo 2.* El ensayo 1 se repetirá con un único cambio, el maniquí se ubicara en el asiento auxiliar, sujetado con un cinturón de seguridad.

Figura 2-9. Tipos de ensayos dinámicos en anclajes de asientos.



Fuente: Análisis de la influencia de la introducción de cinturones de seguridad en el vuelco de los autocares. Validez de las prescripciones del reglamento UN-ECE 66 (INSIA) pg. 33.

**2.2.10** *Ensayos Estáticos.* Son un conjunto de ensayos destructivos que pretenden representar las fuerzas ejercidas en el respaldo y anclajes de los asientos con el objetivo de verificar su resistencia, se utilizan equipos hidráulicos para representar las fuerzas actuantes.

Figura 2-10. Ensayo estático.



Fuente: <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/2035/1/vazquezvelazquez.pdf>

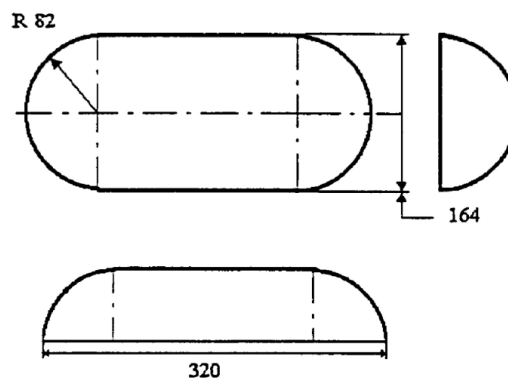
**2.2.11** *Condiciones para el ensayo.* Se considerará que se cumplen los requisitos si el desplazamiento máximo del punto central de aplicación de cada fuerza establecida, medido en el plano horizontal y en el plano mediano longitudinal de la plaza de asiento correspondiente, no sobrepasa los 400 mm. Se considera que los ocupantes del asiento no sufren lesiones de gravedad si el desplazamiento máximo del punto central de aplicación de cada fuerza establecida, no sobrepasa los 100 mm.



Todos los elementos que formen parte del respaldo del asiento o los accesorios del mismo deben estar diseñados para que no causen lesiones a los viajeros como consecuencia de un impacto. Se considerará que se cumple este requisito si toda parte que pueda entrar en contacto con una esfera de 165 mm de diámetro tiene un radio de curvatura de 5 mm como mínimo. Si alguna de las partes de los elementos y accesorios mencionados anteriormente es de un material de dureza inferior a 50 Shore (dureza elástica).

**2.2.12** *Aparato de ensayo.* El aparato consistirá en superficies cilíndricas con un radio de curvatura de  $82 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$  y un ancho: igual como mínimo al ancho del respaldo de cada plaza de asiento del asiento que se ensaye en lo que se refiere a la parte superior, de 320 mm en la parte inferior, como se indica en la figura.

Figura 2-11. Aparato de ensayo estático.



Fuente: INEN 2708.

La superficie que descansa sobre el asiento será de un material cuya dureza no sea inferior a 80 Shore A. Cada superficie cilíndrica dispondrá al menos de un transductor de fuerza capaz de medir fuerzas aplicadas en la dirección que se indica.

**2.2.13** *Procedimiento del ensayo.* Se aplicará a la parte posterior del asiento en cada una de los lugares del asiento una fuerza de según la ecuación.

$$\frac{1000}{H1} \pm 50N$$

(1)

Dónde:

- H1: es la altura desde el plano de referencia al punto de aplicación de la fuerza.

Utilizando un dispositivo con superficie cilíndrica descrito anteriormente. La dirección de aplicación de la fuerza estará situada en el plano vertical mediano del lugar de asiento correspondiente; será horizontal y se ejercerá de atrás hacia adelante del asiento.

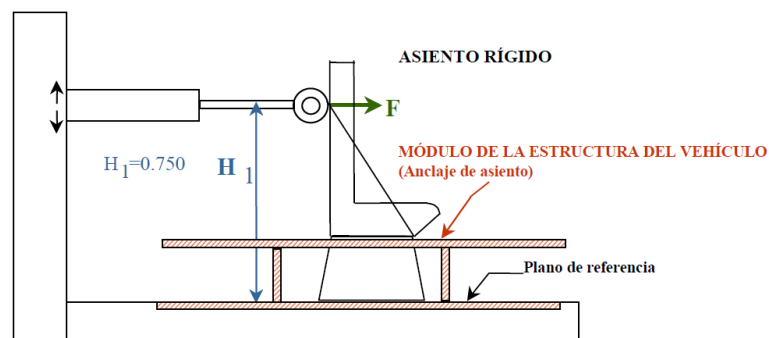
Esa dirección se situará a una altura H1 comprendida entre 0,70 m y 0,80 m por encima del plano de referencia. El fabricante determinará la altura exacta. Se aplicará simultáneamente una fuerza de ensayo según la ecuación.

$$\frac{2000}{H_2} \pm 100N \quad (2)$$

Dónde:

- H2: es la altura desde el plano de referencia hasta la parte posterior del asiento.

Figura 2-12. Ensayo estático para anclajes de asiento.

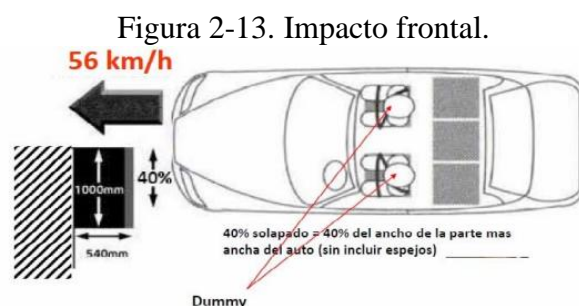


Fuente: Análisis de la influencia de la introducción de cinturones de seguridad en el vuelco de los autocares. Validez de las prescripciones del reglamento UN-ECE 66 (INSIA) pg. 33.

A la parte posterior del asiento en cada lugar de asiento en el mismo plano vertical y en la misma dirección a una altura H2 que estará comprendida entre 0,45 m y 0,55 m por encima del plano de referencia. El fabricante determinará la altura exacta. (REGLAMENTO 80).

En caso de que un asiento tenga más de una plaza de asiento, deben ejercerse simultáneamente las fuerzas en cada plaza, y habrá tantos maniquíes en posición superior e inferior como plazas de asiento. La posición inicial de cada plaza de asiento de cada uno de los maniquíes se determinará poniendo en contacto los dispositivos de ensayo con el asiento con una fuerza igual a 20 N como mínimo. Cualquiera que sea la deformación y durante un mínimo de 0,2 segundos, deben aplicarse lo más rápidamente posible.

**2.2.14 Impacto frontal.** Este impacto está destinado a representar el tipo más frecuente de accidente, produciendo lesiones graves o mortales. Simula un vehículo que tiene un impacto frontal con otro vehículo de masa similar. Como la mayoría de los impactos frontales, solo se produce en una parte del frente del vehículo. Por esta razón, solo se producirá el impacto en un 40 por ciento del ancho del vehículo. La barrera utilizada en el impacto es deformable para representar la naturaleza deformable de los vehículos. Se trata de una prueba severa, donde se observa la capacidad del vehículo para soportar el impacto sin invadir la zona del habitáculo. (BECERRIL NIETO, 2010).



Fuente: [http://www.ancosev.org/wp-content/uploads/2015/03/ANCOSEV\\_UN94.pdf](http://www.ancosev.org/wp-content/uploads/2015/03/ANCOSEV_UN94.pdf)

*Energías que intervienen en un impacto frontal.* La energía cinética se transforma en energía de deformación, casi su totalidad, parte de esta energía de distorsión vuelve a ser cinética al desplazar al vehículo después del impacto.

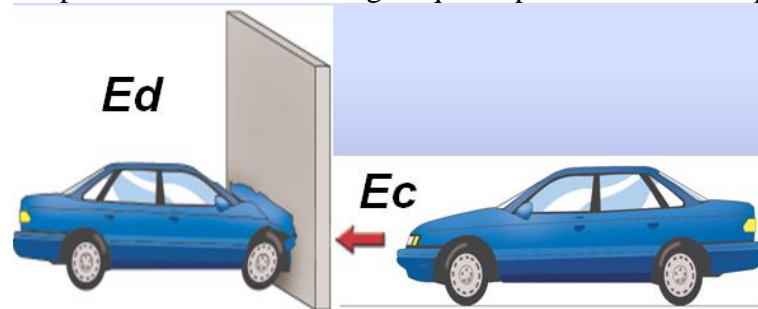
$$Ed = Ec$$

$$Ed = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

Dónde:

- Ed: energía de distorsión.
- Ec: energía cinética.
- m: masa del vehículo.
- $v^2$ : velocidad del vehículo.

Figura 2-14. Representación de las energías que se producen en un impacto frontal.



Fuente: <http://es.slideshare.net/cemarol/teoria-de-la-colision>

### 2.2.15 Instalación y preparación del vehículo para un ensayo de impacto frontal

*Terreno de ensayo.* El área de ensayo será lo suficientemente amplia para dar cabida al carril de aceleración, la barrera y las instalaciones técnicas necesarias para el ensayo. La última parte del carril, por lo menos los últimos cinco metros antes de la barrera, será horizontal, plana y lisa.

*Barrera.* La cara frontal de la barrera consistirá en una estructura deformable. La cara frontal de la estructura deformable será perpendicular, con una desviación de  $\pm 1^\circ$ , a la trayectoria del vehículo de ensayo. La barrera estará asegurada a una masa no inferior a  $7 \times 10^4$  kg, cuya cara frontal será vertical con una desviación de  $\pm 1^\circ$ . Dicha masa

estará anclada al terreno o colocada sobre él, si es necesario, con dispositivos de retención adicionales para limitar su movimiento.

Figura 2-15. Barrera de impacto.



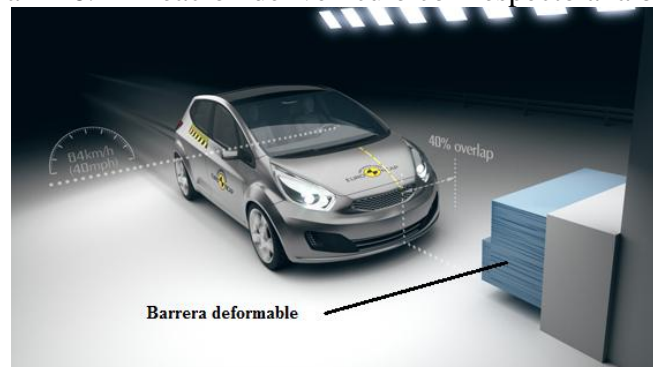
Fuente:

[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/6128/CIIP08\\_0794\\_0804%5B1%5D.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/6128/CIIP08_0794_0804%5B1%5D.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

*Orientación de la barrera.* La barrera estará orientada de manera que el primer contacto del vehículo con ella se produzca por el lado de la columna de dirección. Cuando el ensayo pueda realizarse o bien con un vehículo con el volante a la derecha o bien con otro con el volante a la izquierda, se llevará a cabo con el volante en la posición menos favorable, según lo determine el servicio técnico responsable de los ensayos.

**2.2.16** *Alineación del vehículo con respecto a la barrera.* El vehículo deberá cubrir la cara de la barrera sobrepasándola en un  $40\% \pm 20\text{ mm}$ .

Figura 2-16. Alineación del vehículo con respecto a la barrera.



Fuente: <http://www.euroncap.com/es/seguridad-en-los-veh%C3%ADculos/descripci%C3%B3n-de-las-valoraciones/protecci%C3%B3n-de-ocupantes-adultos/impacto-frontal-solape-parcial/>

### **2.2.17** *Estado del vehículo*

*Requisito general.* El vehículo de ensayo será representativo de la producción en serie, incluirá todo el equipamiento normal y estará en orden normal de marcha. Podrán sustituirse algunos componentes con masas equivalentes, siempre que sea evidente que tal sustitución no influirá significativamente en los resultados medidos.

*Masa del vehículo.*

- De cara al ensayo, la masa del vehículo presentado corresponderá a la tara del mismo.
- El depósito de combustible estará lleno de agua con una masa igual al 90 % de la del depósito lleno según las especificaciones del fabricante, con una tolerancia de  $\pm 1$  %.
- Todos los demás sistemas (frenos, refrigeración, etc.) podrán estar vacíos, pero deberá compensarse cuidadosamente la masa de los respectivos líquidos.
- Si la masa de los aparatos de medición a bordo del vehículo excede de los 25 kg permitidos, podrá compensarse mediante reducciones de peso que no afecten significativamente a los resultados medidos conforme al punto 6.
- La masa de los aparatos de medición no modificará la carga de referencia de los ejes en más del 5 %, y ninguna variación será superior a 20 kg.

### **2.2.18** *Asientos*

*Posición de los asientos delanteros.* Los asientos regulables longitudinalmente estarán colocados de modo que su punto H, determinado conforme al procedimiento establecido en el anexo 6 del Reglamento 94 (*Procedimiento para determinar el punto H y el ángulo real del torso en las plazas de asiento de los vehículos de motor*), se encuentre en la posición intermedia de recorrido o en la posición de bloqueo más cercana a esta, y a la altura definida por el fabricante (si la regulación en altura es independiente). Si se trata de un asiento corrido, se tomará como referencia el punto «H» de la plaza del conductor.

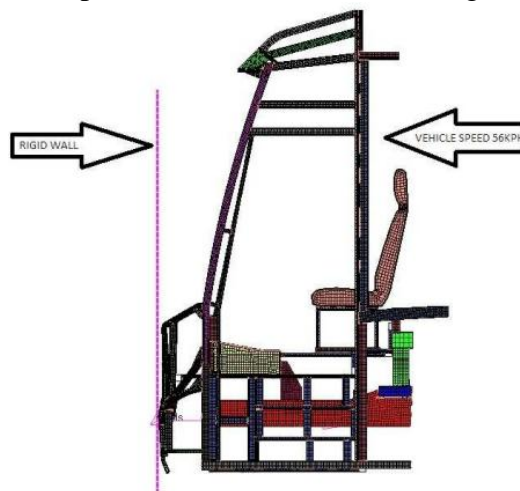
*Posición de los respaldos de los asientos delanteros* Si son regulables, los respaldos se ajustarán de manera que la inclinación del torso del maniquí se acerque lo más posible a la recomendada por el fabricante para un uso normal o, a falta de una recomendación particular del fabricante, a los 25° hacia atrás con respecto a la vertical.

*Asientos traseros.* Si son regulables, los asientos traseros o los asientos traseros corridos estarán colocados en su posición más retrasada.

**2.2.19** *Propulsión y trayectoria del vehículo.* El vehículo será propulsado por su propio motor o por cualquier otro dispositivo de propulsión. En el momento de la colisión, el vehículo no estará bajo la acción de ningún dispositivo adicional de guía o propulsión.

**2.2.20** *Velocidad de ensayo.* La velocidad del vehículo en el momento del impacto será de  $56 \pm 1$  km/h. Sin embargo, si el ensayo se efectúa a mayor velocidad de impacto y el vehículo cumple los requisitos, el ensayo se considerará satisfactorio. (REGLAMENTO 94).

Figura 2-17. Ensayo de impacto frontal de acuerdo al Reglamento 94 CEPE/ONU.

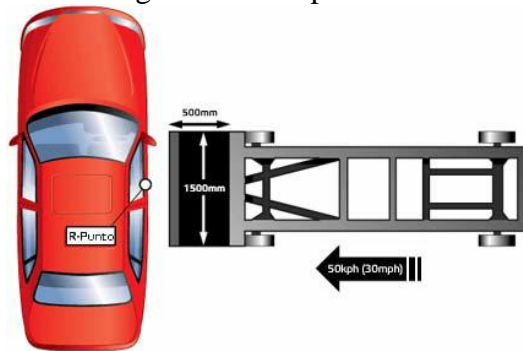


Fuente: [http://altairatc.com/india/previous-events/2013/images/presentations/RNL-09\\_Frontal\\_Crash\\_SMLISUZU.pdf](http://altairatc.com/india/previous-events/2013/images/presentations/RNL-09_Frontal_Crash_SMLISUZU.pdf)

**2.2.21** *Impacto lateral.* El impacto lateral es la segunda configuración más importante. EuroNCAP simula este tipo de accidente mediante una barrera deformable móvil que impacta en la puerta del conductor a 50 km/h. La protección de la lesión es

evaluada por el dummy y el asiento del conductor. Aunque es difícil la protección lateral, se han producido mejoras considerables. Los airbags laterales han ayudado a incrementar el rendimiento de la seguridad lateral. (BECERRIL NIETO, 2010).

Figura 2-18. Impacto lateral.



Fuente:

<http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10798/Proyecto%20Daniel%20Becerril.pdf?sequence=1> pág 30.

### **2.2.22** *Instalación y preparación del vehículo para un ensayo de impacto lateral*

*Terreno de ensayo.* El área de ensayo deberá ser lo suficientemente amplia para dar cabida al sistema de propulsión de la barrera deformable móvil y para permitir el desplazamiento, tras la colisión, del vehículo impactado y la instalación del equipo de ensayo. La parte en que tengan lugar la colisión y el desplazamiento del vehículo deberá ser horizontal, plana y regular, y representativa de una calzada normal, seca y regular.

**2.2.23** *Condiciones de ensayo.* El ensayo se llevará a cabo en el lado del conductor, salvo que, de haber estructuras laterales asimétricas, estas presenten diferencias tales que puedan afectar al rendimiento en caso de colisión lateral.

El vehículo sometido a ensayo deberá estar detenido. La trayectoria del plano vertical mediano longitudinal de la barrera deformable móvil deberá ser perpendicular al plano vertical mediano longitudinal del vehículo impactado.

El plano vertical mediano longitudinal de la barrera deformable móvil deberá coincidir, con una tolerancia de  $\pm 25$  mm, con un plano vertical transversal que atraviese el punto R del asiento delantero adyacente al lado impactado del vehículo sometido a ensayo. El



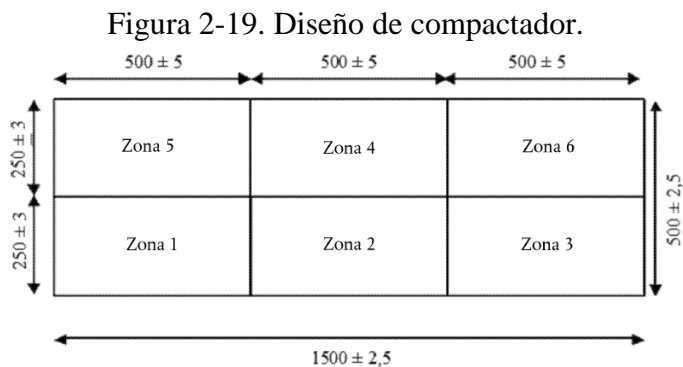
plano mediano horizontal limitado por los planos verticales laterales externos de la parte delantera deberá encontrarse, en el momento de la colisión, entre dos planos determinados antes del ensayo y situados 25 mm por encima y por debajo del plano definido anteriormente.

El instrumental deberá cumplir la norma ISO 6487:1987, salvo que se especifique otra cosa en el presente Reglamento.

La barrera deformable móvil deberá estar equipada con un dispositivo adecuado que evite una segunda colisión con el vehículo impactado.

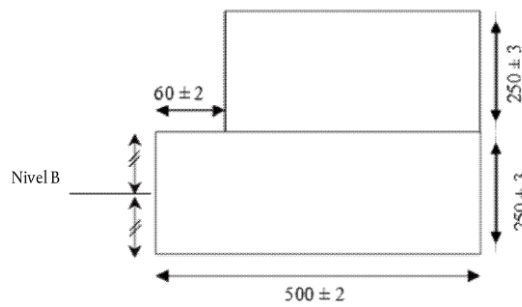
La barrera deformable móvil deberá tener las siguientes características:

- La barrera deformable móvil se compone de un impactador y de un carro.
- La masa total deberá ser de  $950 \pm 20$  kg.
- El centro de gravedad deberá estar situado, con una tolerancia de 10 mm, en el plano vertical mediano longitudinal,  $1\ 000 \pm 30$  mm por detrás del eje frontal y  $500 \pm 30$  mm por encima del suelo.
- La distancia entre la cara frontal del impactador y el centro de gravedad de la barrera deberá ser de  $2\ 000 \pm 30$  mm.
- La altura del impactador sobre el suelo deberá ser de  $300 \pm 5$  mm, medida en posición estática desde el borde inferior de la placa frontal inferior, antes del impacto.
- Los anchos de vía delantero y trasero del carro deberán ser de  $1\ 500 \pm 10$  mm.
- La batalla del carro deberá ser de  $3\ 000 \pm 10$  mm.



Fuente: Reglamento 95 CEPE/ONU.

Figura 2-20. Parte superior del compactador.



Fuente: Reglamento 95 CEPE/ONU.

Figura 2-21. Carro impactador con barrera deformable.



Fuente:

[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/6128/CIIP08\\_0794\\_0804%5B1%5D.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/6128/CIIP08_0794_0804%5B1%5D.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**2.2.23 Velocidad de ensayo.** La velocidad de la barrera deformable móvil en el momento del impacto deberá ser de  $50 \pm 1$  km/h. Dicha velocidad deberá estabilizarse al menos 0,5 m antes de la colisión. Exactitud de las mediciones: 1 %. Sin embargo, si el ensayo se efectúa a mayor velocidad de impacto y el vehículo cumple los requisitos, el ensayo se considerará satisfactorio. (REGLAMENTO 95).

Figura 2-22. Ensayo de impacto lateral Euroncap.



Fuente: <http://www.euroncap.com/es/seguridad-en-los-veh%C3%ADculos/descripci%C3%B3n-de-las-valoraciones/protecci%C3%B3n-de-ocupantes-adultos/impacto-lateral/>

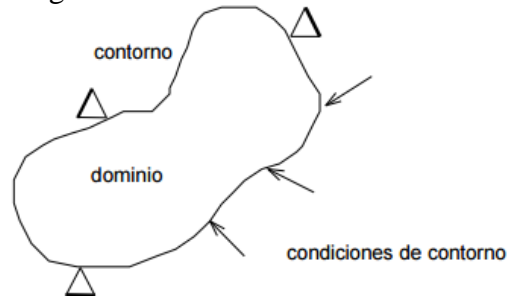
**2.2.24 Método de Elementos Finitos.** Es un método de cálculo que se utiliza en diversos problemas de ingeniería, que se encarga de dividir el cuerpo o estructura dividida en elementos discretos, que establecen condiciones de vínculo, esto genera sistemas de ecuaciones que se resuelve de forma numérica y q definen el estado de tensiones y deformaciones. Otra forma de utilizarlo en matemáticas es como un método nodal que se aproxima a ecuaciones diferenciales que se resuelven de forma numérica. Es un proceso numérico que se aplica en un gran número de problemas con condiciones de borde en las estructuras, restricciones y cargas externas, varios de los problemas que no tienen solución analítica o a su vez es muy difícil obtener la solución por lo que la única alternativa de resolver es con este método y se pueden resolver sistemas que no son fáciles para resolver con modelos matemáticos simples. (PEZZOTTI, 2008).

La idea general del método de los elementos finitos es la división de un sistema continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no. (CARNICERO, 2008).

En cualquier sistema a analizar se puede distinguir entre:

- Dominio. Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
- Condiciones de contorno. Variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, focos de calor,...
- Incógnitas. Variables del sistema que deseamos conocer después de que las condiciones de contorno han actuados sobre el sistema: desplazamientos, tensiones, temperatura.

Figura 2-23. Sistema físico a analizar.



Fuente: [http://www.iit.comillas.edu/~carnicero/Resistencia/Introduccion\\_al\\_MEF.pdf](http://www.iit.comillas.edu/~carnicero/Resistencia/Introduccion_al_MEF.pdf)

Definición de la matriz de Rigidez. Se define como el elemento K, el cual es la matriz que conforma la ecuación:

$$\{F\} = [K]x\{\delta\} \quad (4)$$

Dónde:

- K: Es la matriz que representa la rigidez del sistema.
- $\delta$ : Es el vector que representa los desplazamientos.
- F: Es el vector que representa los esfuerzos.

K se relaciona con las coordenadas locales de los desplazamientos en donde afectan las fuerzas para un solo elemento. (JIMENEZ, 2008).

**2.2.25** *Descripción general del MEF (Método de los Elementos Finitos).* Se describen los diferentes pasos y etapas que se deben tener en cuenta para analizar cualquier sistema físico por medio del MEF.

**2.2.26** *Preproceso (Preparación del problema).* Donde se prepara el modelo para el cálculo se realizan las siguientes operaciones:

- Definir el dominio geométrico del problema.
- Definir el tipo de elemento que será utilizado en la discretización.
- Definir las propiedades de los materiales de cada elemento.
- Definir las propiedades geométricas de cada uno de los elementos (longitud,

área, etc.).

- Definir las conectividades de los elementos (malla del modelo).
- Definir las restricciones físicas del problema (condiciones de contorno).
- Definir las cargas aplicadas sobre el dominio.

**2.2.27** *Proceso (Solución del problema)*. Es la parte del programa que realiza todo el cálculo del MEF y genera las soluciones. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Cálculo de las matrices de rigidez y vectores de carga de cada elemento.
- Ensamblaje de las matrices de rigidez y de los vectores de carga elementales.
- Obtención del sistema global de ecuaciones.
- Reducción del sistema de ecuaciones mediante la aplicación de las condiciones de contorno.
- Resolución del sistema de ecuaciones asociado al problema. Obtención de los valores nodales de las variables de campo que representan el problema.
- Cálculo de variables derivadas como fuerzas de reacción, tensiones en los elementos, flujos de calor, etc.

**2.2.28** *Postproceso (Análisis y evaluación de los resultados)*. Es la herramienta que permite la representación gráfica de los resultados, así como los resultados indirectos que se pueden obtener operando las soluciones del modelo. (VALERO, 2004).

- Representación gráfica de los resultados (clasificación en colores dependiendo la magnitud de las variables, curvas de resultados, etc.).
- Verificación de la condición de equilibrio.
- Representación del dominio deformado (en caso de que se trate de un problema estructural)
- Finalmente, los resultados obtenidos por el MEF deben ser vistos desde una posición crítica apoyada en el buen juicio del analista o del ingeniero. (AQUINO, 2016).

## CAPÍTULO III

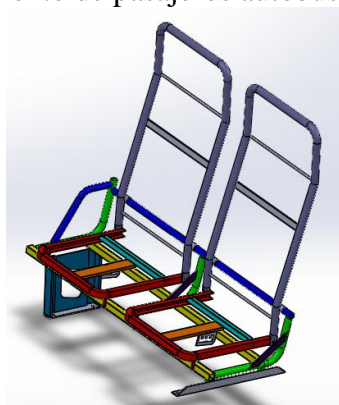
### 3. SIMULACIÓN DE IMPACTO FRONTAL Y LATERAL PARA ANCLAJES DE ASIENTO.

#### 3.1. Obtención del modelo tridimensional de la estructura del asiento y autobús.

Para ejecución de este estudio es necesario tener conocimiento de sus partes constitutivas, normas aplicables, dimensiones, materiales utilizados, disposición del asiento en el interior del autobús datos necesarios en el desarrollo de una simulación real. Se dispuso de los planos de la estructura de la carrocería.

La modelación de las estructuras se digitaliza con SolidWorks, software potente para diseño con una interfaz intuitiva para el usuario, agilizando el proceso de diseño. Como se muestra en la figura 3-1 se ha generado el modelo tridimensional del asiento y sus anclajes de manera precisa para la ejecución de nuestro estudio, utilizando simplemente superficies en su estructura total, pues este tipo de elementos son recomendados para análisis dinámicos con formulación explícita.

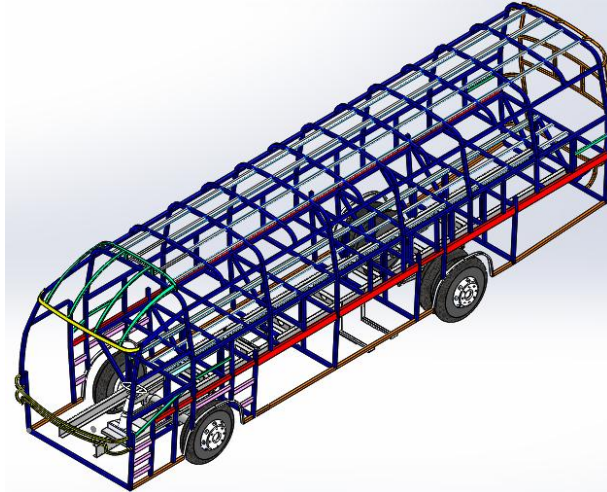
Figura 3-1. .Asiento de pasajeros autobús interprovincial.



