



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA ANTI EMPOTRAMIENTO
POSTERIOR EN BUSES, PARA COLISIONES DE VEHÍCULOS
TIPO M1 MEDIANTE SOFTWARE CAD/CAE SEGÚN EL RTE
INEN 034 Y UNECE R58 PARA CARROCERÍAS M&L.**

ANGEL DAVID GUTIÉRREZ RIVERA

EDWIN MARCELO SANIPATIN SIMBAÑA

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2017-06-22

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

ÁNGEL DAVID GUTIÉRREZ RIVERA

Titulado:

**“DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA ANTI EMPOTRAMIENTO
POSTERIOR EN BUSES, PARA COLISIONES DE VEHÍCULOS TIPO M1
MEDIANTE SOFTWARE CAD/CAE SEGÚN EL RTE INEN 034 Y UNECE R58
PARA CARROCERÍAS M&L.”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño

DECANO FACULTAD DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso

DIRECTOR

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz

ASESOR

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2017-06-22

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

EDWIN MARCELO SANIPATIN SIMBAÑA

Titulado:

**“DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA ANTI EMPOTRAMIENTO
POSTERIOR EN BUSES, PARA COLISIONES DE VEHÍCULOS TIPO M1
MEDIANTE SOFTWARE CAD/CAE SEGÚN EL RTE INEN 034 Y UNECE R58
PARA CARROCERÍAS M&L.”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FACULTAD DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

**Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso
DIRECTOR**

**Ing. Santiago Alejandro López Ortiz
ASESOR**

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GUTIÉRREZ RIVERA ÁNGEL DAVID

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA ANTI EMPOTRAMIENTO POSTERIOR EN BUSES, PARA COLISIONES DE VEHÍCULOS TIPO M1 MEDIANTE SOFTWARE CAD/CAE SEGÚN EL RTE INEN 034 Y UNECE R58 PARA CARROCERÍAS M&L.”

Fecha de Examinación: 2018-01-08

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso DIRECTOR			
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz ASESOR			

* 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. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza.

PRESIDENTE TRIB.

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: SANIPATIN SIMBAÑA EDWIN MARCELO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA ANTI EMPOTRAMIENTO POSTERIOR EN BUSES, PARA COLISIONES DE VEHÍCULOS TIPO M1 MEDIANTE SOFTWARE CAD/CAE SEGÚN EL RTE INEN 034 Y UNECE R58 PARA CARROCERÍAS M&L.”

Fecha de Examinación: 2018-01-08

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso DIRECTOR			
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz ASESOR			

* 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. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza.

PRESIDENTE TRIB.

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de titulación 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 teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ángel David Gutiérrez Rivera

Edwin Marcelo Sanipatin Simbaña

DEDICATORIA

A Dios, a la santísima virgen por ser mi fuente de sabiduría e inspiración para alcanzar este objetivo con éxito. A mi madre Enriqueta Rivera por enseñarme el valor de la constancia, y ser el pilar fundamental a lo largo de mi formación, sin ella no lo hubiese logrado. Gracias mamavelita. A mi padre David Gutiérrez, a mis hermanos Román, y Paulita a mis tíos Jaime y María, que de una forma u otra estuvieron apoyándome en las diferentes circunstancias del diario vivir; a mis primos, amigos y aquellos que de forma directa e indirecta, fueron parte de mi vida formación estudiantil.

Ángel David Gutiérrez Rivera

A Dios por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional y de manera especial a mis amados padres, a mis hermanos, y al motor que me impulsa día a día que es mi querido hijo Cristian Alejandro y a mi adorable esposa Roció, ellos han sido mi apoyo incondicional en los momentos más difíciles en mi vida personal, y desde el inicio de mi carrera, gracias a ellos el día de hoy he podido culminar mi carrera en esta prestigiosa institución.

También dedico a mis abuelos que desde el cielo estarán orgullosos de que mi persona haya logrado cumplir con esta meta tan anhelada.

Edwin Marcelo Sanipatin Simbaña

AGRADECIMIENTO

A dios por las bendiciones y por todo lo que nos ha sido entregado, por la vida, que aunque no es perfecta, es un bello regalo, por la familia, la salud y la de los que nos rodean.

A toda mi familia la base fundamental esta, y estará en ellos. Madrecita mi motor mi motivo de inspiración para no desfallecer.

Al laboratorio CENDIngeniería S.A. y su gerente el Ing. Mario Brito por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

A todos los amigos(as) que a lo largo de la formación estudiantil se compartió grandes experiencias y anécdotas muchas historias que contar. De igual manera agradecerles a mis compañeros de departamento, a Kataleyos group, a Edwin compañero de este trabajo de titulación, que a pesar de los contratiempos se pudo salir adelante.

Ángel David Gutiérrez Rivera

A la carrera de Ingeniería Automotriz que me dio la oportunidad de obtener esta hermosa profesión y por permitirme ser una persona útil para la sociedad, así como también quiero hacer una mención especial a mi compañero de tesis David y al Ing. Santiago López que me brindo sus conocimientos para culminar con el proyecto de titulación, además darles un agradecimiento sincero y especial a mis queridos padres, hermanos por apoyarme en todos los momentos difíciles de mi vida tales como la felicidad y la tristeza pero ellos siempre han estado junto a mí y gracias a ellos soy lo que ahora soy y con el esfuerzo de ellos y mi esfuerzo ahora puedo ser una gran profesional y seré un gran orgullo para ellos y para todos los que confiaron en mí.

Al CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

Por último, pero no menos importante gracias a mis compañeros, amigos, profesores, nombrar a todos sería muy extenso, les agradezco por estar a mi lado apoyándome, animándome en este largo camino.

Edwin Marcelo Sanipatin Simbaña

CONTENIDO		Pág.
1	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación.....	1
1.3	Objetivos	2
1.3.1	<i>Objetivo general</i>	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	2
2	MARCO TEÓRICO	
2.1	Sistema anti empotramiento	3
2.1.1	<i>Tipos de perfil de barra anti empotramiento</i>	4
2.1.2	<i>Material de la barra anti empotramiento</i>	5
2.1.2.1	<i>Acero A36</i>	5
2.2	Vehículos categoría M3 y M1	5
2.2.1	<i>Vehículos categoría M3 o autobuses</i>	5
2.2.1.1	<i>Clasificación de los vehículos categoría M3</i>	6
2.2.2	<i>Vehículos categoría M1 o turismo</i>	7
2.2.2.1	<i>Clasificación de los vehículos categoría M1</i>	7
2.3	Sistema de homologación.....	8
2.3.1	<i>Tipos de homologación</i>	8
2.3.2	<i>Seguridad activa</i>	9
2.3.3	<i>Seguridad pasiva</i>	9
2.3.4	<i>Diferencias entre seguridad activa y pasiva</i>	9
2.4	Normativas	10
2.4.1	<i>RTE INEN 034</i>	10
2.4.2	<i>UNECE</i>	10
2.4.3	<i>UNECE R58</i>	11
2.5	Software CAD/CAE.....	11

2.5.1	<i>Diseño asistido por computador (CAD)</i>	11
2.5.2	<i>Ingeniería asistida por computador (CAE)</i>	11
2.5.3	<i>Técnicas de mallado</i>	13
2.5.3.1	<i>Propiedades que deben tener las mallas</i>	14
2.5.3.2	<i>Técnicas o algoritmos de mallado</i>	14
2.5.3.3	<i>Mallado adaptativo</i>	15
2.5.3.4	<i>Parámetros de evaluación de la malla</i>	15
2.6	<i>Mecánica de materiales</i>	17
2.6.1	<i>Esfuerzo</i>	17
2.6.1.1	<i>Tipos de carga</i>	17
2.6.2	<i>Deformación</i>	17
2.6.3	<i>Términos que se consideran en el diagrama esfuerzo – deformación</i>	18
2.7	<i>Tipos de energía</i>	18
2.7.1	<i>Energía interna</i>	18
2.7.2	<i>Energía Hourglass</i>	19
2.8	<i>Ensayos</i>	19
2.8.1	<i>Ensayos destructivos</i>	19
2.8.2	<i>Ensayos no destructivos</i>	20
2.9	<i>Pruebas de choque</i>	21
2.9.1	<i>Tipos de pruebas de choque</i>	21
2.9.1.1	<i>Impacto frontal</i>	21
2.9.1.2	<i>Impacto frontal contra una barrera rígida</i>	22
2.9.1.3	<i>Impacto frontal contra un poste</i>	22
2.9.1.4	<i>Impacto lateral</i>	22
2.9.1.5	<i>Impacto lateral contra otro vehículo</i>	23
2.9.1.6	<i>Impacto lateral contra un poste</i>	23
2.9.1.7	<i>Impacto trasero</i>	24

3	SIMULACIÓN DE IMPACTO POSTERIOR EN LA BARRA ANTI EMPOTRAMIENTO EN UN BUS URBANO	
3.1	Obtención del modelo tridimensional de la barra anti empotramiento, vehículo impactado y autobús urbano tipo M3	25
3.2	Características de vehículos impactadores utilizados en el análisis y simulación	26
3.3	Características de la barrera deformable de los vehículos impactadores utilizados en el análisis y simulación	27
3.4	Posición de la barra de anti empotramiento	27
3.5	Tipos de materiales y perfilera utilizados en el diseño del bus urbano tipo M3 y la barra anti empotramiento.....	28
3.5.1	<i>Dimensiones de la barra anti empotramiento.....</i>	30
3.5.2	<i>Descripción de la estructura.....</i>	32
3.6	Ensayo de probetas planas.....	33
3.6.1	<i>Procedimiento.....</i>	33
3.6.2	<i>Precauciones.....</i>	34
3.7	Definición del pre proceso	35
3.7.1	<i>Generación de la geometría.....</i>	35
3.7.2	<i>Condiciones generales del modelado estructural.....</i>	35
3.7.3	<i>Material.....</i>	36
3.8	Generación de malla.....	39
3.8.1	<i>Criterios de evaluación de la malla.....</i>	39
3.8.2	<i>Condiciones de borde para impacto posterior.....</i>	40
3.9	Proceso de simulación	41
4	ANALISIS DE RESULTADOS	
4.1	Proceso propuesto para el análisis de resultados.....	43
4.2	Resultados del análisis sin barra anti empotramiento en un impacto posterior a 56km/h con vehículo impactador modelo sedan	44

4.3	Validación del análisis computacional.....	47
4.3.1	<i>Control Hourglass</i>	47
4.3.2	<i>Energía interna</i>	47
4.3.3	<i>Relación entre la energía interna de deformación y el valor de la energía de Hourglass</i>	48
4.4	Resultados del análisis en la barra anti empotramiento en un impacto posterior a 56km/h con vehículo impactador modelo sedan	49
4.5	Validación del análisis computacional.....	52
4.5.1	<i>Control Hourglass</i>	53
4.5.2	<i>Energía interna</i>	53
4.5.3	<i>Relación entre la energía interna de deformación y el valor de la energía de Hourglass</i>	54
4.6	Resultados del análisis en la barra anti empotramiento en un impacto posterior a 56km/h con vehículo impactador modelo todo terreno.....	55
4.6.1	<i>Esfuerzos de Von Mises en la súper estructura del bus urbano</i>	57
4.7	Validación del análisis computacional.....	59
4.7.1	<i>Control Hourglass</i>	59
4.7.2	<i>Energía interna</i>	59
4.7.3	<i>Relación entre la energía interna de deformación y el valor de la energía de Hourglass</i>	60
4.8	Verificación de resultados del diseño propuesto.....	61
4.8.1	<i>Análisis sin barra anti empotramiento en un impacto posterior</i>	61
4.8.2	<i>Análisis en la barra anti empotramiento en un impacto posterior con vehículo impactador modelo sedan</i>	61
4.8.3	<i>Análisis en la barra anti empotramiento en un impacto posterior con vehículo impactador modelo todo Terreno</i>	62
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	Conclusiones	63

5.2	Recomendaciones.....	64
-----	----------------------	----

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXOS.

PLANOS.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2 Composición química	5
Tabla 2-2. Propiedades mecánicas	5
Tabla 3-2. Elementos de la seguridad activa y pasiva.	10
Tabla 4-2. Tipos de modelos computarizados.	13
Tabla 5-2. Rangos aceptables para validación de malla	16
Tabla 1-3. Comportamiento de los materiales de las diferentes secciones del conjunto bus urbano tipo M3 y vehículo impactador	28
Tabla 2-3. Perfilería utilizada en las diferentes secciones del bus.....	29
Tabla 3-3. Perfilería y acoples de la barra anti empotramiento	32
Tabla 4-3. Resumen de parámetros y propiedades de acero A3	38
Tabla 5-3. Propiedades del material.....	39
Tabla 1-4. Resultado sin dispositivo de protección posterior después de colisión.....	61
Tabla 2-4. Resultado sin dispositivo de protección posterior después de colisión.....	61
Tabla 3-4. Resultado sin dispositivo de protección posterior después de colisión.....	62

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2. Tipos de barras anti empotramiento.....	3
Figura 2-2. Vehículo categoría M3.....	6
Figura 3-2. Vehículo categoría M1	7
Figura 4-2. Proceso de diseño CAE.....	12
Figura 5-2. Modelo de mallado	14
Figura 6-2. Diagrama esfuerzo vs deformación	18
Figura 7-2. Impacto frontal.....	22
Figura 8-2. Impacto frontal contra un poste	22
Figura 9-2. Impacto lateral contra otro vehículo	23
Figura 10-2. Impacto lateral contra un poste	24
Figura 11-2. Impacto trasero.....	24
Figura 1-3. Modelo tridimensional del bus.....	25
Figura 2-3 Barra anti empotramiento	26
Figura 3-3. Tipos de vehículos impactadores utilizados en la simulación	26
Figura 4-3. Atenuador de impacto	27
Figura 5-3. Ensamblaje de la barra anti empotramiento y el bus	27
Figura 6-3. Componentes del conjunto bus y vehículo impactador	28
Figura 7-3. Secciones del bus tipo M3	29
Figura 8-3. Altura máxima de la barra anti empotramiento con el piso	31
Figura 9-3. Partes y acoples de barra anti empotramiento.....	31
Figura 10-3. Dimensiones de la probeta rectangular	33
Figura 11-3. Especificación de pruebas de tensión rectangulares	34
Figura 12-3. Project Workbench.....	35
Figura 13-3. Preparación de sección para impacto posterior.....	36
Figura 14-3. Selección del Material.....	37
Figura 15-3. Definición de componente	38
Figura 16-3. Control de malla en unión de componentes	39
Figura 17-3. Criterios de aceptabilidad de la calidad de malla.....	40
Figura 18-3. Calidad de malla de impacto posterior (Aceptable - Inaceptable).....	40
Figura 19-3. Asignación de velocidad para ensayo de impacto posterior	41

Figura 20-3. Condiciones de borde para impacto posterior.....	41
Figura 21-3. Solución del impacto posterior	42
Figura 1-4. Diagrama de flujo del proceso de análisis de resultados	43
Figura 2-4. Sucesión de imágenes de impacto posterior sin barra anti empotramiento a 56km/h.....	44
Figura 3-4. Esfuerzo de Von Mises sin barra anti empotramiento a 56 km/h.....	45
Figura 4-4. Concentración de esfuerzos Von Misses	46
Figura 5-4. Imágenes de impacto posterior de un vehículo impactador sedan, con barra anti empotramiento a 56km/h.....	50
Figura 6-4. Esfuerzo de Von Mises en la barra anti empotramiento a 56 km/h.....	51
Figura 7-4. Concentración de esfuerzos Von Misses	52
Figura 8-4. Sucesión de imágenes de impacto posterior de vehículo impactador todo terreno, con barra anti empotramiento 56km/h	56
Figura 9-4. Concentración de esfuerzos Von Misses	58

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1-3. Esfuerzo vs Deformación.	37
Gráfico 1-4. Energía cinética vs Energía interna durante impacto posterior	46
Gráfico 2-4. Energía Hourglass en impacto posterior a 56 km/h	47
Gráfico 3-4. Energía interna a 56 km/h	48
Gráfico 4-4. Energía interna y energía Hourglass durante impacto posterior a 56 km/h	49
Gráfico 5-4. El desplazamiento obtenido al impacto posterior de vehículo impactador sedan, con barra anti empotramiento a 56km/h	51
Gráfico 6-4. Energía cinética y energía interna durante impacto posterior a 56km/h ...	52
Gráfico 7-4. Energía Hourglass en impacto posterior a 56 km/h	53
Gráfico 8-4. Energía interna a 56 km/h	54
Gráfico 9-4. Energía interna y energía Hourglass durante impacto posterior a 56 km/h	55
Gráfico 10-4. El desplazamiento obtenido al impacto posterior del vehículo impactador todo terreno, con barra anti empotramiento a 56km/h	57
Gráfico 11-4. Variación de la energía cinética e interna en impacto posterior a 56 km/h	58
Gráfico 12-4. Energía Hourglass en impacto posterior a 50 km/h	59
Gráfico 13-4. Energía interna a 56 km/h	60
Gráfico 14-4. Energía interna y energía Hourglass durante impacto posterior a 56 km/h	61

SIMBOLOGÍA

Mm	Distancia	m
EI	Energía	J
V	Velocidad	m/s
HG	Energía	J
S	Tiempo	s
Ms	Tiempo	s x 10 ⁻³

LISTA DE ABREVIACIONES

INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
UNECE	Comisión Económica de las Naciones para Europa
ASTM	Asociación Americana de Ensayo de Materiales
CEPE	Comisión Económica de las Naciones para Europa
M&L	Carrocerías Milton López
CAD	Diseño Asistido por Computadora
CAE	Ingeniería Asistida por Computadora
ANSYS	Sistema de Análisis Swanson

LISTA DE ANEXOS

Anexo A	Norma UNECE R58
Anexo B	Norma RTE INEN 034
Anexo C	Reglamento CEPE R95
Anexo D	Reglamento CEPE R94
Anexo E	Informe ensayos de tracción.
Anexo F	Máquina universal de ensayos de tracción
Anexo G	Probetas

RESUMEN

El objetivo de la presente propuesta tecnológica es presentar un diseño y análisis de una barra anti empotramiento posterior en un bus urbano, para colisiones de vehículos tipo M1 mediante software CAD/CAE para la empresa carrocera M&L con la finalidad de implementar la seguridad pasiva en un eventual accidente por alcance entre un vehículo M1 y un bus. Con la revisión del RTE INEN 034 y UNECE R58 se identificó las especificaciones y metodologías a aplicar. Las normativas indican los soportes que sirven de sujeción entre la barra y el chasis del bus, debe poseer un mínimo de 6 perforaciones a cada lado para los ajustes por medio de pernos y tuercas de seguridad, además de determinar la velocidad de ensayo a 56 km/h. La barra debe estar a una altura de 550 mm con respecto al piso. Para la verificación del material ASTM A36 usado en nuestro estudio se recurrió a ensayos de tracción realizados en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero en la ciudad de Ambato, además se realizaron simulaciones mediante software especializado en elementos finitos en el cual se comprobó la resistencia y elongación de la barra luego del impacto, obteniendo resultados en los cuales no existe incrustación al momento del impacto. Con el estudio realizado se determinó que al existir una barra anti empotramiento en la parte posterior de una carrocería de un bus urbano, se logra que el vehículo M1 no se incruste debajo del bus en el caso de una eventual colisión por alcance. Mediante el análisis realizado se determinó el modelo de dispositivo anti empotramiento que cumple con las prescripciones de homologación descritos en la regulación UNECE N58.

PALABRAS CLAVE: <BARRA ANTI EMPOTRAMIENTO>, <ELEMENTOS FINITOS>, <ENSAYOS DE TRACCIÓN>, <SIMULACIÓN DINÁMICA>, <CATEGORIZACIÓN VEHICULAR>.

ABSTRACT

The objective of the present technological proposal is to present a design and analysis of an anti-embedment bar on an urban bus, for collisions of vehicles type MI using CAD / CAE software for the bodywork company M&L in order to implement passive safety in an eventual rear-hit accident between an MI vehicle and a bus. With the revision of the RTE INEN 034 and UNECE R58, the specifications and methodologies to be applied were identified. The regulations indicate the supports that work as clamp between the bar and the bus chassis, must have a minimum of six holes on each side for adjustments by means of bolts and nuts, in addition to determining the test speed at 56 km / h. The bar must be at a height of 550 mm with respect to the floor. For the verification of ASTM A36 material used in our study, we used traction tests carried out in the Metal-mechanic Productive Development Centers of the city of Ambato, in addition simulations were performed using software specialized in finite elements in which resistance and elongation of the bar after impact were tested. With the study carried out, it was determined that when there is an anti-embedment bar in the rear part of an urban bus body, the MI vehicle is not embedded under the bus in case of an eventual collision. By means of the analysis developed, the anti-embedment device model that meets the homologation requirements described in the UNECE N58 regulation was determined.

KEY WORDS: <ANTI-EMBEDMENT BAR>, <FINITE ELEMENTS>, <TRACTION TESTS>, <DYNAMIC SIMULATION>, <VEHICLE CATEGORIZATION>.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La falta de control e implementación de sistemas de anti empotramiento de vehículos de categoría M3, ha provocado un alto número de accidentes fatales en los últimos años, por esta razón se debe controlar este tipo de sistemas para salvaguardar la vida de conductores y pasajeros, según el reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 034 los vehículos de categoría M3 deben estar dotados de tal manera que ofrezcan protección en la parte ancha posterior contra el empotramiento de vehículos livianos de categoría M1. (INEN, 2016)

La diferencia de alturas entre la estructura de un vehículo todo terreno, en comparación a un vehículo sedan, en el caso de un siniestro por alcance, posibilita el empotramiento, e influye considerablemente en accidentes y muertes. (Bordege, 2011)

1.2 Justificación

La industria de fabricación de carrocerías presenta un crecimiento en los últimos años y un desarrollo cada vez más significativo. Gracias al apoyo y control del gobierno, gremios de empresas carroceras, organismos técnicos, entre otros, están produciendo productos de calidad. La implementación de normas técnicas para la construcción de las carrocerías ha ayudado a ganar la confianza de los sectores transportistas nacionales generando el crecimiento de la producción nacional.

