



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD PARA ATENUAR IMPACTOS
AUTOMOVILÍSTICOS DE MODELOS BARRERAS DE
PROTECCIONES VIALES EN CARRETERA, SEGÚN
REGLAMENTOS UNE EN 1317 POR EL MÉTODO DE
ELEMENTOS FINITOS.”**

Trabajo de titulación:

Tipo: Trabajo experimental

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: EDISSON GIOVANNI ALOMALIZA CRUZ

DIRECTOR: Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla

Riobamba-Ecuador

2021

©2021, Edison Giovanni Alomaliza Cruz

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

Yo, Edison Giovanni Alomaliza Cruz, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos que constan en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 30 de junio de 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Edison Alomaliza Cruz', with a large, stylized flourish above the name.

Edisson Giovanni Alomaliza Cruz

1804774089

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Trabajo experimental, **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD PARA ATENUAR IMPACTOS AUTOMOVILÍSTICOS DE MODELOS BARRERAS DE PROTECCIONES VIALES EN CARRETERA, SEGÚN REGLAMENTOS UNE EN 1317 POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**, realizado por el señor: **EDISSON GIOVANNI ALOMALIZA CRUZ**, ha sido minuciosamente revisados por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, el tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 JOSE FRANCISCO PEREZ FIALLOS Firmado digitalmente por JOSE FRANCISCO PEREZ FIALLOS	20 abril de 2021
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION	 Firmado digitalmente por EDWIN RODOLFO POZO	20 abril de 2021
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba MIEMBRO DE TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por SOCRATES MIGUEL AQUINO ARROBA	20 abril de 2021

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación es dedicado para mi esposa e hijos, quienes son el motivo y la razón de seguir a delante, de ser más fuerte espiritual y emocionalmente.

A mi familia y personas especiales que apoyaron con un granito de arena en momentos difíciles para perseverar y alcanzar mí meta.

Edisson

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la vida y salud que me ha regalado y por permitirme concluir con mi objetivo universitario.

A mis padres que fueron, son y serán mi apoyo incondicional durante mi vida cotidiana, sin ellos este logro no sería posible, y muchos de mis sueños serían inalcanzables. Sus sabios consejos como padre y madre forjaron en mí la responsabilidad, perseverancia para ser mejor persona y entablar mis principios como profesional.

Edisson

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE GRAFICAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCION.....	1

CAPÍTULO I.....

1. MARCO REFERENCIAL.....	2
1.1. Justificación y actualidad.....	2
1.2. Problema.....	9
1.3. Objetivos.....	9
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	9
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	9
1.4. Hipótesis.....	10
1.5. Metodología.....	10
1.5.1. <i>Investigación</i>	10
1.5.2. <i>Procedimiento de la investigación</i>	10
1.6. Resultados a alcanzar.....	12

CAPÍTULO II.....

2. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Barreras de seguridad.....	13
2.2. Severidad del impacto.....	15

2.3.	Capacidad del re direccionamiento.....	15
2.4.	Ensayos de choque.....	16
2.5.	Clases de prestación, criterios de aceptación para los tests de impacto, métodos de prueba según la norma en EN 1317-1 e -2.....	17
2.6.	Nivel de gravedad del impacto.....	17
2.7.	Deformación de la barrera de seguridad.....	18
2.7.1.	Otros parámetros valorados con criterios de tipo cualitativo.....	18
2.8.	Método de elementos finitos.....	18
2.9.	LS-DYNA.....	20
2.10.	Ecuación de modelos de estado.....	22
2.10.1.	<i>Ecuación de la forma de estado 1: polinomio lineal</i>	22
2.10.2.	<i>Ecuación del formulario estatal 2: JWL High Explosive</i>	23
2.10.3.	<i>Ecuación del formulario estatal 3: Saque "martes" de explosivos altos</i>	23
2.10.4.	<i>Ecuación del formulario estatal 4: Gruneisen</i>	23
2.10.5.	<i>Ecuación de la forma estatal 5: Razón de polinomios</i>	24
2.10.6.	<i>Ecuación de la forma de estado 6: lineal con deposición de energía</i>	24
2.10.7.	<i>Ecuación del formulario estatal 7: Modelo de encendido y crecimiento</i>	25
2.10.8.	<i>Ecuación del formulario estatal 8: compactación tabulada</i>	25
2.10.9.	<i>Ecuación del formulario estatal 9: tabulado</i>	26
2.11.	Dummy.....	27
2.12.	Materiales.....	29
2.13.	Acelerómetros.....	29

CAPÍTULO III.....