Fuente: Autores.

De igual forma, con los planos bidimensionales (2D) se realiza la modelación de la estructura del autobús, como se puede observar claramente en la figura 3-2.

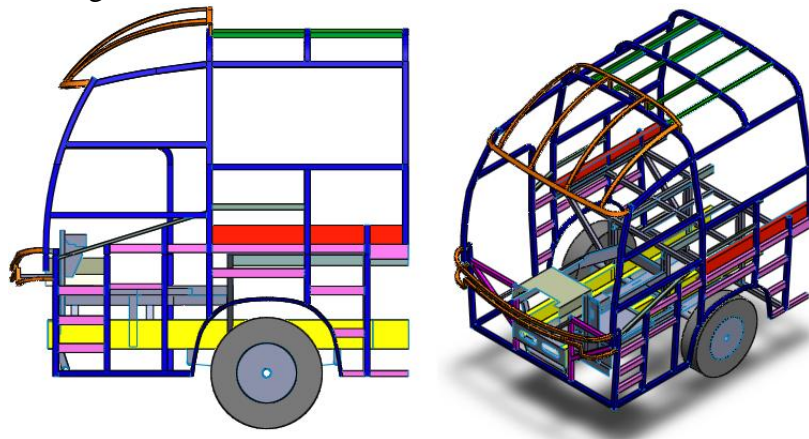
Figura 3-2. Modelado 3D de bus interprovincial modelo ALFA 700.



Fuente: Autores.

Gracias a la realización de estudios similares se concluye que para el impacto frontal es necesario utilizar solo el 1/3 de la estructura total del autobús como se muestra en la figura 3-3, en este estudio se considera que la mayoría de los esfuerzos y deformaciones están sometidos en dicha sección, si la otra parte del vehículo se coloca en análisis será innecesario, esto se reflejara en el gasto computacional al analizar el comportamiento de la estructura completa.

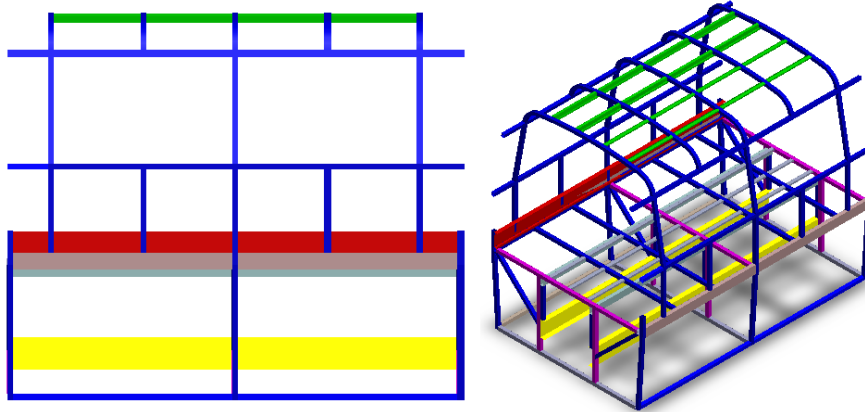
Figura 3-3. Vista lateral e isométrica de sección frontal.



Fuente: Autores.

Aplicando el mismo concepto se procede a modelar de igual manera para el impacto lateral, se considera solo los 2/3 del autobús total, considerando que esta sección se obtendrá los mayores esfuerzos, de igual forma se modela la estructura del asiento como se presenta en la figura 3-4.

Figura 3-4. Vista lateral e isométrica de sección lateral.

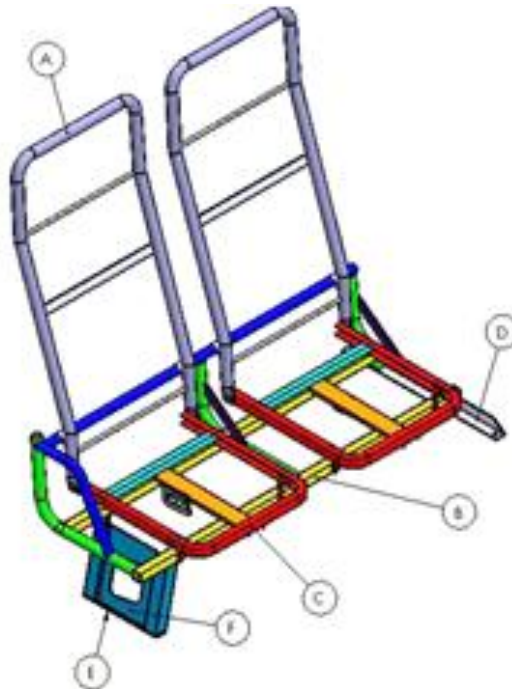


Fuente: Autores.

### 3.2. Materiales y perfiles utilizados en los asientos.

El asiento está constituido por distintos elementos como se especifica en la Figura 28, espaldar (A), base (B), cojín (C), anclaje ángulo (D), anclaje de pata (E), pata de asiento (F). Todos los perfiles estructurales que se utilizan en su fabricación se detallan a continuación en la Tabla 3-1.

Figura 3-5. Elementos constitutivos del asiento.



Fuente: Autores.



Tabla 3-1. Materiales utilizados en la estructura del asiento.

<b>COD.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>MATERIAL</b>
A	Espaldar	Perfil redondo de 24,4 x 1,50 mm	Acero negro ASTM A 500gr A
B	Base	Perfil cuadrado de 25x25 x2 mm	Acero negro ASTM A 500gr
C	Cojín	Perfil en C 25x20x2 mm	Acero negro galvanizado JIS G 3141 SPCC-SD
D	Anclaje ángulo	Perfil en L 30x30x3 mm	Acero negro ASTM A-36
E	Anclaje de pata	Platina de 36x4 mm	Acero negro ASTM A-36
F	Pata de asiento		Acero galvanizado G60 ASTM A653 CS/FS 3302

Fuente: Autores.

### 3.2.1. Elementos utilizados en el ensamble del asiento al bus.

En la Tabla 3-2 se detalla los materiales que son utilizados en el ensamblaje de los anclajes a la plataforma del autobús.

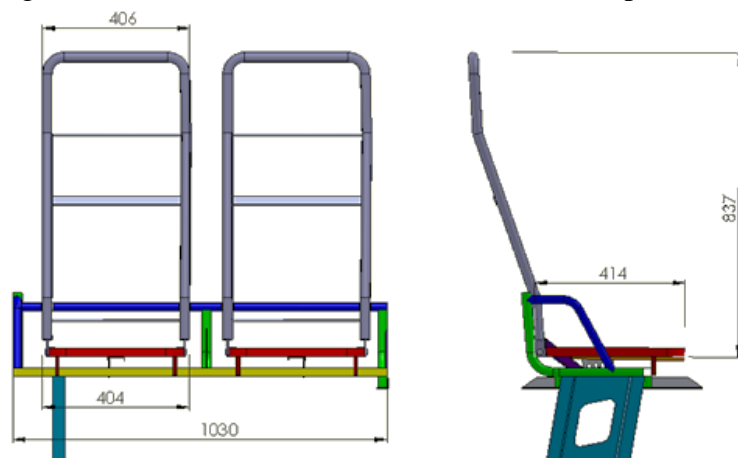
Tabla 3-2. Elementos utilizados en el ensamblaje de asiento.

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Material</b>
<b>Anclaje de asientos</b>	Platina de 30x3 mm	Acero negro ASTM A-36
	Pernos 7/16 x 1 pulgada	Grado 8
	Perfil Zócalo	Acero Galvanizado
	Angulo de 30x30x2 mm	Acero negro ASTM A-36

Fuente: Autores.

**3.2.2. Dimensiones del asiento.** Los asientos que actualmente se utilizan en la empresa Metálicas Pillapa tiene las siguientes dimensiones como se muestran en la figura 3-6, estos asientos son para el uso de transporte interprovincial de pasajeros. En la norma RTE INEN 043 se puede verificar sus dimensiones generales dando constancia de su correcta manufactura para el transporte de pasajero en autobuses interprovinciales.

Figura 3-6. Dimensiones de asiento servicio interprovincial.



Fuente: Autores.

### 3.3. Definición del Preproceso.

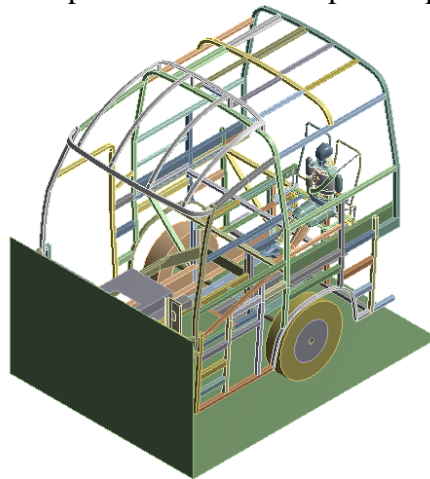
Como se explicó en el capítulo anterior se sigue los pasos descritos para la realización del preproceso, además se utiliza la extensión LS-DYNA que se describe a continuación:

ANSYS LS-DYNA combina el programa explícito de elementos finitos LS-DYNA con las potentes herramientas de Post-procesamiento del programa ANSYS. El método explícito de solución utilizado por LS-DYNA. Ofrece soluciones rápidas para dinámicas de deformación a corto plazo, grandes deformaciones, problemas cuasiestáticos con deformaciones y no linealidades múltiples, y complejos problemas de contacto e impacto. (LS-DYNA, 2013).

**3.3.1. Generación de la geometría.** En el mercado de paquetes computaciones existen una gran variedad de modeladores CAD, con diferentes tipos de aplicaciones cada una, estas ofrecen herramientas para modelar en tres dimensiones de manera fácil y rápida. Como se mencionó anteriormente el software utilizado en este estudio como modelador es Solidworks, esta es un software paramétrico con herramienta para crear, editar geometrías y se puede fácilmente enlazar directamente ANSYS Workbench, evitando de esta manera que surjan errores en los elementos del modelo por la exportación en diferentes extensiones. Las geometrías utilizadas en este estudio se pueden observar en las figuras. 3-3 y 3-4.

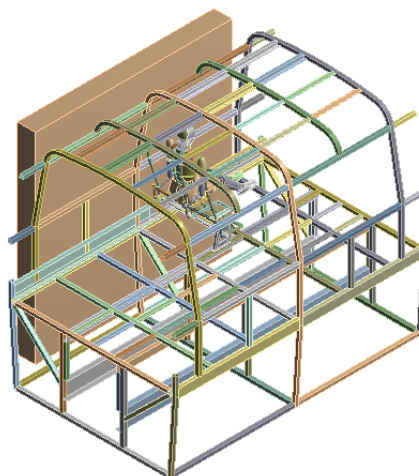
**3.3.2. Condiciones Generales para el modelado de la estructura.** Una vez realizada la geometría se guarda el archivo en formato parasolid archivos de tipo x\_t para verificar preparar y corregir algunos errores que suelen darse cuando se modela en el software CAD, todo este trabajo se lo realiza en ANSYS, el mismo procedimiento se lo realiza para los dos casos de impacto como se puede observar en las figuras. 3-7 y 3-8. Es importante mencionar que para que este estudio sea más próximo a la realidad se utiliza un dummy que producirá los efectos físicos que suceden en el cuerpo humano producto de accidentes, además está usando el cinturón de seguridad de tres puntos para el impacto frontal y de dos puntos en el caso del lateral condiciones que establecen las normativas nacionales.

Figura 3-7 Preparación de sección para impacto frontal.



Fuente: Autores.

Figura 3-8 Preparación de sección para impacto lateral.



Fuente: Autores.

Figura 3-9. Modelo CAD y modelo real asiento autobús interprovincial.



Fuente: Autores.

El estudio se limita únicamente a los anclajes de los asientos del autobús interprovincial para verificar su comportamiento ante situaciones de impacto frontal y lateral, estos están resaltados en la figura. 3-10.

Figura 3-10. Anclajes de asiento autobús interprovincial, objeto de estudio.



Fuente: Autores.

Para la realización del ensayo de impacto frontal contra una pared rígida, se utiliza las condiciones establecidas en el reglamento 94 CEPE/ONU cuya velocidad de ensayo es de 56km/h (15,56 m/s), pero también se lo realizara a 90 km/h (25 m/s) que es la máxima velocidad establecida por la leyes ecuatorianas para vehículos de transporte de transporte de pasajeros.

El ensayo de impacto lateral se lo realiza con una barrera deformable móvil, se utiliza las condiciones del reglamento 95 CEPE/ONU con una velocidad de ensayo de 50 km/h

(13,89 m/s), y del mismo modo se lo evaluará en el caso crítico que son los 90 km/h.

### 3.3.3. Materiales utilizados en la fabricación de carrocerías.

Las empresas fabricantes de carrocerías en el Ecuador utilizan materiales de acuerdo a la norma INEN 2415:2013, donde se establecen algunos tipos de materiales así como también sus propiedades mecánicas entre ellos se tiene al acero estructural cuyas propiedades mecánicas están en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3. Propiedades mecánicas acero ASTM A36.

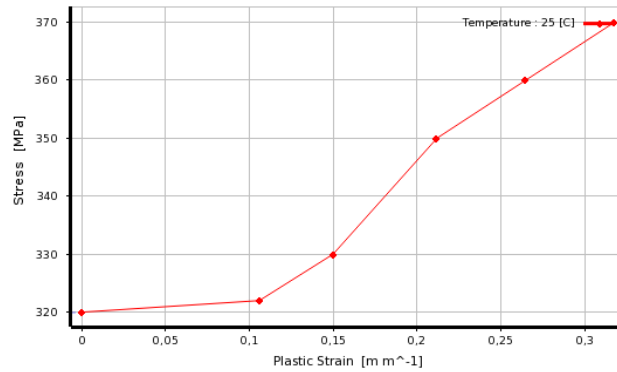
<b>PROPIEDAD</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Densidad	7850	Kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	200	GPa
Límite de fluencia	250-280	MPa
Resistencia a la tensión	400-550	MPa
Módulo de corte	79.3	GPa
Resistencia a la compresión	152	MPa

Fuente:

<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=d1844977c5c8440cb9a3a967f8909c3a&ckck=1>

Una vez ingresada la geometría en el Workbench LS-DYNA se procede a la configuración del material a utilizar en la simulación para este caso se tiene un acero estructural ASTM A-36 cuyas propiedades están en la Tabla 3-3. Ingresando las propiedades mecánicas del material, algo muy importante que acotar es que se quiere trabajar en la zona plástica y el comportamiento del material debe ser lo más próximo a la realidad y se procede a ingresar datos de un ensayo de tracción realizado a este material como parte de investigaciones realizadas, con esto se consigue que el material falle para las condiciones establecidas y se tengan resultados más reales y confiables.

Figura 3-11. Gráfica esfuerzo deformación acero estructural.



Fuente: Autores.

Luego de asignarle el material configurado a la geometría se eliminan los contactos, porque estos causan problemas al momento de generar la malla lo que conlleva a errores en el solver.

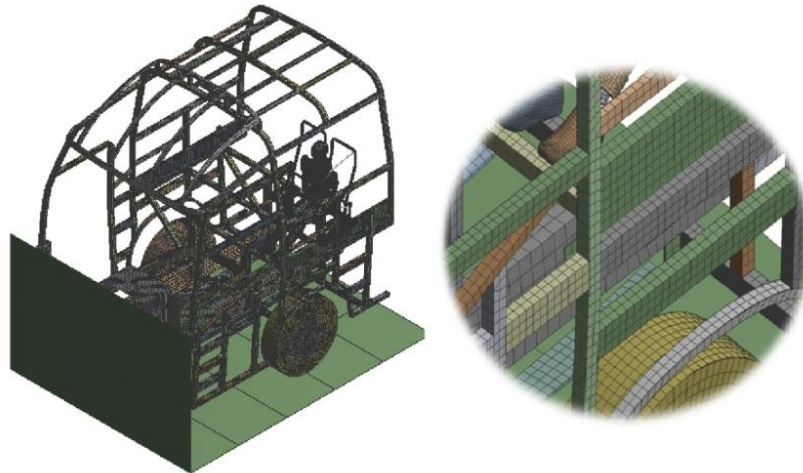
### 3.4. Generación de la malla

**3.4.1. Generación de la malla impacto frontal y lateral.** Cuando se trabaja en ANSYS se tienen tres tipos de elementos:

Sólidos (tridimensionales 3D), shells (bidimensionales 2D), y beams (unidimensionales 1D), cada uno se utiliza para diferentes aplicaciones y depende del tipo de fenómeno físico que se desee analizar.

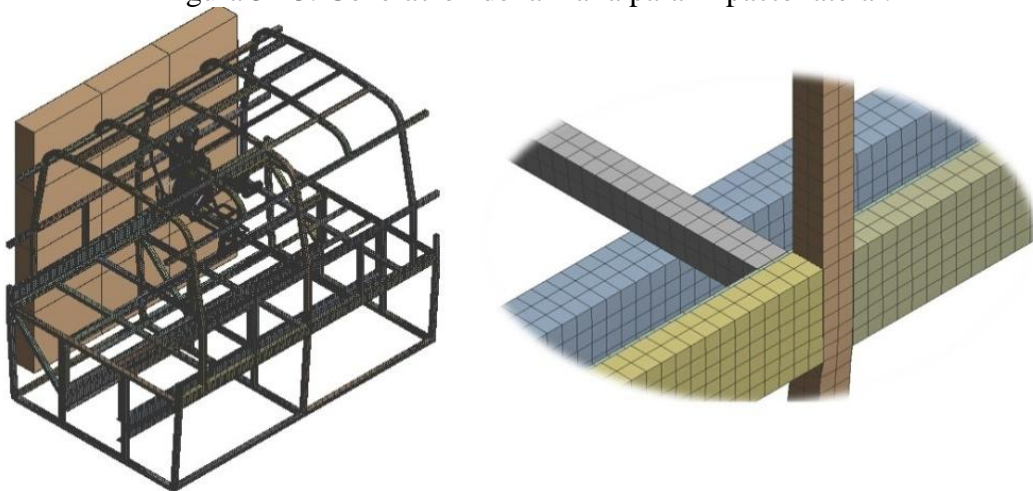
Con el objetivo de ahorrar recursos computacionales se trabaja con elementos tipo Shell, también conocidos como láminas, estos permiten: ahorrar recursos computacionales, y por tanto el tiempo de respuesta a la solución de un problema es relativamente corto todo dependerá del equipo computacional en el que se esté realizando el análisis. La realización de este tipo de ensayos utilizando los elementos anteriormente mencionados es una de las mejores técnicas para ahorrar tiempo y recursos computacionales.

Figura 3-12. Generación de la malla para impacto frontal



Fuente: Autores.

Figura 3-13. Generación de la malla para impacto lateral.



Fuente: Autores.

Figura 3-14. Generación de la malla de los asientos



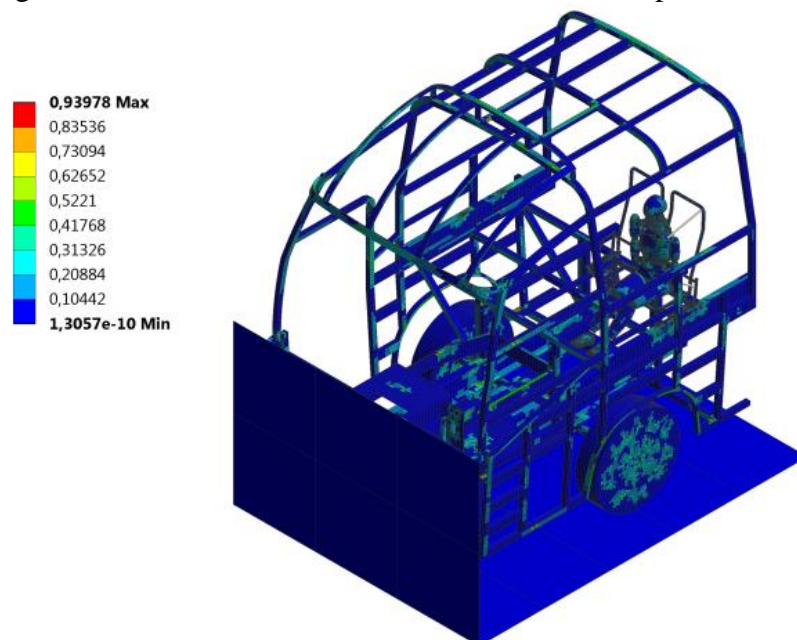
Fuente: Autores.

**3.4.2. Criterio para evaluar el tipo de malla.** Dentro de las herramientas que ofrece ANSYS para evaluar el criterio de malla se encuentran:

- Element Quality
- Aspect Ratio
- Jacobian Ratio
- Warping Factor
- Parallel Deviation
- Maximum Corner Angle
- Skewness
- Orthogonal Quality

Como se puede observar en la siguiente figura la mayor parte de los elementos presenta una calidad de malla muy buena muy próxima a 0 lo que garantiza los resultados que se obtendrán al aplicarle diferentes condiciones a la geometría, y 1 para una pésima calidad de malla.

Figura 3-15. Gráfico estadístico calidad de malla impacto frontal.



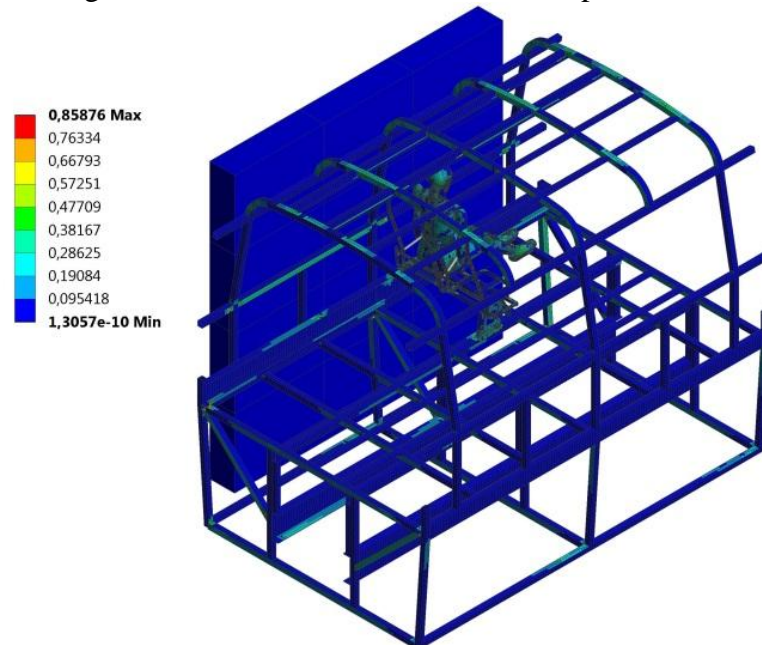
Fuente: Autores.

El skewness máximo es de 0,93978 que de acuerdo al criterio de evaluación de la figura 3-19, es aceptable por lo que se tiene una buena calidad de malla, esto se consigue



refinando la malla en algunos elementos como el maniquí, asiento, pared rígida y la estructura de la cabina. Se recomienda mallar por separado los elementos para verificar cualquier interferencia entre cuerpos.

Figura 3-16. Gráfico calidad de malla impacto lateral.



Fuente: Autores.

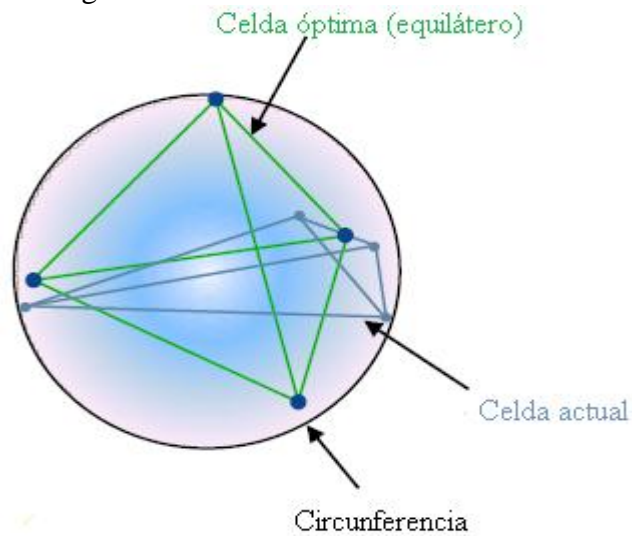
Del mismo modo el skewness máximo es de 0,85876 que de acuerdo al criterio de evaluación de la figura 3-19, es aceptable, a diferencia del anterior este se reduce significativamente este fenómeno se da principalmente por el tipo de geometría y de igual forma se trabajó en la malla refinando los elementos mencionados en el impacto frontal. Para determinar el skewness existen dos métodos que se detallan a continuación:

Basado en el tamaño celda optima equilátera, este se aplica solamente a triángulos y tetraedros siendo este el método aplicado por defecto y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Skewness} = \frac{\text{tamaño optimo de la celda} - \text{tamaño de la celda}}{\text{tamaño optimo de la celda}} \quad (5)$$

Esto se lo puede apreciar de una mejor manera en la siguiente figura.

Figura 3-17 Método del tamaño de celda.



Fuente: <http://www.bakker.org/dartmouth06/engs150/07-mesh.pdf>

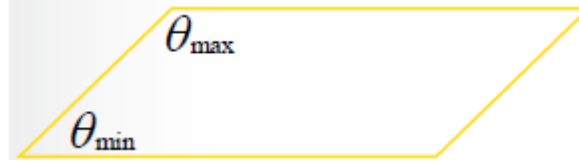
Basado en la desviación de un ángulo normal equilátero que se aplica a todas las formas de las caras, siempre es usado para prismas y pirámides comparando los ángulos máximos y mínimos del cuadrilátero.

$$\text{Skewness} = \max \left[ \frac{\theta_{max} - \theta_e}{180 - \theta_e}, \frac{\theta_e - \theta_{min}}{\theta_e} \right] \quad (6)$$

Dónde:

- $\theta_{max}$ : Ángulo máximo del cuadrilátero
- $\theta_{min}$ : Ángulo mínimo del cuadrilátero
- $\theta_e$ : Ángulo de la cara equiangular  $60^\circ$  para equiláteros y  $90^\circ$  para cuadriláteros.

Figura 3-18. Método del ángulo de desviación.



Fuente: <http://www.bakker.org/dartmouth06/engs150/07-mesh.pdf>

Como en este estudio se trabaja con elementos cuadriláteros se utiliza el segundo criterio que es el método de la desviación del ángulo este criterio de Skewness varía desde 0 a 1, donde un elevado valor cercano a 1 se considera malo y un bajo valor cercano a 0 es considerado como bueno, los diferentes criterios de aceptabilidad se pueden observar en la figura 3-19.

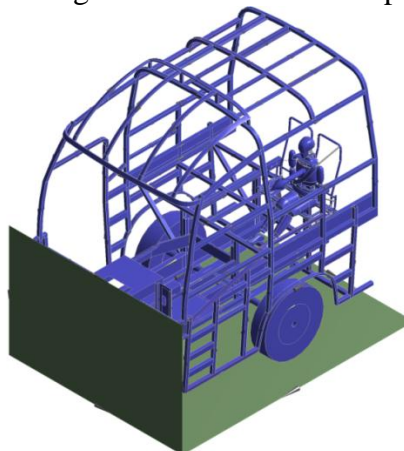
Figura 3-19. Criterios de aceptabilidad de calidad de malla.

Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Fuente: Introduction to ANSYS Mechanical.

**3.4.3. Condiciones de borde para impacto frontal.** De acuerdo a la normativa utilizada para este ensayo la velocidad de vehículo es de 56 km/h (15, 56 m/s), por lo que se asigna dicha velocidad al conjunto completo cabina, asiento y maniquí direccionándola sobre el eje Z para que estos se impacte contra una pared rígida.