La agencia nacional de tránsito (ANT) hasta abril del 2016 reporta 10,66% de accidentes por impacto frontal y un 5.15% de accidentes por impacto posterior con un total de 10,689 muertes. (AND, 2016)

Los vehículos en las categorías M3, N3, N2 y O deben de estar dotados de un sistema eficiente en la parte posterior, de tal manera que impida la incrustación de vehículos pequeños en el caso de que ocurra un accidente por alcance, según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en el reglamento N°034. (INEN, 2016)

El presente proyecto propone el estudio, diseño de un sistema anti empotramiento, en base a lo descrito en la normativa ecuatoriana INEN 034 para un vehículo categoría M3 para absorber y atenuar el impacto posterior de vehículos de categoría M1 en caso de presentarse este tipo de accidente. (INEN, 2016)

El análisis del diseño estructural de protección contra el empotramiento beneficiará a los conductores de vehículos categoría M1, al implementar un mecanismo de barra anti empotramiento se estará salvaguardando la vida de los ocupantes, en caso de sufrir un accidente contra un autobús urbano Volkswagen 17210 (categoría M3), además el propietario de la empresa carrocera M&L, tendrá un análisis y un diseño de un sistema anti empotramiento que podrá implementar en sus unidades así estará cumpliendo con la normativa vigente evitando sanciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.*

Diseñar una Barra anti empotramiento posterior de un vehículo de categoría M3 (autobús) urbano, modelo Mileniun Volkswagen 17210, mediante software CAD/CAE para evitar que vehículos categoría M1 se introduzcan en la estructura del autobús en un impacto por alcance posterior, para la empresa carrocera M&L.

1.3.2 *Objetivos específicos.*

Realizar un estudio bibliográfico, para conocer el método de análisis referidos a impacto de vehículos y su normativa.

Generar un modelo computacional que represente el impacto de los vehículos asignando todas las propiedades físicas y mecánicas del sistema.

Analizar el comportamiento del modelo computacional aplicando el método de elementos finitos, para determinar si se produce el empotramiento del vehículo.

Validar en base del RTE INEN 034, y Reglamento N°58 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas para el buen desempeño del diseño expuesto.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema anti empotramiento

El sistema anti empotramiento es un elemento de seguridad pasiva destinado a impedir que un vehículo categoría M1 quede empotrado o debajo del vehículo que le precede en caso de impacto por alcance. Se denomina también como barra anti empotramiento, está proyectado para ser implementado en vehículos que se dedican al traslado de pasajeros o mercadería (Circulaseguro, 2013)

La parte delantera de un vehículo categoría M1 que se haya impactado por alcance a un vehículo categoría M3 el cual disponga de una altura incorrecta del sistema anti empotramiento o una rigidez insuficiente, permitirá el fácil acceso hacia la plataforma inferior produciendo el empotramiento hasta alcanzar el habitáculo, o ubicación del piloto y copiloto.(Circulaseguro, 2013)



Figura 1-2. Tipos de barras anti empotramiento

Fuente. (Traxion , 2016)

- El reglamento dispone que la altura a la cual se ubica el dispositivo anti empotramiento para que brinde una protección eficaz no sobrepase de 550 mm además a cada lado del eje trasero el ancho no será inferior a 100mm, además la reglamentación específica que vehículos están exentos de portar el dispositivo anti empotramiento (Circulaseguro, 2013)Tracto camiones para semirremolques
- Remolques destinados al transporte de madera sin desbistar o de piezas de gran longitud, vehículos en los cuales la existencia de una protección trasera contra el empotramiento sea incompatible con la utilización

- Tractores agrícolas, remolques agrícolas y resto de maquinaria agrícola. (Circulaseguro, 2013)

Los soportes y refuerzos adicionales del dispositivo anti empotramiento no tienen el debido análisis previo además de una disposición de altura incorrecta de la barra, los ocupantes de cualquier vehículo categoría M1 en el caso de que acontezca un accidente por alcance quedarían indefensos ante la intensidad del impacto. (Circulaseguro, 2013)

Expertos indican que la barra anti empotramiento debe estar a una altura 550 mm del suelo, en el caso que se dé un incidente de impacto por alcance, el vehículo categoría M3 pueda liberar parte de la energía mediante la deformación de la estructura, además de darle tiempo de activación a los elementos de seguridad pasiva. (Circulaseguro, 2013)

2.1.1 Tipos de perfil de barra anti empotramiento.

- a) **Protección anti empotramiento fija con perfil en U.** El perfil en U de aluminio permite montar los pilotos y la placa de matrícula de forma que queden bien protegidos. (Scania, 2017)
- b) **Protección anti empotramiento fija con perfil cuadrangular.** El perfil cuadrangular de aluminio proporciona una distancia al suelo más adecuada para un travesaño de remolque bajo el bastidor. El motivo de ello es que el perfil cuadrangular tiene una altura menor que el perfil en U y el acoplamiento del remolque montado en una posición baja supone una limitación de la altura de montaje del perfil. (Scania, 2017)
- c) **Protección anti empotramiento fija con perfil redondo.**

Montaje fijo. El perfil redondo de acero (diámetro de 108 mm) se recomienda, por ejemplo, para vehículos con volquete; de este modo, se evita la posibilidad de que la grava del volquete caiga sobre la carretera. (Scania, 2017)

Desmontable. La protección anti empotramiento desmontable únicamente se puede combinar con un travesaño final de perfil cuadrangular y un travesaño de remolque completamente bajo el bastidor o adaptado para acoplamiento próximo. (Scania, 2017)

2.1.2 *Material de la barra anti empotramiento.*

2.1.2.1 *Acero A36.*

Es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización. (Castro, 2017)

Tabla 1-2 Composición química

Carbono (C)	0,26% máx.
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fósforo (P)	0,04% máx.
Azufre (S)	0,05% máx.
Silicio (Si)	0,40% máx.
Cobre (Cu)	0,20% mínimo

Fuente. (Castro, 2017)

Como la mayoría de los aceros, el A36, tiene una densidad de 7850 kg/m³ (0.28 lb/in³). El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 in (203,2 mm) tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPA (36 Ksi), y un límite de rotura mínimo de 410 MPa (58 Ksi). Las planchas con espesores mayores de 8 in (203,2 mm) tienen un límite de fluencia mínimo de 220 MPA (32 Ksi), y el mismo límite de rotura. (Castro, 2017)

Tabla 2-2. Propiedades mecánicas

Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la Tracción			
Mpa	Psi	Psi		Mpa	
		Min	Máx	Min	Máx
250	36000	58000	80000	400	550

Fuente. (Castro, 2017)

2.2 *Vehículos categoría M3 y M1*

2.2.1 *Vehículos categoría M3 o autobuses.*

El autobús es un vehículo terrestre diseñado para el transporte de personas. Generalmente es usado en los servicios de transporte público urbano e interurbano, y con trayecto fijo. Su capacidad puede variar entre 10 y 120 pasajeros. (Casipoea, 2014)



Figura 2-2. Vehículo categoría M3

Fuente. Autores

El autobús hace referencia al transporte urbano, mientras que el autocar u ómnibus lo hace al interurbano. Otra forma de diferenciación semántica va de acuerdo al tamaño y capacidad del vehículo, considerando ómnibus al autobús que puede transportar más de 30 personas y microbús al que transporta menos. (Casipoea, 2014)

2.2.1.1 Clasificación de los vehículos categoría M3.

Categoría M: Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el transporte de personas y su equipaje.

Categoría M3: Vehículos de la categoría M que tengan más de 8 plazas de asiento además de la del conductor y cuya masa máxima sea mayor a 5 toneladas. Pueden tener espacio para viajeros de pie. (Centro-Zaragoza, 2012)

Dentro de los vehículos de la categoría M3 pueden distinguirse distintas clases en función de la capacidad de los viajeros: (Centro-Zaragoza, 2012)

- Para vehículos con capacidad mayor a 22 viajeros, además del conductor se da la siguiente clasificación:

Clase I: Vehículos provistos de zonas para viajeros de pie que permiten la circulación frecuente de pasajeros. (Centro-Zaragoza, 2012)

Clase II: Vehículos destinados principalmente al transporte de viajeros sentados y diseñados para permitir el transporte de viajeros de pie, pero solamente en el pasillo o en una zona que no sobrepase el espacio previsto para dos asientos dobles. (Centro-Zaragoza, 2012)

Clase III: Vehículos previstos exclusivamente para transportar viajeros sentados.

- Para vehículos con capacidad menor o igual a 22 viajeros, además del conductor la clasificación es la siguiente: (Centro-Zaragoza, 2012)

Clase A: Vehículos diseñados para el transporte de viajeros de pie.

Clase B: Vehículos no diseñados para el transporte de viajeros de pie.

2.2.2 Vehículos categoría M1 o turismo.

Son vehículos de cuatro ruedas destinados al transporte de entre una a nueve personas incluido el conductor, popularmente conocidos como coches o vehículos turismo. También pueden englobarse dentro de este grupo los vehículos destinados al transporte y reparto de mercancías no muy voluminosas, como camionetas y pequeños furgones e incluso autobuses. (Blázquez, 2014)

Este grupo es el más importante desde el punto de vista cuantitativo, ya que su participación en el tráfico es normalmente muy superior a la de los demás vehículos; por esta razón, sus características condicionan en gran medida los elementos relacionados con la geometría de la vía y la regulación del tránsito. (Blázquez, 2014)



Figura 3-2. Vehículo categoría M1

Fuente. <http://esplural.com/ecuaauto/descubre-el-nuevo-aveo-family/>

2.2.2.1 Clasificación de los vehículos categoría M1.

Categoría M1 (a): Los vehículos que tengan 3 o 5 puertas y ventanas laterales detrás del conductor, no excediendo un peso máximo cargado de 3,5 toneladas diseñado y construido originalmente para el transporte de pasajeros, pero los cuales también pueden ser adaptado, o parcialmente adaptado, para el transporte de carga por plegado o remoción de los asientos situados detrás del asiento del conductor. (Mercosur, 2015)

Categoría M1 (b): Los vehículos diseñados y construidos originalmente para el transporte de carga pero que han sido adaptados con asientos fijos o replegables detrás del asiento del conductor para el transporte de más de 3 pasajeros y vehículos diseñados

y equipados para suministrar viviendas móviles en ambos casos teniendo un peso máximo cargado que no exceda las 3,5 toneladas. (Mercosur, 2015)

2.3 Sistema de homologación

El Sistema de Homologación se basa en el cumplimiento de actos reglamentarios, en ellos se establecen los requisitos técnicos que deben cumplir vehículos, sistemas o sus componentes, desde el punto de vista de: (Lamas, 2015)

- Mejora de la seguridad activa, pasiva o general.
- Protección del medio ambiente.
- Promoción de la eficiencia energética. (Lamas, 2015)

2.3.1 Tipos de homologación.

- **Homologación de Tipo:** El procedimiento mediante el cual un estado o entidad estatal certifica que un tipo de vehículo, sistema, componente o unidad técnica independiente cumple las correspondientes disposiciones administrativas y requisitos técnicos pertinentes. (Lamas, 2015)
- **Homologación de tipo nacional:** Procedimiento de homologación de tipo establecido por la legislación nacional de un estado; la validez de dicha homologación queda limitada al territorio de ese Estado. (Lamas, 2015)
- **Homologación Individual:** El procedimiento por el cual un estado certifica que un vehículo en particular, ya sea singular o no, cumple las disposiciones administrativas y requisitos técnicos pertinentes. (Lamas, 2015)
- **Homologación de Tipo Multifásica:** El procedimiento mediante el cual uno o varios estados certifican que, dependiendo del grado de acabado, un tipo de vehículo incompleto o completado cumple las correspondientes disposiciones administrativas y requisitos técnicos. (Lamas, 2015)
- **Homologación de Tipo por Etapas:** El procedimiento de homologación de vehículos consistente en obtener por etapas el conjunto completo de certificados de homologación para los sistemas, componentes y unidades técnicas independientes de un vehículo y que, en la fase final, tiene como resultado la homologación del vehículo completo. (Lamas, 2015)

- **Homologación de Tipo de una sola vez:** El procedimiento consistente en homologar un vehículo completo en una única operación. (Lamas, 2015)
- **Homologación de Tipo Mixta:** El procedimiento de homologación por etapas en el que la homologación de uno o más sistemas se realiza en la fase final de homologación del vehículo completo, sin que sea necesario expedir certificados de homologación de tipo CE para dichos sistemas. (Lamas, 2015)

2.3.2 *Seguridad activa.*

La seguridad activa o primaria es la que debe tener un vehículo para evitar que se produzca un accidente. Este tipo de seguridad engloba todos los elementos del vehículo cuya misión es mejorar las condiciones dinámicas del mismo para contribuir a la disminución del número de accidentes. Comprende un conjunto de elementos destinados a que el conductor tenga siempre un completo y perfecto dominio sobre su vehículo, procurando que sea dueño de sus movimientos en cada momento. Como elementos de este grupo tenemos los frenos, dirección, potencia, etc. (Sánchez, 2005)

2.3.3 *Seguridad pasiva.*

La seguridad pasiva o secundaria comprende una serie de dispositivos cuya misión consiste en tratar de disminuir al máximo la gravedad de las lesiones producidas a las víctimas de un accidente una vez que éste se ha producido. Aquí estarían los cinturones de seguridad, estructura deformable, parabrisas laminados, etc. El principio fundamental de seguridad pasiva se basa en que el vehículo debe proteger en cualquier momento la integridad física de sus ocupantes cuando por impericia, imprudencia o cualquier otro motivo, imputable o no al conductor, se produzca una colisión o atropello. (Sánchez, 2005)

2.3.4 *Diferencias entre seguridad activa y pasiva.*

La diferencia fundamental entre la seguridad activa y la pasiva es que la primera trata de evitar los accidentes y requiere una actuación previa del conductor. La segunda, por el contrario, no trata de evitar los accidentes, sino que intenta evitar o disminuir sus daños lesivos al mínimo, y actúa de forma automática, es decir, independientemente del comportamiento del conductor. (Sánchez, 2005)

Tabla 3-2. Elementos de la seguridad activa y pasiva.

Reglamentos de la ONU	
Seguridad activa	Seguridad pasiva
Neumáticos	Protección en caso de choque
Avisadores acústicos	Salientes exteriores
Frenos	Autobuses y autocares
Prevención de incendios	Parachoques
Retrovisores de vehículos de 2 ruedas	Lunas de seguridad
Instalación de luces	Dispositivos de retención de niños
Placas traseras para vehículos lentos	Dispositivos anti empotramiento

Fuente. (Sánchez, 2005)

2.4 Normativas

La agencia Nacional de Tránsito y Seguridad vial (ANT). Es el ente que regula en Ecuador el tránsito, seguridad vial, y transporte terrestre, toda empresa carrocería tienen que cumplir con reglamentos y normas dispuestos por la ANT en cuanto a superficies de construcción de estructura, componentes de seguridad mínimos que tiene que disponer los vehículos destinados al transporte de pasajeros.

2.4.1 RTE INEN 034.

Establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los vehículos automotores que circulen en el territorio ecuatoriano, con la finalidad de proteger la vida e integridad de las personas; así como el fomentar mejores prácticas al conductor, pasajero y peatón. (Inen, 2016)

Este reglamento técnico se aplica a todo vehículo que va a ingresar al parque automotor ecuatoriano, sean importados, ensamblados o fabricados en el país, que deben contener los elementos mínimos de seguridad obligatorios. (Inen, 2016)

2.4.2 UNECE.

Los Reglamentos UN/ECE son normas de aplicación voluntaria. Derivan del acuerdo de Ginebra 1958 de armonización de normas técnicas de homologación y reconocimiento mutuo de las homologaciones concedidas. Actualmente son más de 120. Cada país decide cómo y cuándo se aplican. Su validez geográfica es más amplia que las directivas UE. Son miembros del acuerdo de Ginebra del 1958 todos los países de Europa (incluyendo

el Este) y países de todos los continentes (Japón, USA, Canadá, Australia, Corea, China, India, Países de Sudamérica, están en distintas fases de adhesión al acuerdo o a sus anexos. (Lafuente, 2015)

2.4.3 UNECE R58.

El reglamento N°58 se aplica a vehículos en lo que concierne al montaje de un dispositivo de protección trasera contra el empotramiento de un tipo homologado, y vehículos en lo que concierne a su protección trasera contra el empotramiento. (Uca, 2016)

No se aplica a: Las unidades de tracción de los vehículos articulados:

Los remolques especialmente proyectados y construidos para el transporte de cargas muy largas, de longitud indivisible, tales como vigas, barras de acero, etc. Los vehículos en los que cualquier dispositivo de protección trasera contra el empotramiento sea incompatible con su utilización. (Uca, 2016)

2.5 Software CAD/CAE

2.5.1 *Diseño asistido por computador (CAD).*

El CAD es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido. (Oswaldo Rojas Lazo, 2006)

Una de las herramientas de análisis más estudiado y aplicado son los cálculos con elementos finitos que permiten predecir con gran precisión y simplicidad los esfuerzos y deformaciones que soportará internamente una pieza o conjunto de piezas al ser sometidas a un sistema de cargas. (Oswaldo Rojas Lazo, 2006)

La aplicación del software CAD en la ingeniería abarca la elaboración de cuadros sinópticos, diagramas de diversos tipos, gráficos estadísticos, representación normalizada de piezas para su diseño y fabricación, representación tridimensional de modelos dinámicos en multimedia, análisis con elementos finitos, aplicaciones en realidad virtual, robótica, etc. (Oswaldo Rojas Lazo, 2006)

2.5.2 *Ingeniería asistida por computador (CAE).*

CAE simula bajo condiciones aparentemente reales el efecto de variables sobre el elemento diseñado, con el fin de llegar a una forma geométrica optimizada para ciertas

condiciones. Es un modelado interactivo tridimensional en tiempo real con análisis mediante pruebas no destructivas.

Diseñadores, ingenieros, industriales, arquitectos, etc. utilizan los programas CAE para verificar la factibilidad de distintas alternativas de diseño. Cuando el CAE se utiliza correctamente, se pueden obtener en poco tiempo soluciones eficientes con un alto grado de confianza. La repercusión más importante es que posibilita el diseño mediante ciclos de prueba ya que las primeras informaciones obtenidas por el CAE es sólo la base para la discusión de factibilidad en la que intervendrán la experiencia y la evolución futura. (Oswaldo Rojas Lazo, 2006)

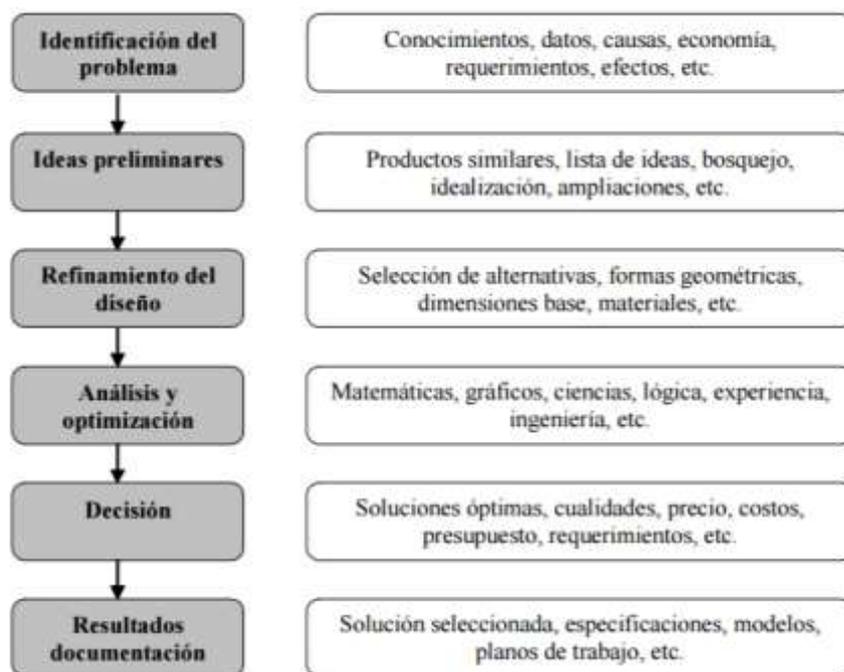


Figura 4-2. Proceso de diseño CAE

Fuente. (Oswaldo Rojas Lazo, 2006)

Las características generales que deben tener el software CAD/CAE son:

- Simulaciones dinámicas con características especiales de visualización de procesos y resultados (representaciones foto realistas, tabulaciones, diagramas, giros, sonido, etc.).
- Capacidad del software de generar soluciones óptimas según los tipos de aplicación.
- Desarrollo de sistemas virtuales dentro de un entorno, permitiendo en muchos casos eliminar los prototipos físicos.

- Ingeniería concurrente on-line (trabajo multidisciplinario vía red, con niveles de acceso y con geoprocesamiento referenciado).
- Arquitectura abierta del software (posibilidad de personalizar y generar programas complementarios).
- Ingeniería inversa (obtener un modelo CAD a partir del escaneado tridimensional de una pieza real). (Oswaldo Rojas Lazo, 2006)

Tabla 4-2. Tipos de modelos computarizados.