Figura 3-20. Asignación de la velocidad para ensayo.

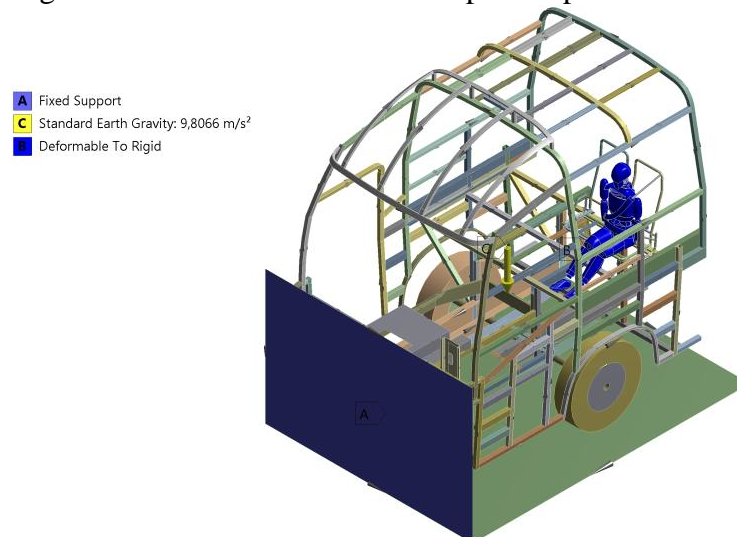


Fuente: Autores.

Una de las condiciones de borde importantes para este tipo de ensayo es la configuración del tiempo para este caso será de 0,11 segundos, tiempo con el cual se puede visualizar resultados y sacar conclusiones, mientras más elevada sea la configuración del tiempo se tendrá un mayor gasto computacional.

Finalmente se configura una condición de soporte fijo a la pared rígida, se asigna la gravedad a todo el conjunto fuerza presente por el fenómeno de atracción de los cuerpos hacia el centro de la tierra, una condición importante es el comportamiento del maniquí que tiene una configuración de deformable a rígido este solo va a transmitir fuerza debido a que en este estudio no se analiza el comportamiento del mismo, la masa del maniquí es de 75 kg que es el peso aproximado de una persona adulta esto está establecido en la normativa ecuatoriana vigente.

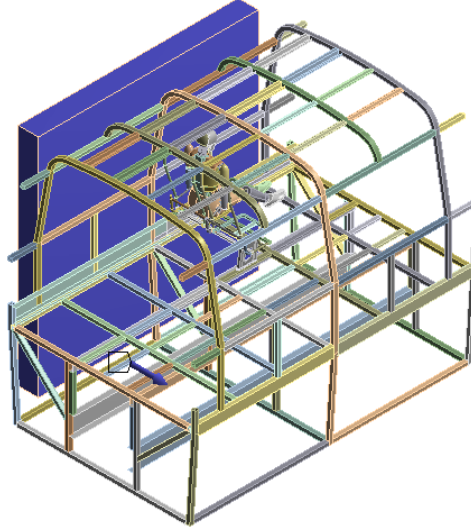
Figura 3-21. Condiciones de borde para impacto frontal.



Fuente: Autores.

**3.4.4. Condiciones de borde para impacto lateral.** La normativa vigente para este tipo de ensayo establece una condición de velocidad de 50 km/h (13,89 m/s) la velocidad se le asigna a la barrera deformable móvil direccionándola a lo largo del eje X, para que impacte contra la sección de carrocería.

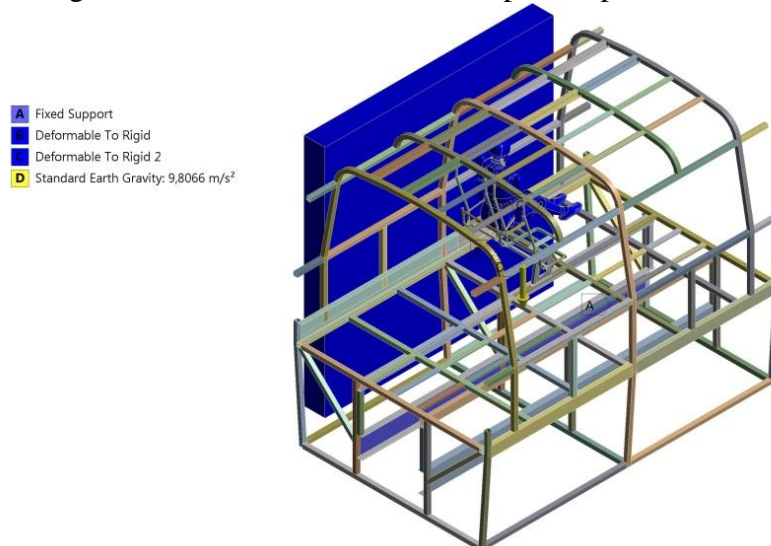
Figura 3-22. Asignación de la velocidad para ensayo.



Fuente: Autores.

Para simular la condición estática de la carrocería se asigna una configuración de soporte fijo a los miembros estructurales del chasis, de misma manera que para el impacto frontal se asigna la condición de deformable a rígido para el maniquí y la barrera deformable móvil para que solamente transmitan fuerza y finalmente la condición de la fuerza de gravedad.

Figura 3-23. Condiciones de borde para impacto lateral.

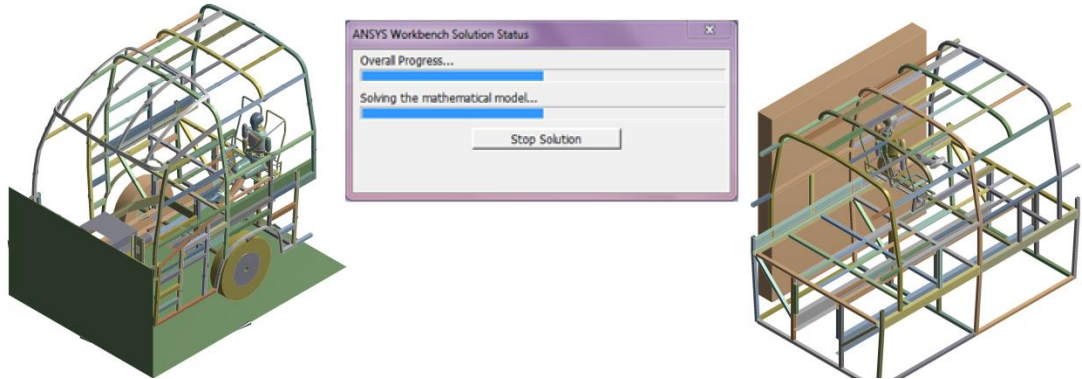


Fuente: Autores.

### 3.5. 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. El procedimiento es el mismo para el impacto frontal y lateral.

Figura 3-24. Solución del impacto frontal y lateral.



Fuente: Autores.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

#### 4.1. Definiciones de parámetros utilizados para evaluar el análisis de resultados.

**4.1.1. Esfuerzo.** Las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del material por lo que se distribuyen en toda el área, se denomina esfuerzo a la fuerza por unidad de área, la cual se denota con la letra griega sigma ( $\sigma$ ) y es un parámetro que permite comparar la resistencia de dos materiales, ya que establece una base común de referencia.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Dónde:

- $\sigma$  = es el esfuerzo producido.
- $F$  = es la fuerza axial aplicada.
- $A$  = es el área de la sección transversal.

**4.1.2. Deformación.** La resistencia del material no es el único parámetro que debe utilizarse al diseñar o analizar una estructura; controlar las deformaciones para que la estructura cumpla con el propósito para el cual se diseñó tiene la misma o mayor importancia. El análisis de las deformaciones se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas. (MEDINA, 2015).

Una barra sometida a una fuerza axial de tracción aumentara su longitud inicial; se puede observar que bajo la misma carga pero con una longitud mayor este aumento o alargamiento se incrementará también. Por ello definir la deformación ( $\epsilon$ ) como el cociente entre el alargamiento  $\delta$  y la longitud inicial  $L$ , indica que sobre la barra la

deformación es la misma porque si aumenta  $L$  también aumentaría  $\delta$ . Matemáticamente la deformación sería:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (6)$$

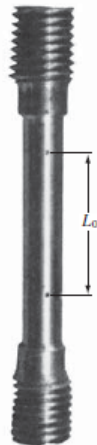
Dónde:

- $\varepsilon$  = deformación unitaria.
- $\delta$  = deformación total.
- $L$  = es la longitud inicial.

**4.1.3. Diagrama esfuerzo-deformación.** La relación entre el esfuerzo y la deformación en un material dado es una característica importante del material. Para obtener el diagrama de esfuerzo-deformación de un material, comúnmente se lleva a cabo un ensayo o prueba de tensión sobre una probeta del material.

El tipo de probeta más utilizado se muestra en la figura 4-1. El área de la sección transversal de la sección cilíndrica central de la probeta se ha determinado exactamente y se han hecho dos marcas de calibración en dicha porción a una separación de  $L_0$ . La distancia  $L_0$  se conoce como la longitud base de la probeta.

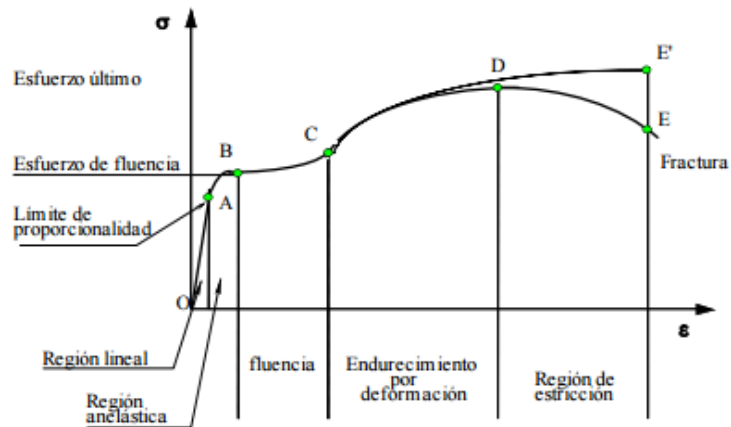
Figura 4-1. Probeta de prueba para ensayo de tracción.



Fuente: (BEER, 2013) pp. 45.



Figura 4-2. Curva esfuerzo vs. Deformación para un acero estructural.



Fuente:

[http://www.ramos.utfsm.cl/doc/1080/sc/Capitulo\\_2\\_Comportamiento\\_del\\_Material.pdf](http://www.ramos.utfsm.cl/doc/1080/sc/Capitulo_2_Comportamiento_del_Material.pdf)

A continuación se consideran algunas definiciones de la figura anterior.

**4.1.3.1. Límite de Proporcionalidad ( $F_p$ ).** Es el máximo esfuerzo o tensión para la cual es válida la ley de Hooke, es decir existe proporcionalidad entre esfuerzos y deformaciones.

**4.1.3.2. Límite de Fluencia ( $F_f$ ).** Corresponde al esfuerzo en el material, para el cual se producen deformaciones importantes sin aumento apreciable de la carga, se denomina también tensión de fluencia.

**4.1.3.3. Resistencia a la Tracción ( $F_r$ ).** También llamada resistencia última, corresponde al valor máximo del esfuerzo en la curva característica.

**4.1.3.4. Módulo de Elasticidad ( $E$ ).** Corresponde a la pendiente de la curva en la zona de proporcionalidad.

**4.1.3.5. Ductilidad.** Es la capacidad del material de aceptar grandes deformaciones más allá del límite elástico, sin peligro de agrietarse o fracturarse. Propiedad que se presenta con mayor intensidad en aceros de baja resistencia. (FLORES, 2012).

**4.1.3.6. Comportamiento elástico contra comportamiento plástico de un material.** Si las deformaciones causadas en una probeta por la aplicación de una carga dada

desaparecen cuando se retira la carga, se dice que el material se comporta elásticamente. El máximo valor de esfuerzo para el que el material se comporta elásticamente se denomina el límite elástico del material.

Si  $\varepsilon$  no regresa a cero después de que la carga ha sido retirada indica que ha ocurrido una deformación permanente o deformación plástica en el material. Para la mayor parte de los materiales, la deformación plástica depende no tan sólo del máximo valor alcanzado por el esfuerzo, sino también del tiempo que pasa antes de que se retire la carga. La parte dependiente del esfuerzo de la deformación plástica se denomina deslizamiento. (BEER, 2013).

**4.1.3.7. Ley de Hooke.** La mayor parte de las estructuras de ingeniería se diseñan para sufrir deformaciones relativamente pequeñas, que involucran sólo la pendiente del diagrama de esfuerzo-deformación correspondiente. Para esta porción inicial del diagrama, el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación, y puede escribirse:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (7)$$

Dónde:

- $\sigma$  = es el esfuerzo producido.
- $E$  = es el módulo de elasticidad.
- $A$  = es la deformación unitaria.

## **4.2. Operacionalización de variables.**

Es un proceso metodológico que consiste en descomponer deductivamente las variables que componen el problema de investigación, partiendo desde lo más general a lo más específico. (MORENO, 2013).

Tabla 4-1. Variables para determinar esfuerzos y deformaciones.

Variable	Tipo de variable	Definición de la variable	Dimensiones	Indicadores	Ítem	Técnicas e instrumentos
Estudio del comportamiento de anclajes de asiento para un bus interprovincial.	Independiente	El asiento se sujeta en sus anclajes a la plataforma del bus de forma fija, la cual se puede fijar en varios puntos de anclaje de forma horizontal, vertical o inclinada.	Impacto frontal	Velocidad de impacto	56 km/h (15,56 m/s) 90 Km/h (25 m/s)	Mediante software CAE por Método de elementos finitos.
			Impacto lateral	Velocidad de impacto	56 km/h (15,56 m/s) 90 Km/h (25 m/s)	
			Modelado del anclaje de asiento.	Modelo 1	1030 mm	
Establecer las deformaciones y esfuerzos máximos en los anclajes.	Dependiente	Los esfuerzos máximos se establecen como el esfuerzo máximo que puede soportar un material. En la gráfica se lo puede observar en la máxima ordenada de la gráfica Esfuerzo – Deformación.	Criterio de aceptación Reglamento 80 (CEPE) Apéndice 1 1.1.3.	Resistencia	¿Cuál es el esfuerzo máximo?	Mediante software CAE por Método de elementos finitos
			Criterio de aceptación Reglamento 80 (CEPE) Apéndice 1 1.1.3.1.2.	Desprendimiento	Existe desprendimiento o total SI o NO	
			Calidad de malla	Skewness	Igual a 0	

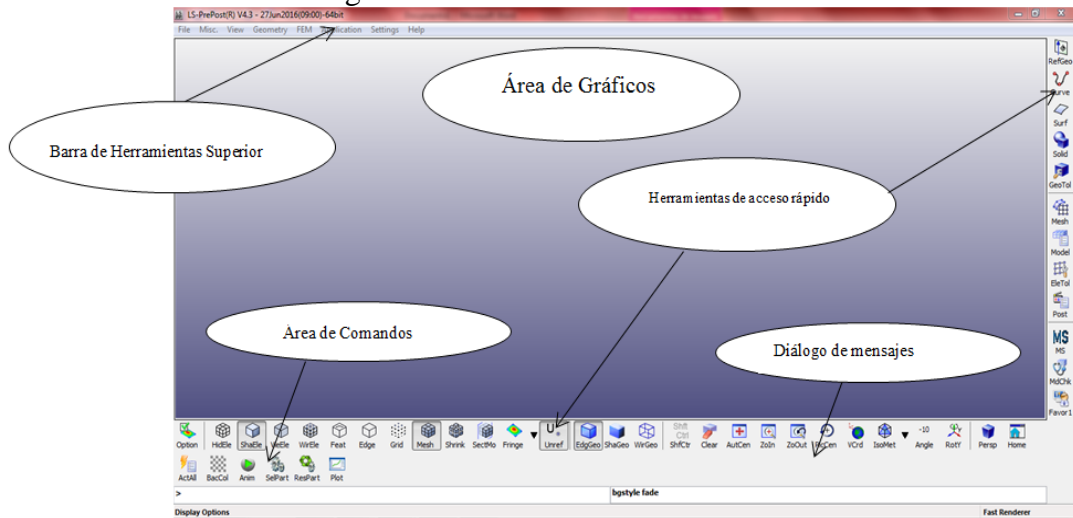
Fuente: Autores.

### 4.3. Postproceso de la simulación.

El postproceso es el paso más importante del análisis por MEF debido a que se deben interpretar los resultados obtenidos en la simulación, esto debe hacerlo un profesional con un buen criterio ingenieril para dar posibles soluciones a los problemas que se puedan presentar en la geometría que se analizó.

Para visualizar los resultados de la simulación se utilizara el software Ls-PrePost que es un postprocesador avanzado que se incluye con el programa LS- DYNA. La interfaz del usuario ha sido diseñada para ser eficiente e intuitiva.

Figura 4-3. Interfaz de Ls-PrePost.



Fuente: Autores.

### 4.4. Resultados del impacto frontal de la estructura del asiento a 56 Km/h.

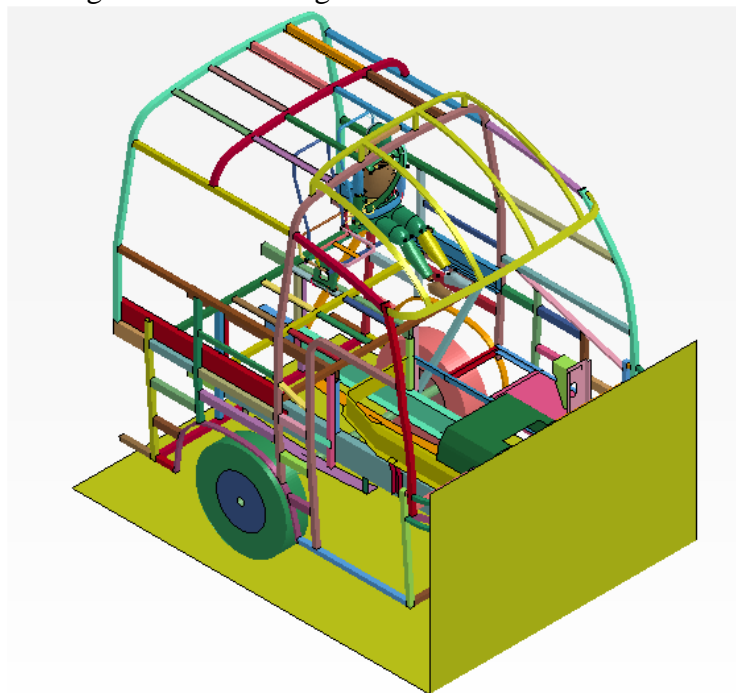
La simulación se realizó según lo establecido en el reglamento 94 CEPE/ONU, donde establece una velocidad de ensayo de 56 km/h (15,56 m/s), en dirección z longitudinal a la dirección de movimiento del autobús. Para la verificación de la resistencia del asiento se hace en base a los requerimientos establecidos en el reglamento 80 CEPE/ONU, en la parte concerniente a ensayos dinámicos.

El tiempo empleado en la simulación es de 0,11 s (segundos) tiempo recomendado para impactos, la cantidad de elementos es de 97771 y nodos 97676. El tiempo de

procesamiento es de 5 horas, con una computadora portátil Intel Core i7 con 8 procesadores de 3,2 GHz y 16 GB de memoria RAM. Se obtuvieron resultados cada 14 ms, lo que se puede observar en la figura 4-5, en orden cronológico de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

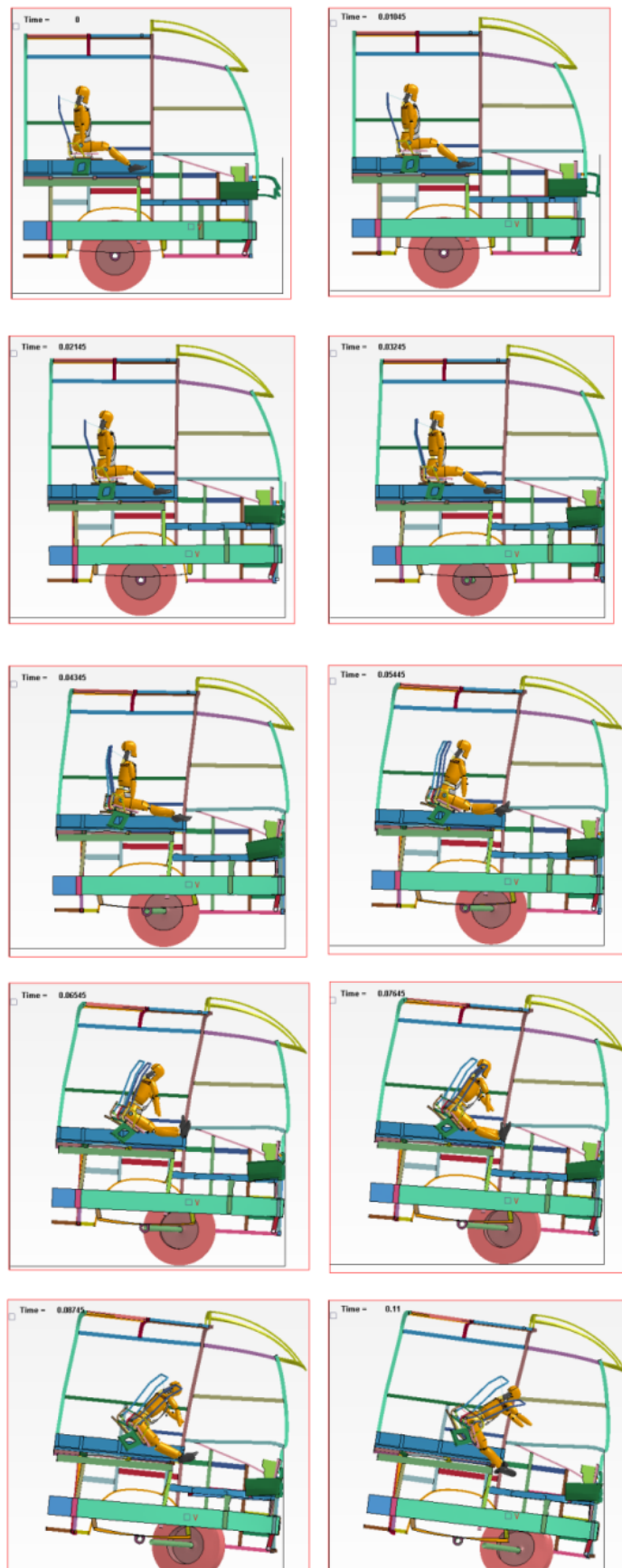
Para una mejor visualización e interpretación de resultados se utiliza el postprocesador descrito anteriormente se procede a ingresar la geometría para ello se debe abrir el archivo d3plot que se genera a partir de la solución en el Ls-Dyna Workbench como se muestra en la figura 4-4, este viene incluido cuando se instala el complemento de Ls-Dyna Workbench y es muy versátil para postprocesar los resultados debido a que se pueden obtener varias formas de interpretar las soluciones generadas por el solver, estas son generadas a través de un código.

Figura 4-4. Ingreso del modelo geométrico al Ls-PrePost modelo frontal.



Fuente: Autores.

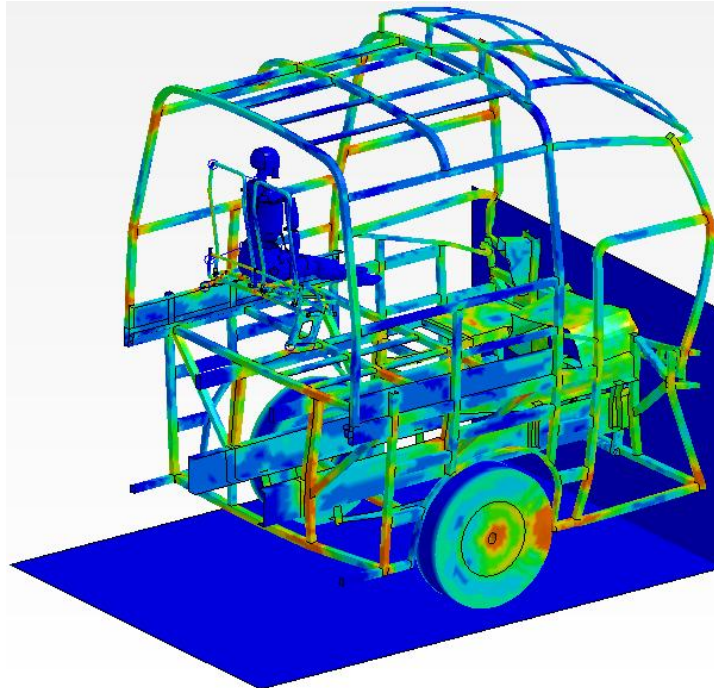
Figura 4-5. Secuencia de imágenes de impacto frontal con asiento actual 56 km/h.



Fuente: Autores.

El impacto frontal realizado a 56 km/h, a continuación se da muestra de la secciones más críticas en la pata de anclajes en un tiempo de 0,11 s, según los lineamientos de aceptación del reglamento N° 80 de la CEPE/ONU, existen desprendimientos total o parcia del anclaje, aristas vivas y con esfuerzo máximo de fluencia de 370 MPa en los anclajes, llegando a la ruptura del material como se muestra en las figuras 4-7 y 4-8, a continuación se muestra la distribución de esfuerzo de Von Mises en toda la sección de la carrocería.

Figura 4-6. Distribución de esfuerzos en la sección para impacto frontal.

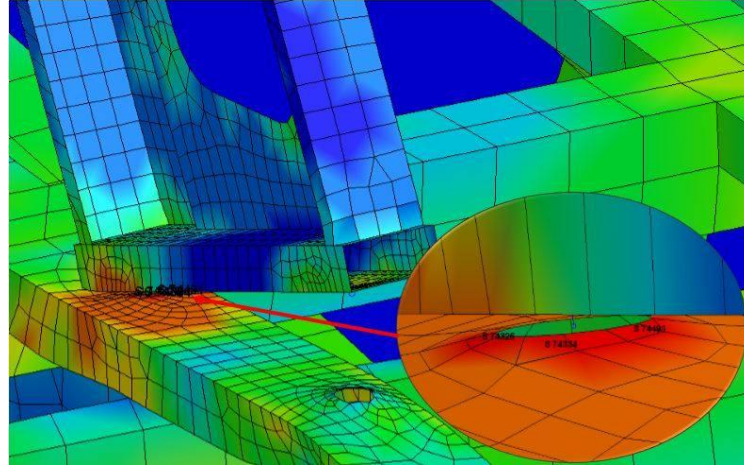


Fuente: Autores.

Como se mencionó anteriormente existe un desprendimiento del anclaje por lo que no se estaría cumpliendo con lo establecido en el reglamento N° 80 en su apéndice 1 y por lo tanto el asiento no pasa la prueba de impacto lo que conlleva al incumplimiento de las disposiciones, además representa un peligro para la seguridad de los pasajeros del autobús que en este caso son los que se verían seriamente afectados cuando se produzca un siniestro vial de este tipo.

Las áreas marcadas de un color rojo intenso son donde se produce la mayor concentración de esfuerzos, y al contrario el color azul indica que no existe concentración de esfuerzo en esos elementos.

Figura 4-7. Esfuerzo de Von Mises en la pata de anclaje a 56 km/h.

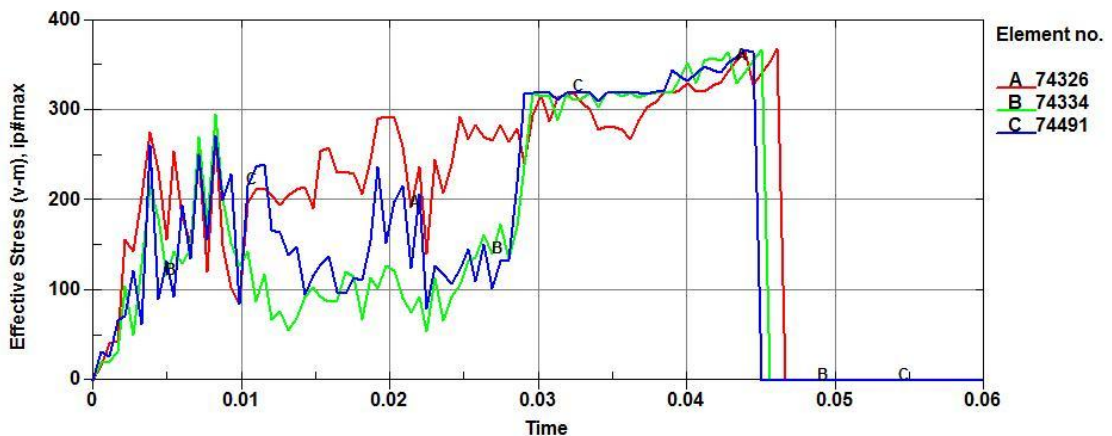


Fuente: Autores.

Como se mencionó en la Tabla. 3-3 la resistencia a la tracción del material que se está utilizando es de 400 MPa, pero al activarse la falla del material en el software con la opción Multilinear Isotropic Hardening se observa que colapsa mucho antes de llegar al límite establecido en tablas.

A continuación se muestra el comportamiento de los elementos seleccionados y se puede observar que los esfuerzos a los que se somete la pata de anclaje llegan a los 370 MPa produciéndose el fallo del material en un tiempo de 45 ms.

Figura 4-8. Variación de esfuerzos de Von Mises elementos seleccionados.

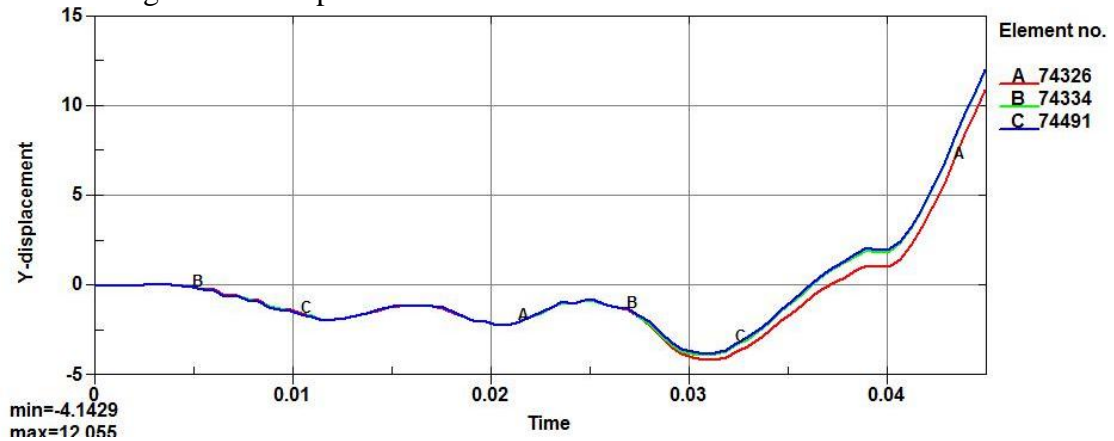


Fuente: Autores.

Con los mismos elementos seleccionados se observa los desplazamientos máximos que tienen en el eje Y con un valor máximo de 12,055 mm en 45 ms antes que colapse el material.



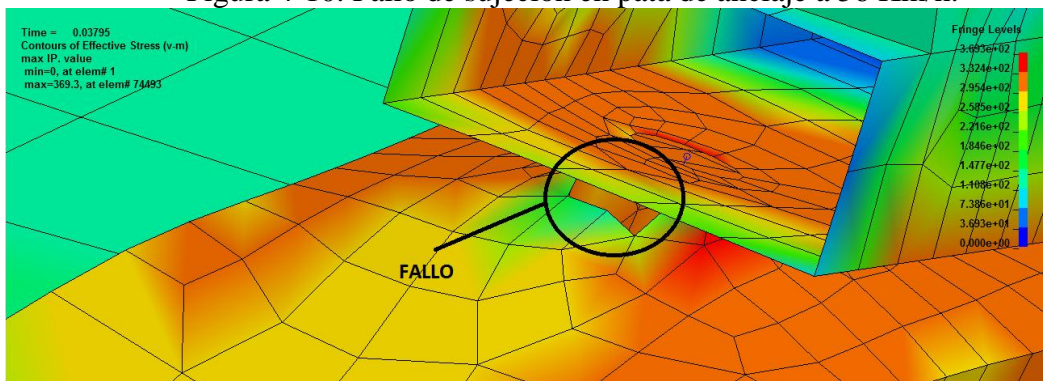
Figura 4-9. Desplazamientos máximos de elementos seleccionados.



Fuente: Autores.

En la figura 4-10 se observa se desprende el anclaje producto del impacto al que es sometido y como consecuencia produce el colapso del material.

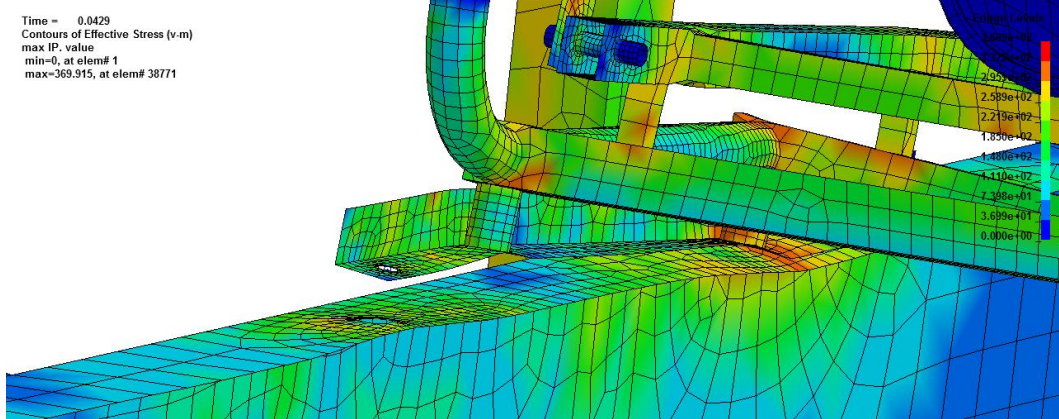
Figura 4-10. Fallo de sujeción en pata de anclaje a 56 Km/h.



Fuente: Autores.

En la figura. 4-11, se muestra el anclaje que reposa en el zócalo, se observa que existe un desprendimiento total, de igual manera no se cumplen los lineamientos establecidos en el reglamento al no permanecer sujeto al zócalo. El análisis para este elemento es el mismo que para la pata de anclaje, pero aquí no se seleccionan elementos críticos porque se puede ver que su comportamiento es similar, además se desprende totalmente como en el caso anterior.

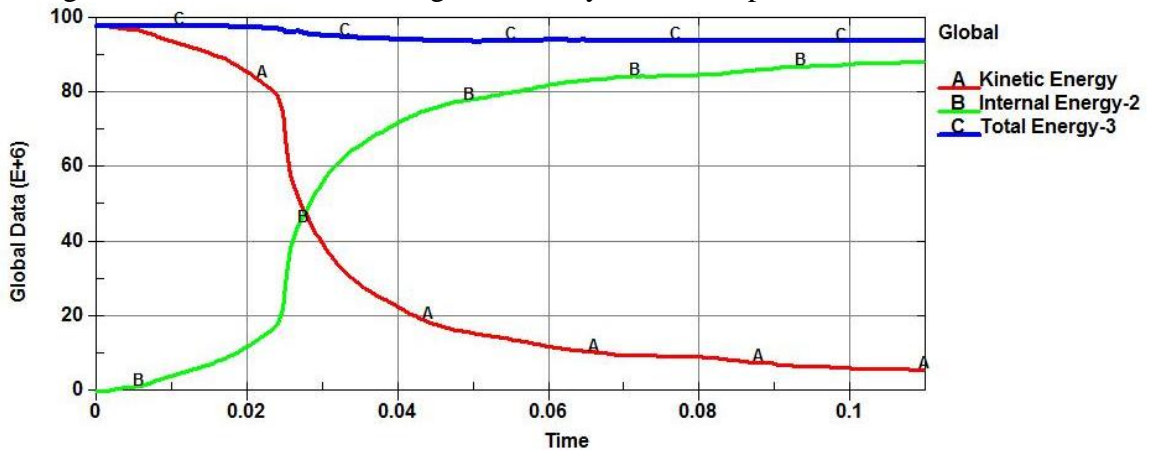
Figura 4-11. Esfuerzo de Von Mises en anclaje unido al zócalo a 56 km/h.



Fuente: Autores.

A continuación se presentan las curvas de energías cinética e interna representadas con los colores rojo y verde respectivamente. Durante el tiempo de impacto se cumple la Ley de conservación de energía “La energía no se crea ni se destruye solo se transforma en otros tipos de energía”, la energía cinética es proporcional a la energía interna mientras la energía cinética disminuye la energía interna se incrementa, además un parámetro para la validez del ensayo realizado establece que toda la energía producida en un impacto debe ser constante, lo que claramente se puede evidenciar en la figura 4-12 con lo que posteriormente se procede a validar el estudio computacional.

Figura 4-12. Variación de energía cinética y interna impacto frontal a 56 km/h.



Fuente: Autores.

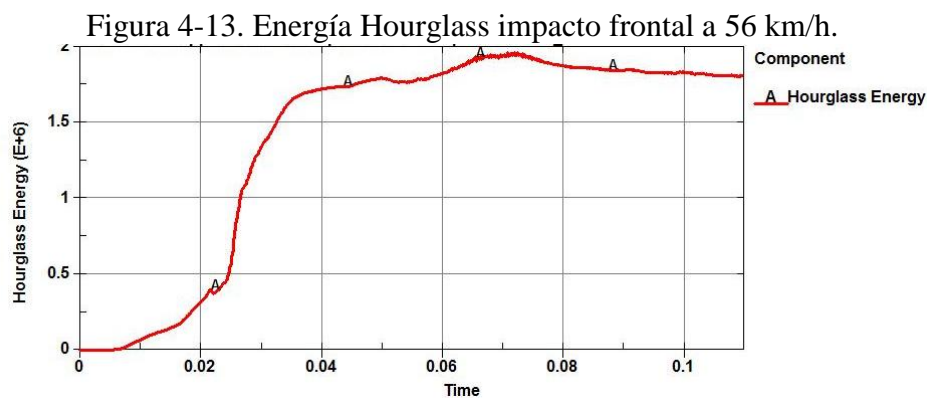
#### 4.5. Validación de estudio computacional.

Los resultados obtenidos en el análisis se exponen a continuación, para la validación del estudio se va a trabajar en base a la relación entre la energía interna y hourglass (control de reloj de arena).

**4.5.1. Control de Hourglass.** Los modos de control de reloj de arena más conocido como Hourglass son modos no físicos de deformación que se producen en los elementos no integrados y que no producen esfuerzos. Por no integrados se refiere a los siguientes casos:

- Los elementos sólidos con un único punto de integración.
- Superficies, con la característica de ser elementos con un único punto de integración en el plano.
- Es mucho más rápido integrar en un punto, lo cual genera resultados aceptables y que ayudan a minimizar los modos de Hourglass.

El valor de energía Hourglass en un tiempo de 0,11 segundos es  $1,97 \times 10^6$  J, como se indica en la siguiente figura.

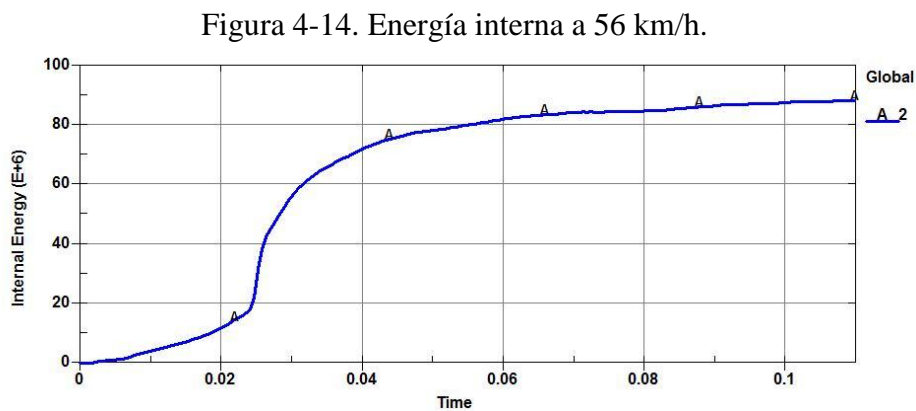


Fuente: Autores.

Los métodos de control de Hourglass por lo general lo que hacen es permitir un dominio de malla mediante la aplicación de fuerzas internas para resistir los modos de deformación del Hourglass (HG) a través de uno de los varios algoritmos de control HG. La energía de reloj de arena, que representa el trabajo realizado por las fuerzas

calculadas para resistir los modos de Hourglass, los que quitan energía física al sistema. (LIVERMORE, 2015).

**4.5.2. Energía interna.** De acuerdo a los principios físicos se define a la energía interna como la suma de las energías de todas las partículas que conforman un cuerpo, esta es muy difícil de calcular 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 nuestro valor de energía interna es de  $88,3 \times 10^6$  J a un tiempo de 0,11 s.



Fuente: Autores.

Para validar los resultados obtenidos en el estudio, se ha recurrido a la relación entre la energía interna de deformación de impacto versus el valor de la energía del Hourglass. Si la Energía de Hourglass es menor al 10 % de la Energía Interna la solución es aceptable (LIVERMORE ,2014).

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

$$H = \frac{\text{Hourglass}}{\text{Energía}_{int}}$$

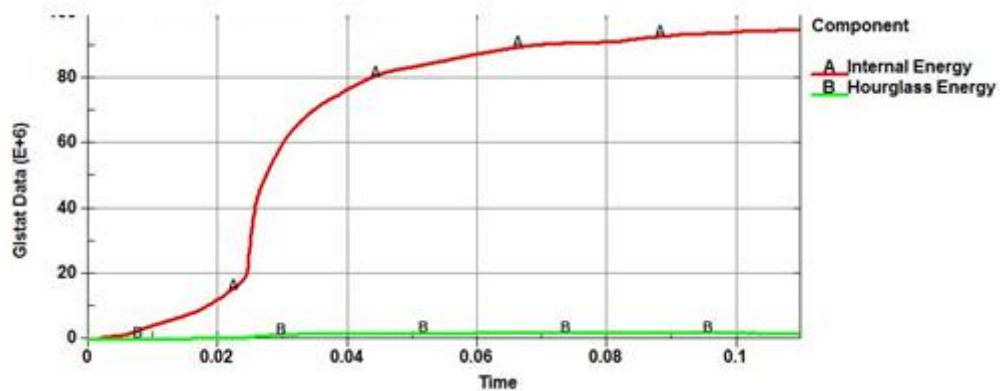
$$H = \frac{1,97 \times 10^6 \text{ J}}{88,3 \times 10^6 \text{ J}} \times 100 \%$$

$$H = 2,23 \%$$

$$H < 10 \%$$

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 4-15 se muestra el comportamiento de la energía interna y la energía Hourglass que no sobrepasa el 10% de la energía interna.

Figura 4-15. . Energía interna y energía Hourglass impacto frontal a 56 km/h.



Fuente: Autores.

#### 4.6. Resultados del impacto frontal de la estructura del asiento a 90 Km/h.

Es necesario mencionar que este análisis se lo hace necesariamente por las condiciones en la que se producen los siniestros viales en el Ecuador, para acercarnos más a la realidad e inclusive los accidentes se producen a velocidades más elevadas de las que permite la ley ecuatoriana como se mencionara más adelante, se pueden realizar análisis a velocidades exageradas pero los resultados obtenidos no pueden ser confiables debido a la falta de convergencia en los resultados, además el modelo matemático para el sistema físico se vuelve más complejo, lo que conlleva a un mayor gasto computacional y el objetivo es precautelar la seguridad de los pasajeros, pero a altas velocidades se vuelve muy difícil. En tal virtud es ensayo que se muestra a continuación pretende demostrar que es lo que sucedería con los anclajes de asiento a esa velocidad en caso de producirse un siniestro vial que involucre un impacto frontal.

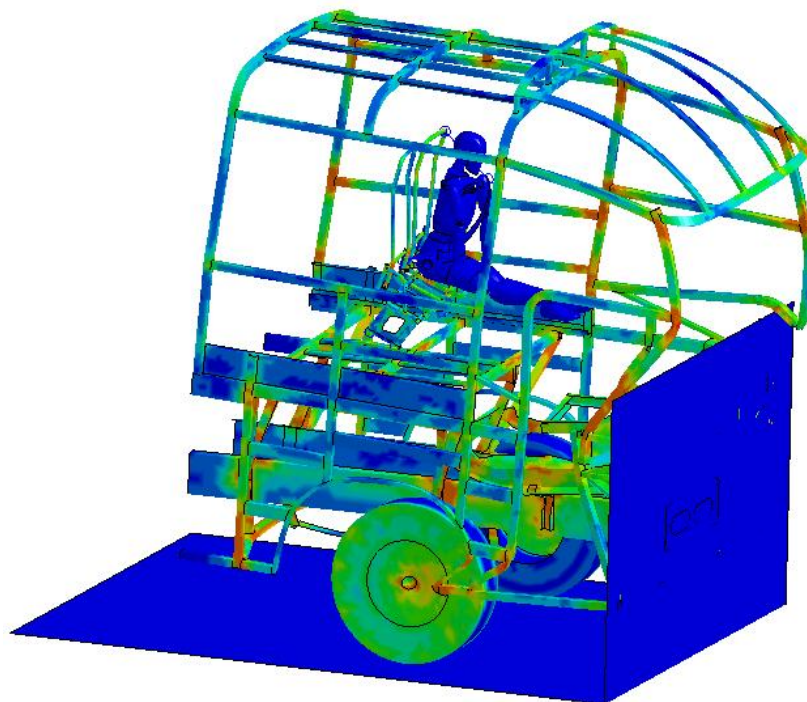
Para el siguiente análisis se propone realizar un impacto frontal a una velocidad diferente a la establecida por el reglamento N° 94 CEPE/ONU, para ello se plantea la velocidad máxima establecida por la ANT para autobuses interprovinciales que es 90 km/h (25 m/s). La mayoría de accidentes ocurridos se deben a la impericia del

conductor y las altas velocidades en las que circulan, por tales motivos se afirma la velocidad escogida, en ella se podrán observar las deformaciones que se tendría un impacto a dicha velocidad.

El tiempo de simulación es de 0,11 s, recomendado para este tipo de impactos, la cantidad de elementos es de 97771 y nodos 97676. El tiempo de procesamiento es de 5 horas con 14 minutos, con una computadora portátil Intel Core i7 con 8 procesadores de 3,2 GHz y 16 GB de memoria RAM. De igual manera que para el caso anterior se obtuvieron resultados cada 14 ms, los que se puede observar en la figura. 4-17, en orden cronológico de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

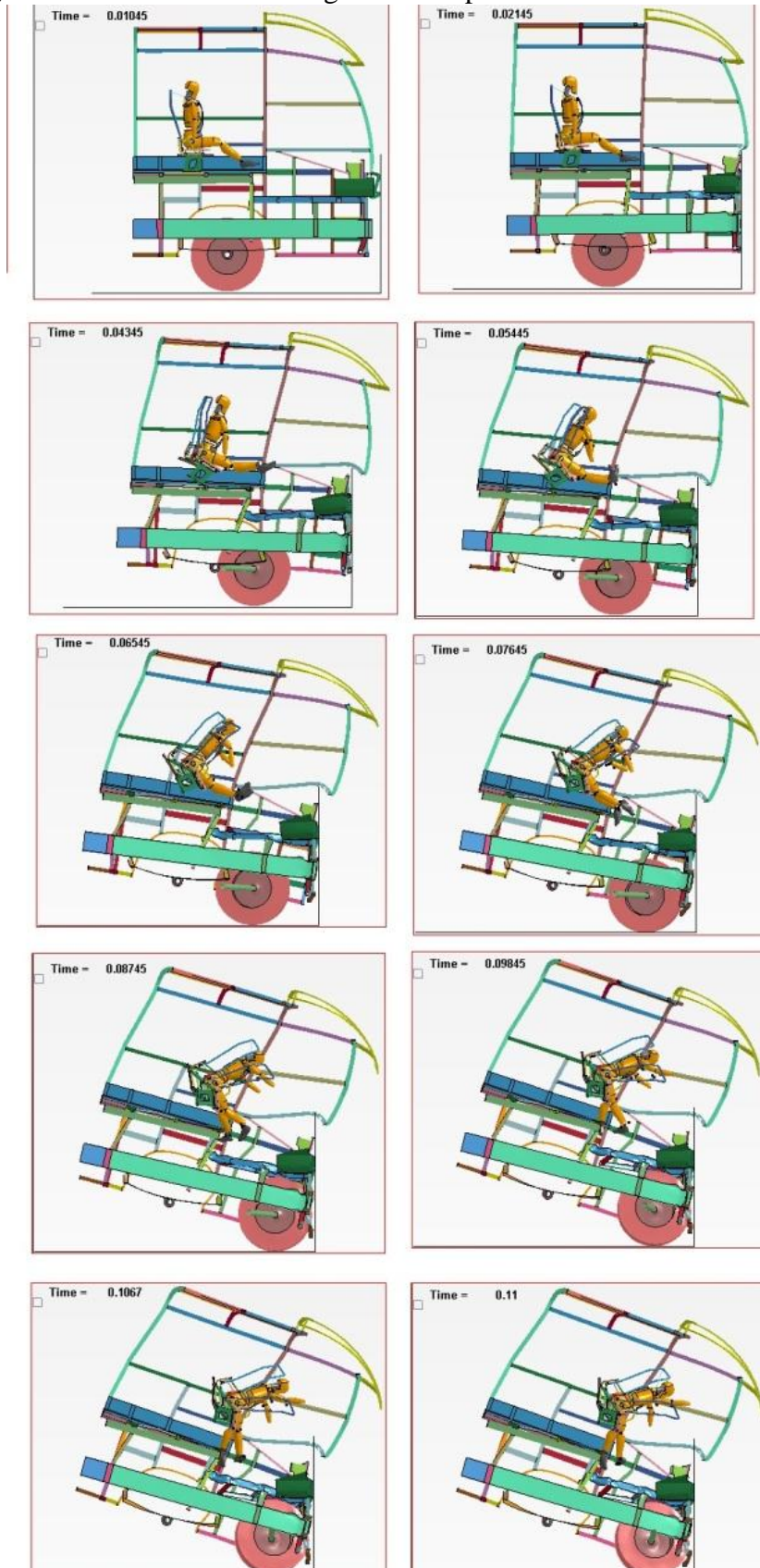
También se muestra la distribución de esfuerzos en toda la estructura y con la variación los colores que se explicó anteriormente en el ensayo a 56 km/h.

Figura 4-16. Distribución de esfuerzos a 90 km/h.



Fuente: Autores.

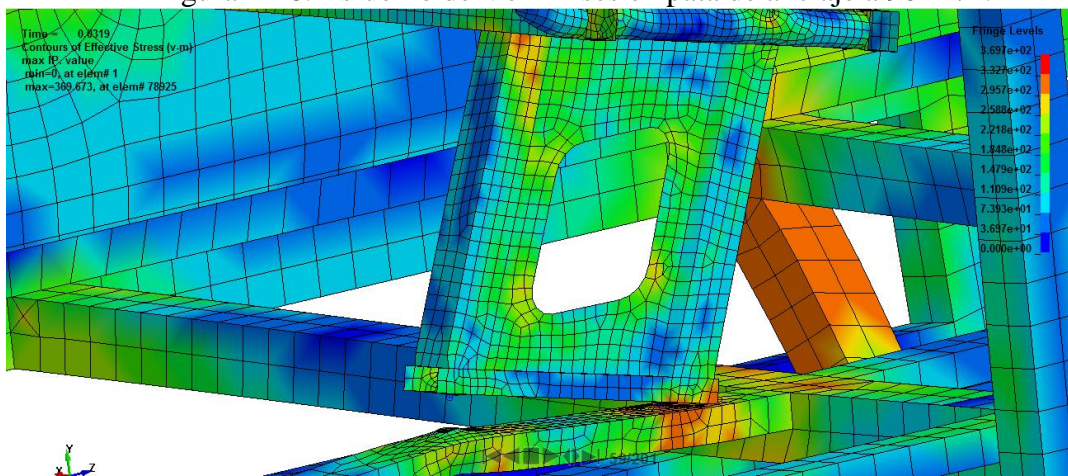
Figura 4-17. Secuencia de imágenes de impacto frontal con asiento original.



Fuente: Autores

En la figura 4-18 se muestra las secciones más críticas en la pata de anclajes en un tiempo de 0,11 segundos, se observa los esfuerzos de Von Mises y deformaciones actuados en la bases de los anclaje considerado como un punto crítico a una velocidad de impacto de 90 Km/h, según los lineamientos de aceptación del reglamento N° 80 de las Naciones Económicas Europeas existen desprendimientos total del anclaje y con esfuerzo máximo menores que el esfuerzo de fluencia del material demostrando que el elemento ha colapsado.

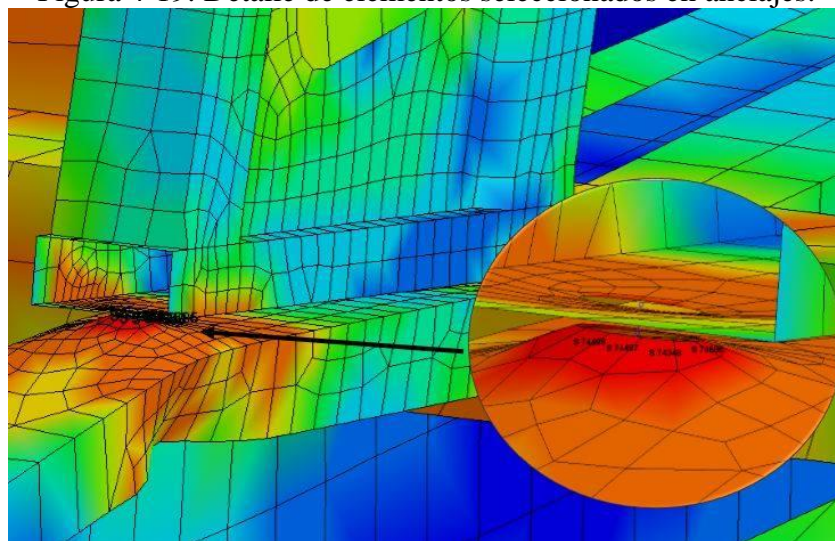
Figura 4-18. Esfuerzo de Von Mises en pata de anclaje a 90km/h.



Fuente: Autores.

En la figura 4-19 se muestra una de las zonas críticas en la pata de anclaje donde se produce el colapso del anclaje, seleccionaremos 4 elementos finitos cercanos al fallo.

Figura 4-19. Detalle de elementos seleccionados en anclajes.

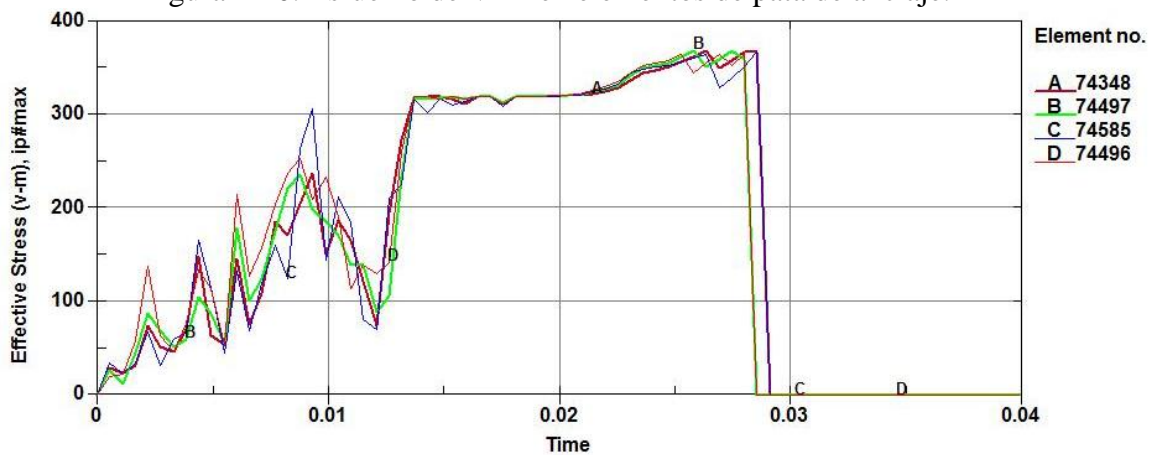


Fuente: Autores.