Modelo	Características
Geométrico con cortes virtuales	Representación volumétrica del objeto en el cual se pueden aplicar rotaciones y secciones.
Animación de ensamble y funcionamiento	Movimiento, tiempo, interferencias y algunas características generales del sistema propiedad espacio-temporal
Simulación de procesos	Movimiento, tiempo y las variables importantes del sistema
Recorrido virtual	Movimiento, tiempo y escena.
Entorno paisajista	Movimiento, tiempo, luminiscencia, paisaje del entorno, sonidos naturales.
Ergonómico	Medidas, formas y movimientos ergonómicos
Aleatoriedad y transformación	Formas, tiempo, movimiento, sonido, transformaciones

Fuente. (Oswaldo Rojas Lazo, 2006)

2.5.3 *Técnicas de mallado.*

En cualquier problema computacional la generación numérica de malla recrea un papel elemental en la solución de una geometría, región o estructura compleja. (ingenierodelacrisis, 2012)

Una malla generada numéricamente se entiende como el conjunto organizado de puntos construido por las intersecciones de las líneas de un sistema de coordenadas. La particularidad principal de un sistema tal es que alguna línea coordenada (o en tres dimensiones, alguna superficie coordenada) sea concordante con cada segmento de la frontera de la región física. (ingenierodelacrisis, 2012)

El empleo de intersecciones de líneas coordenadas para determinar los puntos de la malla proporciona una estructura organizacional que admite que todos los cálculos sean ejecutados en una malla cuadrada fija cuando las ecuaciones diferenciales que se estén solucionando hayan sido transformadas de tal manera que las coordenadas curvilíneas sustituyan a las coordenadas cartesianas como variables independientes. (ingenierodelacrisis, 2012)

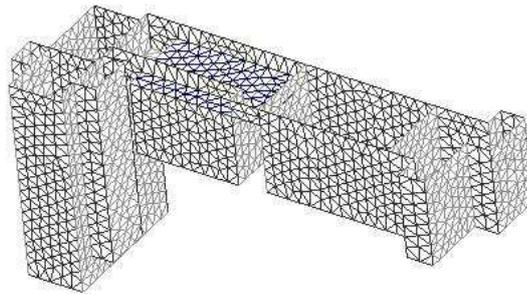


Figura 5-2. Modelo de mallado

Fuente. (ingenierodelacrisis, 2012)

2.5.3.1 *Propiedades que deben tener las mallas.*

a) **Tipo geométrico**

- El cambio de tamaño entre los elementos adyacentes debe ser progresiva.
- La densidad de elementos en determinadas regiones de la malla debe ser más elevado. Esto sucederá en aquellas zonas que requiera un alto gradiente de soluciones.
- En las mallas de elementos triangulares se deben eludir los ángulos obtusos. (ingenierodelacrisis, 2012)

b) **Tipo físico**

- Puede haber aspectos físicos del problema que condicionen la geometría de los componentes: anisotropía, apariencia de los elementos impuestos. (ingenierodelacrisis, 2012)

2.5.3.2 *Técnicas o algoritmos de mallado.*

Para definir una malla existen algoritmos y técnicas:

- Manual o semi-automático.
- Métodos basados en la modificación de un dominio con geometría simple.
- Métodos basados en resultados de un sistema de ecuaciones en derivadas parciales.

- Métodos basados en la modificación, y alteración local de una malla sencilla.
- Métodos cimentados en la composición de mallados de subconjuntos del dominio a mallar, alcanzados por métodos del tipo 2 o 3. (ingenierodelacrisis, 2012)

2.5.3.3 *Mallado adaptativo.*

La importancia de disponer de un medio para valorar que se comete en el cálculo radica

Método H. Se basa en el descenso del error actuando directamente sobre el tamaño del elemento y manteniendo constante la función de forma. Presenta dos inconvenientes, es el método más lento, desde el punto de vista de velocidad de convergencia; y se pierde el control sobre el mallado pudiendo generarse mallas distorsionadas. (Valero, 2013)

Método P. Radica en ir incrementando tanto progresivamente el grado de los polinomios de interpolación (funciones de forma), sosteniendo fijo el tamaño de los elementos. Tiene velocidad mayor de convergencia que el método H, pero da el problema de que requiere acotar el grado máximo del polinomio. (Valero, 2013)

Método HP. Se basa en el uso secuencial de las dos técnicas. Primeramente, se optimiza el mallado a la geometría, y posteriormente se cambia el grado del polinomio hasta alcanzar el error deseado. (Valero, 2013)

2.5.3.4 *Parámetros de evaluación de la malla.*

Para la evaluación de la malla existen parámetros que deben cumplirse o por lo menos acercarse a dichos valores, los cuales se enfocan en la forma y uniformidad de cada elemento. A continuación, se muestra el resumen de los valores aceptados para evaluar la calidad de malla.

Tabla 5-2. Rangos aceptables para validación de malla

Parámetros de control	Valores Aceptables	Observación
Calidad del Elemento (Element Quality)	0 - 1	Un valor de 1 indica un cubo o un cuadrado perfecto, mientras que un valor de 0 indica que el elemento tiene un volumen cero o negativo.
Relación de aspecto para cuadriláteros (Aspect Ratio for Quadrilaterals)	1 - 50	La mejor proporción de cuadrilátero posible, para un cuadrado, es uno.
Razón Jacobiana (Jacobian Ratio)	1 - 100	Un valor de 1 indica una razón Jacobiana perfecta, mientras que el valor de 100 indica el límite de error.
Desviación paralela (Parallel Deviation)	0° - 180°	La mejor desviación posible, para un rectángulo plano, es 0°.
Máximo ángulo de esquina (Maximum Corner Angle)	0° - 180°	El ángulo máximo del triángulo mejor posible, para un triángulo equilátero, es 60°. El ángulo máximo posible del cuadrilátero, para un rectángulo plano, es 90°.
Oblicuidad (Skewness).	0 - 0,99	Un valor de 0 indica un skewness excelente, mientras que un valor de 1 indica un skewness malo no aceptable.
Calidad Ortogonal (Orthogonal Quality)	0 - 1	Un valor de 0 es peor y un valor de 1 es el mejor

Fuente: <http://148.204.81.206/Ansys/150/ANSYS%20Meshing%20Users%20Guide.pdf>

2.6 Mecánica de materiales

Una rama que estudia los efectos internos de esfuerzos y deformaciones en un cuerpo sólido que está expuesto a un estado de cargas externas es la mecánica de materiales. El esfuerzo está relacionado a la resistencia del material del cual está hecho el cuerpo, mientras la deformación se refiere al cambio de forma que experimenta el cuerpo. Además, la Mecánica de Materiales abarca el análisis de la estabilidad estructural de sus elementos en situaciones como el pandeo, para ello esta ciencia utiliza varios métodos de cálculo basados en principios físicos y códigos de ingeniería. (Hibbeler, 2016)

2.6.1 Esfuerzo.

Son las fuerzas internas, debido a las cargas, sometidas a un componente resistente. (Ibigurid, 2012)

2.6.1.1 Tipos de carga.

Carga estática. Se aplica gradualmente desde en valor inicial cero hasta su valor máximo.

Carga dinámica. Se aplica a una velocidad determinada. Pueden ser:

- Carga súbita, el valor máximo se aplica instantáneamente
- Carga de choque libre, cuando está producida por la caída de un cuerpo sobre un elemento u componente resistente. (Ibigurid, 2012)
- Carga de choque forzado, cuando una fuerza exige a dos masas que han colisionado a seguir deformándose después del impacto. (Ibigurid, 2012)

2.6.2 Deformación.

Se refiere a los cambios en las dimensiones de un miembro estructural cuando este se encuentra sometido a cargas externas. Los estudios de las deformaciones se enlazan con la modificación en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas (Vilchez, 2008)

Estas deformaciones son analizadas en elementos estructurales cargados axialmente, por lo que entre las cargas presentes serán las de tensión o compresión. (Vilchez, 2008)

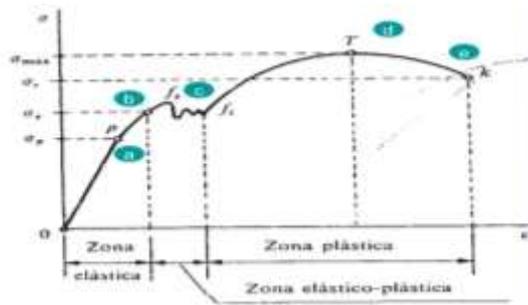


Figura 6-2. Diagrama esfuerzo vs deformación
 Fuente. (Vilchez, 2008)

2.6.3 Términos que se consideran en el diagrama esfuerzo – deformación.

Límite de Proporcionalidad (Fp). Es el esfuerzo máximo o tensión máxima para la cual la ley de Hooke es válida, es decir que existe proporcionalidad entre deformaciones y esfuerzos.

Límite de Fluencia (Ff). Pertenece al esfuerzo en el material, para el cual se producen deformaciones importantes sin incremento apreciable de la carga, al cual incluso se le conoce como tensión de fluencia.

Resistencia a la Tracción (Fr). Se conoce también como resistencia última, corresponde a la valorización máxima del esfuerzo en la curva característica.

Módulo de Elasticidad (E). Pertenece a la pendiente de la curva en la zona de proporcionalidad.

Ductilidad. Es la capacidad del material de admitir deformaciones grandes más allá del límite elástico, sin amenaza de fracturarse o agrietarse.

2.7 Tipos de energía

2.7.1 Energía interna.

La energía interna se define como la energía asociada con el movimiento aleatorio y desordenado de las moléculas. Está en una escala separada de la energía macroscópica ordenada, que se asocia con los objetos en movimiento. Se refiere a la energía microscópica invisible de la escala atómica y molecular. (Hyperphysics, 2010)

2.7.2 *Energía Hourglass.*

Los modos de control del reloj de arena también conocido como energía Hourglass, son modos de deformación no físicos que se producen en los elementos no integrados y que no producen esfuerzos. Los elementos no integrados son:

- Los elementos sólidos con un solo punto de integración.
- Superficies, con la particularidad de ser elementos con un solo punto de integración en el plano.
- Es más rápido integrar en un punto, lo cual produce soluciones tolerables y que ayudan a disminuir los modos de Hourglass.

2.8 **Ensayos**

2.8.1 *Ensayos destructivos.*

Los ensayos destructivos son aquellos, en los cuales el material de prueba, no se podrá utilizar posteriormente, ni para futuras pruebas ni para cualquier otro tipo de uso. Esto se debe a que este tipo de ensayo suele encargarse de evaluar propiedades en los límites o más allá de estos en los que puede fallar un material, para ver su comportamiento bajo diferentes situaciones de cierta manera extremas. (Veleiro, 2017)

- a) **Ensayo a la tracción.** Radica en someter a una probeta normalizada de acero a un esfuerzo axial de tracción progresivo hasta que se produce la fractura de la probeta. Este ensayo de tracción calcula la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Es un ensayo de alargamiento de los materiales. Se mide la deformación de la probeta entre dos puntos fijos de la misma a medida que la carga aplicada aumenta, y en función de la tensión se representa gráficamente. (Gutierrez, 2013)
- b) **Ensayo de dureza.** Es la resistencia que opone a la penetración de un cuerpo más duro en si es la dureza de un material. La resistencia se determina internando un cuerpo de forma esférica, cónica o piramidal, por consecuencia produce una fuerza determinada en un cierto tiempo en el cuerpo a ensayar. (Gutierrez, 2013)

Los ensayos de dureza más empleados son:

- Ensayo Martens.

- Ensayo Shore.
 - Ensayo Mohs.
 - Ensayo Brinell.
 - Ensayo Vickers.
 - Ensayo Rockwell.
 - Ensayo Poldi.
 - Ensayo Knoop. (Temas para la educacion , 2011)
- c) **Ensayo de compresión.** Es un ensayo técnico para determinar bajo un esfuerzo de compresión la deformación y resistencia que tiene un material. La resistencia en compresión de todos los materiales siempre es igual o mayor que el ensayo de tracción. (Gutierrez, 2013)
- d) **Ensayo de cortadura.** Es el esfuerzo que soporta una pieza en el momento que sobre ella actúan fuerzas contrarias y ubicadas en planos contiguos. (Gutierrez, 2013)
- e) **Ensayo de pandeo.** Fenómeno de inestabilidad elástica que se da en elementos comprimidos esbeltos, y se expresa mediante la aparición de desplazamientos transversales significativos en dirección principal de la compresión. (Gutierrez, 2013)
- f) **Ensayo de torsión.** radica en suministrar un par torsor a una probeta por medio de un dispositivo de carga y medir el ángulo de torsión resultante en los bordes de la probeta. El rango de comportamiento linealmente elástico se visualiza en este ensayo (Gutierrez, 2013)

2.8.2 *Ensayos no destructivos.*

Se emplean para detectar materiales defectuosos antes de ser formados o maquinados, para localizar defectos antes de la puesta en servicio de una máquina, para detectar componentes defectuosos antes de ensamblar, para medir espesores de los materiales, para determinar el nivel de sólido o líquido en recipientes opacos, para identificar y clasificar materiales y para descubrir defectos que pudieran desarrollarse durante el procesamiento o el uso. (Campusvirtual, 2010)

2.9 Pruebas de choque

Para asegurarse que sea un vehículo seguro, el vehículo pasará diferentes pruebas de choque y se repartirán para asegurarse la correcta realización de estas pruebas. Los fabricantes realizan más de 40 tipos diferentes de pruebas. Los fabricantes realizan estas pruebas y se encuentran algún fallo de diseño poder repararlo antes de pasarlo al organismo homologador. (Aguilera, 2017)

En los choques frontales se busca optimizar los refuerzos de la estructura portante y de los sistemas de retención. En los choques laterales se intenta evitar la intrusión en el habitáculo y se busca la mejor forma de alejar al ocupante de la zona de impacto. En los choques por impacto posterior se analiza el comportamiento del depósito de combustibles y sus canalizaciones además de los reposacabezas. En el caso de vuelco se pretende limitar o evitar las deformaciones del habitáculo por aplastamiento. (Aguilera, 2017)

2.9.1 Tipos de pruebas de choque.

Los choques laterales representan el 25 por ciento de todos los accidentes que se producen. En los impactos laterales es mucho más difícil la protección de los ocupantes del vehículo. Este tipo de colisión provoca graves lesiones sobre los ocupantes debido a la baja capacidad de absorción de las piezas de la estructura y del revestimiento, y a las grandes deformaciones que de ello resultan en el habitáculo. (Aguilera, 2017)

2.9.1.1 Impacto frontal.

Los impactos frontales son los accidentes de tráfico que más se produce. Este tipo de prueba está regulado por el Reglamento 95. El vehículo es lanzado contra un muro deformable a una velocidad de 56 km/h si se realiza siguiendo la normativa europea mientras que se lanza a 64 km/h si se realiza siguiendo el criterio EuroNACP. En este ensayo se produce un solape de un 40% para simular el choque con la columna de la dirección. En el interior del vehículo se encuentra dos dummies en las posiciones delanteras del vehículo. (Aguilera, 2017)

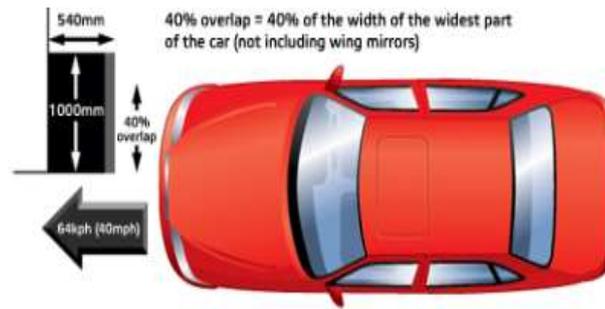


Figura 7-2. Impacto frontal

Fuente. (Aguilera, 2017)

2.9.1.2 Impacto frontal contra una barrera rígida.

Esta prueba se realiza a 50 km/h y se lanza contra una barrera rígida poniendo un 40% de superposición. Esta prueba se realiza para comprobar las solicitaciones de los pasajeros, la estanqueidad de la instalación de combustible, la estructura del vehículo y la posibilidad de socorro tras producirse un accidente. (Aguilera, 2017)

2.9.1.3 Impacto frontal contra un poste.

Esta prueba se realiza contra un poste a una velocidad variable entre 32-50 km/h. La carga que lleva el vehículo es únicamente la de los ocupantes de los asientos delanteros del coche. En esta prueba se comprueba las solicitaciones de los pasajeros, la estructura del vehículo y el habitáculo de seguridad. (Aguilera, 2017)

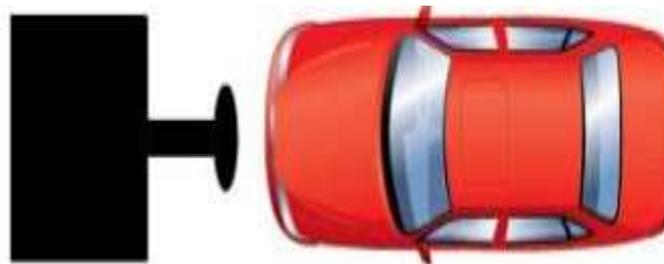


Figura 8-2. Impacto frontal contra un poste

Fuente. (Aguilera, 2017)

2.9.1.4 Impacto lateral.

El 25% de los choques que se producen son choques laterales. Este tipo de accidentes provocan graves lesiones debido a que las defensas de los vehículos son mínimas. El diseño de los asientos es de gran importancia al encontrarse el cinturón en ellos, deben de tener una rigidez estructural suficiente para soportar las fuerzas sobre el cinturón. (Aguilera, 2017)

2.9.1.5 Impacto lateral contra otro vehículo.

El ensayo consiste en lanzar una barrera deformable móvil de 950 kg. a una velocidad de 50 km/h sobre el coche que se quiera estudiar que se encuentra inmóvil. En el interior del coche sólo se situará un dummy en el lado de donde el bogie impactará, es decir en el lado del conductor. (Aguilera, 2017)

Durante la realización de la prueba no podrá abrirse ninguna puerta alguna. Después de la colisión deberá ser posible abrir un número de puertas para la salida de los ocupantes del vehículo. El motivo de la prueba es saber la sollicitación de los pasajeros, la estructura del vehículo. (Aguilera, 2017)

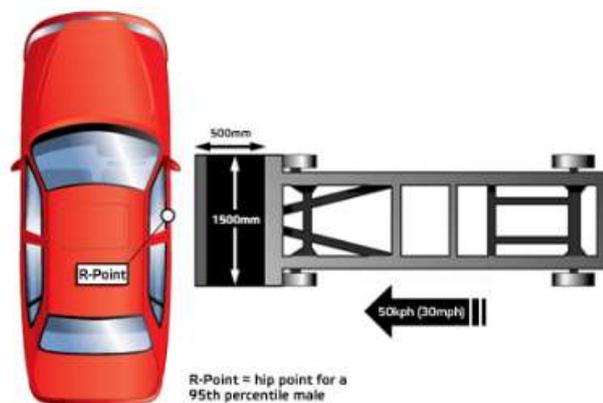


Figura 9-2. Impacto lateral contra otro vehículo

Fuente. (Aguilera, 2017)

2.9.1.6 Impacto lateral contra un poste.

Este tipo de ensayo se realiza lanzando el coche a estudiar en una plataforma a 29 km/h contra un poste de 254 mm de diámetro, es lo suficiente estrecho como para producir una mayor intrusión. Dentro del vehículo se situará una dummy en el lado de impacto. Esta prueba se realiza para verificar la eficacia de los airbags laterales y la estructura de las puertas después del impacto. (Aguilera, 2017)

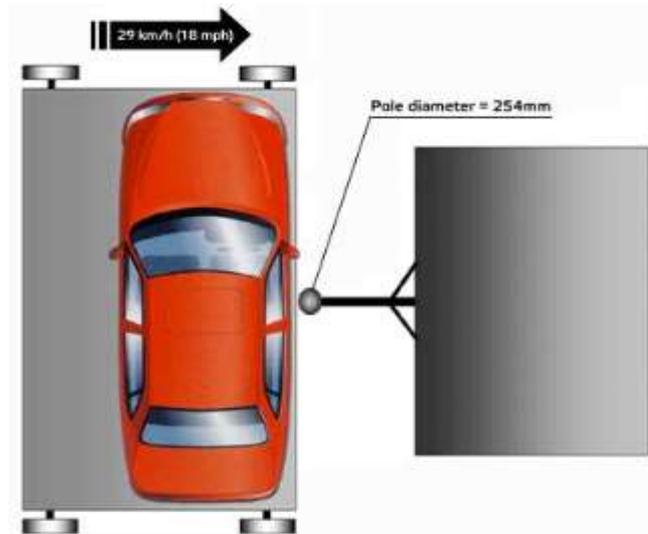


Figura 10-2. Impacto lateral contra un poste
Fuente. (Aguilera, 2017)

2.9.1.7 Impacto trasero.

La normativa actual establece que una carretilla móvil impactará con una velocidad entre 35-38 km/h sobre el vehículo. Después del ensayo todas las puertas deberán poder abrirse, no se permite ninguna fuga de combustible y los reposacabezas deben evitar la hiperextensión del cuello de los ocupantes. (Aguilera, 2017)



Figura 11-2. Impacto trasero
Fuente. (Aguilera, 2017)

CAPÍTULO III

3 SIMULACIÓN DE IMPACTO POSTERIOR EN LA BARRA ANTI EMPOTRAMIENTO EN UN BUS URBANO

3.1 Obtención del modelo tridimensional de la barra anti empotramiento, vehículo impactado y autobús urbano tipo M3

Para la realización de este análisis es necesario poseer conocimiento de todas las partes que constituyen los elementos en estudio, normas aplicables, dimensiones, materiales empleados, disposición de la barra anti empotramiento en el exterior del bus datos obligatorios en el desarrollo de una simulación real.

Las modelaciones de las estructuras se digitalizan con SolidWorks, software idóneo para el diseño de interfaces intuitivas, como se muestra (ver Figura 12) se creó el modelo tridimensional de la carrocería de un bus urbano y sus demás componentes y perfilería.



Figura 1-3. Modelo tridimensional del bus

Fuente. Autores

De igual forma en las Figuras 1-3 y 2-3 podemos observar las estructuras tridimensionales de la barra anti empotramiento y del vehículo impactado respectivamente.