En los elementos mencionados se observa los esfuerzos máximos de Von Mises. Las curvas de los esfuerzos se muestran en la figura 4-20 demostrando que existe una similitud en su comportamiento de elasticidad, plasticidad y colapso. En el tiempo de 29 ms colapsa los elementos produciéndose el desprendimiento del anclaje como se muestra en la gráfica de esfuerzo V-M vs el tiempo de simulación, representados en MPa y segundos respectivamente llegando hasta los 370 MPa donde se produce el colapso del material.

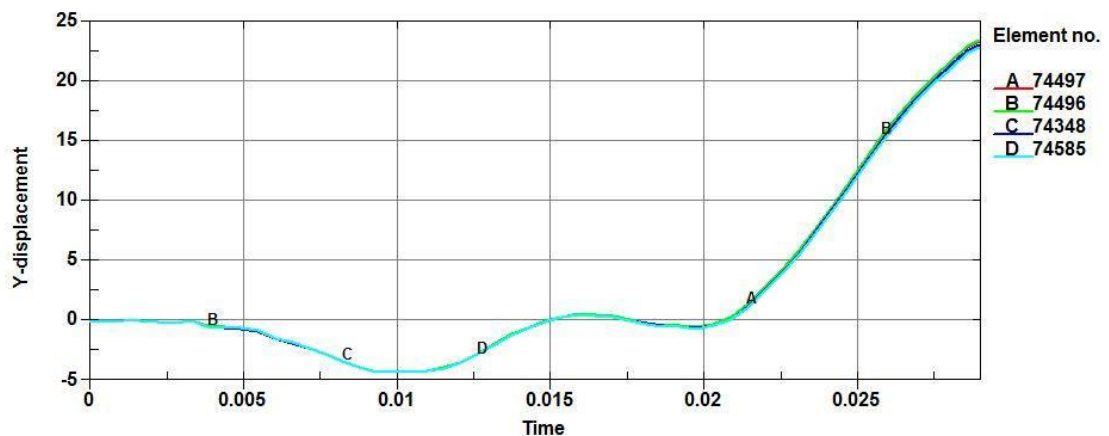
Figura 4-20. Esfuerzo de V-M en elementos de pata de anclaje.



Fuente: Autores.

Con los mismos elementos seleccionados se observa que el desplazamiento máximo en el eje y es de 23 mm en un tiempo de 29 ms, luego de este tiempo el material se fractura y falla por lo que pasado ese tiempo el análisis es innecesario.

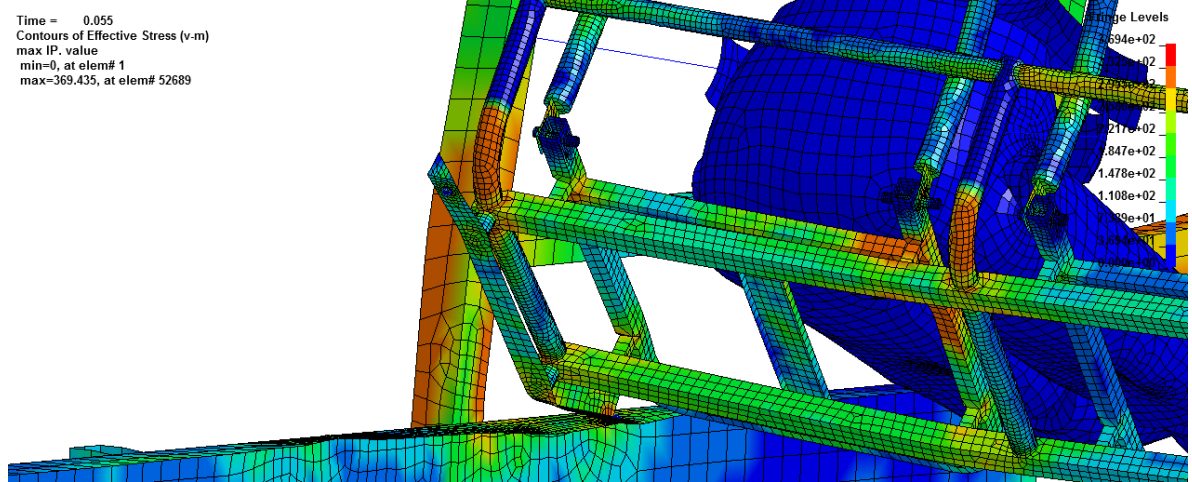
Figura 4-21. Desplazamiento de elementos seleccionados.



Fuente: Autores.

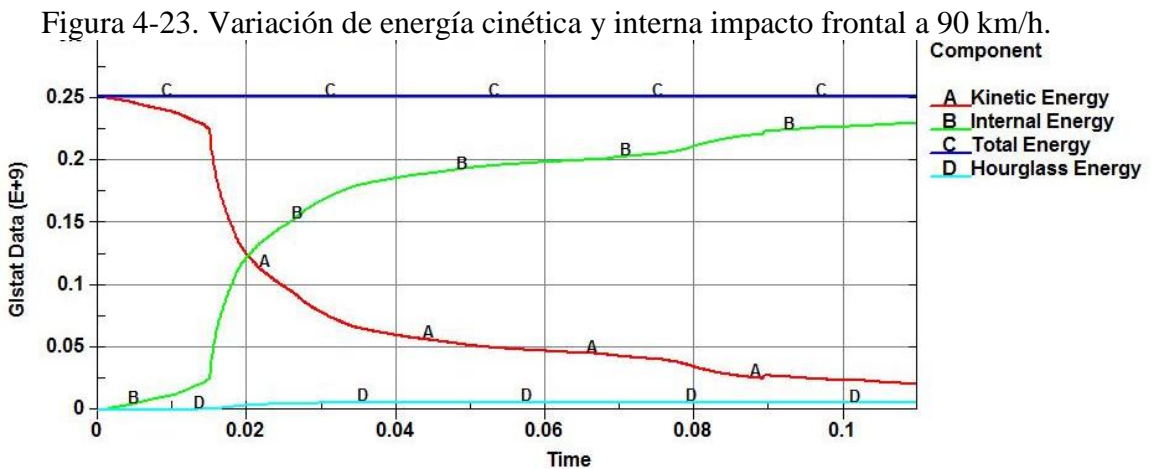
El anclaje que va unido al zócalo presenta un desprendimiento total y no resiste al impacto a 90 km/h, produciéndose la rotura del material con esfuerzos máximos de 370 MPa en las zonas más críticas, como se indica en la figura 4-22.

Figura 4-22. Esfuerzo de Von Mises en anclaje unido al zócalo a 90 km/h.



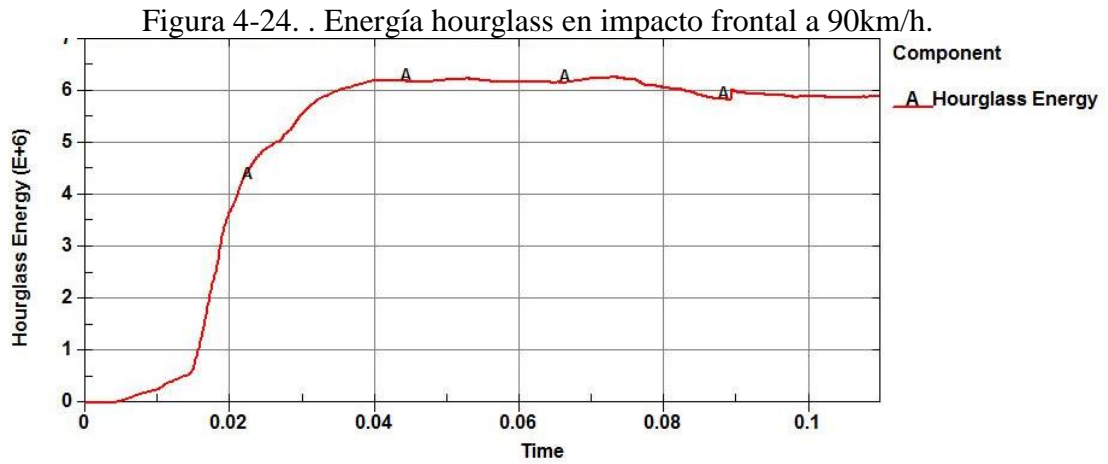
Fuente: Autores.

A continuación se presentan las curvas de energías cinética e interna representadas con los colores rojo y verde respectivamente. Durante el tiempo de impacto se cumple la Ley de conservación de energía transformando toda la energía cinética en energía interna, siendo un parámetro para la validez del ensayo realizado. El valor de energía total es constante en  $250 \times 10^6$  J mayor a la energía total del impacto a 56 km/h, esto se debe al incremento de la velocidad.



Fuente: Autores.

Como se puede ver en la figura 4-24 la energía hourglass no sobrepasa el 10% de la energía interna, dando validez del estudio computacional a los parámetros ingresados para la simulación.



Fuente: Autores.

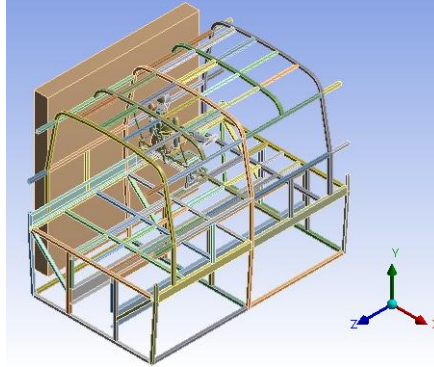
El cálculo para la validez del estudio computacional realizado para el impacto anterior se lo puede hacer gráficamente como se muestra en la figura anterior.

#### 4.7. Resultados de impacto lateral de la estructura del asiento a 50 Km/h

La simulación se realizó según lo establecido en el reglamento 95 CEPE/ONU, donde establece una velocidad de ensayo de 50 km/h (13,89 m/s), para ello se consideró mantener la estructura estática, mientras un bloque a la velocidad establecida impactara contra la estructura como lo especifica en la norma.

La velocidad se colocada en dirección del eje x longitudinal a la dirección de movimiento del impactador. Para la verificación de la resistencia del asiento se hace en base a los requerimientos establecidos en el reglamento 80 CEPE/ONU, en la parte concerniente a ensayos dinámicos.

Figura 4-25. Vista general de estructura y bloque impactador.

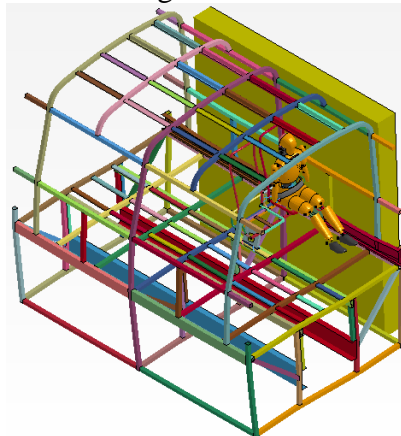


Fuente: Autores.

El tiempo empleado en la simulación es de 0,11 s tiempo suficiente para observar resultados este tipo de ensayos, la cantidad de elementos es de 93964 y nodos 94187. El tiempo de procesamiento es de 2 horas, el cual depende de la calidad de malla y el tiempo de simulación. La computadora utilizada en el estudio es una portátil Intel Core i7 con 8 procesadores de 3,2 GHz y 16 GB de memoria RAM. Se obtuvieron resultados cada 14 ms, la secuencia se puede observar en la figura 4-27, en orden cronológico de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

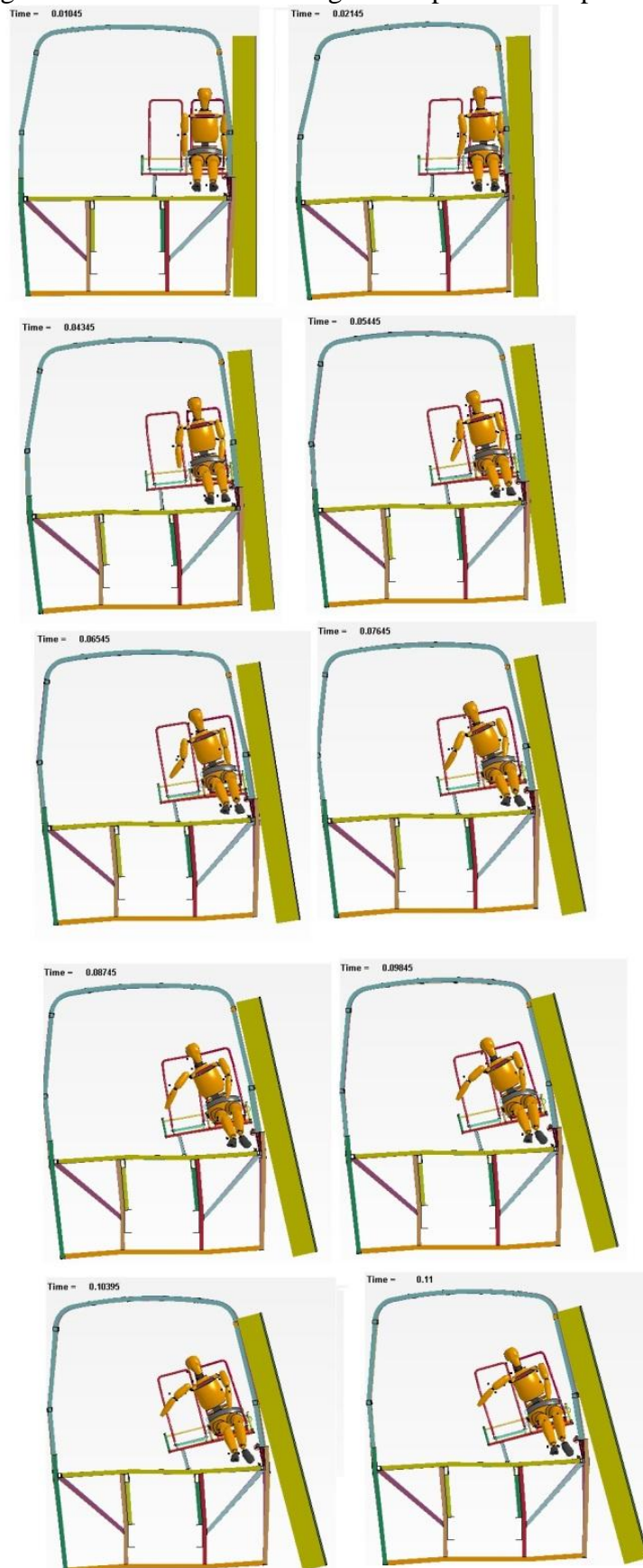
Para una mejor visualización e interpretación de resultados se utiliza el postprocesador descrito anteriormente, se procede a ingresar la geometría para ello se debe abrir el archivo d3plot que se genera a partir de la solución en el Ls-Dyna Workbench como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4-26. Ingreso del modelo geométrico al Ls-PrePost modelo lateral.



Fuente: Autores.

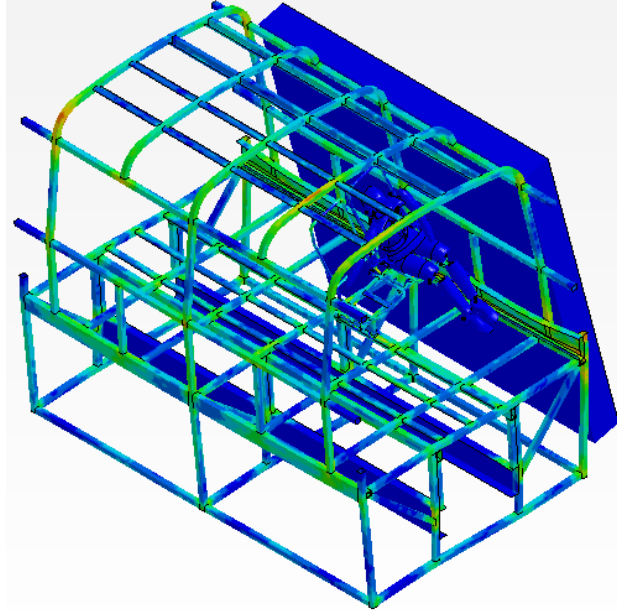
Figura 4-27. Secuencia de imágenes impacto lateral para 50 km/h.



Fuente: Autores.

En la figura 4-28 se muestra la distribución de esfuerzos en la carrocería y los anclajes de asiento mostrando en colores más vivos las secciones críticas donde existe una mayor concentración de esfuerzos y por lo tanto el material puede colapsar y como resultado final este fallara.

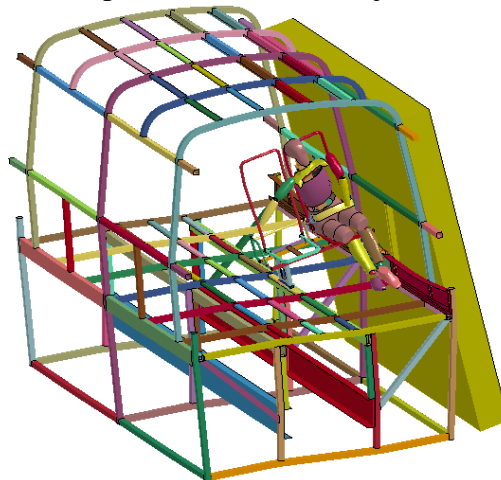
Figura 4-28. Distribución de esfuerzos en la sección para impacto lateral.



Fuente: Autores.

En la figura 4-29 se observa el resultado de las deformaciones al recibir un impacto por medio de una barrera deformable a 50 km/h. En ella se puede ver un aproximado del comportamiento que tendría en un impacto real.

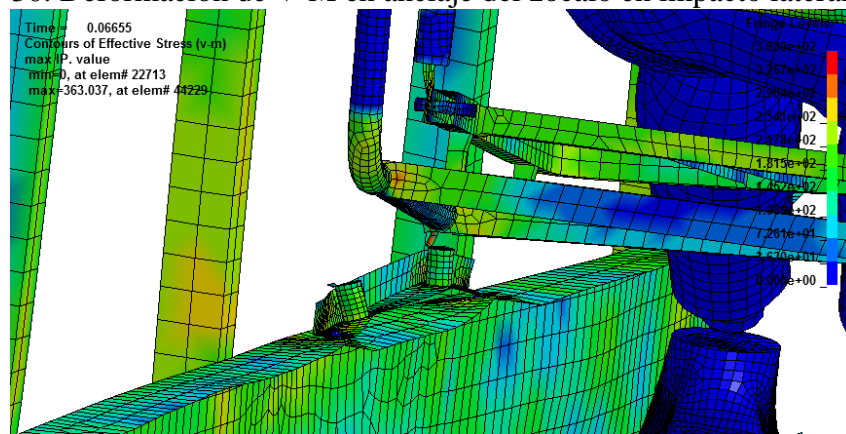
Figura 4-29. Deformación producida en el anclaje unido al sόcalo a 50 km/h.



Fuente: Autores.

El anclaje no soporta el impacto lateral como se presenta en la figura 4-30 los esfuerzos de Von Mises generados en las áreas de contactos de sujeción de los pernos llegan al límite del fluencia del material a un tiempo de 66 ms, por tal motivo el anclaje se desprende totalmente del zócalo. Según el reglamento N° 80 CEPE-ONU no debe existir desprendimiento parcial o total del anclaje, por ello los anclajes no cumplen con la reglamentación.

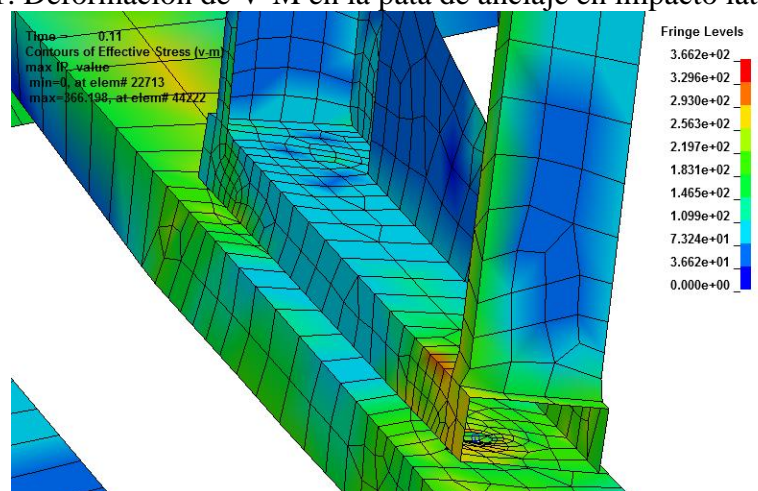
Figura 4-30. Deformación de V-M en anclaje del zócalo en impacto lateral 50 km/h.



Fuente: Autores.

En la pata de anclaje se verificar que no existe un desprendimiento total o parcial, aristas vivas, esta parte del asiento, por lo tanto si cumple con la reglamentación N° 80 de la CEPE-ONU se procede a interpretar las siguientes gráficas.

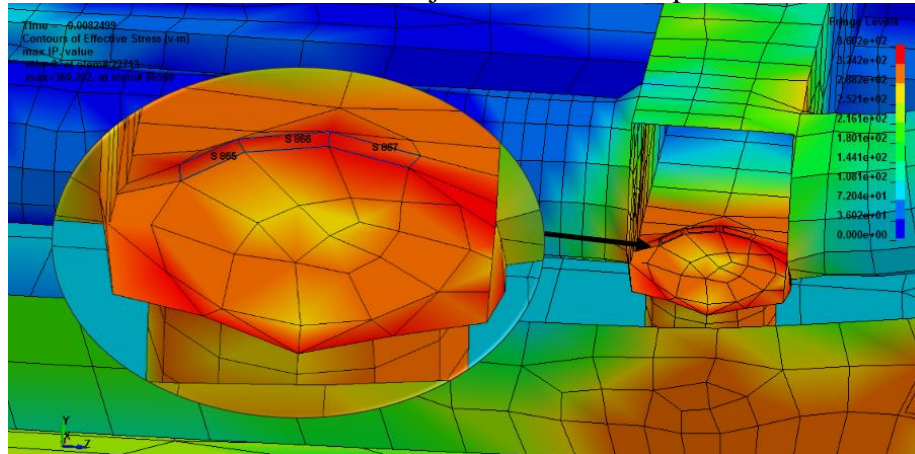
Figura 4-31. Deformación de V-M en la pata de anclaje en impacto lateral 50 km/h.



Fuente: Autores

A continuación se seleccionan 3 elementos para estudiarlos y ver su comportamiento en el tiempo como varían sus esfuerzos y deformaciones.

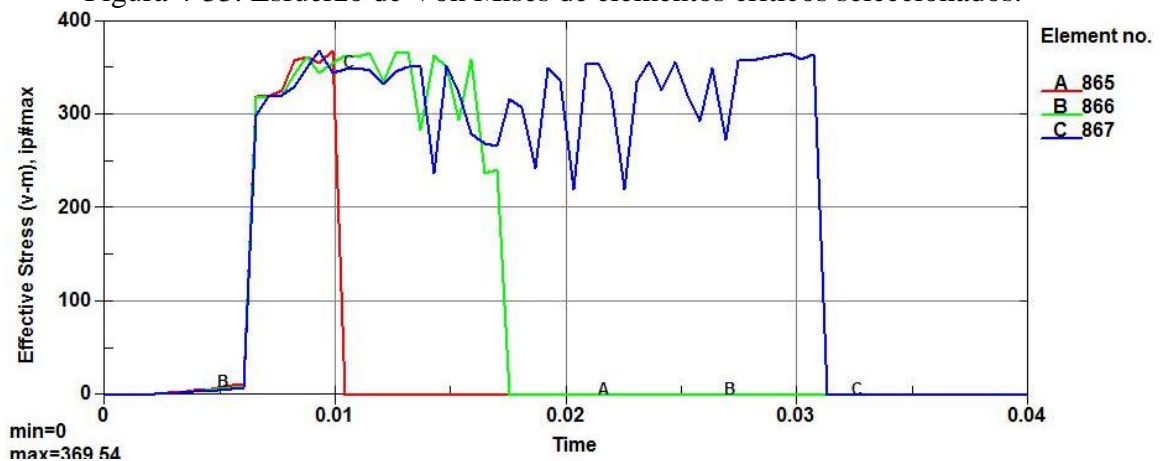
Figura 4-32. Elementos críticos anclaje del zócalo en impacto lateral a 50 Km/h.



Fuente: Autores.

Ahora se van a analizar el comportamiento de los elementos más críticos con respecto al esfuerzo de Von Mises como se puede observar en la figura 4-33, se seleccionaron los elementos denominados: 885, 886, 887, en la gráfica se observa que el primer elemento que colapsa es el 865 seguido del elemento B a un tiempo de 17,5 ms y el ultimo en fallar es el elemento B a un tiempo de 31 ms.

Figura 4-33. Esfuerzo de Von Mises de elementos críticos seleccionados.

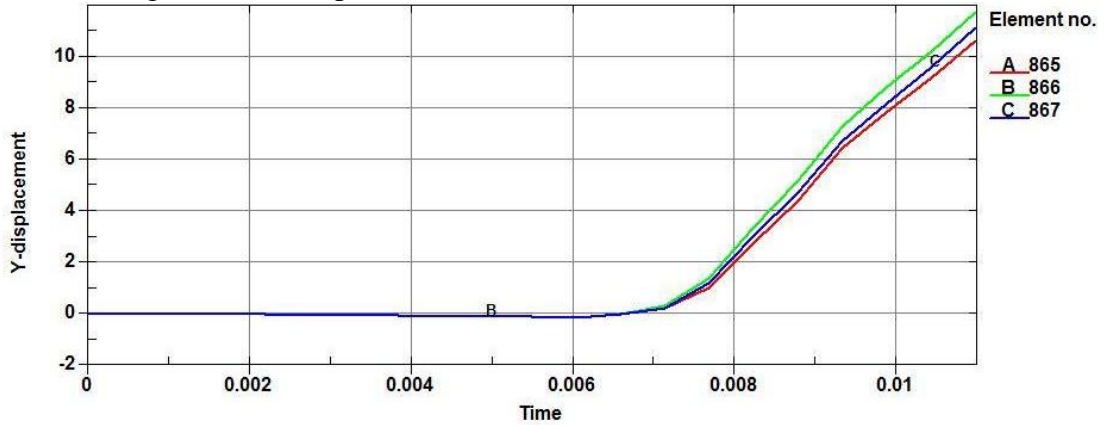


Fuente: Autores.

Los desplazamientos de los elementos críticos seleccionados se muestran en la figura 4-34 con un máximo de 11 mm en un tiempo de 15 ms, todo esto en el eje Y.



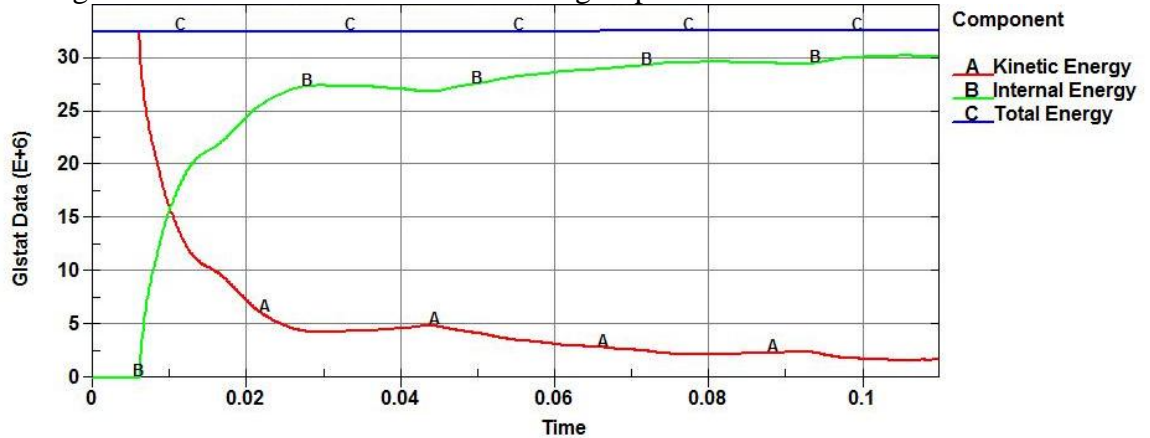
Figura 4-34. Desplazamiento de elementos críticos seleccionados.



Fuente: Autores.

Una manera de verificar si el estudio se está realizando satisfactoriamente de acuerdo al manual de Ls-Dyna es a través de las energías cinética e interna, el comportamiento debe ser como se muestra en la figura 4-35. La energía cinética decrecerá y la energía interna debe incrementarse respectivamente, además durante el análisis la energía total permanece constante con un valor de  $32 \times 10^6$  J.

Figura 4-35. Gráfica de variación de energías para una velocidad de 50 km/h.



Fuente: Autores.

De acuerdo a la gráfica anterior el estudio se realizó satisfactoriamente y los resultados son coherentes con el escenario que se presenta.

#### 4.8. Resultados del impacto frontal de la estructura del asiento a 90 Km/h.

Asimismo para el impacto frontal a máxima velocidad y por las razones ya expuestas anteriormente cabe recalcar que este ensayo a esta velocidad no lo establece el

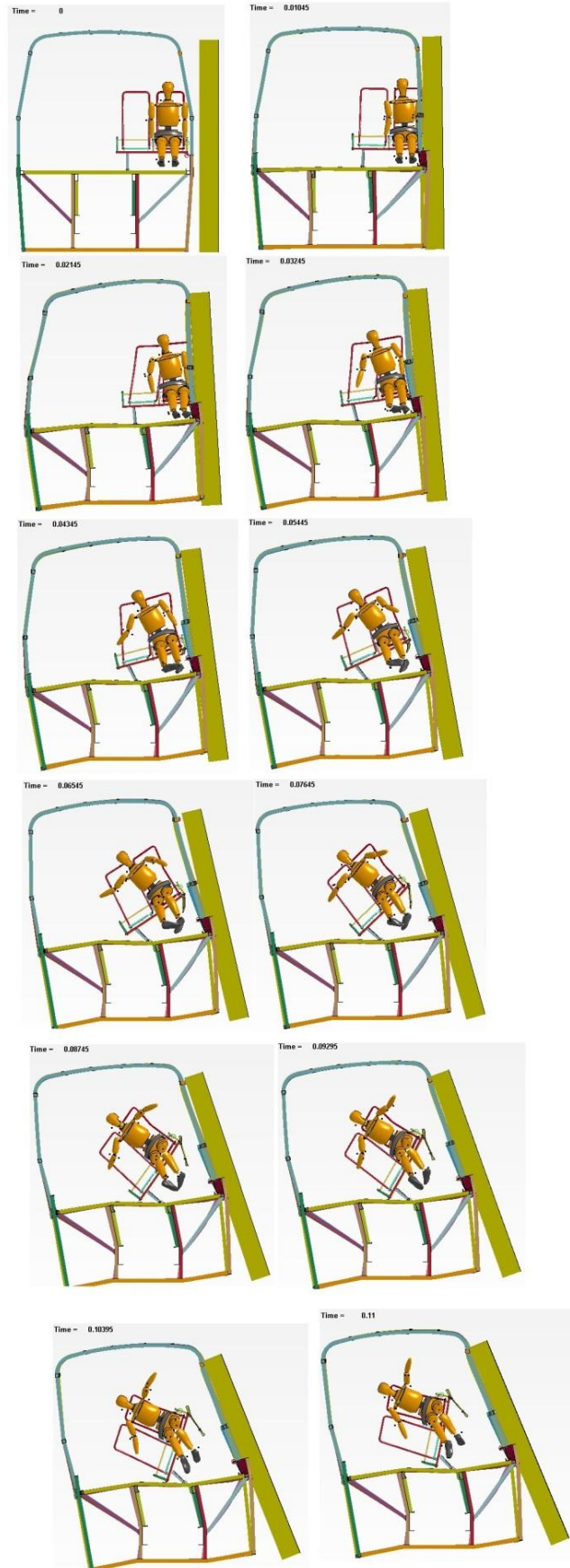
reglamento vigente, se lo realiza estrictamente por lo descrito en la sección 4.6 de este capítulo. En tal virtud es ensayo que se muestra a continuación pretende demostrar que es lo que sucedería con los anclajes de asiento a esa velocidad en caso de producirse un siniestro vial que involucre un impacto lateral.

Para el siguiente análisis se propone realizar un impacto lateral a una velocidad diferente a la establecida por el reglamento N° 95 CEPE/ONU, para ello se plantea la velocidad máxima establecida por la ANT para autobuses interprovinciales que es 90 km/h (25 m/s). Debido a que a mayoría de accidentes ocurren a velocidades superiores a la mencionada, por estos motivos se lo realiza a esta velocidad, en ella se podrán observar las deformaciones que se tendría un impacto a dicha velocidad. Cabe recalcar que en esta simulación se está recreando el siguiente escenario: que un autobús un vehículo con las mismas dimensiones que el autobús impacte lateralmente a la sección de estructura propuesta para el ensayo, esto se realiza para verificar la resistencia de los anclajes de asientos, no necesariamente con fines de homologación debido a que a esa velocidad el pasajero puede sufrir severos daños en su integridad física esto se va a describir conforme avance esta sección del capítulo.

El tiempo de simulación es de 0,11 s, recomendado para este tipo de impactos, la cantidad de elementos es de 97771 y nodos 97676. El tiempo de procesamiento es de 5 horas con 14 minutos, con una computadora portátil Intel Core i7 con 8 procesadores de 3,2 GHz y 16 GB de memoria RAM. De igual manera que para el caso anterior se obtuvieron resultados cada 14 ms esto se puede observar en la figura 4-36, en orden cronológico de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Claramente se puede observar que si se produjera un siniestro de esas características los pasajeros salen expulsados y pueden sufrir severos daños e inclusive los ocupantes del vehículo pueden fallecer.

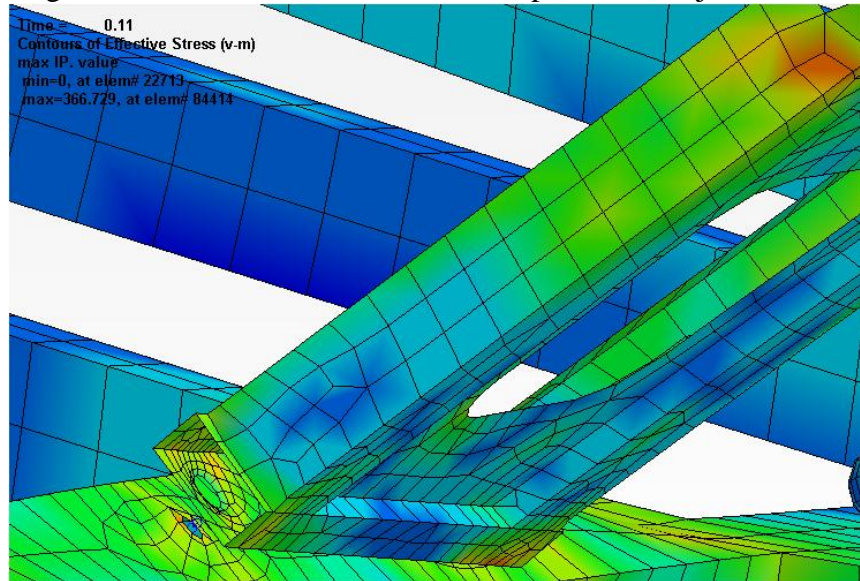
Figura 4-36. Secuencia de imágenes de impacto lateral con asiento original.



Fuente: Autores

En la figura. 4-37 se muestra las secciones más críticas en la pata de anclajes en un tiempo de 0,11 s, se observa los esfuerzos de Von Mises y deformaciones actuados en la bases de los anclajes considerado como un punto crítico a una velocidad de impacto de 90 Km/h, según los lineamientos de aceptación del reglamento N° 80 CEPE/ONU existen desprendimientos total del anclaje.

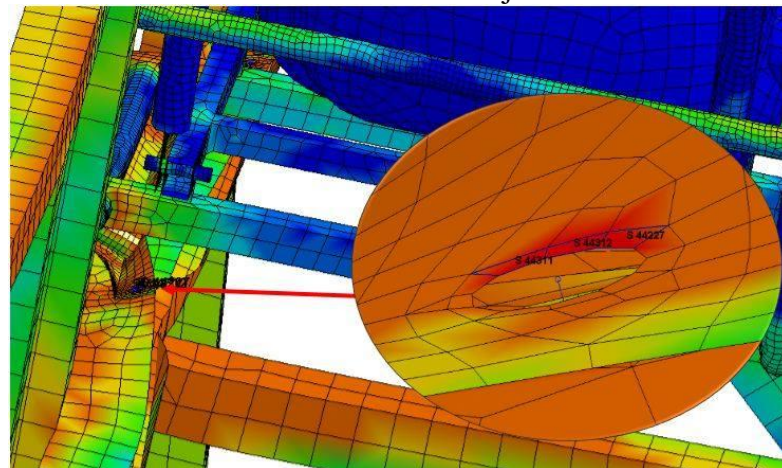
Figura 4-37. Esfuerzo de Von Mises en pata de anclaje a 90km/h.



Fuente: Autores.

El anclaje que va unido al zócalo presenta un desprendimiento total y no resiste al impacto lateral a 90 km/h, produciéndose la rotura del material con esfuerzos máximos de 370 MPa en las zonas más críticas, como se indica en la figura 4-38.

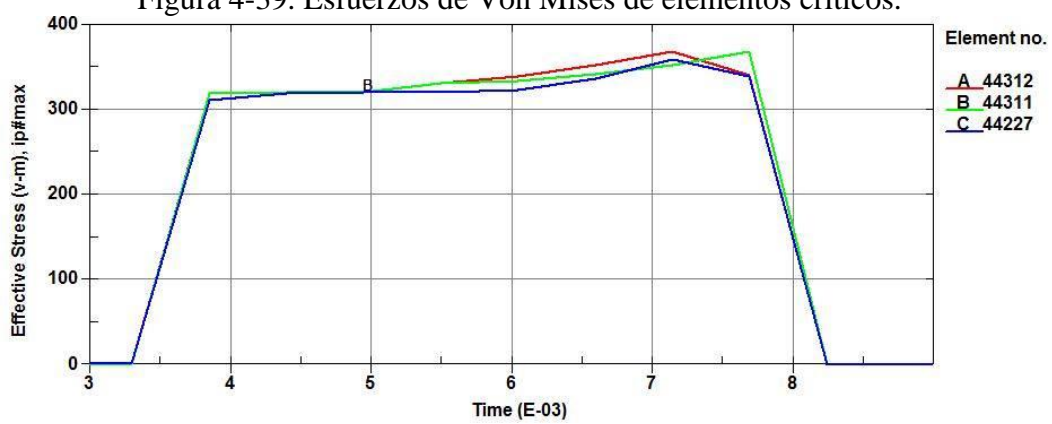
Figura 4-38. Esfuerzo de Von Mises en anclaje unido al zócalo a 90 km/h.



Fuente: Autores.

Es necesario mencionar que a esta velocidad el asiento se desprende totalmente y esto puede causar graves daños a los pasajeros del autobús, es por eso que resulta muy difícil realizar un diseño que resista a esta condición de impacto porque es directo y toda la energía producida es absorbida por la estructura del asiento y el pasajero que sufre severos daños pese a que está utilizando el sistema de retención de dos puntos que según se establece en la normativa es obligatorio para las unidades de transporte interprovincial. Se seleccionan los elementos más críticos para analizar esfuerzos y deformaciones que se producen durante el impacto.

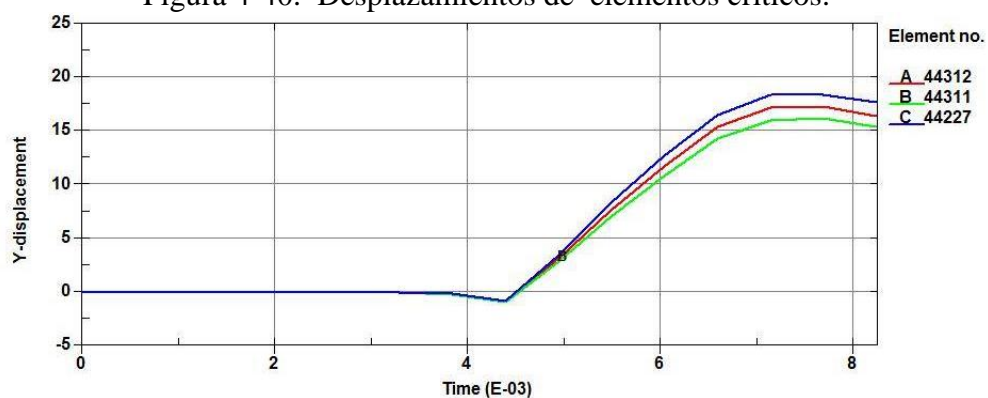
Figura 4-39. Esfuerzos de Von Mises de elementos críticos.



Fuente: Autores.

En el tiempo de 8,2 ms colapsa los elementos produciéndose el desprendimiento del anclaje como se muestra en la gráfica de esfuerzo V-M vs el tiempo de simulación, representados en MPa y segundos respectivamente, con un desplazamiento de 17 mm.

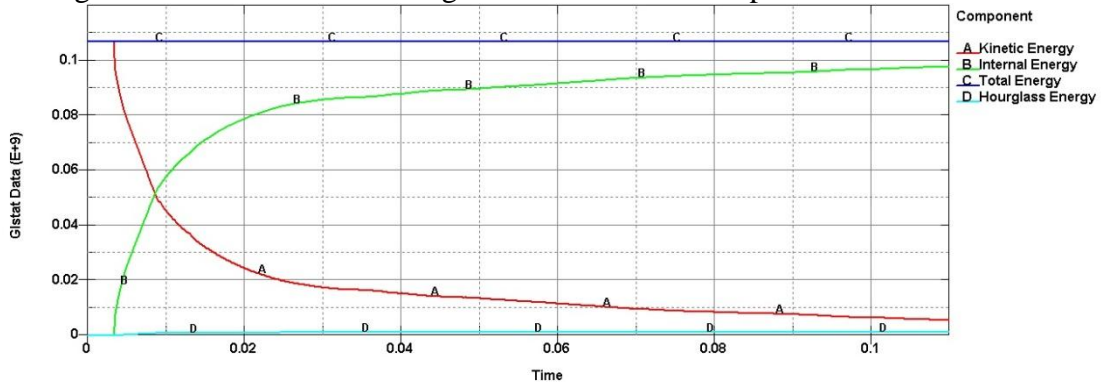
Figura 4-40. Desplazamientos de elementos críticos.



Fuente: Autores.

A continuación se presentan las curvas de energías cinética e interna representadas con los colores rojo y verde respectivamente. Durante el tiempo de impacto se cumple la Ley de conservación de energía transformando toda la energía cinética en energía interna, siendo un parámetro para la validez del ensayo realizado.

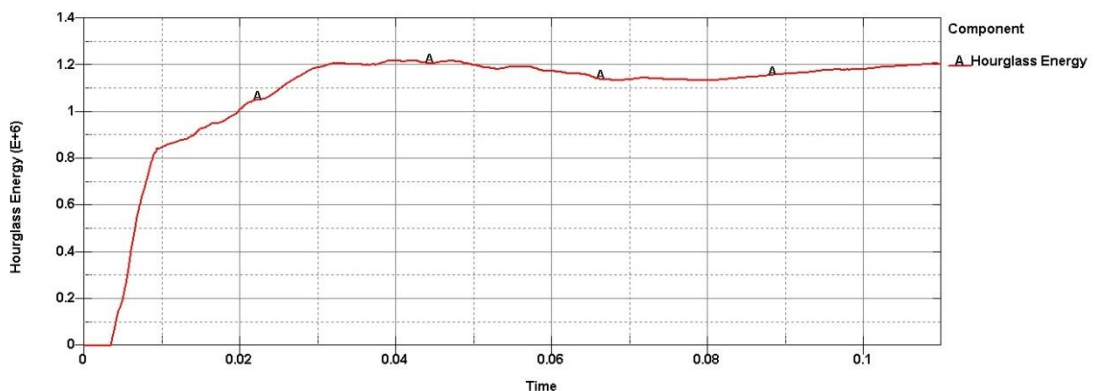
Figura 4-41. Variación de energía cinética e interna impacto lateral a 90 km/h.



Fuente: Autores.

Como se puede ver en la figura 4-42 la energía hourglass no sobrepasa el 10% de la energía interna, dando validez del estudio computacional a los parámetros ingresados para la simulación. El valor de energía Hourglass en un tiempo de 0,11 segundos es  $1,22 \times 10^6$  J.

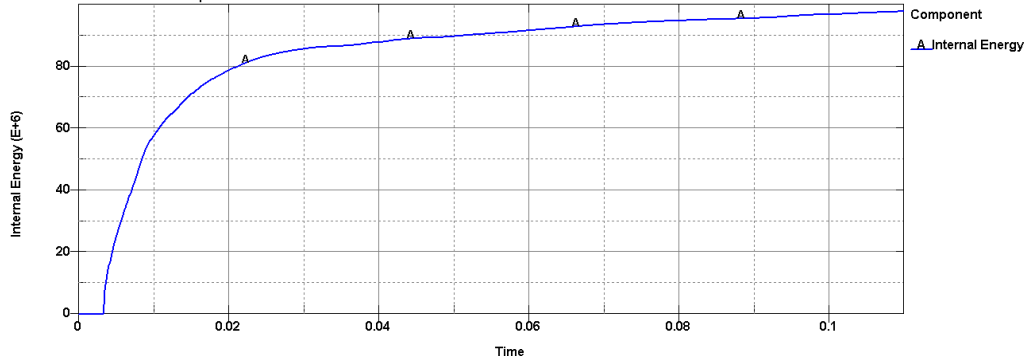
Figura 4-42. Energía hourglass en impacto frontal a 90km/h.



Fuente: Autores.

El valor de energía interna en un tiempo de 0,11 s es  $97,8 \times 10^6$  J, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4-43. Variación energía interna a 90 km/h.



Fuente: Autores.

Para validar este estudio computacional como en el caso del impacto frontal a 56 km/h, se procede a calcular la relación entre la energía interna por deformación vs la energía Hourglass.

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

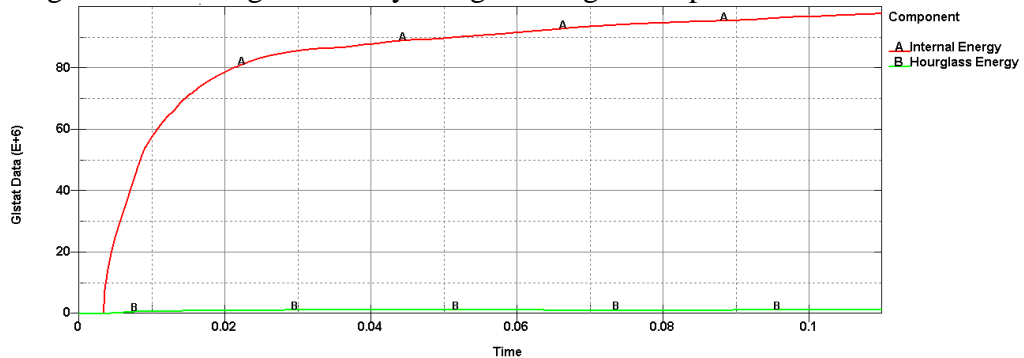
$$H = \frac{1,22 \times 10^6 \text{ J}}{97,8 \times 10^6 \text{ J}} 100 \%$$

$$H = 1,24 \%$$

$$H < 10 \%$$

El valor obtenido de H es menor al 10% por lo que el análisis es válido para las condiciones establecidas en la simulación a 90 km/h. En la figura. 88 se muestra el comportamiento de la energía interna y la energía Hourglass de una manera gráfica y se observa que no sobrepasa el 10% de la energía interna. Este es un método gráfico alternativo donde se obtienen los mismos resultados que con el cálculo matemático.

Figura 4-44. Energía interna y energía Hourglass impacto lateral a 90 km/h.



Fuente: Autores.

## CAPÍTULO V

### 5. REDISEÑO DE LOS ANCLAJES DE ASIENTO DE AUTOBÚS INTERPROVINCIAL.

Una vez realizados los análisis de los anclajes de asientos para impacto frontal y lateral se verifica que la configuración actualmente usada por la empresa no presenta la suficiente resistencia para la velocidad que establece la normativa y la crítica de 90 km/h, en tal virtud es de el gran importancia la correcta fijación de los anclajes del asiento a la carrocería del autobús para garantizar la seguridad de los pasajeros en caso de ocurrir un desprendimiento del asiento en las condiciones de impacto anteriormente mencionadas. Para la realización de la propuesta de rediseño no se cambiará el tipo de material, se mantendrá el mismo descrito anteriormente simplemente se trabajará en la geometría de los anclajes, de acuerdo con los resultados de deformaciones y esfuerzos máximos obtenidas en los impactos frontal y lateral.

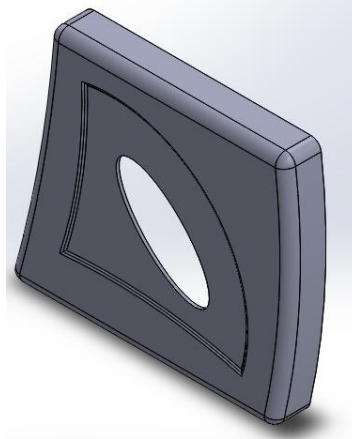
#### 5.1. Rediseño de los elementos del asiento

**5.1.1. Pata de anclaje.** Dentro de las modificaciones que se realizan se presentan 2 alternativas, las mismas que se detallan a continuación:

**5.1.1.1. Alternativa 1.** Se modificó la geometría en comparación con el anterior modelo, además se incrementó el área de contacto con la plataforma de la carrocería, logrando una mayor estabilidad y agarre del asiento, también se colocó refuerzos en las esquinas para incrementar la resistencia. Se reduce la masa del elemento realizando un troquelado se realiza esa figura debido a que ya existen las matrices para el conformado.



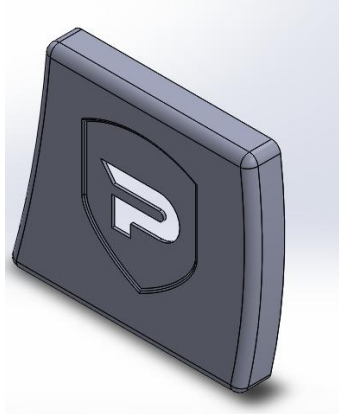
Figura 5-1. Alternativa 1 pata de anclaje.



Fuente: Autores.

**5.1.1.2.** *Alternativa 2.* Tiene las mismas modificaciones que la alternativa anterior con la única diferencia que la figura del troquelado es diferente, pero presenta un inconveniente porque la matriz para realizar el trabajo no existe por lo que se debería mecanizarla y eso conlleva muchos gastos que a veces pueden ser innecesarios para la empresa.

Figura 5-2. Alternativa 2 pata de anclaje.



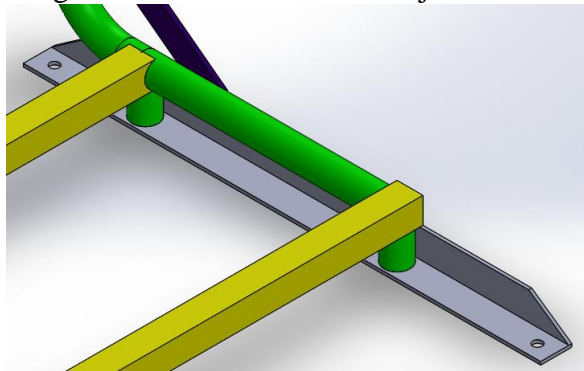
Fuente: Autores.

Luego de una comparación entre las dos alternativas se elige la alternativa 1 por costos de producción y la disponibilidad de la matriz para realizar el troquelado.

### 5.1.2. Anclaje al zócalo.

5.1.2.1. *Alternativa 1.* En primera instancia se mantuvo la posición inicial del anclaje original, solamente se incrementó el espesor de las del perfil en L y se incrementa la distancia entre centros de los agujeros para la sujeción para un mejor acoplamiento.

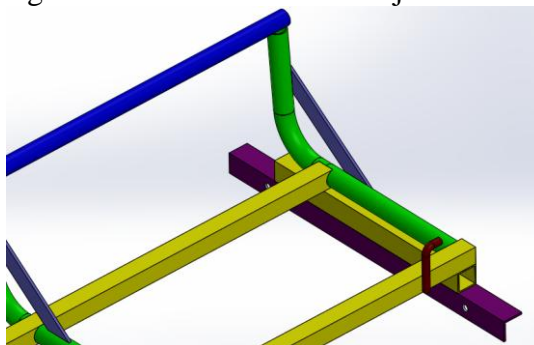
Figura 5-3. Alternativa 1 anclaje al zócalo.



Fuente: Autores.

5.1.2.2. *Alternativa 2.* Para este caso se cambia la posición del perfil en L manteniendo el espesor y las posiciones de los agujeros como en el caso anterior, además de colocarle un tubo cuadrado para evitar el desprendimiento del asiento, lo que se busca con esto es tener una mayor sujeción para el caso de impacto lateral.

Figura 5-4. Alternativa 2 anclaje al zócalo.



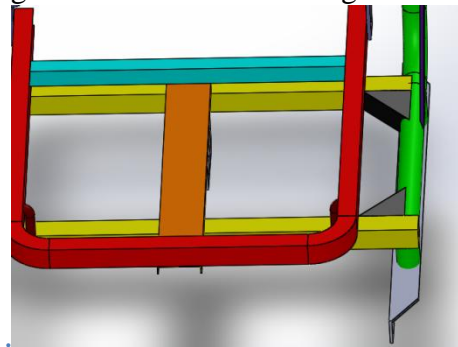
Fuentes: Autores.

Una vez revisadas las alternativas se considera que la más idónea es la alternativa 2 como se muestra en la Figura: debido a los argumentos expuestos anteriormente.

### 5.1.3. Estructura del asiento.

**5.1.3.1.** *Alternativa 1.* Se trabaja colocando rigidizadores en la estructura del asiento para este caso se opta por colocar cartelas con el fin de atenuar los efectos producidos cuando este es sometido a impacto lateral y frontal y evitar el desprendimiento de los elementos del asiento los cuales pueden producir lesiones a los pasajeros.

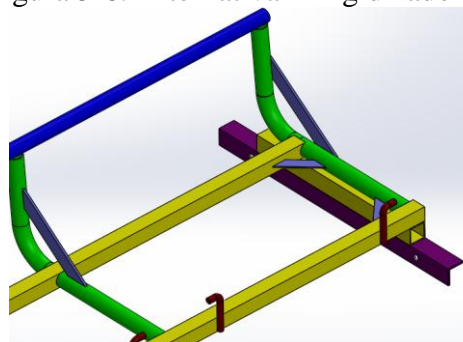
Figura 5-5. Alternativa 1 Rigidizadores



Fuentes: Autores.

**5.1.3.2.** *Alternativa 2.* Como segunda alternativa se mantiene la colocación de rigidizadores pero con la diferencia que se varía el elemento estructural, se opta por unas platinas y se espera que obtenga los mismos resultados que en la alternativa anterior.

Figura 5-6. Alternativa 2 Rigidizadores.



Fuentes: Autores.

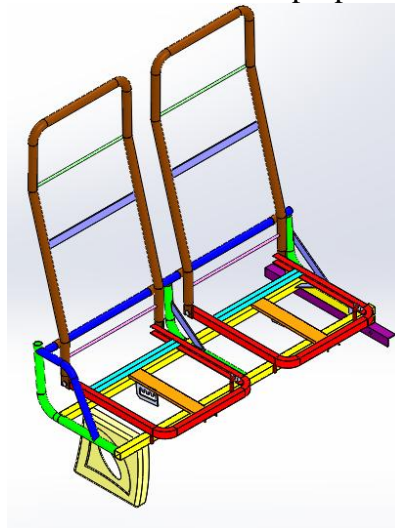
Después de analizar las alternativas anteriores se opta por la alternativa 2 debido a que esta no presenta mayores dificultades de ensamblaje y producción, en cambio la

alternativa 1 incrementaría los costos de producción debido a que se debe manufacturar las cartelas y además realizar algunas modificaciones en los perfiles estructurales para su respectivo ensamblaje.