Para el análisis se ha considera un modelo de barra anti empotramiento el cual consta básicamente de diferentes tipos de perfilería siendo dos perfiles cuadrados 50x3mm, un travesaño rectangular 100x50x3mm dos refuerzos con espesor de 5mm y dos tapas en acero anti deslizante, ambos son de material ASTM A36 (Ver Figura 2-3)

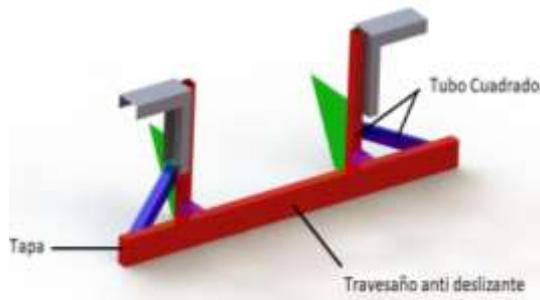


Figura 2-3 Barra anti empotramiento

Fuente. Autores

3.2 Características de vehículos impactadores utilizados en el análisis y simulación

El vehículo impactador es un dispositivo que se utilizó para realizar una simulación del impacto que se produce cuando este vehículo se impacta y se detiene gradualmente en la parte posterior del bus urbano.

Para observar y evaluar los resultados del dispositivo de protección posterior se realizó la simulación en dos diferentes escenarios.

- En la primera simulación la barra anti empotramiento va a recibir un impacto posterior mediante un vehículo impactador modelo sedan a una velocidad de 56km/h.
- En la segunda simulación la barra anti empotramiento va a recibir un impacto posterior mediante un vehículo impactador modelo de un todo Terreno a una velocidad de 56km/h.

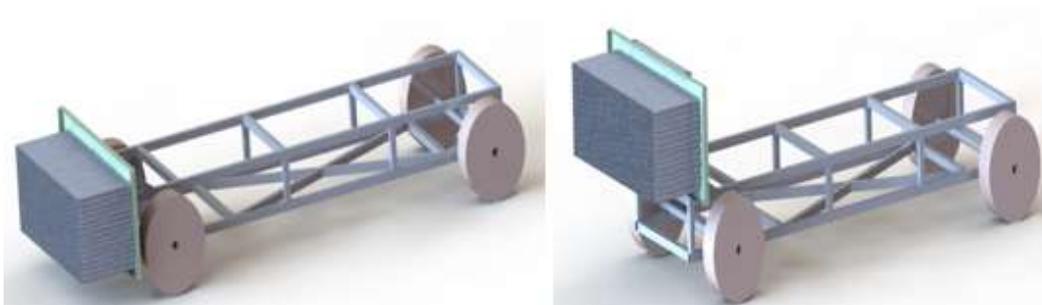


Figura 3-3. Tipos de vehículos impactadores utilizados en la simulación.

Fuente. Autores

3.3 Características de la barrera deformable de los vehículos impactadores utilizados en el análisis y simulación

El vehículo impactador tiene una zona deformable en la cual CEPE R95 dispone 500 ± 5 mm de alto y 1500 ± 5 mm de ancho, el material en el cual está constituido es de aluminio.

La zona deformable del atenuador tiene la estructura Honeycomb (paneles de abeja) las cuales resisten cargas altas de flexión, o a consecuencia del impacto sufre pandeo y arrugas en las caras.

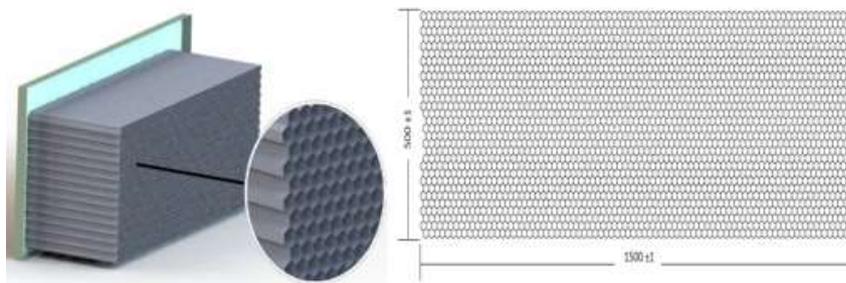


Figura 4-3. Atenuador de impacto
Fuente. Autores.

3.4 Posición de la barra de anti empotramiento

En la Figura 16 podemos apreciar la posición final de la barra anti empotramiento en la carrocería tipo bus urbano, mediante el ensamblaje del dispositivo al chasis, mediante pernos M14 y tuercas de seguridad.



Figura 5-3. Ensamblaje de la barra anti empotramiento y el bus
Fuente. Autores

3.5 Tipos de materiales y perfiles utilizados en el diseño del bus urbano tipo M3 y la barra anti empotramiento

A continuación, se detalla el comportamiento, espesores y tipo de materiales empleados en las diferentes secciones de la carrocería del bus urbano tipo M3, así como la perfiles utilizado en su construcción.

Tabla 1-3. Comportamiento de los materiales de las diferentes secciones del conjunto bus urbano tipo M3 y vehículo impactador

N.	COMPONENTE	TIPO	ESPESOR (mm)	COMPORTAMIENTO
1	Estructura	Cascaron (Shell)	2	Elástico-Plástico
2	Atenuador de Impacto	Cascaron (Shell)	0,9	Elástico-Plástico
3	Vehículo Impactado	Cascaron (Shell)	2	Elástico-Plástico.
4	Barra de Anti-empotramiento	Cascaron (Shell)	3	Elástico-Plástico
5	Chasis	Cascaron (Shell)	7	Elástico-Plástico

Fuente. Autores

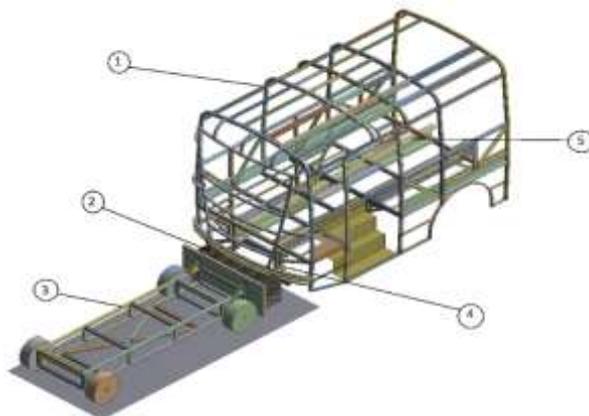


Figura 6-3. Componentes del conjunto bus y vehículo impactador

Fuente. Autores

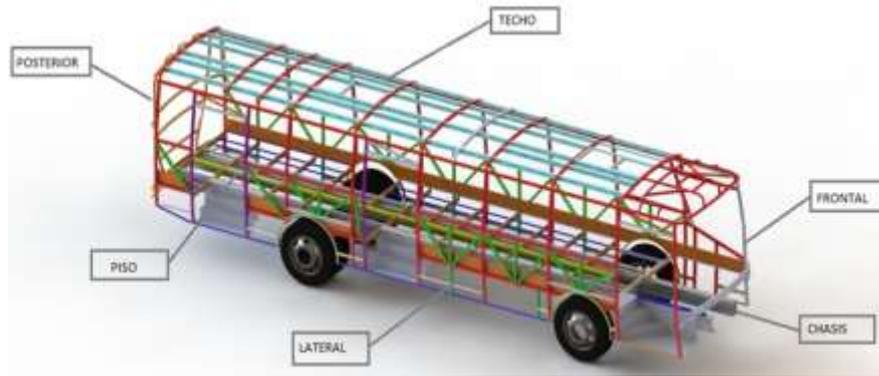


Figura 12-3. Secciones del bus tipo M3
Fuente. Autores

Tabla 2-3. Perfilera utilizada en las diferentes secciones del bus urbano tipo M3

Sección	Denominación	Dimensiones	Material
Piso	Tubo Rectangular	TR 80x40x3	Acero ASTM A36
	Tubo Cuadrado	TC 50x50x2	Acero ASTM A36
	Perfil L	PL 50x50x4	Acero ASTM A36
	Perfil G	PG 20x40x220x35x2	Acero ASTM A36
	Tubo Rectangular	TR 40x20x2	Acero ASTM A36
	Perfil L	PL 50x50x6	Acero ASTM A36
	Canal U	CU 50x100x50x5	Acero ASTM A36
	Canal U	CU 50x125x50x2	Acero ASTM A36
Laterales	Tubo Cuadrado	TC 50x50x2	Acero ASTM A36
	Tubo Rectangular	TR 40x20x2	Acero ASTM A36
	Tubo Cuadrado	TC 50x50x1.5	Acero ASTM A36
	Perfil Z	PZ 20x50x50x50x20x2	Acero ASTM A36
	Canal U cerco	CU 50x25x2	Acero ASTM A36
	Angulo	PL 50x $\frac{1}{8}$	Acero ASTM A36
	Tubo Cuadrado	TC 40x2	Acero ASTM A36
	Tubo Rectangular	TR 50x25x2	Acero ASTM A36
	Perfil G	PG 20x40x220x35x2	Acero ASTM A36

Tabla 2-3. (Continuación) Perfilería utilizada en las diferentes secciones del bus urbano tipo M3

Techo	Tubo Rectangular	TR 50x20x2	Acero ASTM A36
	Tubo Cuadrado	TC 50x50x2	Acero ASTM A36
	Perfil Z	PZ 20x50x50x50x20x1.5	Acero ASTM A36
	Tubo Cuadrado	TC 40x40x2	Acero ASTM A36
	Tubo Rectangular	TR 50x20x2	Acero ASTM A36
Frontal	Tubo Cuadrado	TC 50x50x2	Acero ASTM A36
	Canal U	CU 80x40x3	Acero ASTM A36
	Angulo	PL 50x6	Acero ASTM A36
	Tubo Cuadrado	TC 20x2	Acero ASTM A36
	Tubo Cuadrado	TC 30x2	Acero ASTM A36
	Tubo Redondo	TR $1\frac{1}{4}$ x2	Acero ASTM A36
	Platina	50x6	Acero ASTM A36
Posterior	Tubo Rectangular	TR 40x20x2	Acero ASTM A36
	Tubo Cuadrado	TC 40x40x2	Acero ASTM A36
	Tubo Redondo	TR $1\frac{1}{4}$ x2	Acero ASTM A36
	Tubo Cuadrado	TC 50x50x2	Acero ASTM A36
	Angulo	PL 40x3	Acero ASTM A36
	Platina	50x6	Acero ASTM A36
	Tubo Rectangular	TR 80x40x3	Acero ASTM A36

Fuente. Autores

3.5.1 Dimensiones de la barra anti empotramiento.

La barra anti empotramiento consta de un perfil cuadrado de 50 x 3 mm de espesor, con una longitud de 1800 mm. Construida de un acero ASTM A36 el cual nos brinda excelentes límites de fluencia y de fractura de 250 Mpa y 410 Mpa respectivamente. El dispositivo anti empotramiento va ubicado a una altura máxima de 550 mm descritos en la regulación UNECE R58.

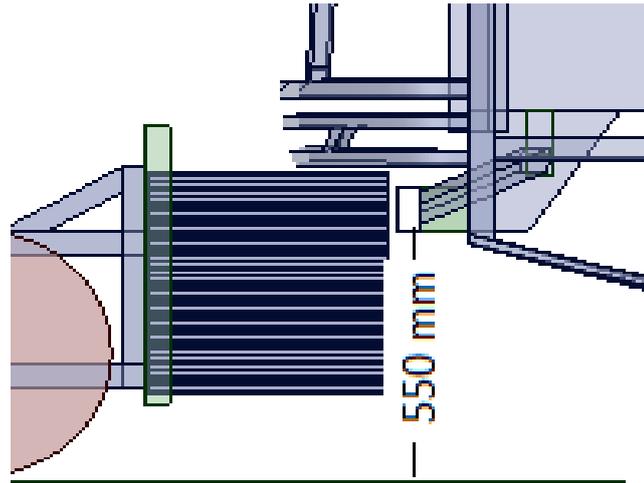


Figura 7-3. Altura máxima de la barra anti empotramiento con el piso
Fuente. Autores

La unión de la barra anti empotramiento con el bus se lo realiza en la parte posterior del automotor, directamente al chasis, mediante el empleo de soportes, vástagos, refuerzos, pernos tipo M14 a cada lado de la barra con un apriete de $275 \text{ Nm} \pm 15\%$ con tuercas de seguridad que facilitan el mantenimiento y remoción de los pernos y la propia barra.

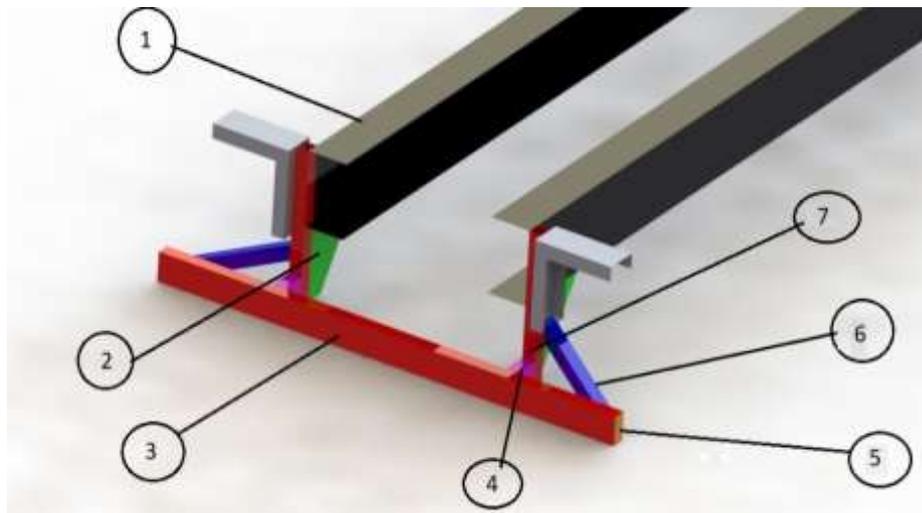


Figura 8-3. Partes y acoples de barra anti empotramiento
Fuente. Autores

Tabla 3-3. Perfilería y acoples de la barra anti empotramiento.

N.	COMPONENTE	TIPO	ESPEJOR (mm)	COMPORTAMIENTO
1	Chasis	Cascaron (Shell)	7	Elástico-Plástico
2	Refuerzo	Cascaron (Shell)	5	Elástico-Plástico
3	Travesaño	Cascaron (Shell)	3	Elástico-Plástico.
4	Vástago	Cascaron (Shell)	3	Elástico-Plástico
5	Tapas	Cascaron (Shell)	3	Elástico-Plástico
6	Soporte Travesaño	Cascaron (Shell)	3	Elástico-Plástico.
7	Soporte	Cascaron (Shell)	3	Elástico-Plástico.

Fuente. Autores

3.5.2 Descripción de la estructura.

A continuación, se describe las partes de la estructura del dispositivo anti empotramiento posterior en un bus urbano categoría M3.

Montaje: El lugar de montaje con base a dichos parámetros expuestos en la UNECE R58.

Refuerzo: Se completó un refuerzo de platina entre el soporte y el chasis, debido a que durante el impacto los esfuerzos se van a concentrar entre estos elementos.

Travesaño: Este elemento será un perfil hueco de sección rectangular y su longitud cumplirá con la especificación de la regulación UNECE R58.

Vástago: Para garantizar una mayor resistencia agregar un vástago en cada lado, este será construido por un perfil estructural rectangular.

Tapas: Por cuestiones estéticas y además por evitar que se acumule suciedad en el interior del travesaño se consideró colocar dos tapas en los extremos.

Soportes Travesaños: Se consideró colocar un refuerzo de perfil cuadrado entre el Travesaño deslizante y soporte debido a que durante el impacto los esfuerzos se van a concentrar entre estos elementos.

Soportes: Fue necesario colocar los soportes en forma lateral y se realizaron 4 perforaciones a los mismos, con el fin de unir los soportes con el chasis mediante pernos M12 grado 8, ya que la regulación prohíbe soldar elementos al chasis.

3.6 Ensayo de probetas planas

El ensayo consiste en ubicar la probeta en las mordazas de la maquina universal de ensayos de tracción e irle aplicando fuerzas a una velocidad adecuada para que la probeta se vaya deformando progresivamente hasta llegar al punto de rotura. La carga de tracción debe ser aplicada a lo largo del eje de la probeta normalizada y debe ir aumentando paulatinamente.

3.6.1 Procedimiento.

1. Medir las dimensiones de las probetas de acuerdo a la norma ASTM E-8
2. Colocar la probeta en el centro de las mordazas.
3. Ajustar fuertemente la probeta para que esta no se deslice durante el ensayo.
4. Tomar la medida precisa de fuerza y desplazamiento durante el proceso.
5. Al momento de la rotura unir las partes rotas y tomar la medida final.
6. Por último se deben determinar las propiedades del acero.

Par el cálculo de las propiedades se utilizará las siguientes fórmulas basadas en las dimensiones de la probeta plana:

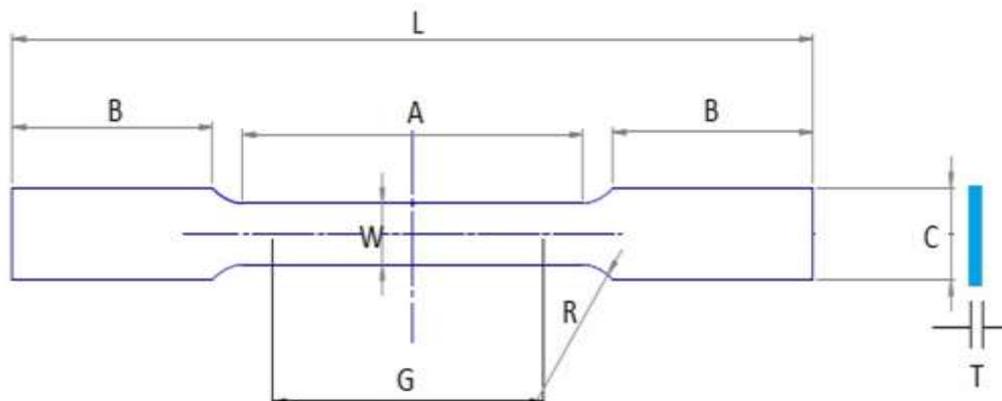


Figura 9-3. Dimensiones de la probeta rectangular

Fuente. Autores

Donde:

- B Longitud de agarre
- L Longitud total
- A Longitud de la sección reducida
- G Longitud de cable
- R Radio de filete mínimo
- C Ancho de la sección de agarre
- W Ancho de calibre
- T Espesor

3.6.2 Precauciones.

- Antes de realizar el ensayo, se debe contar con todos los instrumentos adecuados para dicha prueba.
- Observar que la perilla de la bomba esté cerrada.
- Ver que la máquina este en su posición inicial.
- Limpiar la superficie de la máquina si el caso lo amerita.
- Marcar la longitud de calibre de la probeta.

	Dimensiones		
	probetas normalizadas		Subsize Specimen
	Tipo placa, 1 1/2 in. ancho	Tipo lamina, 1/2 in. ancho	1/4-in. ancho
	in.	in.	in.
G—longitud de calibre	8.00 ± 0.01	2.000 ± 0.005	1.000 ± 0.003
W—ancho	1 1/2 + 1/8, - 1/4	0.500 ± 0.010	0.250 ± 0.005
T—espesor		espesor del material	
R—radio de filete mínimo	1	1/2	1/4
L—longitud total	18	8	4
A—longitud de la sección reducida	9	2 1/4	1 1/4
B—longitud de agarre	3	2	1 1/4
C—ancho de la sección de agarre	2	3/4	3/8

Figura 10-3. Especificación de pruebas de tensión rectangulares

Fuente. ASTM E-8

3.7 Definición del pre proceso

El software ANSYS 2016.2 con su complemento LS-DYNA combina los programas explícitos de elementos finitos los cuales ofrecen eficaces herramientas de Post-procesamiento. La manera explícita de solución utilizada por el complemento LS-DYNA ofrece soluciones dinámicas de deformación rápidas en un corto plazo.

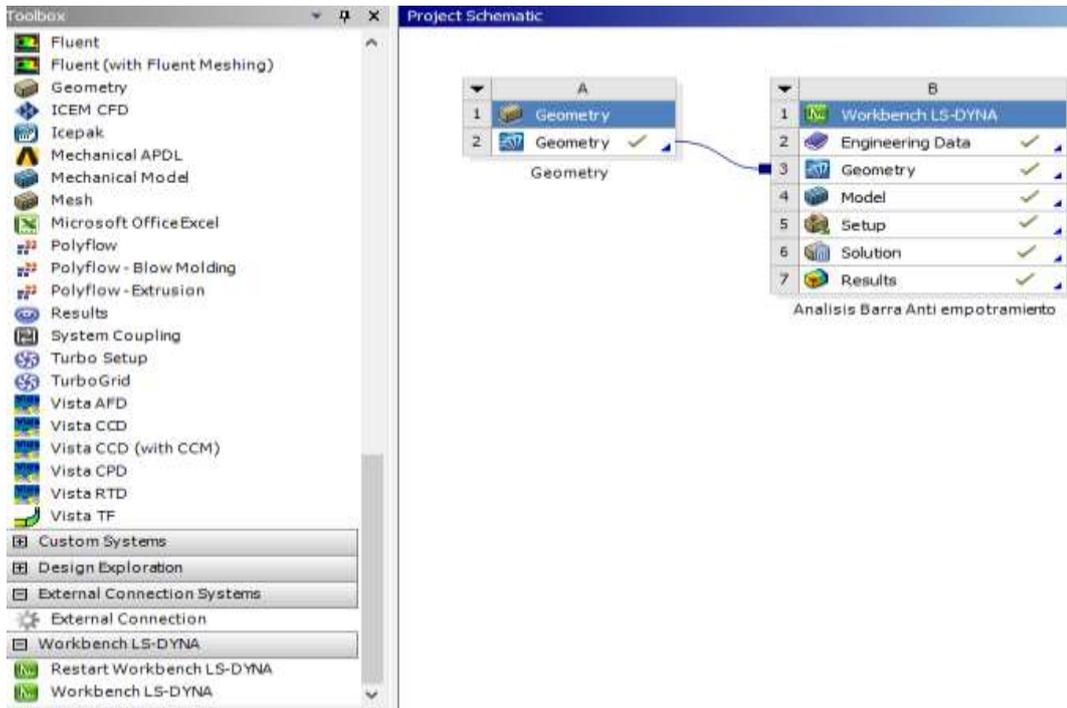


Figura 11-3. Project Workbench

Fuente. Autores

3.7.1 *Generación de la geometría.*

El software utilizado para la creación de las geometrías de la barra anti empotramiento y el bus urbano tipo M3 es Solid Works 2016 el cual nos brinda herramientas para crear, editar geometrías, etc.... las cuales nos brindan un enlace directo con el software ANSYS evitando de esta forma posibles errores de acoplamiento entre softwares.

3.7.2 *Condiciones generales del modelado estructural.*

Para evitar posibles errores en el acoplamiento entre softwares CAD, una vez finalizada la geometría esta se debe guardar como un archivo parasolid de tipo x_t el cual facilita la preparación y corrección de posibles errores presentes en la geometría de Solid Works que se presenten en el software ANSYS 2016.2.

Es importante mencionar que para el estudio de este proceso se toma en cuenta 1/3 de la longitud total del bus para que sea lo más próximo a la realidad.



Figura 12-3. Preparación de sección para impacto posterior

Fuente. Autores

El estudio se limita únicamente al comportamiento de la barra anti empotramiento en un posible choque entre el bus urbano tipo M3 y un auto impactador tipo M1.

Para la realización del ensayo de impacto posterior se utilizan las condiciones establecidas por la CEPE R94 quien establece una velocidad de 56 km/h para impacto que es la velocidad establecida por la norma para este tipo de ensayos y UNECE R58 quien establece, requisitos dimensionales de diseño y montaje, donde se detalla una altura máxima de la parte inferior del dispositivo anti empotramiento con el suelo de 550 mm.

3.7.3 *Material.*

Una vez integrada la geometría en Workbench LS-DYNA se asigna a cada elemento un material diferente, en la carrocería de bus urbano y barra empotramiento serán acero estructural no line con diferente configuración de material, el mismo que es idóneo para este tipo de análisis mientras el material que se asigna al atenuador que va a impactar con dispositivo de protección es un material Honeycomb (ver Tabla 5-3).

Outline of Schematic B2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	Atenuador	<input type="checkbox"/>		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	Structural Steel NL	<input type="checkbox"/>		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Acero estructural ASTM A 36	<input type="checkbox"/>		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

Figura 13-3. Selección del Material

Fuente. Autores

Dicho proceso se inicia con el ingreso de las propiedades mecánicas que se desea trabajar en la zona plástica del material, posterior a ello se realiza un estudio de ensayo de tracción al material basándose en investigaciones anteriores, con lo cual se establecen condiciones más próximas a las reales al estudio, por lo tanto los ensayos fueron realizados en el CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO ubicada en la ciudad de Ambato.

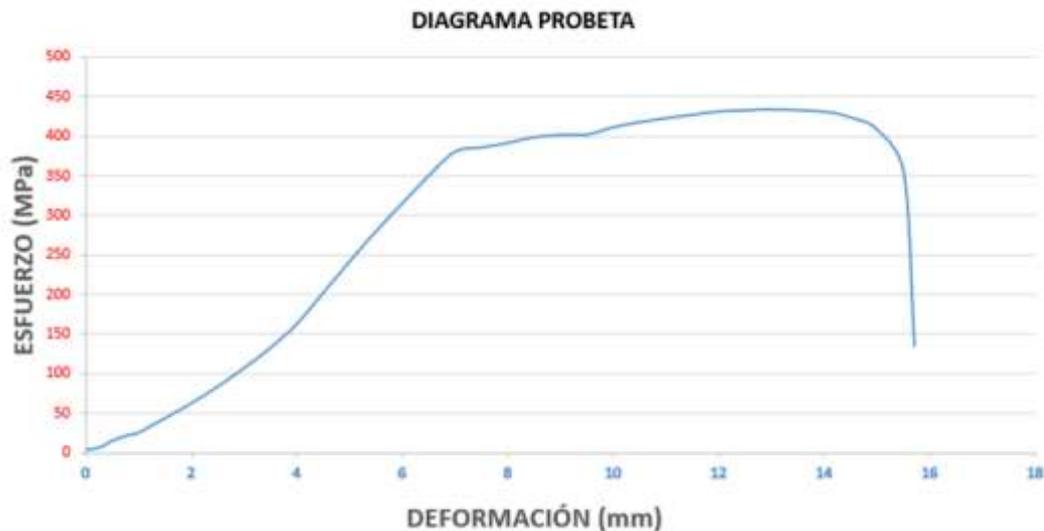


Gráfico 1-3. Esfuerzo vs Deformación.

Fuente. Autores

Para definir el material en Endurecimiento Isotrópico Multilínea (Multilinear Isotropic Hardening) se debe ingresar la temperatura y datos obtenidos en el ensayo de tracción para obtener la curva esfuerzo-deformación del material utilizado en el análisis en un acero ASTM A36 se procedió a ingresar los datos reales característicos del mismo.

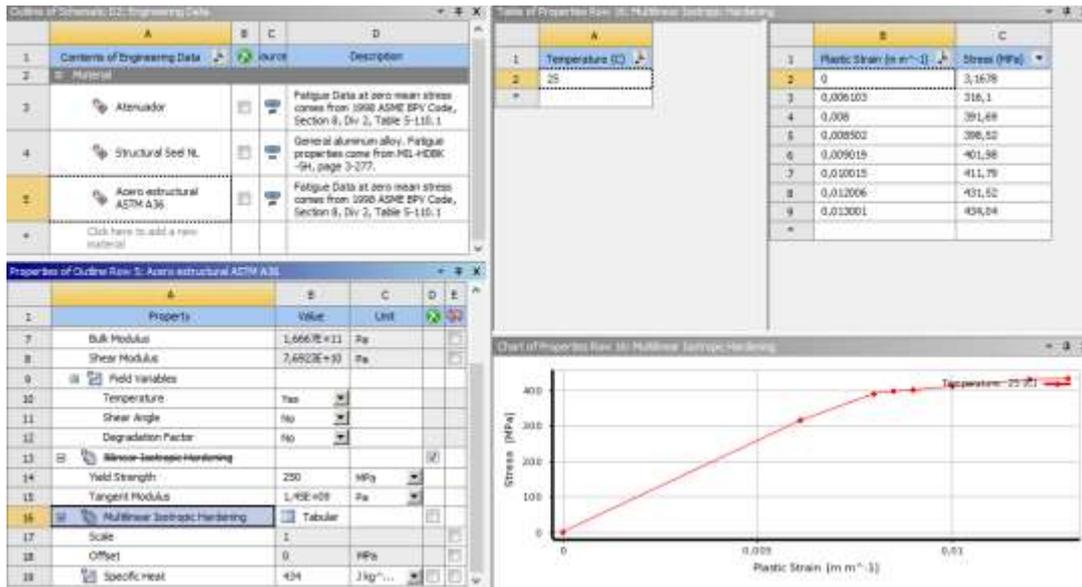


Figura 14-3. Definición de componente

Fuente. Autores

Definido los componentes a utilizar se considera el material se encuentra seleccionado con los datos necesarios para realizar el análisis se muestra un resumen de los parámetros y propiedades del acero estructural ASTM A36 y Honeycomb.

Tabla 4-3. Resumen de parámetros y propiedades de acero A3

Material Acero ASTM A36		
Propiedad Física	Densidad	7850 kgm³
Elástico Lineal	Isotrópico	Módulo de Young = 2×10^{11} Pa Coeficiente de Poisson= 0,3
Plasticidad	Endurecimiento Isotrópico Multilínea	Deformación Plástica= 0. 0,006103. 0,008. 0,008502. 0,009019. 0,010015. 0,012006. 0,013001 Esfuerzo(MPa) =3,1678. 316,1 391,69. 398,52. 401,98. 411,79. 431,52. 434,04
Falla	Falla de Deformación Plástica	0,253

Fuente. Autores

Tabla 5-3. Propiedades del material HONEYCOMB

Material HONEYCOMB	
Densidad (Tonne/mm ³)	1,6x10 ⁶
Módulo de elasticidad (Mpa)	6,9x10 ⁴
Coefficiente de Poisson	0,33

Fuente. Autores

3.8 Generación de malla

Cuando se trabaja mediante el empleo del software ANSYS nos proporciona tres tipos de elementos entre los cuales tenemos: unidimensionales 1D (beams), bidimensionales 2D (shells), tridimensionales 3D (solidos), cada uno con diferentes aplicaciones dependiendo del tipo de fenómeno físico que se desee analizar.

Con la finalidad de ahorrar recursos computacionales y tiempo se ha decidió trabajar con elementos tipo Shell, también conocidos como láminas, los cuales permiten ahorrar recursos computacionales, acortando los tiempos de respuesta a la solución de un problema.

La técnica para ahorrar recursos computacionales y tiempo en este tipo de análisis es empleando los componentes mencionados anteriormente.

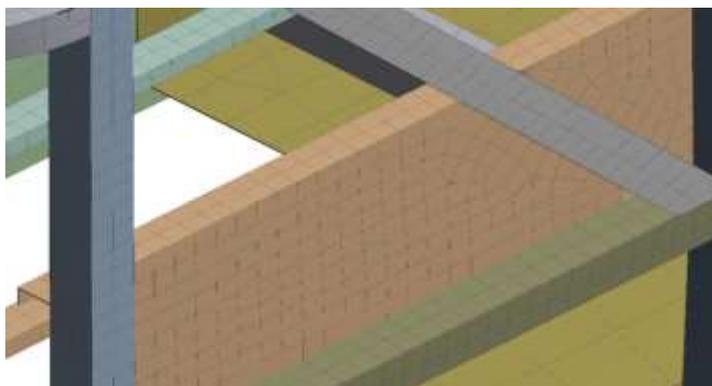


Figura 15-3. Control de malla en unión de componentes

Fuente. Autores

3.8.1 Criterios de evaluación de la malla.

El criterio de malla se puede evaluar con una de las herramientas de ANSYS la cual es el valor de oblicuidad (skewness).

Valor de Oblicuidad (skewness)					
Excelente.	Muy bien.	Bueno.	Aceptable.	Malo.	Inaceptable.
0-0,25	0,25-0,50	0,50-0,80	0,80-0,94	0,95-0,97	0,98-1,00

Figura 16-3. Criterios de aceptabilidad de la calidad de malla
Fuente. Autores

En la siguiente figura se aprecia dos tipos de mallado, en las cuales se obtiene una calidad de malla aceptable en la geometría, y un valor de calidad de malla inaceptable. Siendo los valores que se aproximen a 0 los de mayor calidad y a 1 como valores de pésima calidad (ver Figura 17-3.).

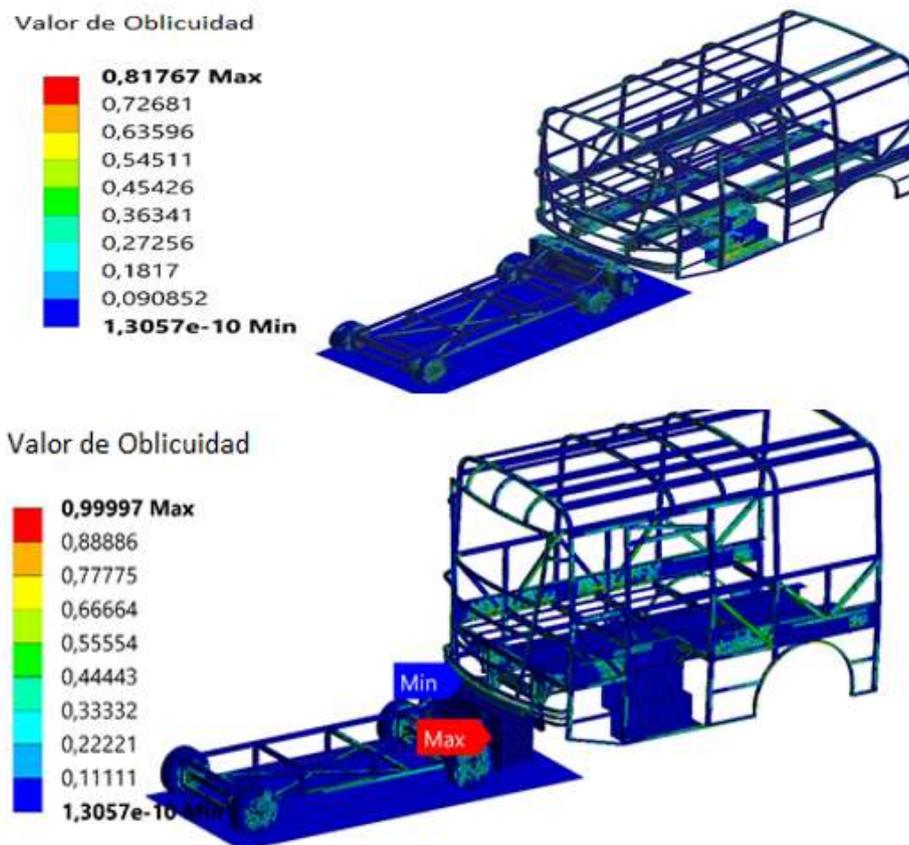


Figura 17-3. Calidad de malla de impacto posterior (Aceptable - Inaceptable)
Fuente. Autores

3.8.2 Condiciones de borde para impacto posterior.

La velocidad de acuerdo a la normativa es de 56 km/h dicha celeridad se establece al vehículo impactador en dirección a la parte posterior de la carrocería del bus urbano en el eje z.

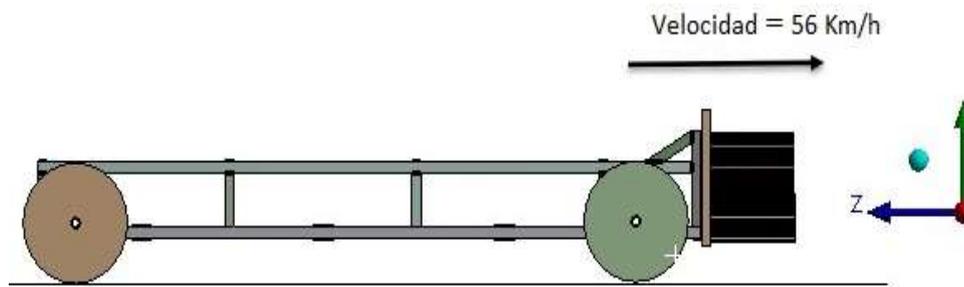


Figura 18-3. Asignación de velocidad para ensayo de impacto posterior
Fuente. Autores

Se establece una condición de borde de 0,10 segundos, tiempo con el cual se consigue resultados fiables, y lograr deducciones explícitas del análisis, mientras la configuración del tiempo en el análisis sea mayor se tendrá un gasto computacional elevado.

Posteriormente se configura una condición de soporte fijo al chasis, se establece la fuerza de gravedad a la carrocería del bus urbano tipo M3 para prevenir el fenómeno de atracción en dirección al centro de la tierra.

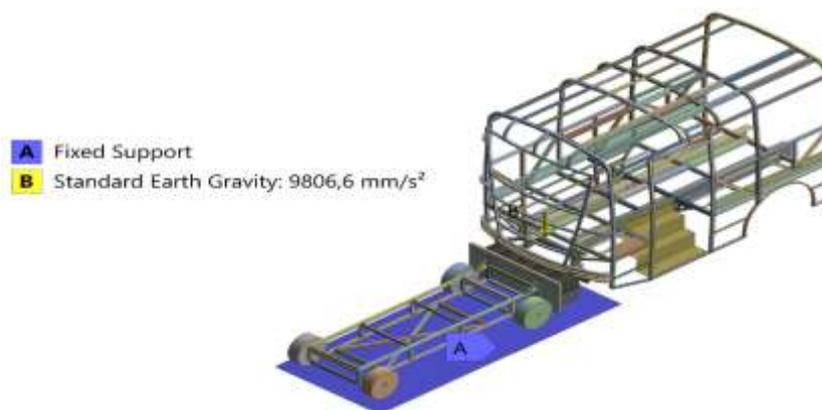


Figura 19-3. Condiciones de borde para impacto posterior
Fuente. Autores

3.9 Proceso de simulación

Al evaluar el comportamiento del sistema anti empotramiento el software resuelve ecuaciones matemáticas en forma matricial obteniendo una solución puntual del análisis

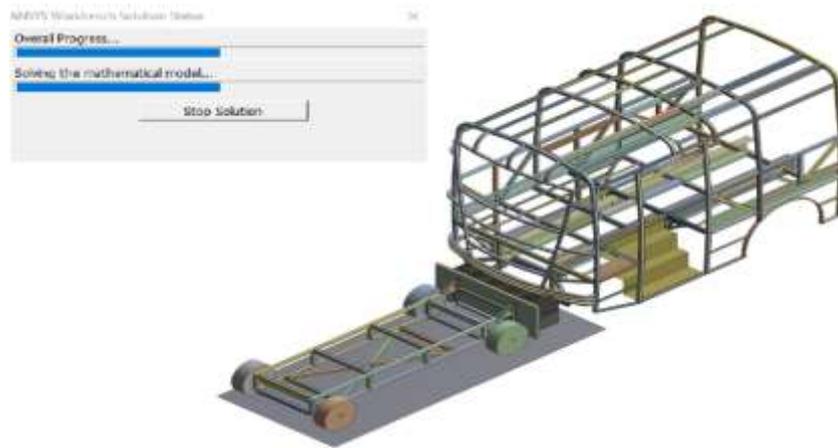


Figura 20-3. Solución del impacto posterior
Fuente. Autores.

CAPÍTULO IV

4 ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Proceso propuesto para el análisis de resultados

seguidamente se muestra un diagrama de flujo donde se muestra el procedimiento para alcanzar los resultados en el análisis y diseño de la barra de anti empotramiento en un bus urbano en un impacto posterior en colisiones de vehículos livianos categoría M1, mediante la aplicación del método de elementos finitos.

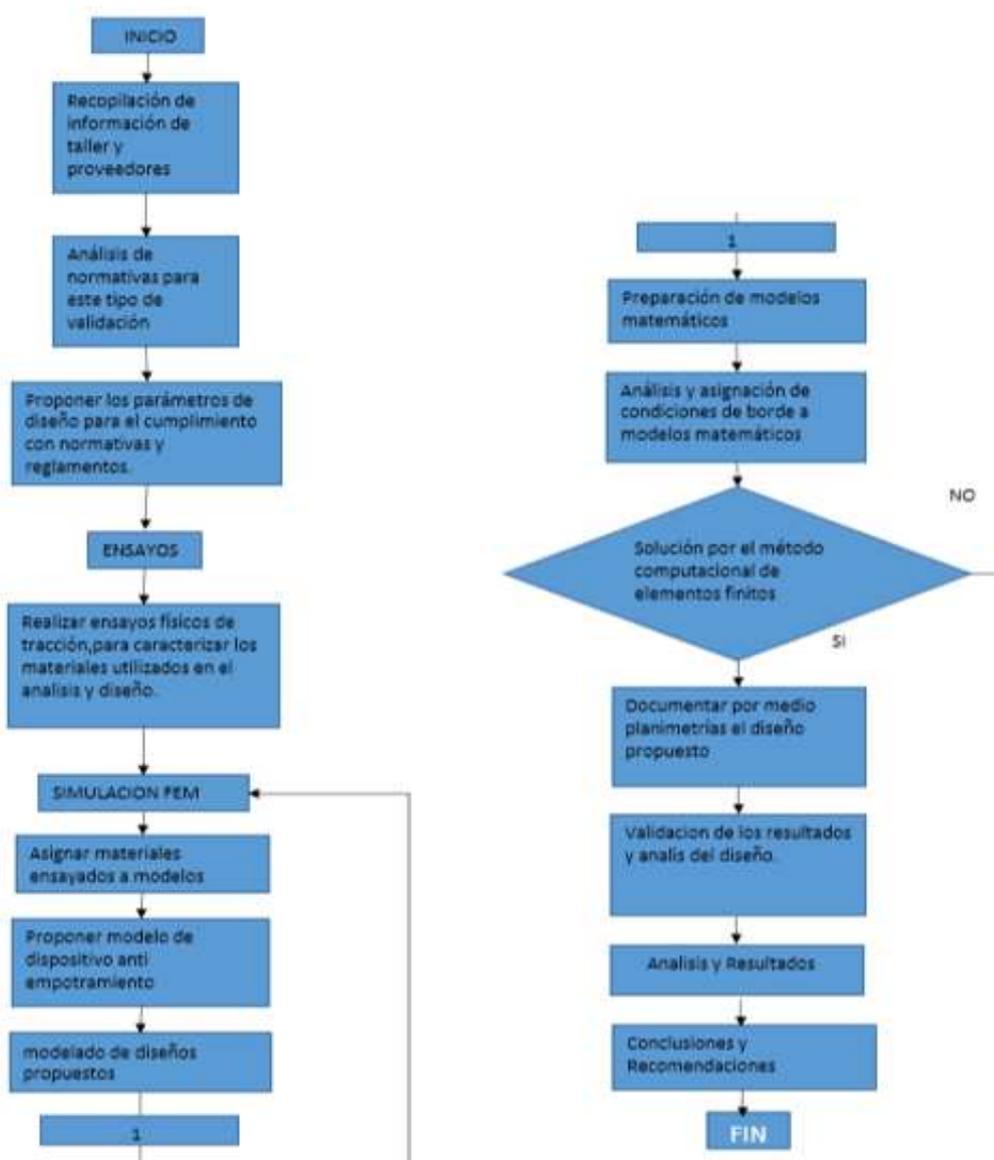


Figura 1-4. Diagrama de flujo del proceso de análisis de resultados

Fuente: Autores

4.2 Resultados del análisis sin barra anti empotramiento en un impacto posterior a 56km/h con vehículo impactador modelo sedan