## **5.2. Simulación de impacto de la estructura del asiento modificado.**

Las modificaciones realizadas, se presentan con la observación de las áreas con mayores esfuerzos y deformaciones en los anclajes, en dichos sectores se alteró su configuración para aumentar su rigidez y resistencia frente a un impacto. En la figura 5-7 se observa la estructura del asiento a ensayar en cumplimiento de la norma RTE INEN 043.

Figura 5-7. Estructura del asiento propuesto a ensayar.



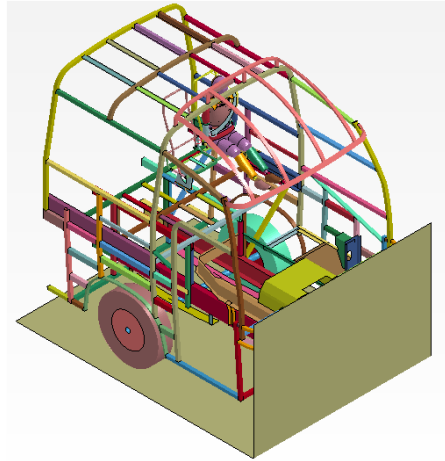
Fuente: Autores.

## **5.3. Resultados del impacto frontal de la estructura y modelo de anclajes del asiento propuesto a 56 Km/h.**

De igual manera que para el modelo de asiento original la simulación se realizó según lo establecido en el reglamento 94 CEPE/ONU, estableciendo una velocidad de ensayo de 56 km/h (15,56 m/s), en dirección z longitudinal a la dirección de movimiento del autobús. Para la verificación de la resistencia de los anclajes de asiento se lo hace según los requerimientos establecidos en el reglamento 80 CEPE/ONU, en la parte concerniente a ensayos dinámicos.

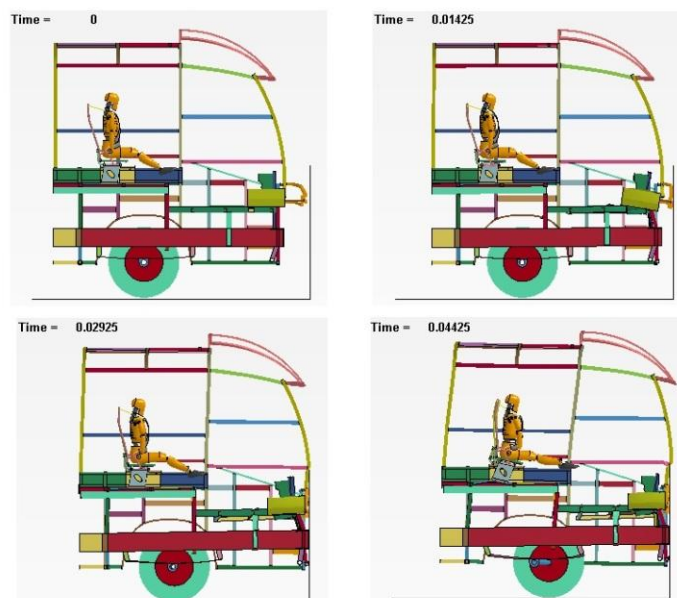
El tiempo empleado en la simulación es de 0,15 segundos se selecciona este tiempo para poder verificar el comportamiento del material, la cantidad de elementos es de 112956 y 112885 nodos, con una calidad de malla de Skewness máximo de 0,8637 que de acuerdo al criterio de validación presentado en la figura 3-19 es aceptable y por lo tanto garantiza que los resultados sean confiables. El tiempo de procesamiento es de 4 horas, con una computadora portátil Intel Core i7 con 8 procesadores de 3,2 Ghz y 16 GB de memoria RAM. Se obtuvieron resultados cada 14 milisegundos, los que se puede observar en la figura 100 en orden cronológico de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Se utiliza el postprocesador para una mejor visualización de los resultados.

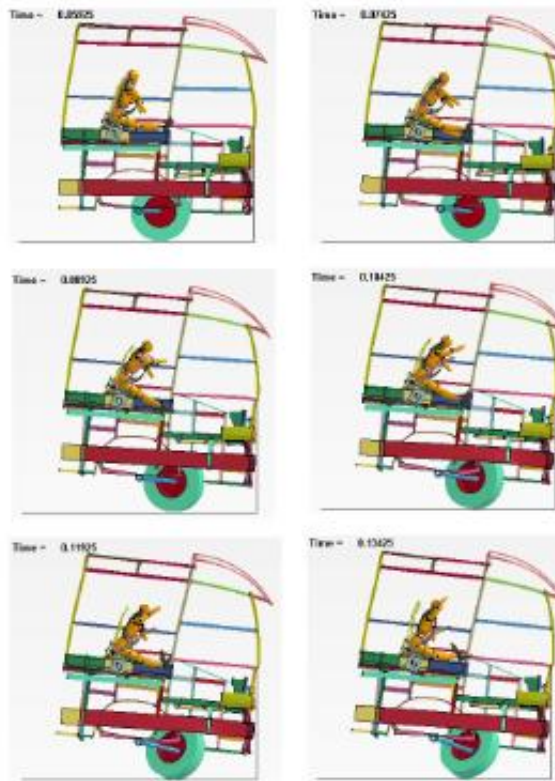
Figura 5-8. Visualización del modelo de anclaje propuesto para impacto frontal.



Fuente: Autores.

Figura 5-9. . Secuencia de imágenes con anclaje de asiento propuesto a 56 km/h.

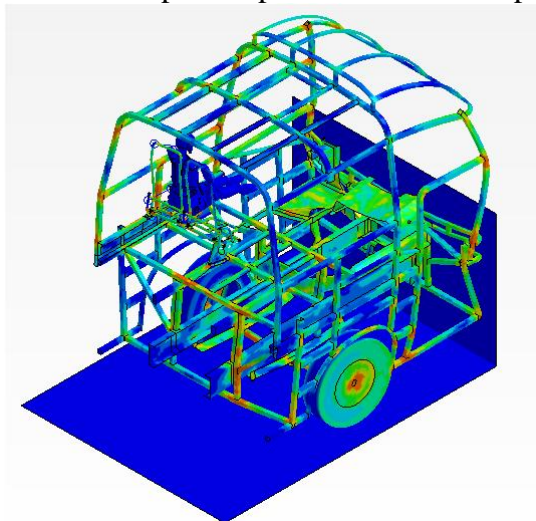




Fuente: Autores.

Con el modelo de anclaje propuesto se espera tener resultados satisfactorios y verificar el cumplimiento del reglamento N° 80, a continuación se da muestra de la distribución de esfuerzos en la sección de carrocería y asiento identificándose con colores donde se produce la mayor concentración de esfuerzos en un tiempo de 0,15 s.

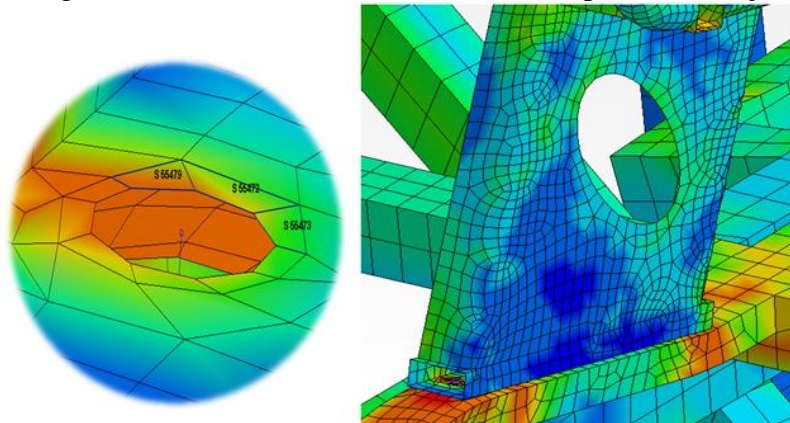
Figura 5-10. Esfuerzos sección para impacto frontal con la propuesta de anclajes.



Fuente: Autores.

De acuerdo a los análisis realizados se observa que no existe desprendimiento y aristas vivas de la pata de anclaje por lo que según el reglamento en el que se basa este estudio el anclaje resiste a la condición establecida inicialmente, a continuación se muestran los elementos más críticos en el pata de anclaje.

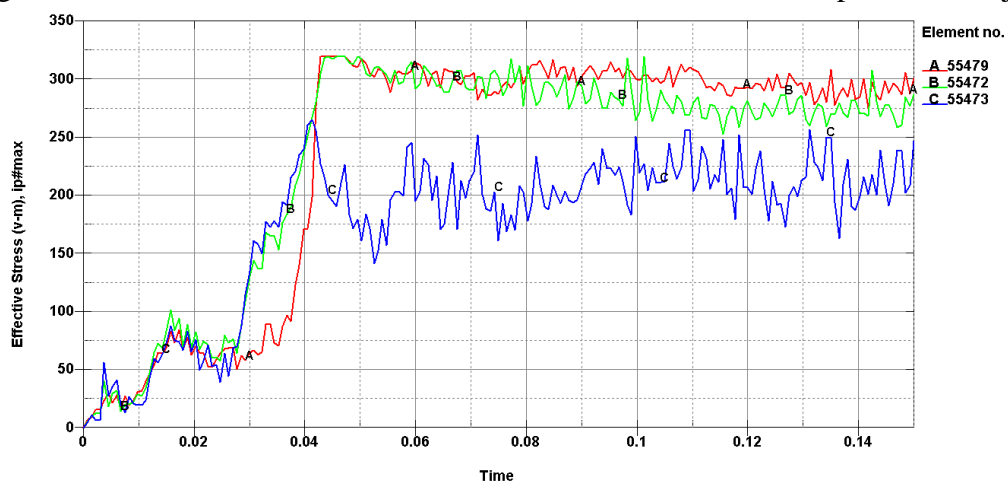
Figura 5-11. Esfuerzo de Von Mises en la pata de anclaje.



Fuente: Autores.

Además se puede verificar que el esfuerzo máximo es estos elementos seleccionados es de 320 MPa este esfuerzo no sobrepasa el límite de rotura del material, por lo tanto no colapsan y se está cumpliendo las pautas establecidas en el reglamento N° 80.

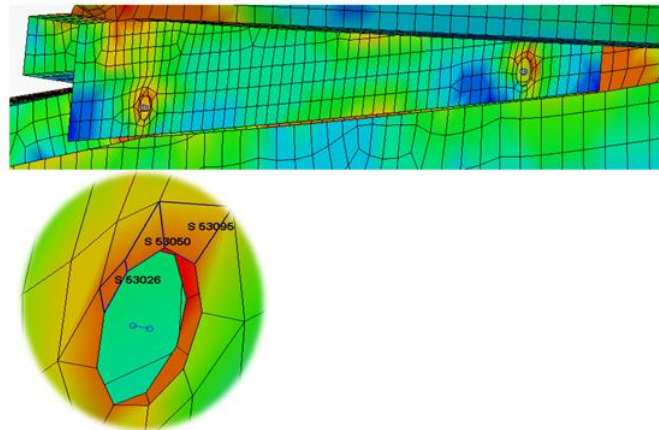
Figura 5-12. Esfuerzo de Von Mises de los elementos críticos en la pata de anclaje.



Fuente: Autores

En la figura 5-13., se muestra el anclaje que reposa en el zócalo con las modificaciones realizadas, se observa que no se produce el desprendimiento, y no se visualizan aristas vivas en el anclaje, por lo que se cumple lo establecido en el Reglamento N° 80 al permanecer sujeto al zócalo.

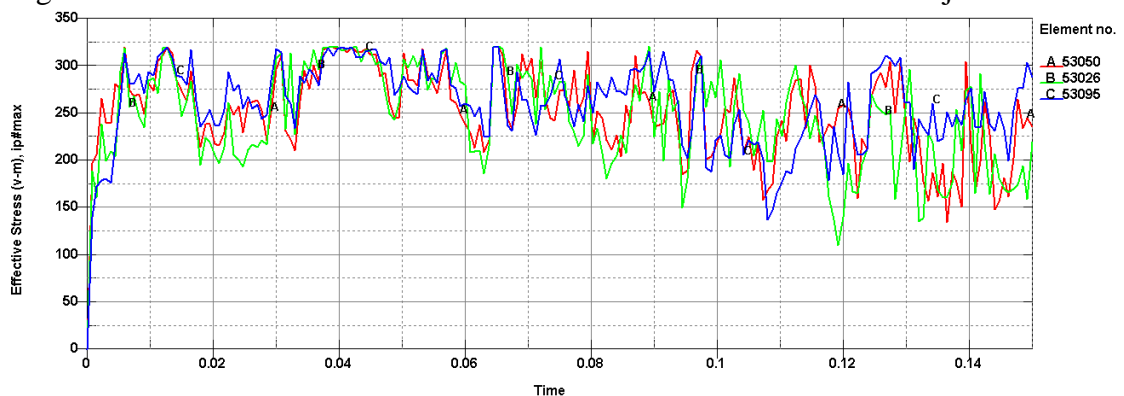
Figura 5-13. Esfuerzo sistema de sujeción propuesto en anclaje del zócalo.



Fuente: Autores.

De igual manera se seleccionan elementos críticos alrededor del punto de sujeción el anclaje y se puede observar su comportamiento, teniendo como resultados similares al obtenido en la pata de anclaje este comportamiento se puede visualizar en la figura 5-14 su esfuerzo máximo es de 320 MPa no sobrepasa el límite máximo de rotura del material, en conclusión esta configuración resiste a las condiciones de impacto establecidas.

Figura 5-14. Esfuerzo de Von Mises de los elementos críticos en el anclaje del zócalo.

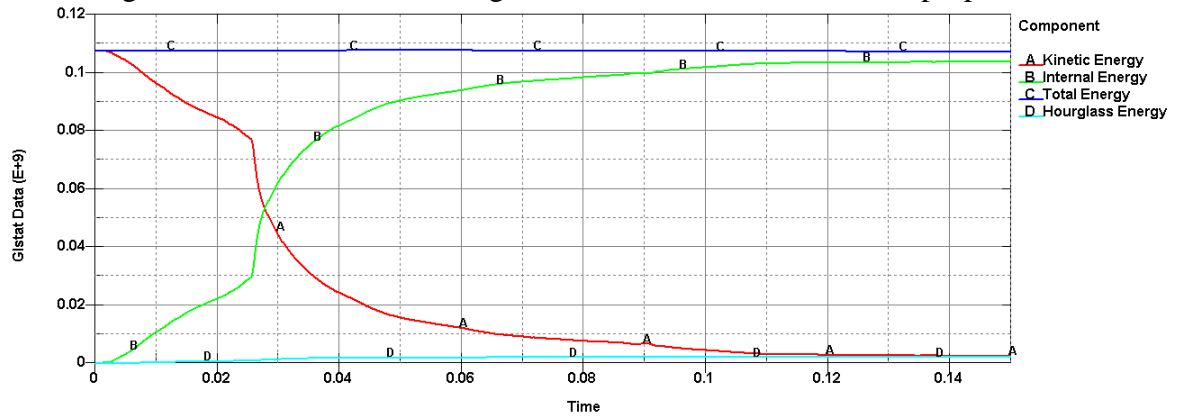


Fuente: Autores,



A continuación se muestran el comportamiento de la energía cinética, interna, total y Hourglass, teniendo en cuenta las consideraciones expuestas en los ensayos anteriores que posteriormente servirán validar el estudio computacional.

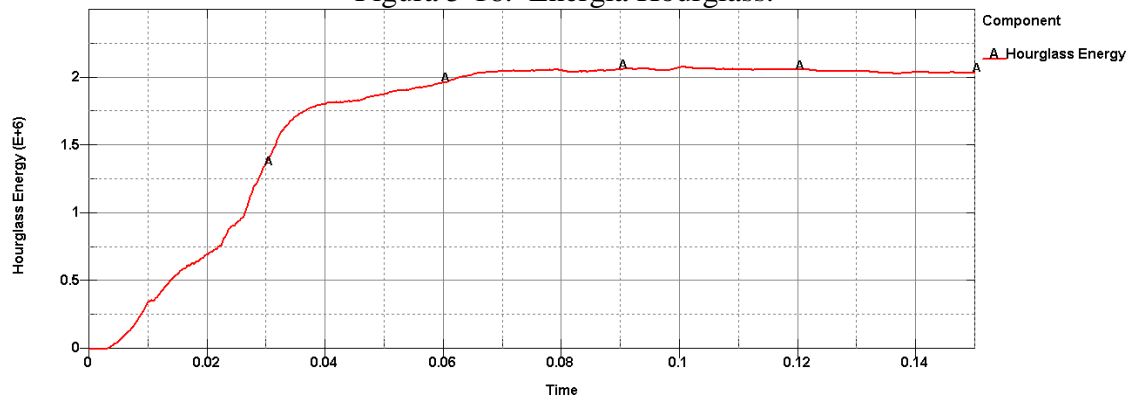
Figura 5-15. Variación de energía cinética e interna con modelo propuesto.



Fuente: Autores.

Para validar el estudio computacional se considera la energía Hourglass con un valor máximo de  $2,08 \times 10^6$  J como se puede observar en la siguiente figura.

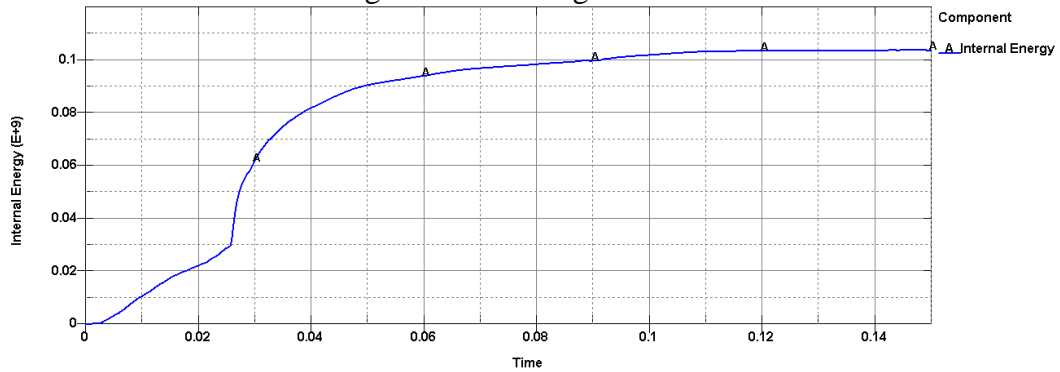
Figura 5-16. Energía Hourglass.



Fuente: Autores.

La variación de la energía interna, como se muestra en la figura 5-17 con un valor de energía interna es de  $103,79 \times 10^6$  J a un tiempo de 0,15 s.

Figura 5-17. Energía interna.



Fuente: Autores.

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

$$H = \frac{\text{Hourglass}}{\text{Energia}_{int}}$$

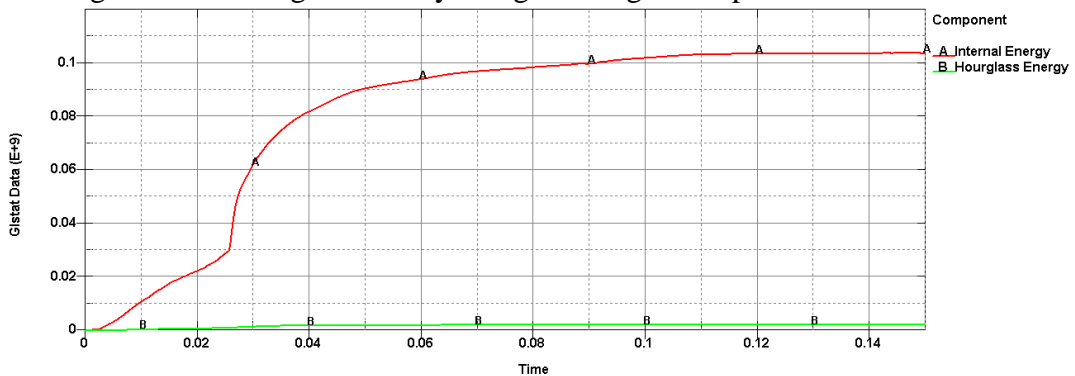
$$H = \frac{2,08 \times 10^6 \text{ J}}{103,79 \times 10^6 \text{ J}} \times 100 \%$$

$$H = 2,00 \%$$

$$H < 10 \%$$

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 xx se muestra gráficamente el comportamiento de la energía interna y la energía Hourglass que no sobrepasa el 10% de la energía interna, como consecuencia el estudio computacional es válido.

Figura 5-18. Energía interna y energía Hourglass impacto frontal a 56 km/h.



Fuente: Autores.

Una vez concluida esta simulación se decide no realizar la otra simulación a la velocidad crítica que son los 90 km/h debido a que no se puede diseñar un modelo de asiento y anclajes demasiado rígidos para que puedan resistir a dichas condiciones de impacto, porque toda la energía que se produce durante el impacto es absorbida por el pasajero al tener una configuración demasiado rígida lo que produciría severos daños a los ocupantes del vehículo.

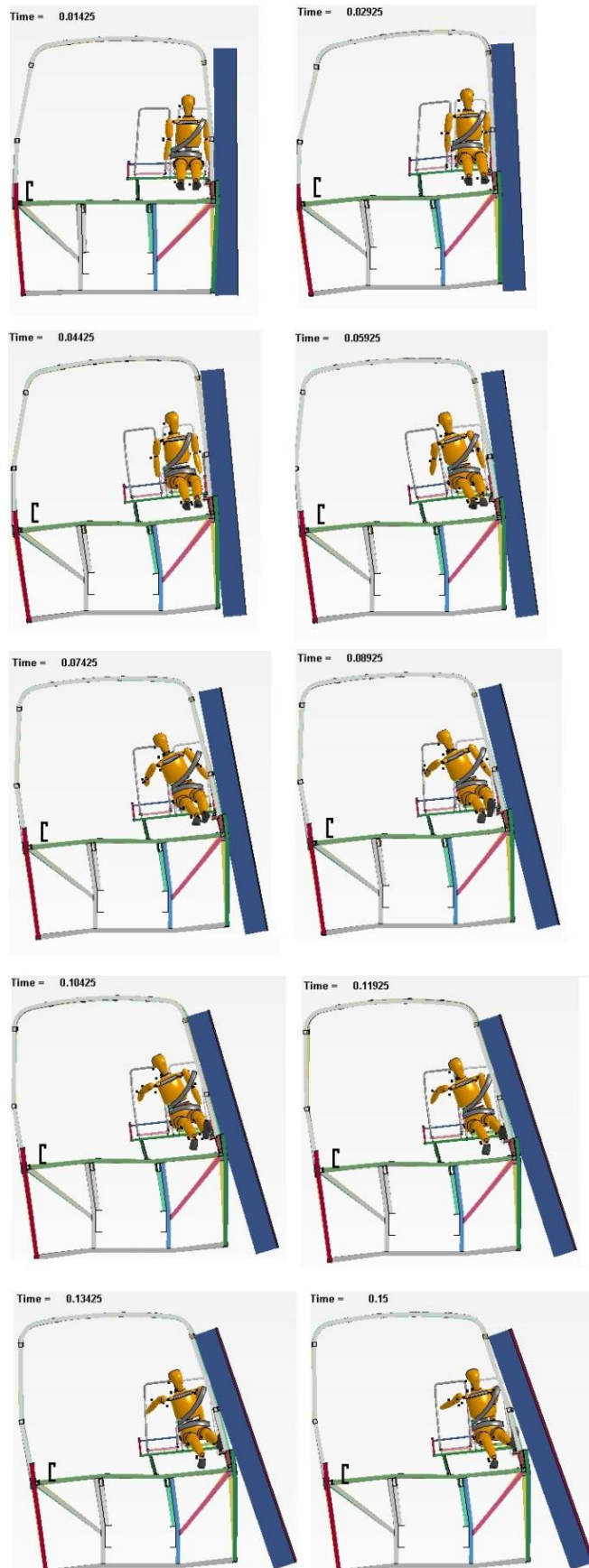
#### **5.4. Resultados del impacto lateral de la estructura y modelo de anclajes del asiento propuesto a 50 Km/h.**

De igual manera que para el modelo de asiento original la simulación se realizó según lo establecido en el reglamento 95 CEPE/ONU, estableciendo una velocidad de ensayo de 50 km/h (13,89 m/s), en dirección x longitudinal a la dirección de movimiento del autobús. Para la verificación de la resistencia de los anclajes de asiento se lo hace según los requerimientos establecidos en el reglamento 80 CEPE/ONU, en la parte concerniente a ensayos dinámicos.

El tiempo empleado en la simulación es de 0,15 segundos se selecciona este tiempo para poder verificar el comportamiento del material, la cantidad de elementos es de 97510 y 99913 nodos, con una calidad de malla de Skewness máximo de 0,8088 que de acuerdo al criterio de validación presentado en la figura 3-19 es bueno y por lo tanto garantiza que los resultados sean confiables. El tiempo de procesamiento es de 4 horas, con una computadora portátil Intel Core i7 con 8 procesadores de 3,2 GHz y 16 GB de memoria RAM.

Se obtuvieron resultados cada 14 milisegundos, los que se puede observar en la figura 5-19, en orden cronológico de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Se utiliza el postprocesador para una mejor visualización y análisis de los resultados obtenidos.

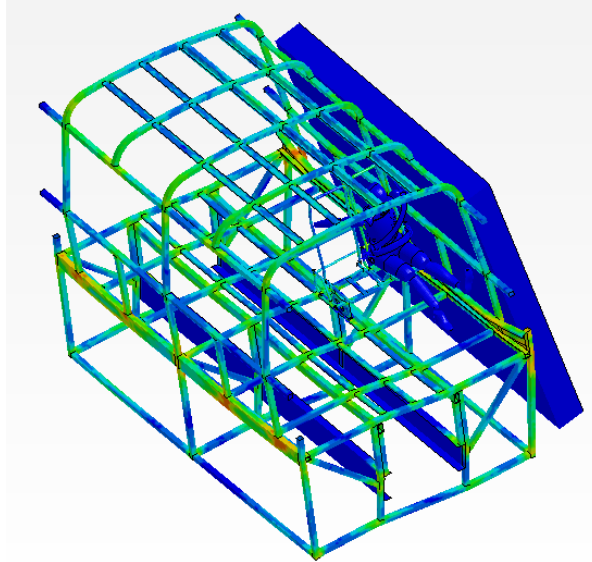
Figura 5-19. Secuencia con anclaje de asiento propuesto a la velocidad de 50 km/h.



Fuente: Autores.

Con el modelo de anclaje propuesto se espera tener resultados satisfactorios y verificar el cumplimiento del reglamento N° 80, a continuación se da muestra de la distribución de esfuerzos en la sección de carrocería y asiento identificándose con colores donde se produce la mayor concentración de esfuerzos en un tiempo de 0,15 s.

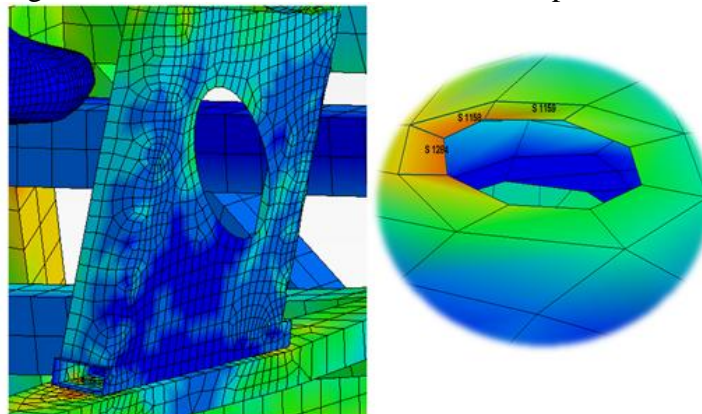
Figura 5-20. Esfuerzos sección lateral con la propuesta de anclajes de asiento.