La simulación se ejecutó conforme lo determina el reglamento CEPE R94, el cual establece una velocidad de ensayo de 56 km/h, en dirección del eje Z longitudinal a la dirección de movimiento del autobús urbano. Para la verificación de la resistencia de la barra anti empotramiento se hace en base a las exigencias establecidas en la parte referente a ensayos dinámicos establecidos en el reglamento UNECE R58

Para la representación de la simulación se utiliza un tiempo recomendado para impactos de 0,15 s (segundos), se tiene un numero de 81194 elementos y 82561 nodos con una computadora portátil Intel Core i7 con 4 procesadores de 3,2 GHz y 8 GB de memoria RAM, el tiempo de procesamiento es de 24 horas y se obtienen resultados cada 8 ms (ver Figura 2-4). Donde se muestra una secuencia en orden sucesivo de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

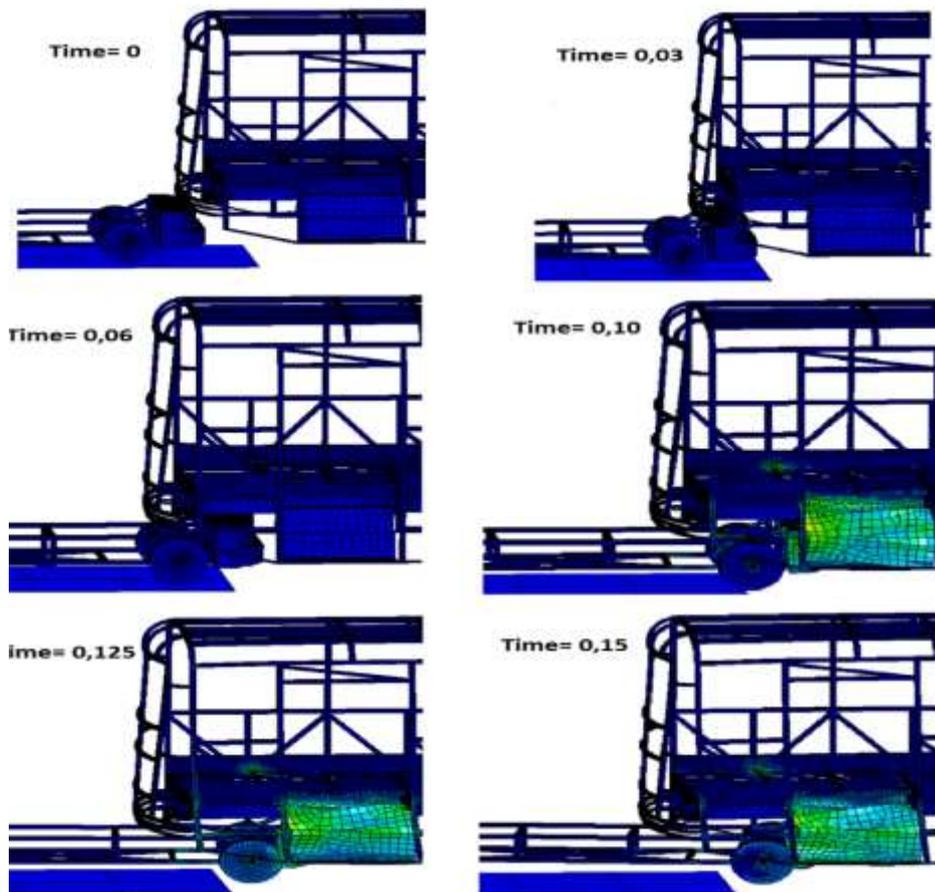


Figura 2-4. Sucesión de imágenes de impacto posterior sin barra anti empotramiento a 56km/h

Fuente. Autores.

El impacto posterior realizado a una velocidad de 56 km/h, nos permite visualizar que al no disponer de un dispositivo anti empotramiento, la parte delantera del vehículo impactador invade la parte inferior del bus urbano, según los lineamientos de aceptación del reglamento UNECE R58, dado que no se ofrecería una protección contra el empotramiento en el caso de impacto trasero de vehículos categoría M1,(ver Figura 3-4) al momento del impacto se observa la distribución de esfuerzo Von Mises en la parte posterior de la carrocería.

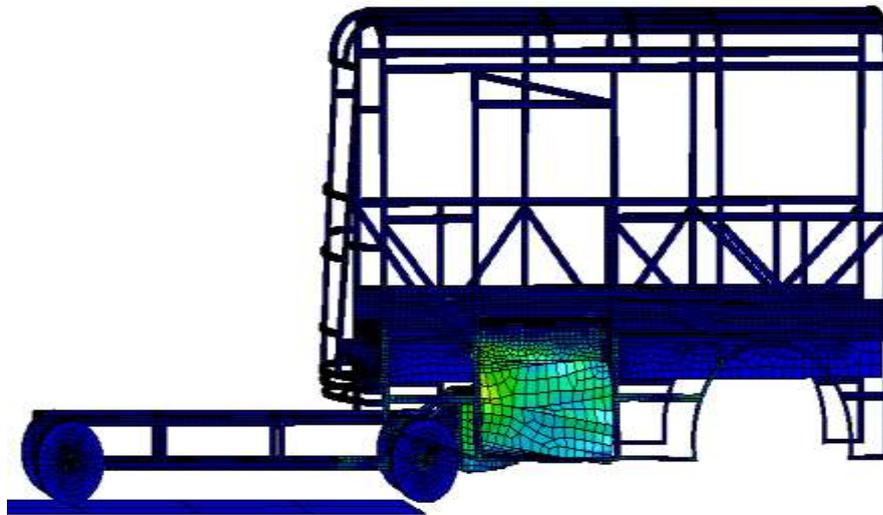


Figura 3-4. Esfuerzo de Von Mises sin barra anti empotramiento a 56 km/h
Fuente. Autores

Cuando no existe un dispositivo de anti empotramiento el vehículo categoría M1 modelo sedan sufre una intrusión en el habitáculo del vehículo golpeado. No existe una concentración y áreas de afluencia de esfuerzos que sean de consideración, las áreas marcadas con mayor concentración de esfuerzos muestran un color rojo intenso, los de color azul indican que no existe concentración de esfuerzos.

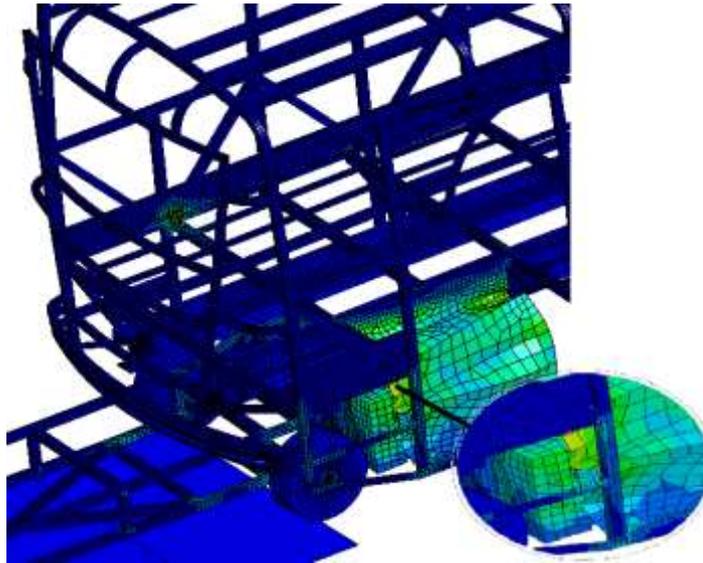


Figura 4-4. Concentración de esfuerzos Von Mises
Fuente. Autores

Como se indica (ver Gráfico 1-4) las curvas de energías interna y cinética están representadas con los colores verde y rojo respectivamente. El tiempo que dura el impacto cumple con la Ley de conservación de energía (La energía no se crea ni se destruye solo se transforma en otros tipos de energía), es decir que la energía que entra es igual a la energía que sale, toda la energía producida en un impacto debe ser constante lo cual indica un parámetro para validar los resultados del análisis computacional.

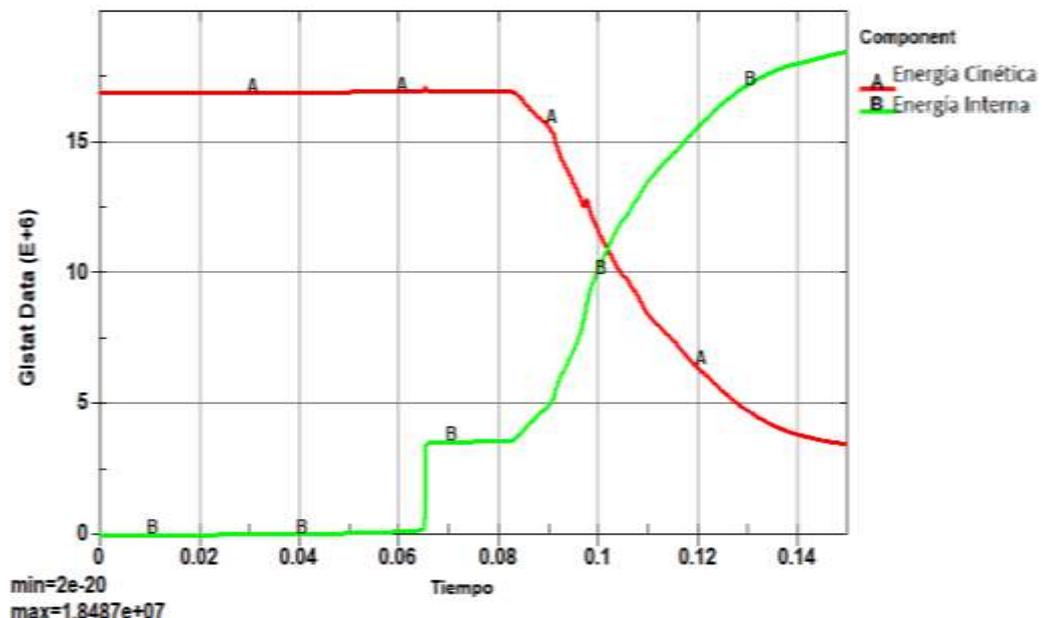


Gráfico 1-4. Energía cinética vs Energía interna durante impacto posterior
Fuente. Autores

4.3 Validación del análisis computacional

El diseño del sistema de anti empotramiento se valida en base a la relación entre la energía interna de deformación y el valor de energía Hourglass.

4.3.1 Control Hourglass.

Los procesos de control de Hourglass permiten tener un dominio de malla mediante la aplicación de fuerzas internas para resistir los modos de deformación a través de uno de los varios algoritmos de control HG. El valor de la energía de Hourglass en un tiempo de 0,15 segundos es $4,2305 \times 10^5$ J, (ver Gráfico 2-4).

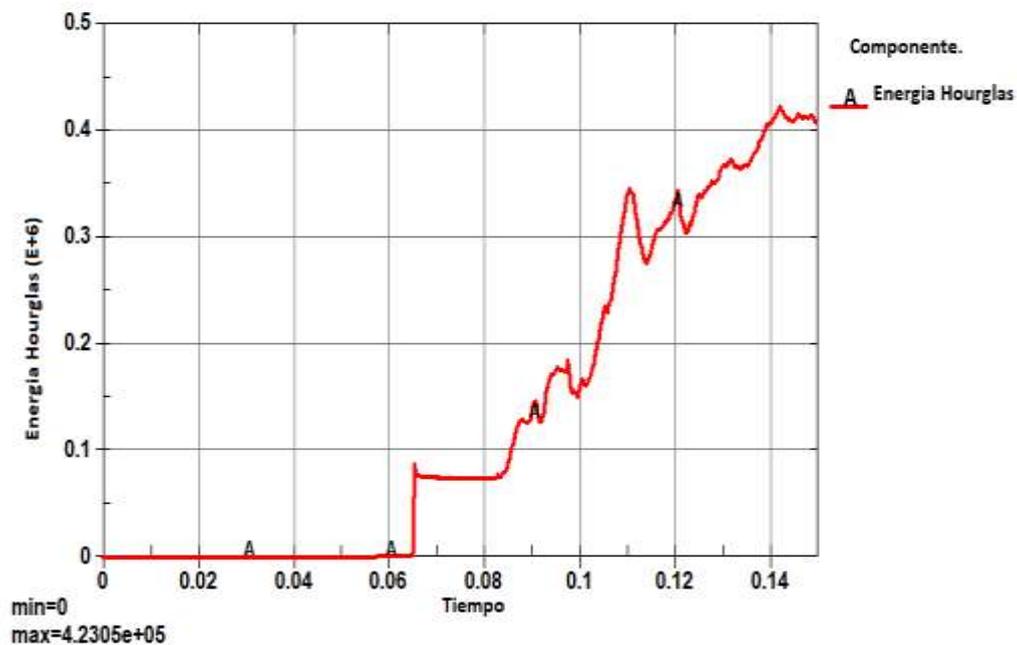


Gráfico 2-4. Energía Hourglass en impacto posterior a 56 km/h
Fuente. Autores.

4.3.2 Energía interna.

La suma de las energías de todas las partículas que conforma un cuerpo es igual a la energía interna, esta es difícil calcular debido al tipo de energía diferente que posee cada partícula, por lo cual comúnmente se calcula la variación de la energía interna, como se indica en la siguiente Gráfico.

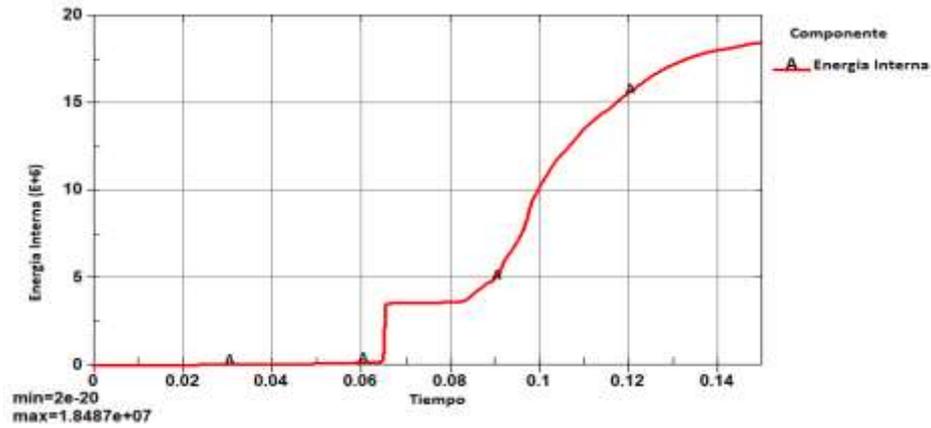


Gráfico 3-4. Energía interna a 56 km/h
Fuente. Autores.

El valor obtenido de nuestra energía interna es de $1,8487 \times 10^7$ J a un tiempo de 0,15 s.

4.3.3 *Relación entre la energía interna de deformación y el valor de la energía de Hourglass.*

Se calcula la relación entre la energía interna por deformación versus la energía Hourglass. Al obtener la energía del reloj de arena (Hourglass) una estimación mínima al 10 % de energía Interna la solución es correcta.

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

$$H = \frac{4,2305 \times 10^5 \text{ J}}{1,8487 \times 10^7 \text{ J}} \times 100 \%$$

$$H = 2,28 \%$$

$$H < 10 \%$$

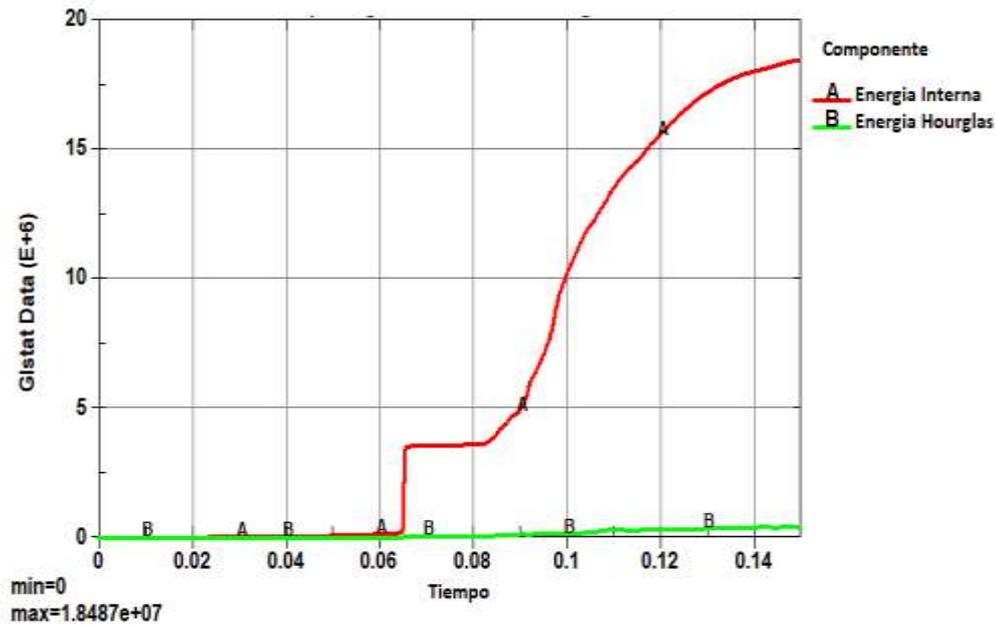


Gráfico 4-4. Energía interna y energía Hourglass durante impacto posterior a 56 km/h
Fuente. Autores.

El valor obtenido de Hourglass (H) es mayor al 10% por lo tanto el análisis **NO** es válido para las condiciones establecidas en la simulación a 56 km/h.

4.4 Resultados del análisis en la barra anti empotramiento en un impacto posterior a 56km/h con vehículo impactador modelo sedan

La simulación se ejecutó conforme lo determina el reglamento CEPE R94, el cual establece una velocidad de ensayo de 56 km/h, en dirección del eje Z longitudinal a la dirección de movimiento del autobús urbano. Para la verificación de la resistencia de la barra anti empotramiento se hace en base a las exigencias establecidas en la parte referente a ensayos dinámicos establecidos en el reglamento UNECE R58

Para la representación de la simulación se utiliza un tiempo recomendado para impactos de 0,10 s (segundos), se tiene un número de 132988 elementos y 96410 nodos, con una computadora portátil Intel Core i7 con 4 procesadores de 3,2 GHz y 8 GB de memoria RAM, el tiempo de procesamiento es de 24 horas y se obtienen resultados cada 8 ms (ver Figura 5-4). Donde se muestra una secuencia en orden sucesivo de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

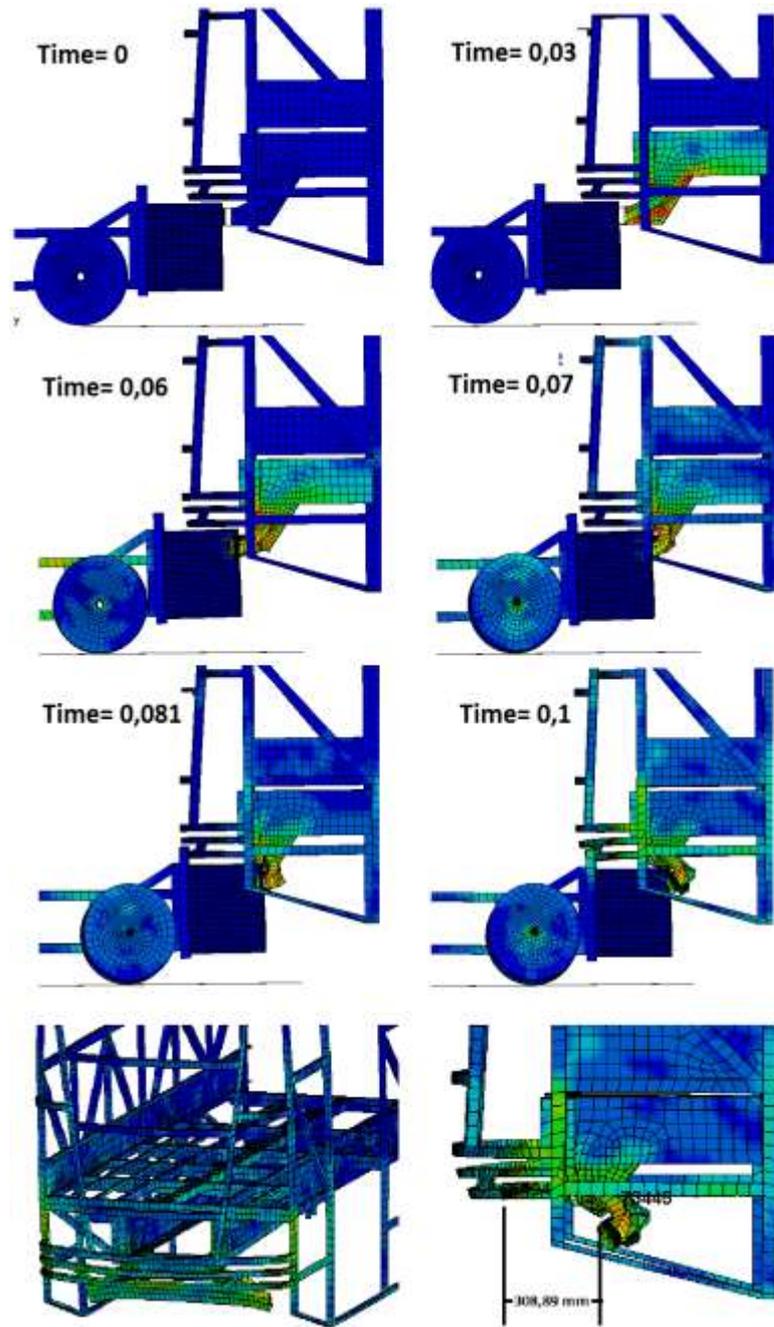


Figura 5-4. Imágenes de impacto posterior de un vehículo impactador sedan, con barra anti empotramiento a 56km/h
Fuente. Autores.