Fuente: Autores.

De acuerdo a los análisis realizados se observa que no existe desprendimiento y aristas vivas de la pata de anclaje por lo que según el reglamento en el que se basa este estudio el anclaje resiste a la condición establecida inicialmente, a continuación se muestran los elementos más críticos en el pata de anclaje.

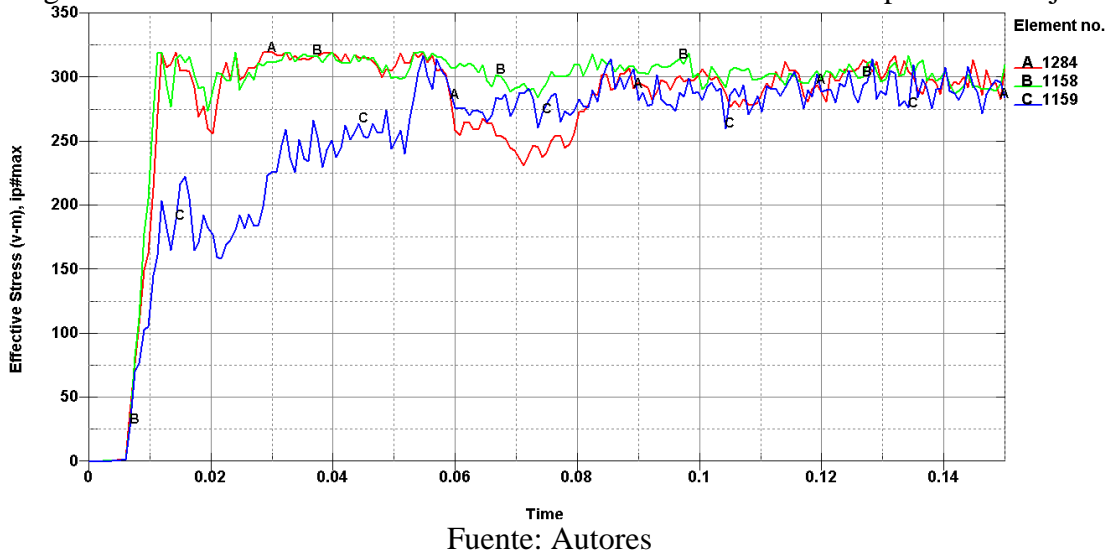
Figura 5-21. Esfuerzo de Von Mises en la pata de anclaje.



Fuente: Autores.

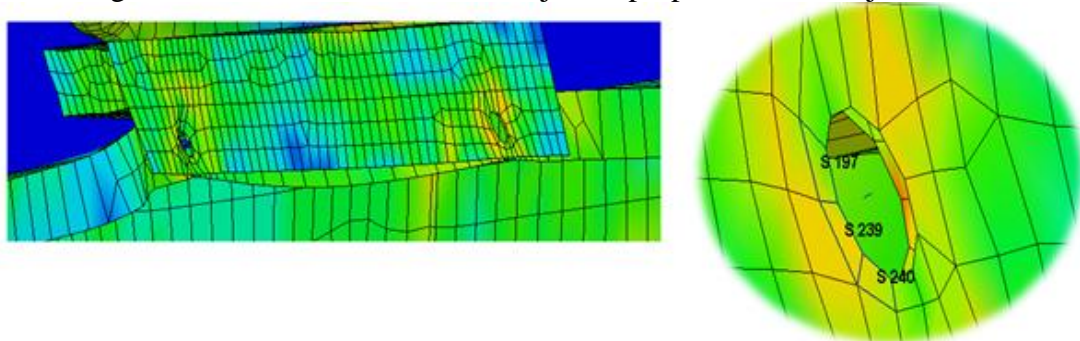
Además se puede verificar que el esfuerzo máximo es estos elementos seleccionados es de 320 MPa este esfuerzo no sobrepasa el límite de rotura del material, por lo tanto no colapsan y se está cumpliendo las pautas establecidas en el reglamento N° 80.

Figura 5-22. Esfuerzo de Von Mises de los elementos críticos en la pata de anclaje.



En la figura 5-23, se muestra el anclaje que reposa en el zócalo con las modificaciones realizadas, se observa que no se produce el desprendimiento, y no se visualizan aristas vivas en el anclaje, por lo que se cumple lo establecido en el Reglamento N° 80 al permanecer sujeto al zócalo.

Figura 5-23. Esfuerzo sistema de sujeción propuesto en anclaje del zócalo.

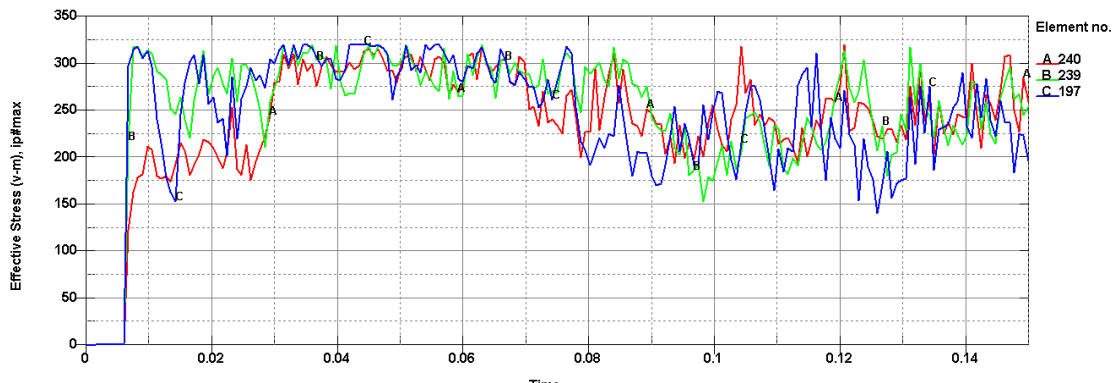


Fuente: Autores.

De igual manera se seleccionan elementos críticos alrededor del punto de sujeción del anclaje y se puede observar su comportamiento, teniendo como resultados similares al

obtenido en la pata de anclaje este comportamiento se puede visualizar en la figura 5-24 su esfuerzo máximo es de 320 MPa no sobrepasa el límite máximo de rotura del material, en conclusión esta configuración resiste a las condiciones de impacto establecidas.

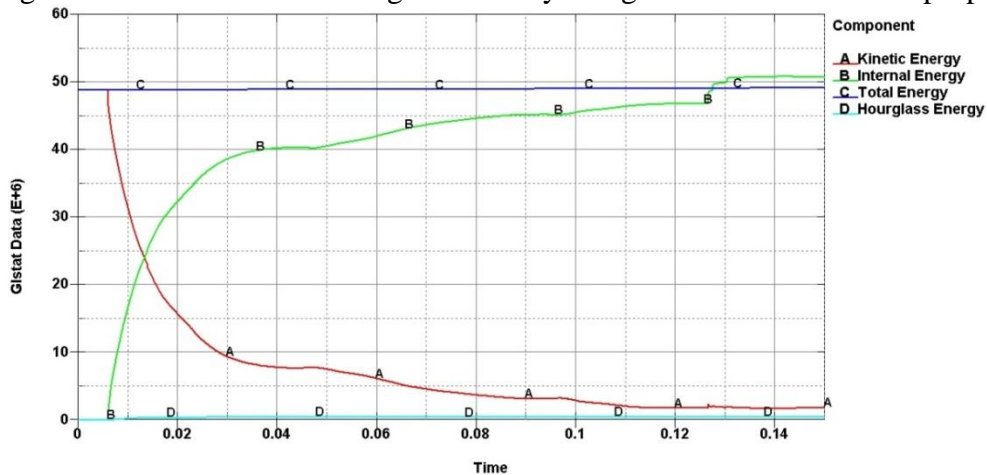
Figura 5-24. Esfuerzo de Von Mises de los elementos críticos anclaje del zócalo.



Fuente: Autores.

A continuación se muestran el comportamiento de la energía cinética, interna, total y Hourglass, teniendo en cuenta las consideraciones expuestas en los ensayos anteriores que posteriormente servirán validar el estudio computacional.

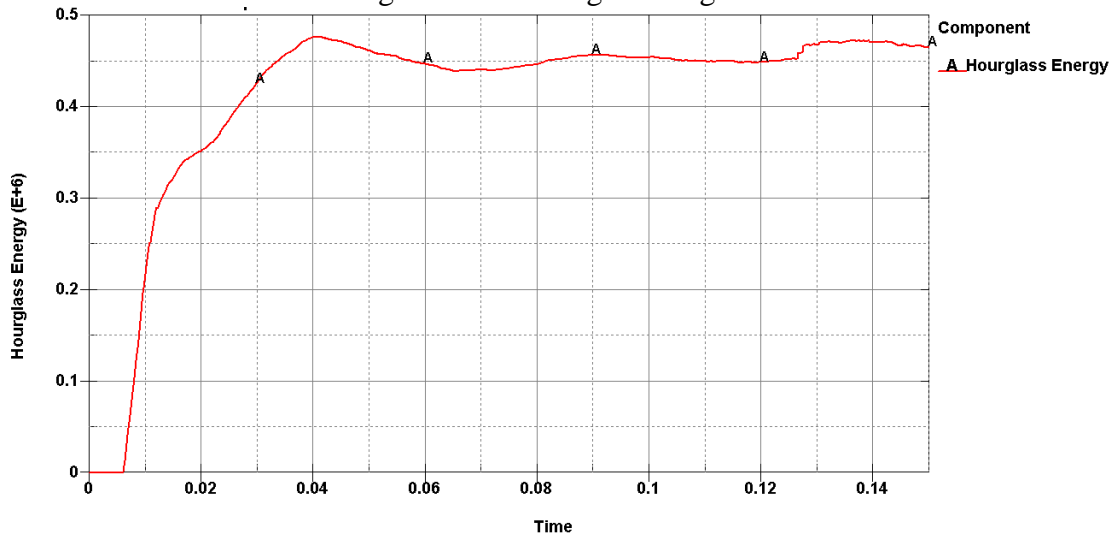
Figura 5-25. Variación de energía cinética y energía interna con modelo propuesto.



Fuente: Autores.

Para validar el estudio computacional se considera la energía Hourglass con un valor máximo de  $0,476 \times 10^6$  J como se puede observar en la siguiente figura.

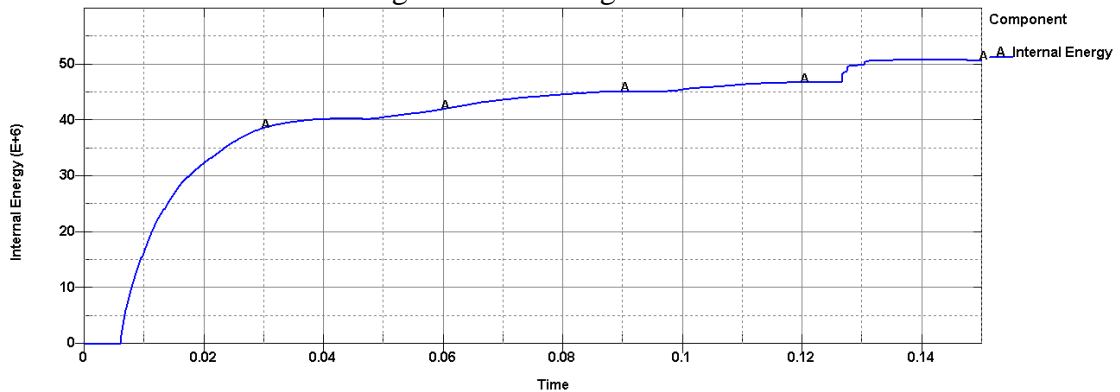
Figura 5-26. Energía Hourglass.



Fuente: Autores.

La variación de la energía interna, como se muestra en la figura 5-27 el valor de energía interna es de  $50,86 \times 10^6$  J a un tiempo de 0,15 s.

Figura 5-27. Energía interna.



Fuente: Autores.

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

$$H = \frac{\text{Hourglass}}{\text{Energía}_{int}}$$

$$H = \frac{0,476 \times 10^6 \text{ J}}{50,86 \times 10^6 \text{ J}} \times 100 \%$$

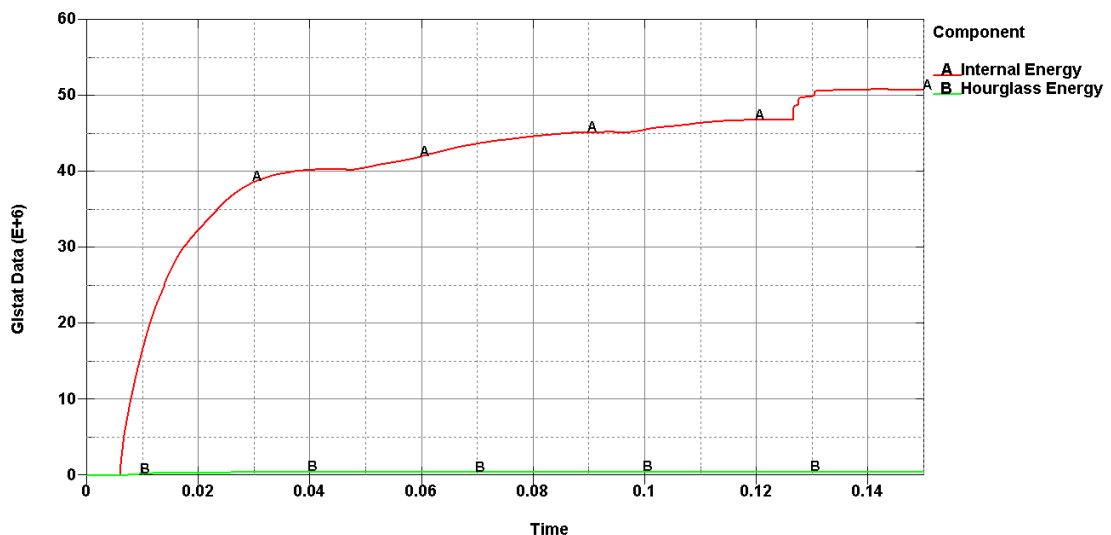
$$H = 0,93 \%$$

$$H < 10 \%$$



El valor obtenido de H es menor al 10% por lo tanto el análisis es válido para las condiciones establecidas en la simulación a 50 km/h. En la figura 5-28 se muestra gráficamente el comportamiento de la energía interna y la energía Hourglass que no sobrepasa el 10% de la energía interna, como consecuencia el estudio computacional es válido.

Figura 5-28. Energía interna y energía Hourglass impacto lateral a 50 km/h.



Fuente: Autores.

Una vez concluida esta simulación se decide no realizar la otra simulación a la velocidad crítica que son los 90 km/h debido a que no se puede diseñar un modelo de asiento y anclajes demasiado rígidos para que puedan resistir a dichas condiciones de impacto, porque toda la energía que se produce durante el impacto es absorbida por el pasajero al tener una configuración demasiado rígida lo que produciría severos daños a los ocupantes del vehículo.

### 5.5. Construcción del prototipo de anclajes de asiento autobús interprovincial.

Después de obtener los resultados de los ensayos y demostrar que la propuesta de la nueva configuración de anclajes cumple con el reglamento N° 80 CEPE /ONU y de igual manera soporta el impacto a la velocidad descrita en el reglamento N° 95 CEPE / ONU. Una vez realizados todos los análisis y pruebas pertinentes en el asiento se

procede a construir, con las modificaciones anteriormente mencionadas, de igual manera siguiendo los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 1668.

En la figura 5-29 se puede apreciar la configuración original y el asiento con las modificaciones propuestas de izquierda a derecha respectivamente.

Figura 5-29. Configuración de anclajes originales y propuestos.



Fuente: Autores.

La construcción de la pata de anclaje se lo realiza en base a los resultados de la simulación, eligiendo la alternativa 1 de la figura 5-1 que presenta buena resistencia a las condiciones establecidas para los impactos frontal y lateral.

Figura 5-30. Pata de anclaje propuesto.



Fuente: Autores.

La siguiente configuración de anclaje que reposa sobre el zócalo presenta una muy buena resistencia al impacto lateral ya que no se desprende ni presenta aristas vivas que puedan ocasionar daño a los pasajeros del autobús.

Figura 5-31. Configuración de anclaje unido al zócalo.



Fuente: Autores.

Finalmente los rigidizadores funcionan muy bien durante los ensayos elevando la resistencia principalmente en el impacto lateral, debido al escenario que se presenta ya que es un golpe directo y toda la energía es absorbida directamente por la estructura del autobús y del asiento.

Figura 5-32. Propuesta de rigidizadores en asiento.



Fuente: Autores.

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

El ensayo propuesto se basó en el Reglamento 80 CEPE/ONU donde se establece la realización de ensayos estáticos y dinámicos en bancos de pruebas, además se establecen criterios de aceptabilidad para anclajes de asientos de autobuses, para el desarrollo del proyecto se optó por un ensayo dinámico donde se impacta la estructura del autobús contra una pared rígida.

En el Reglamento N° 94 CEPE/ONU establece como velocidad de impacto frontal 56km/h, de manera frontal contra una pared rígida, la colisión debe ser total, los ocupantes deben estar retenidos por un sistema de sujeción de 2 o 3 puntos.

En el Reglamento N° 95 CEPE/ONU establece como velocidad de impacto lateral 50km/h, el vehículo permanece estático mientras que el impactador colisiona al autobús con la velocidad establecida, la colisión debe ser perpendicular, los ocupantes deben estar retenidos por un sistema de sujeción de 2 o 3 puntos.

Se modeló la estructura del asiento y la estructura del autobús en Solidworks, posteriormente se transportó los archivos al modelador de Ansys donde se procedió a la preparación de los modelos, donde se debe tener precaución que no existan interferencias entre cuerpos lo que da lugar a que se produzca jacobianos negativos en la simulación.

Se realizó ensayos a la velocidad que describe la norma a 56 km/h y a una velocidad de 90 km/h como velocidad máxima permitido para este tipo vehículos, en los resultados de esfuerzos y deformaciones obtenidos se demostró que el material solo soporta 370 MPa de esfuerzo y posteriormente colapsa para los dos casos y se producen desplazamientos de 12,055 mm y 23 mm respectivamente antes de producirse el fallo del material, donde se muestra que no cumple con los criterios de aceptabilidad

descritos en el Reglamento N° 80.

Se realizó ensayos a la velocidad que describe la norma a 50 km/h y a una velocidad de 90 km/h como velocidad máxima permitido para este tipo vehículos, en los resultados de esfuerzos y deformaciones obtenidos se demostró que el material solo soporta 370 MPa de esfuerzo y posteriormente colapsa para los dos casos y se producen desplazamientos de 11 mm y 17 mm respectivamente antes de producirse el fallo del material, donde se muestra que no cumple con los criterios de aceptabilidad descritos en el Reglamento N° 80.

Se construyó el asiento con la modificación establecida y se ensayó el impacto frontal a una velocidad de 56 km/h y el lateral a 50 km/h, además se comprobó la resistencia de los anclajes, en base a los esfuerzos y deformaciones, se demostró que el material soporta 320 MPa de esfuerzo para los dos casos y no llega hasta el límite de ruptura, al no colapsar el material no se producen por lo que se cumple con los criterios de aceptabilidad descritos en el Reglamento N° 80 donde no existe desprendimiento parcial o total del anclaje o aristas vivas.

No se consideró realizarlo a la velocidad de 90 km/h porque el objetivo de esta investigación no es construir un asiento indestructible y a dicha velocidad las deformaciones y energías involucradas son suficientes para causar daños severos a los ocupantes.

## **6.2. Recomendaciones**

Cuando se modele la estructura en el software CAD se lo debe hacer respetando el plano de construcción sin producir la fusión entre los diferentes elementos, esto se hace con el fin de que acercarse más a la realidad.

En el modelo geométrico utilizar superficies (elementos shell) en lugar de sólidos, esto para ahorrar el gasto computacional, evitar errores que pueden producirse en la simulación, y para obtener una mejor calidad de malla y por lo tanto mejores resultados.

Verificar que no haya interferencia en la geometría, el criterio de validación de la malla para el análisis que se está realizando porque de esto depende la fiabilidad de los resultados

Se recomienda reforzar la estructura para impacto lateral para atenuar el impacto y la absorción de energía, y reducir el daño que puede causar a los pasajeros.

Realizar esta investigación con el modelo de anclajes propuesto a la velocidad crítica de 90 km/h, colocar un segundo dummy y un asiento auxiliar, además de considerar los elementos que hacen más rígida a la estructura.

La Facultad de Mecánica de la ESPOCH debería contar con un laboratorio para este tipo de análisis utilizando equipos con tecnología de punta con fines de investigación y servicio al desarrollo de la industria nacional, en especial a la metalmecánica.

## **Bibliografía**

**AQUINO Miguel & POZO Edwin.** *Seminario “Ansys Workbench Mechanical-Introductorio”*. Riobamba Ecuador, 2016.

**BECERRIL NIETO, Daniel.** Estudio del impacto de un vehículo sobre señales de tráfico mediante LS-Dyna. [En línea]. (Proyecto de Fin de Carrera). (Ingeniería) Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Mecánica. 2010. [Consulta: 01 Junio 2016.]. Disponible en: <http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10798/Proyecto%20Daniel%20Becerril.pdf?sequence=1>. pp. 25-35.

**BEER, Ferdinand; et al.** *Mecánica de Materiales*. 6<sup>a</sup> ed. México-México D.F. : McGraw-Hill, 2013, pp. 706-710

**CARNICERO, Antonio.** *Introducción al Método de los Elementos Finitos*. [En línea] 2008. [Consulta: 26 Mayo 2016]. Disponible en : [http://www.iit.comillas.edu/~carnicero/Resistencia/Introduccion\\_al\\_MEF.pdf](http://www.iit.comillas.edu/~carnicero/Resistencia/Introduccion_al_MEF.pdf). pp. 5-10.

**CORRAL VICENTE, Maria Teresa.** Nuevos requisitos y avances en seguridad pasiva en autobuses y autocares: situación actual y necesidades. [En línea]. Instituto Universitario de Investigación del Automóvil, Universidad Politécnica de Madrid (INSIA-UPM). Madrid. España. 2010. [Consulta: 29 Mayo 2016]. Disponible en : [http://oa.upm.es/3213/1/INVE\\_MEM\\_2008\\_53550.pdf](http://oa.upm.es/3213/1/INVE_MEM_2008_53550.pdf). pp. 2-10.

**FLORES, Issac.** Apuntes del Curso de Diseño en Acero. [En línea]. 2012. [Consulta: 24 Noviembre 2016]. Disponible en : [http://www.ramos.utfsm.cl/doc/1080/sc/Capitulo\\_2\\_Comportamiento\\_del\\_Material.pdf](http://www.ramos.utfsm.cl/doc/1080/sc/Capitulo_2_Comportamiento_del_Material.pdf). pp. 3-10.

**GOSCHE, Mark.** *Minister of Transport New Zealand*. [En línea] 2002. [Consulta: 01 Junio 2016]. Disponible en : <https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/rules/docs/seats-and-seat-anchorage-2002.pdf>. pp. 3-10.

**GUALLICHICO SIMBAÑA, Freddy Roberto & MACAS VALDEZ, Xavier Oswaldo.** Diseño de sólidos de revolución mediante el método de elementos finitos. [En línea] (Tesis).(Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica. 2010. [Consulta: 25 Octubre 2016]. Disponible en : <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2104/1/CD-2884.pdf>. pp. 16-20.

**LIVERMORE, Technology Software.** [En línea] 2015. [Consulta: 24 Noviembre 2016]. Disponible en : <http://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/jday/hourglass.pdf>. pp. 2-7.

**LS-DYNA ANSYS.** *Guía de usuario.* [En línea]. 2013. [Consulta: 15 Noviembre 2016]. Disponible en : <http://148.204.81.206/Ansys/150/ANSYS%20LS-DYNA%20Users%20Guide.pdf>. pp. 9-20.

**MANJARRÉS ARIAS, Félix Javier & SANTILLÁN MARIÑO, Ernesto Ramiro.** Análisis estructural a cargas de impacto frontal de un bus tipo interprovincial mediante el método de elementos finitos. [En línea]. (Tesis).(Maestría). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica, 2016. [Consulta: 15 Noviembre 2016]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16531/1/CD-7196.pdf>. pp. 95-100.

**MEDINA, Jorge.** *Resistencia de Materiales. Facultad de Arquitectura y Diseño Universidad de Los Andes Venezuela.* [En línea]. 2015. [Consulta: 24 Noviembre 2016]. Disponible en : [http://salesianosdelsur.com.ar/sitio/claroline/back\\_ends/download.php?url=L1NIY2Npb25fVGVjbmljYV9Ob2N0dXJuYS9SZXNpc3RlbnNpYV9kZV9sb3NfbWF0ZXJpYWxlcy9Fc2Z1ZXJ6b195X0RlZm9ybWFjaW9uLnBkZg%3D%3D&cidReset=true&cidReq=BCSSDS](http://salesianosdelsur.com.ar/sitio/claroline/back_ends/download.php?url=L1NIY2Npb25fVGVjbmljYV9Ob2N0dXJuYS9SZXNpc3RlbnNpYV9kZV9sb3NfbWF0ZXJpYWxlcy9Fc2Z1ZXJ6b195X0RlZm9ybWFjaW9uLnBkZg%3D%3D&cidReset=true&cidReq=BCSSDS).

**MORENO GALINDO, Eliseo.** *Metodología de investigación, pautas para hacer Tesis* [blog]. [Consulta: 25 Enero 2017]. Disponible en : <http://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2013/08/que-es-operacionalizacion-de-variables.html>

**NTE INEN 1668.** *Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial.* Requisitos.



**NTE INEN 2708.** *Vehículos automotores. Asientos de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros. Resistencia de los asientos y de sus anclajes.* Requisitos y método de ensayo.

**PEZZOTTI, Santiago.** Introducción a la teoría de los elementos finitos. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería. [En línea] 2008. [Consulta: 26 Mayo 2016]. Disponible en : [http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos /Introduccion%20a%20la%20Teoria%20de%20Elementos%20Finitos%20-%202008.pdf](http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Introduccion%20a%20la%20Teoria%20de%20Elementos%20Finitos%20-%202008.pdf). pp. 4-20.

**REDDY, J.N.** *An Introduction to the Finite Element Method.* 3<sup>a</sup> ed. Estados Unidos-Nueva York : McGraw-Hill, 2006. pp. 2-20.

**REGLAMENTO 80, CEPE/ONU.** *Prescripciones uniformes relativas a la homologación de asientos de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de viajeros y de estos vehículos por lo que respecta a la resistencia de los asientos y de sus anclajes.* Apéndice 1.

**REGLAMENTO 94, CEPE/ONU.** *Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión frontal.* Parte 4 : Velocidad de ensayo.

**REGLAMENTO 95, CEPE/ONU.** *Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral.* Anexo 4.

**REMACHE GUTIERREZ, Agustín Danilo.** Estudio de los anclajes de asientos de autobús en un impacto frontal para determinar las deformaciones y esfuerzos máximos en la empresa Miviltech Soluciones Industriales S.A [En línea]. (Tesis). (Ingeniería). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato. Ecuador. 2015. [Consulta : 10 Abril 2016]. Disponible en : <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/20106>.

**RTE INEN 034**, *Elementos Mínimos de Seguridad en Vehículos Automotores*. Condiciones ergonómicas, Asientos y sus anclajes. Organización Interna : Asientos para pasajeros.

**VALERO FRÍAS, Eduardo**. Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos. [En línea] (Tesis Doctoral). (Ingeniería) Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. España. 2004. [Consulta: 02 Junio 2016]. Disponible en : <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6294/06Efv06de23.pdf?sequence=6>.

**VÁSQUEZ VELASQUEZ, Braulio Guillermo**. Estudio para el desarrollo de pruebas dinámicas efectuadas en los asientos para transporte urbano y suburbano de pasajeros, derivado del proyecto de investigación CGPI-20041128. [En línea] (Tesis). (Ingeniería) Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Azcapotzalco. México. 2011. [Consulta: 30 de Mayo de 2016]. Disponible en : <http://tesis.bnct.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/2035/vazquezvelazquez.pdf?sequence=1>.