Al analizar los resultados obtenidos después del ensayo de impacto posterior se tiene un desplazamiento máximo de 308,89 mm medidos entre los nodos #65494 y #73445 a una velocidad de 56 km/h (ver Gráfico 5-4), donde se visualiza las zonas más afectadas del dispositivo anti empotramiento y la parte delantera del vehículo impactador, según los lineamientos de aceptación del reglamento UNECE R58 SI cumple con lo especificado.

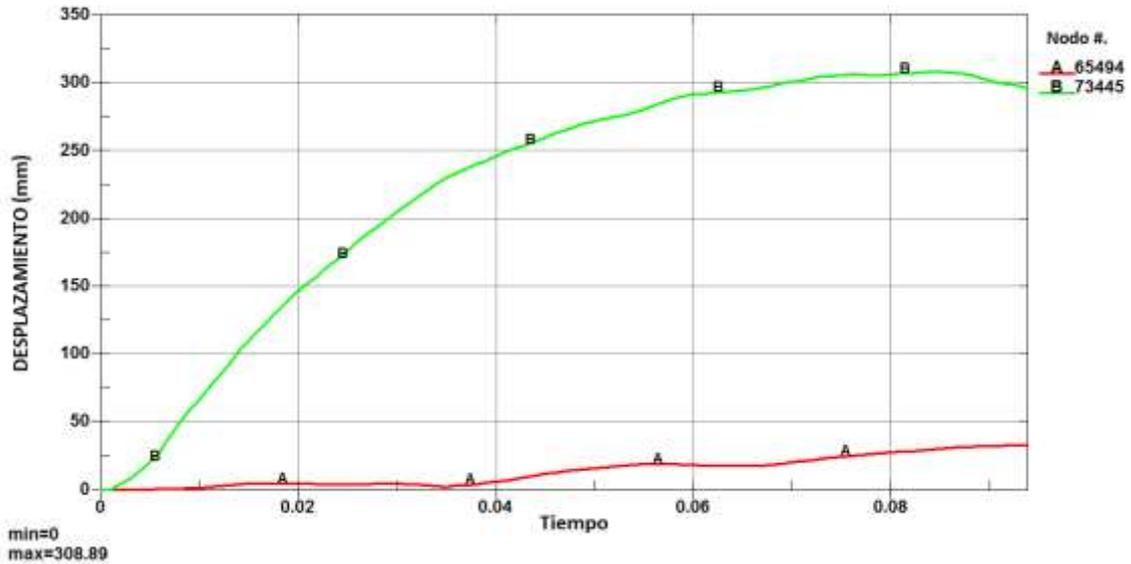


Gráfico 5-4. El desplazamiento obtenido al impacto posterior de vehículo impactador sedan, con barra anti empotramiento a 56km/h
Fuente. Autores.

El ensayo del impacto posterior nos permite analizar que todo el golpe del choque lo absorbe la barra de anti empotramiento y que el vehículo categoría M1 modelo sedan resulta sin mayores percances para sus integrantes (ver Figura 6-4), Seguidamente se indica la distribución de esfuerzo de Von Mises.

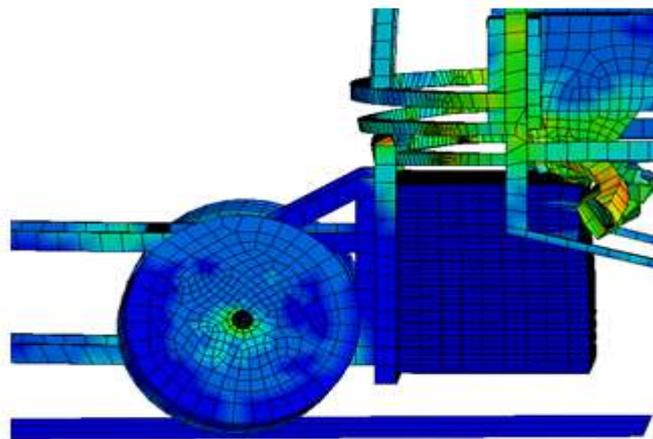


Figura 6-4. Esfuerzo de Von Mises en la barra anti empotramiento a 56 km/h
Fuente. Autores.

La concentración de esfuerzos se produce en mayor afluencia en las áreas marcadas de un color rojo intenso, las mismas que están situadas en los soportes, los esfuerzos en color azul indican que no existe concentración de esfuerzos.

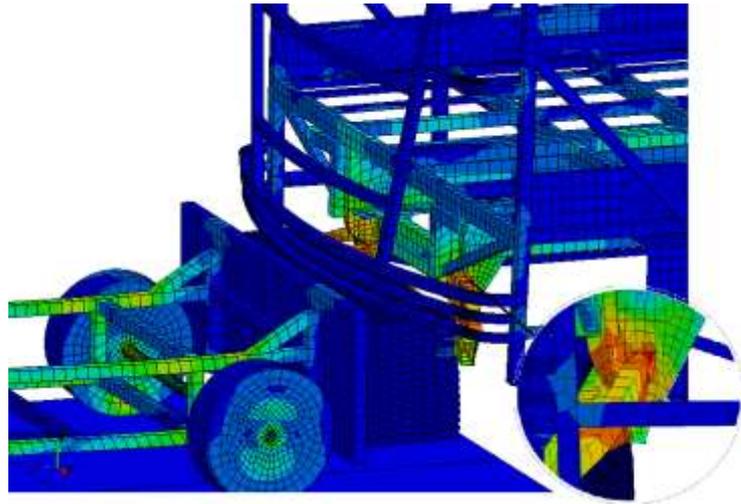


Figura 7-4. Concentración de esfuerzos Von Misses
Fuente. Autores

Como se indica (ver Gráfico 6-4) las curvas de energías interna y cinética están representadas con los colores verde y rojo respectivamente. El tiempo que dura el impacto cumple con la Ley de conservación de energía (La energía no se crea ni se destruye solo se transforma en otros tipos de energía), es decir que la energía que entra es igual a la energía que sale, toda la energía producida en un impacto debe ser constante lo cual indica un parámetro para validar los resultados del análisis computacional.

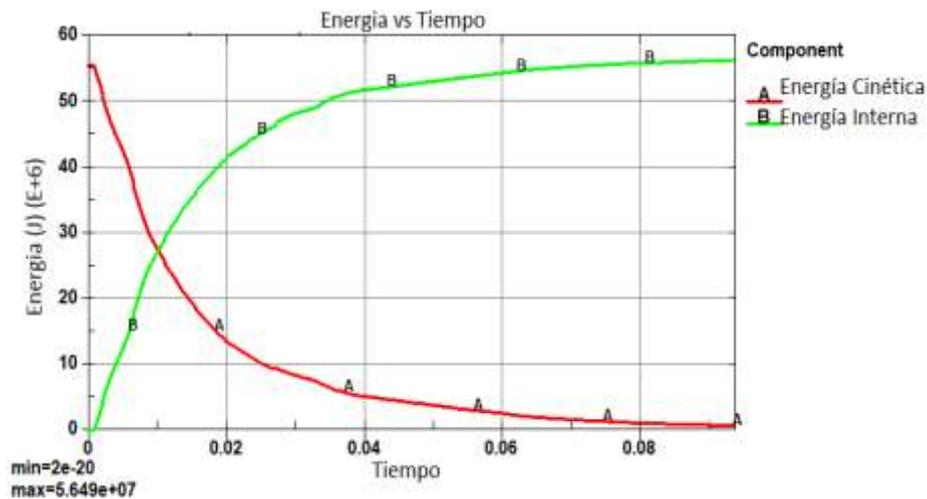


Gráfico 6-4. Energía cinética y energía interna durante impacto posterior a 56km/h
Fuente. Autores

4.5 Validación del análisis computacional

El diseño del sistema de anti empotramiento se valida en base a la relación entre la energía interna de deformación y el valor de energía Hourglass.

4.5.1 Control Hourglass.

Los procesos de control de Hourglass permiten tener un dominio de malla mediante la aplicación de fuerzas internas para resistir los modos de deformación a través de uno de los varios algoritmos de control HG. El valor de la energía de Hourglass en un tiempo de 0,10 segundos es $1,7958 \times 10^6$ J, (ver Gráfico 7-4).

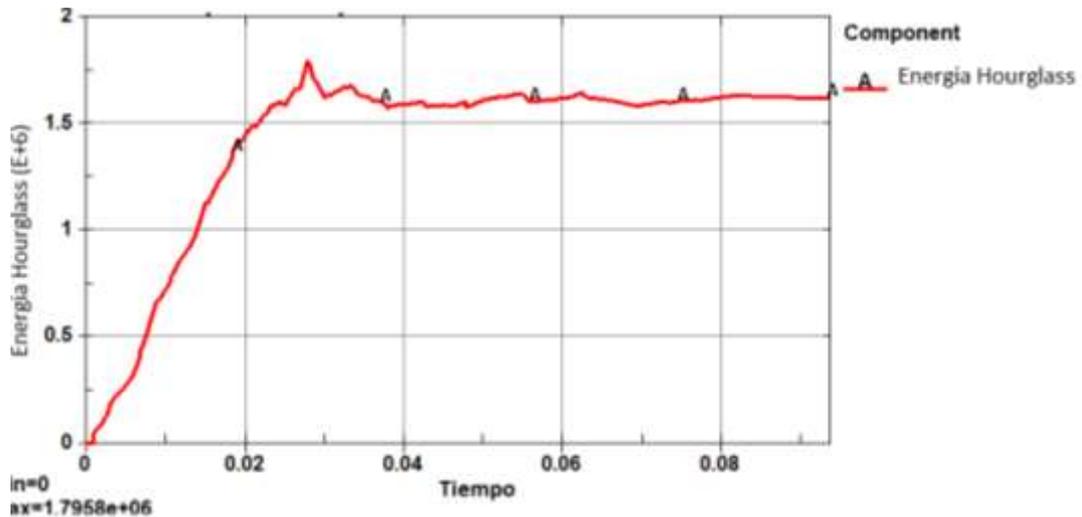


Gráfico 7-4. Energía Hourglass en impacto posterior a 56 km/h
Fuente. Autores.

4.5.2 Energía interna.

La suma de las energías de todas las partículas que conforma un cuerpo es igual a la energía interna, esta es difícil calcular debido al tipo de energía diferente, que posee cada partícula por lo cual comúnmente se calcula la variación de la energía interna. El valor de energía interna es de $5,649 \times 10^7$ J a un tiempo de 0,10 s (ver Gráfico 8-4)

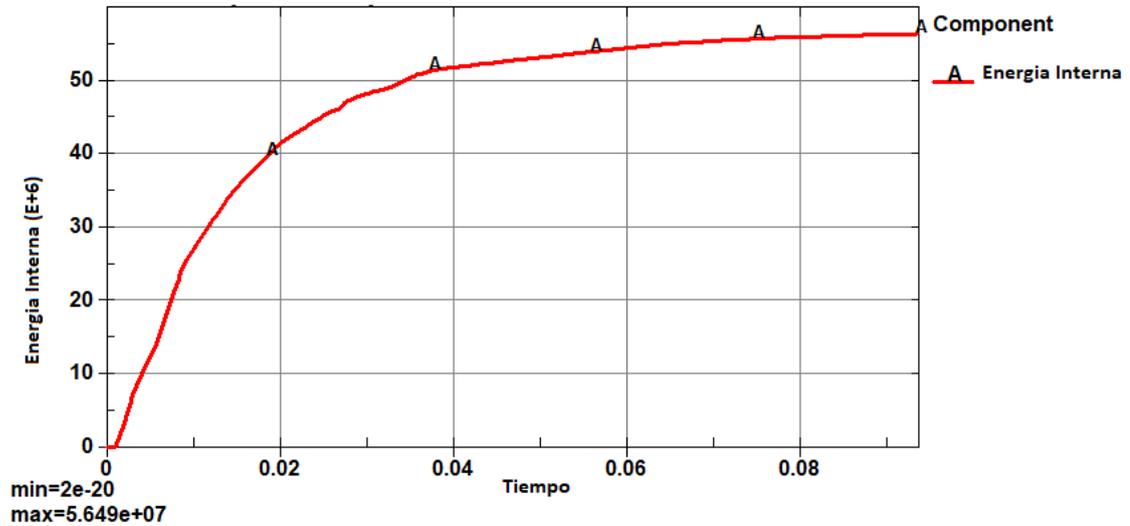


Gráfico 8-4. Energía interna a 56 km/h
Fuente. Autores

4.5.3 *Relación entre la energía interna de deformación y el valor de la energía de Hourglass.*

Se calcula la relación entre la energía interna por deformación versus la energía Hourglass. Al obtener la energía del reloj de arena (Hourglass) con una estimación mínima al 10 % de energía Interna la solución es correcta.

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

$$= \frac{1,7958 \times 10^6 \text{ J}}{5,649 \times 10^7 \text{ J}} \times 100 \%$$

$$H = 3,18 \%$$

$$H < 10 \%$$

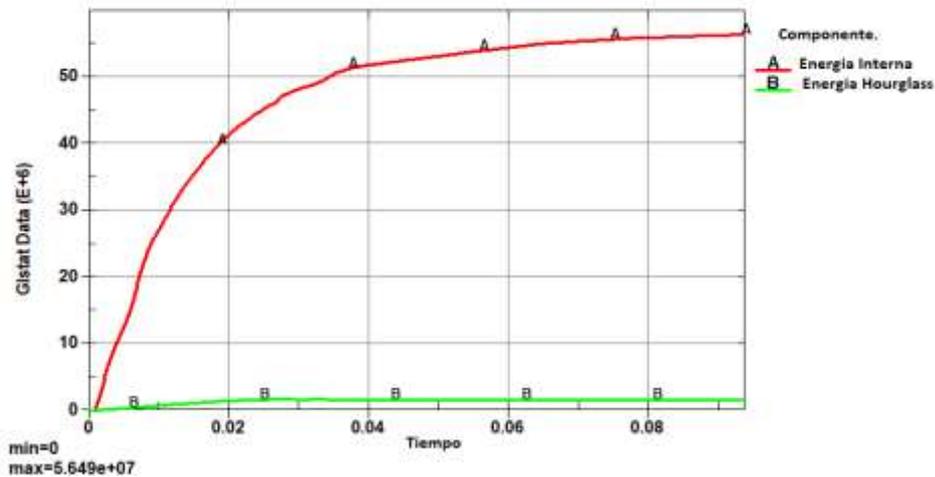


Gráfico 9-4. Energía interna y energía Hourglass durante impacto posterior a 56 km/h
Fuente. Autores

La valoración obtenida de energía Hourglass (H) es inferior al 10% por lo que se establece que el análisis es válido a 56 km/h (ver Gráfico 9-4) donde se indica el comportamiento de la energía interna y energía Hourglass la cual no supera el 10% de la energía interna.

4.6 Resultados del análisis en la barra anti empotramiento en un impacto posterior a 56km/h con vehículo impactador modelo todo terreno

La simulación se ejecutó conforme lo determina el reglamento CEPE R94, el cual establece una velocidad de ensayo de 56 km/h, en dirección del eje Z longitudinal a la dirección de movimiento del autobús urbano. Para la verificación de la resistencia de la barra anti empotramiento se hace en base a las exigencias establecidas en la parte referente a ensayos dinámicos establecidos en el reglamento UNECE R58

Para la representación de la simulación se utiliza un tiempo recomendado para impactos de 0,10 s (segundos), se tiene un numero de 132988 elementos y 96410 nodos, con una computadora portátil Intel Core i7 con 4 procesadores de 3,2 GHz y 8 GB de memoria RAM, el tiempo de procesamiento es de 24 horas y se obtienen resultados cada 8 ms (ver Figura 8-4). Donde se muestra una secuencia en orden sucesivo de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

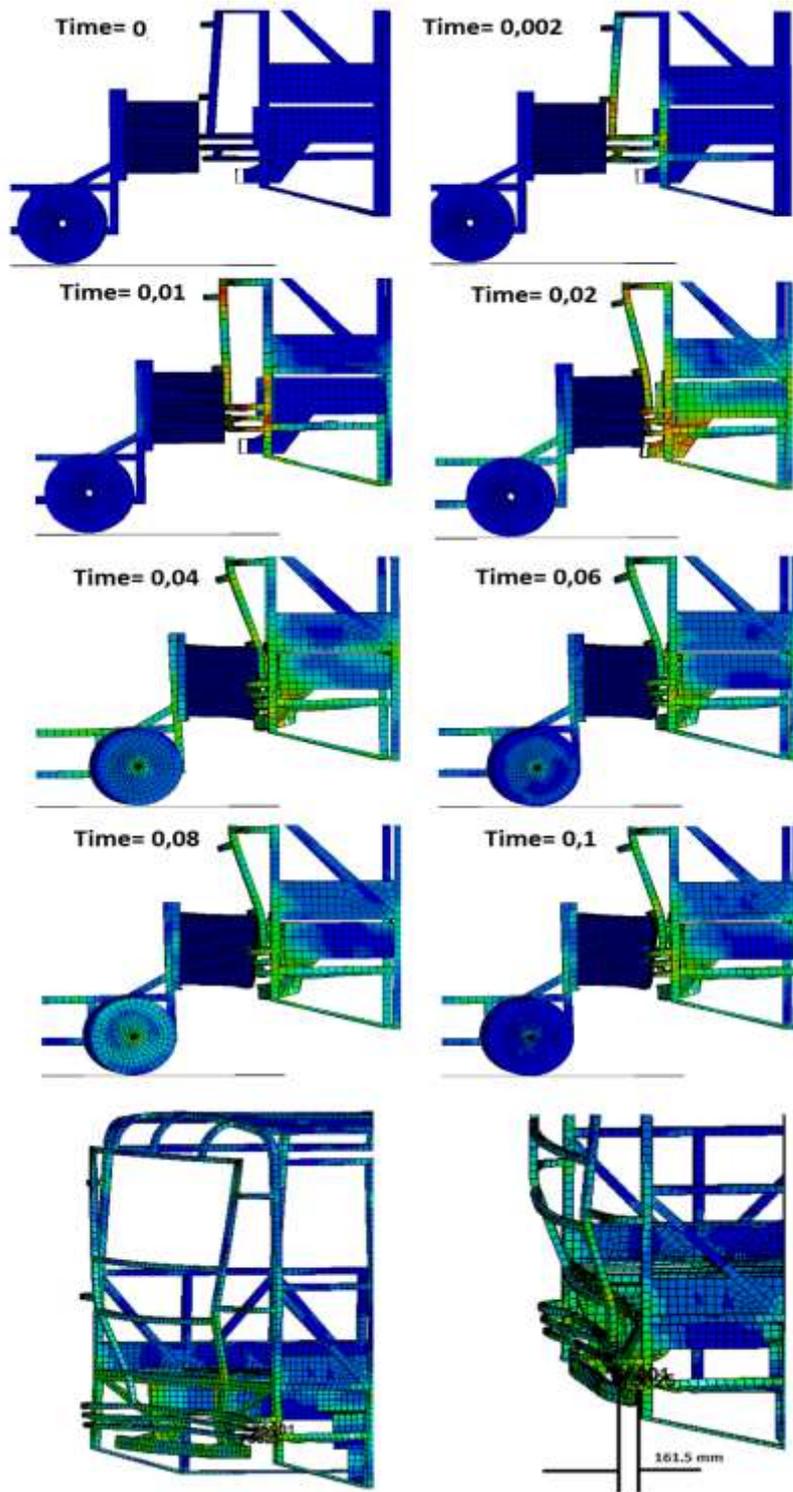


Figura 8-4. Sucesión de imágenes de impacto posterior de vehículo impactador todo terreno, con barra anti empotramiento 56km/h

Fuente. Autores

Al analizar los resultados obtenidos después del ensayo de impacto posterior se tiene un desplazamiento máximo de 161,5 mm medidos entre los nodos #65801 y #73625 a una velocidad de 56 km/h (ver Gráfico 10-4), donde se visualiza las zonas más afectadas del

dispositivo anti empotramiento y la parte delantera del vehículo impactador, según los lineamientos de aceptación del reglamento UNECE R58 SI cumple con lo especificado.

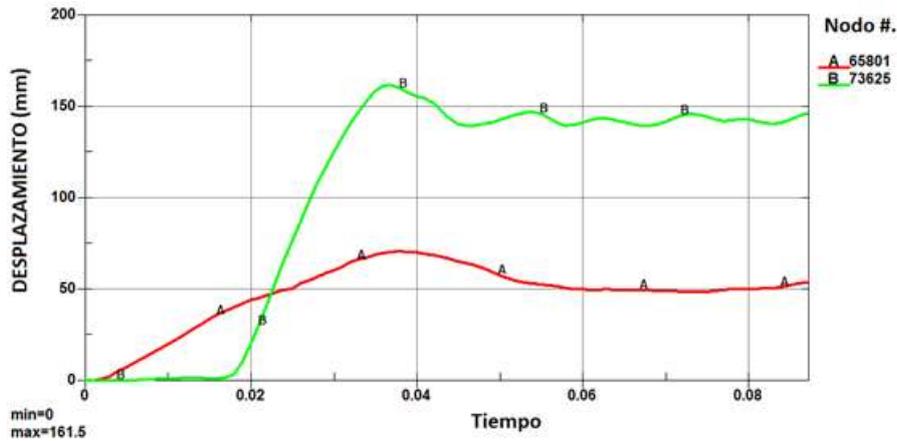


Gráfico 10-4. El desplazamiento obtenido al impacto posterior del vehículo impactador todo terreno, con barra anti empotramiento a 56km/h
Fuente. Autores

El ensayo del impacto posterior nos permite analizar los elementos afectados como el dispositivo anti empotramiento y la súper estructura posterior la cual resulta más afectada y el vehículo categoría M1 modelo todo terreno resulta sin mayores percances para sus integrantes.

4.6.1 *Esfuerzos de Von Mises en la súper estructura del bus urbano.*

Los elementos que están expuestos a mayor concentración de esfuerzos, como podemos apreciar en la siguiente gráfica, se dan en la súper estructura posterior del bus, donde el área marcada de color rojo intenso representa mayor afluencia de esfuerzos, el color azul indica que no existe concentración de esfuerzos.

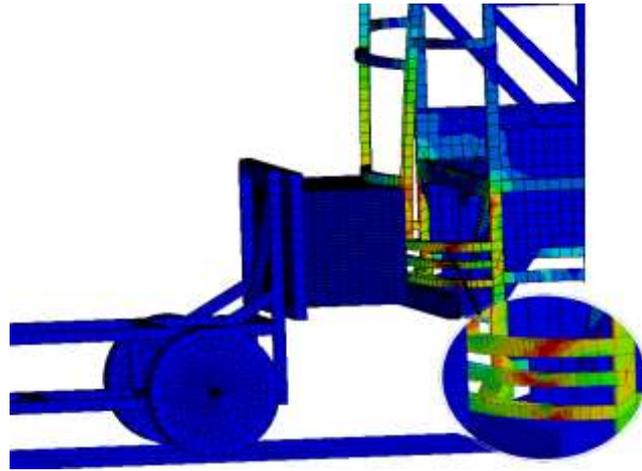


Figura 9-4. Concentración de esfuerzos Von Mises
Fuente. Autores

Como se indica (ver Gráfico 11-4) las curvas de energías interna y cinética están representadas con los colores verde y rojo respectivamente. El tiempo que dura el impacto cumple con la Ley de conservación de energía (La energía no se crea ni se destruye solo se transforma en otros tipos de energía), es decir que la energía que entra es igual a la energía que sale, toda la energía producida en un impacto debe ser constante lo cual indica un parámetro para validar los resultados del análisis computacional.

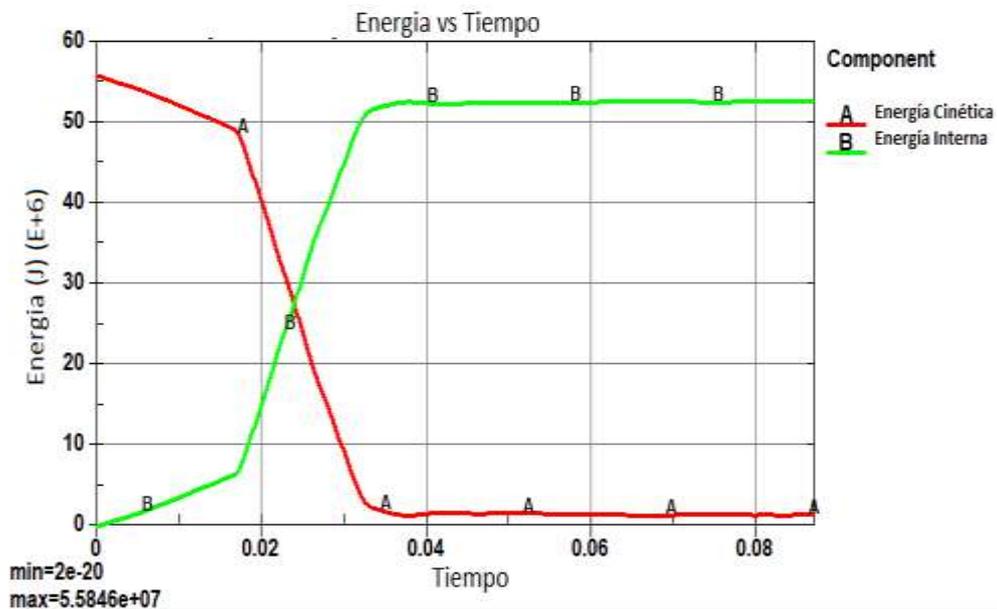


Gráfico 11-4. Variación de la energía cinética e interna en impacto posterior a 56 km/h
Fuente. Autores.

4.7 Validación del análisis computacional

El diseño del sistema de anti empotramiento se valida en base a la relación entre la energía interna de deformación y el valor de energía Hourglass.

4.7.1 Control Hourglass.

Los procesos de control de Hourglass permiten tener un dominio de malla mediante la aplicación de fuerzas internas para resistir los modos de deformación a través de uno de los varios algoritmos de control HG. El valor de la energía de Hourglass en un tiempo de 0,10 segundos es $1,9284 \times 10^6$ J, (ver Gráfico 12-4).

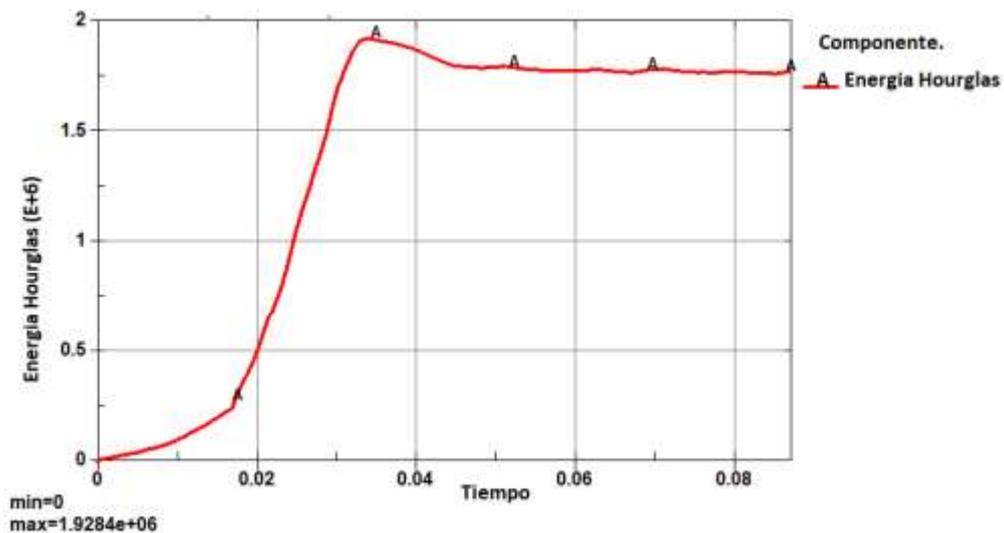


Gráfico 12-4. Energía Hourglass en impacto posterior a 50 km/h

Fuente. Autores.

4.7.2 Energía interna.

La suma de las energías de todas las partículas que conforma un cuerpo es igual a la energía interna, esta es difícil calcular debido al tipo de energía diferente que posee cada partícula por lo cual comúnmente se calcula la variación de la energía interna, El valor de energía interna es de $5,279 \times 10^7$ J a un tiempo de 0,10 s (ver Gráfico 13-4).

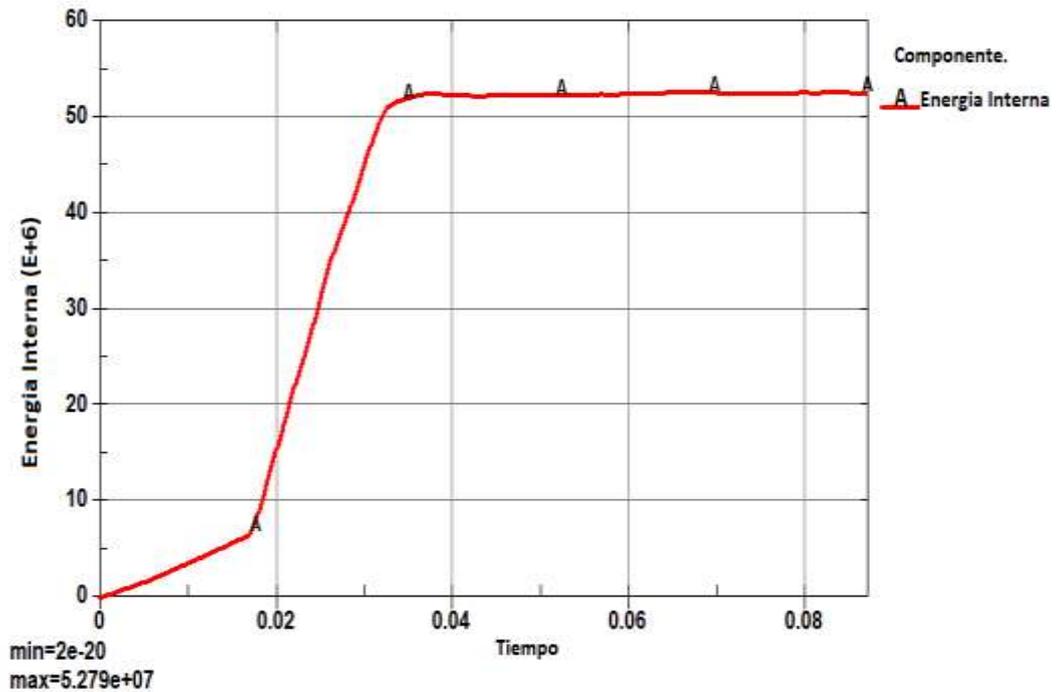


Gráfico 13-4. Energía interna a 56 km/h
Fuente. Autores

4.7.3 *Relación entre la energía interna de deformación y el valor de la energía de Hourglass.*

Se calcula la relación entre la energía interna por deformación versus la energía Hourglass. Al obtener la energía del reloj de arena (Hourglass) una estimación mínima al 10 % de energía Interna la solución es correcta.

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

$$H = \frac{1,9284 \times 10^6 \text{ J}}{5,279 \times 10^7 \text{ J}} \times 100 \%$$

$$H = 3,45 \%$$

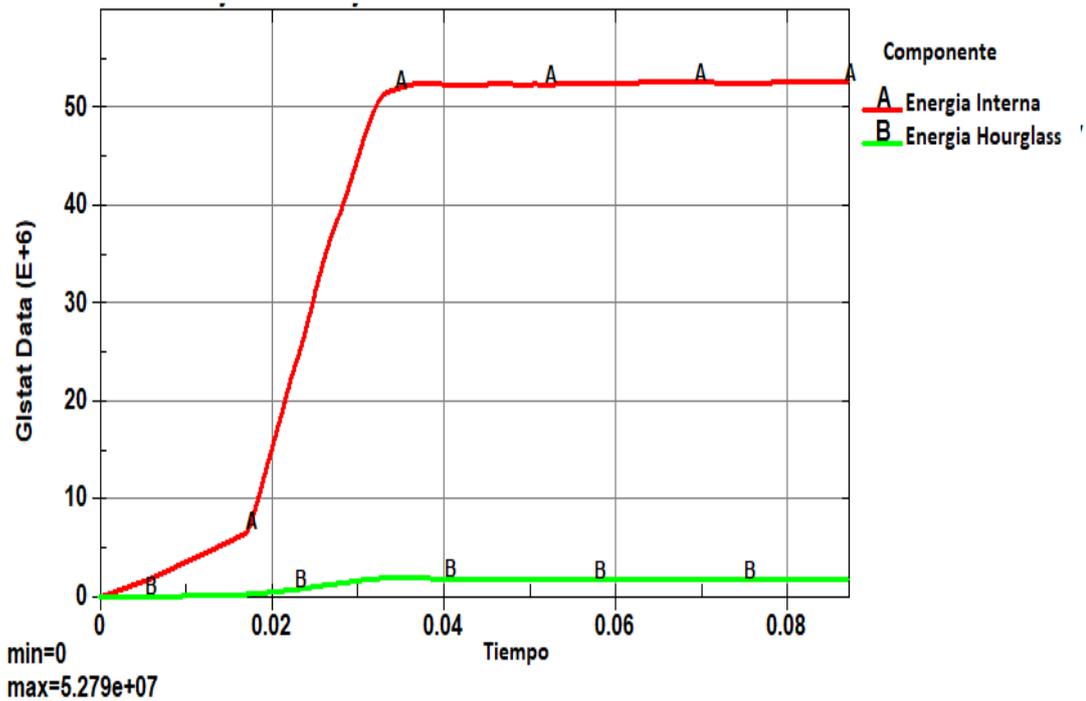


Gráfico 14-4. Energía interna y energía Hourglass durante impacto posterior a 56 km/h
Fuente. Autores.

La valoración obtenida de energía Hourglass (H) es inferior al 10% por lo que se establece que el análisis es válido a 56 km/h (ver Gráfico 14-4) donde se indica el comportamiento de la energía interna y energía Hourglass la cual no supera el 10% de la energía interna.

4.8 Verificación de resultados del diseño propuesto

4.8.1 *Análisis sin barra anti empotramiento en un impacto posterior.*

Tabla 1-4. Resultado sin dispositivo de protección posterior después de colisión

Velocidad de impacto	Deformación del dispositivo (mm)	Cumple con criterio de aceptación de UNECE R58
56 km/h	X	NO

Fuente. Autores.

4.8.2 *Análisis en la barra anti empotramiento en un impacto posterior con vehículo impactador modelo sedan.*

Tabla 2-4. Resultado sin dispositivo de protección posterior después de colisión

Velocidad de impacto	Deformación del dispositivo (mm)	Cumple con criterio de aceptación de UNECE R58
56 km/h	308,89 mm	SI

Fuente. Autores.

4.8.3 Análisis en la barra anti empotramiento en un impacto posterior con vehículo impactador modelo todo Terreno.

Tabla 3-4. Resultado sin dispositivo de protección posterior después de colisión

Velocidad de impacto	Deformación del dispositivo (mm)	Cumple con criterio de aceptación de UNECE R58
56 Km/h	161,5 mm	SI

Fuente. Autores.

Con base a los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones con distintos vehículos impactadores tipo M1 y dispositivo de protección posterior ubicada en la estructura de la carrocería de un bus urbano, se procede a verificar si dicho dispositivo resisten a una colisión posterior de impacto, cumpliendo con las condiciones y prescripciones de ensayo establecidas en la Regulación UNECE R58.

Una vez verificado los resultados de los análisis realizados, (ver Tabla 2-4 y 3-4). Se determina que el diseño propuesto de sistema anti empotramiento cumple con los parámetros y prescripciones establecidas dadas una colisión por alcance.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se realizó un estudio bibliográfico y apoyado en tesis, artículos científicos, para conocer el método de análisis referidos a impacto de vehículos y su normativa. Para cumplir con lo dispuesto en las normativas INEN 034 y UNECE R58 se desarrolló una búsqueda previa en trabajos relacionados; encontrando la información necesaria para la simulación del impacto posterior contra la barra anti empotramiento.

Se generó un modelo computacional que represente el impacto de los vehículos asignando todas las propiedades físicas y mecánicas del sistema. Mediante software CAD-CAE, se diseñó y analizó el dispositivo de anti empotramiento, entre la estructura del bus urbano e impactador considerando parámetros como calidad de malla, selección de material, cargas y condiciones de frontera para que los valores obtenidos sean lo más aproximado a la realidad. Además se verificó la simulación mediante un análisis de energías.

Estudiamos el comportamiento del modelo computacional aplicando el método de elementos finitos, para determinar si se produce el empotramiento del vehículo. Se consideró en el análisis dos modelos de vehículos categoría M1, un sedán, y un todo terreno, en los cuales la barra anti empotramiento cumple la función de no permitir que los vehículos ingresen en la parte inferior del bus. Se evidenció que al no disponer una barra anti empotramiento se produce la invasión del vehículo.

Para validar en base a la norma RTE INEN 034, y Reglamento no 58 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas para el buen desempeño del diseño expuesto. El diseño expuesto ofrece una protección eficaz al impacto, y no permite que vehículos categoría M1 tipo sedán sufran empotramiento y por ende aumentan la seguridad pasiva del bus.

5.2 Recomendaciones

Al momento de realizar los ensayos se recomienda tener cuidado con la maquina universal y guardar una respectiva distancia con respecto a la misma, con la finalidad de evitar posibles riesgos que pudieran existir al momento del ensayo.

Para las probetas se establecen medidas de espesor, longitud, ancho y la forma de la misma. La forma de la probeta se debe respetar debido a que si existen irregularidades es propenso a que los resultados varíen entre una y otra probeta.

Para la simulación con elementos finitos se debe tener el mayor cuidado al momento de ingresar los diferentes valores que nos pide el software, ya que un valor mal ingresado nos puede determinar con un resultado inequívoco o que el mallado se vea afectado y no se genere el mismo.

Para el correcto desempeño y mayor celeridad por parte del software CAE se recomienda trabajar en una computadora con la mayor capacidad que requiere este tipo de programas de simulaciones.

Recomendar al fabricante que implemente la barra anti empotramiento en sus modelos.

BIBLIOGRAFÍA

BLÁZQUEZ BAÑÓN, Luis. *El vehículo.* [En línea] 12 de Enero de 2014. [Consultado: 14 de Junio de 2017.] Disponible en: https://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/01010302.pdf.

CAMPUSVIRTUAL. *Ensayos no destructivos.* [En línea] 22 de Diciembre de 2010. [Consultado: 15 de Junio de 2017.] Disponible en: campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/Curso%20de%20END%20y%20Mantenimiento%20Predictivo%20-%20Dicie mbre%202011/Ensayos%20superficiales/Introduccion%20END/ensayos%20no%20destructivos.pdf.

CASIPOEA. *Autobus urbano VW 17210.* [En línea] 6 de Enero de 2014. [Consultado: 14 de Junio de 2017.] Disponible en: http://wiki.ead.pucv.cl/images/e/e3/Autobus_Ficha1.pdf.

CASTRO HERNÁNDEZ, Pablo. *Acero ASTM A36.* [En línea] 2017. [Consultado: 13 de Junio de 2017.] Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/89693272/Acero-ASTM-A36>.

CENTRO-ZARAGOZA. *Legislación vigente sobre sistemas de seguridad primaria en autobuses.* [En línea] 25 de Septiembre de 2012. [Consultado: 14 de Junio de 2017.] Disponible en: http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R52_A10.pdf.

CIRCULASEGURO. *Que es el dispositivo antiempotramiento.* . [En línea] 14 de Marzo de 2013. [Consultado: 13 de Junio de 2017.] Disponible en: <http://www.circulaseguro.com/que-es-el-dispositivo-antiempotramiento/>.

GUTIERREZ, Paola. *Ensayos destructivos.* [En línea] 29 de Septiembre de 2013. [Consultado: 15 de Junio de 2017.] Disponible en: <https://prezi.com/ounj8-a5vh3l/ensayos-destructivos/>.

HIBBELER, Russell. *Estatica.* [En línea] 4 de Enero de 2016. [Consultado: 9 de Octubre de 2017.] Disponible en: <https://pavisva.files.wordpress.com/2016/01/estc3a1tica-de-russel-hibbeler-12va-edicic3b3n.pdf>.

HYPERPHYSICS. *Energía interna.* [En línea] 2010. [Consultado: 6 de Octubre de 2017.] Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/inteng.html>.

IBIGURID. *Esfuerzos.* [En línea] 2012. [Consultado: 6 de Octubre de 2017.] Disponible en: <https://ibiguridp3.wordpress.com/res/esf/>.

INEN 2656. *Clasificación vehicular.* vehiculos categoria M1 y M3.

INEN 034. *Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores.*

INGENIERO DE LA CRISIS. *Técnicas de mallado de modelos para el análisis por m.e.f.* [En línea] 28 de Agosto de 2012. Consultado: 15 de Junio de 2017.] Disponible en: <https://ingenierodelacrisis.wordpress.com/2012/08/28/tecnicas-de-mallado-de-modelos-para-el-analisis-por-m-e-f/>.

LA FUENTE, Ignacio. *Homologación de carrocerías de camión.* [En línea] 2015. [Consultado:22 de Julio de 2017.] Disponible en: http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/942/806/IgnacioLafuente_IDIADA_Valladolid2011.pdf?blobheader.

LAMAS BARREIRA, Marcos. *Dispositivos de protección trasera.* [En línea] Septiembre de 2015. [Consultado:23 de Julio de 2017.] Disponible en: http://www.investiggo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/592/Dispositivos_de_protecci%C3%B3n_trasera.pdf?sequence=1.

MERCOSUR. *Reglamento tecnico Mercosur.* [En línea] 4 de Abril de 2015. [Consultado:14 de Junio de 14.] Disponible en: http://www.montevideo.gub.uy/sites/default/files/mtop_770_anexo6.pdf.

ROJAS LAZO, Oswaldo & ROJAS ROJAS, Luis. *Diseño asistido por computador.* [En línea] Junio de 2006. [Consultado: 14 de Junio de 2017.] Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/vol9_n1/a02.pdf.

SÁNCHEZ PULIDO, Carlos. *El vehículo como elemento de seguridad vial. La seguridad activa.* [En línea] 2005. [Consultado: 23 de Julio de 2017.] Disponible en: <http://autoescuela-valleaguado.com.es/wp-content/uploads/2014/05/SEGURIDAD-ACTIVA-Y-PASIVA.pdf>.

SCANIA. *Barra antiempotramiento trasera.* [En línea] 22 de Febrero de 2017. [Consultado: 3 de Junio de 2017. Disponible en: https://til.scania.com/groups/bwd/documents/bwm/mdaw/mzgx/~edisp/bwm_0000781_03.pdf.

TEMAS PARA LA EDUCACION. *Ensayos destructivos metalurgicos.* [En línea] 4 de Mayo de 2011. [Consultado: 15 de Junio de 2017.] Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8427.pdf>.

TRAXION. *Enfoque en las barras de empotramiento.* [En línea] 16 de Marzo de 2016. [Consultado: 24 de Julio de 2017.] Disponible en: <http://www.traxion.fr/zoom-sur-les-barres-anti-encastrement/>.

UNECE R58. *Dispositivos de protección tracera contra el empotramiento.*

VALERO FRÍAS, Eduardo. *El metodo de los elementos finitos.* [En línea] 10 de Julio de 2013. [Consultado: 15 de Junio de 2017.]

Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6294/06Efv06de23.pdf;sequence=6>.

VELEIRO, Marlen. *Ensayos destructivos.* [En línea] 2017. [Consultado: 15 de Junio de 2017.] Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/282759360/ENSAYOS-DESTRUCTIVOS-pdf#logout>.

VILCHEZ, Ramon. *Deformacion simple.* [En línea] Junio de 2008. [Consultado: 6 de Octubre de 2017.] Disponible en: <https://es.slideshare.net/vilchez/deformacin>.