3.	MÉTODO PARA EL DISEÑO.....	30
3.1.	Diseño y simulación.....	30
3.1.1.	<i>Maniquí para ensayos de pruebas</i>	32
3.2.	Malla FEM.....	33

3.2.1. <i>Elementos de malla del automóvil y de la barrera vial</i>	33
3.2.2. <i>Elementos de malla del maniquí</i>	35
3.2.3. <i>Índices de calidad</i>	35
3.2.4. <i>Número de elementos y nodos de modelos</i>	36
3.2.5. <i>Número de elementos y nodos de modelos</i>	36
3.2.6. <i>Materiales de Automóviles</i>	37
3.2.7. <i>Materiales de Barrera vial</i>	37
CAPITULO IV	
4. ANÁLISIS DEL DISEÑO	40
4.1. Análisis y asignación de condiciones de borde	40
4.1.1. <i>Barreras viales</i>	40
4.1.2. <i>Barrera vial propuesta</i>	40
4.1.3. <i>Condiciones de impacto de vehículos vs barrera vial</i>	46
4.1.4. <i>Soportes fijos de la simulación</i>	47
4.1.5. <i>Asignación de contactos entre partes</i>	48
4.1.6. <i>Controles de simulación</i>	48
4.2. Resultados	49
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	EN 1317 Características de los ensayos según el tipo y masa del vehículo.....	4
Tabla 1.2	Niveles de contención en diferentes vehículos.....	5
Tabla 1.3	Índice de severidad del impacto.....	6
Tabla 1.2	Índice de severidad de impacto.....	15
Tabla 2.2	Tabla de materiales utilizados en el vehículo.....	29
Tabla 1.3	Componentes de automóviles: número de elementos y nodos.....	36
Tabla 2.3	Propiedades mecánicas del ensayo de tracción (valores mínimos) requeridos para comercialización de planchas delgadas según NTE INEN 114.....	38
Tabla 1.4	Características de los ensayos según el tipo y masa del vehículo EN 1317.....	42
Tabla 2.4	Niveles de contención.....	43
Tabla 3.4	Índice de severidad del impacto.....	44
Tabla 4.4	Condiciones de impacto.....	46
Tabla 5.4	Controles de simulación.....	49
Tabla 6.4	Resultados de simulación con diferentes tipos de barreras.....	49
Tabla 7.4	Tabla de aceleraciones G en la cabeza para distintos impactos en barreras viales..	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Barreras de protección vial.....	2
Figura 1.2	Derecha Simulación EN 1317 vs izquierda Ensayo escala real de impacto contra barrera de protección vial.....	3
Figura 1.3	Simulación computacional FEM de impacto de automóvil con maniquí híbrido III en los mismos se pueden medir los índices PHD y THIV.....	4
Figura 1.4	Guías transversales riel de tipo A dimensiones de sección transversal en W según AASHTO [2].....	7
Figura 1.5	Partes de barra de protección.....	8
Figura 1.6	Ensayo de point bending - flexión de barra, simulado vs real [2].....	11
Figura 1.2	Barrera metálica.....	13
Figura 2.2	Barrera de hormigón.....	14
Figura 3.2.	Vista general del modelo guarda raíl.....	14
Figura 4.2	Tabla del criterio para distancia de salida.....	16
Figura 5.2	Re-direccionamiento vehicular.....	16
Figura 6.2	Impacto real de un vehículo pesado.....	17
Figura 7.2	Dummy implementado en LS-DYNNNA.....	21
Figura 8.2	Cinturón de seguridad en LS-DYNNNA.....	21
Figura 9.2	Curva de presión vs deformación volumétrica.....	26
Figura 10.2	Dummy modelo VIP 50.....	27
Figura 11.2	Modelo de dummy de la serie Hybrid III.....	28
Figura 1.3	Dimensiones generales de modelo 3D Aveo Hatchback marca Chevrolet.....	31
Figura 2.3	Dimensiones generales de modelo 3D camión NLR. ISUZU – Chevrolet.....	31
Figura 3.3	Dimensiones generales de modelo 3D camión SH marca SCANIA.....	32
Figura 4.3	Dimensiones generales de tráiler de carga.....	32
Figura 5.3	Dimensionamiento de maniquí de prueba EN 1317.....	33
Figura 6.3	Auto liviano, grafico superior densidad de malla, inferior, partes del automóvil.	34
Figura 7.3	Camión pesado. Densidad de malla y sus partes.....	34
Figura 8.3	Componentes de maniquí HIBRIDO III 50% utilizado en impactos.....	35
Figura 9.3	Verificación de índice de calidad de malla Jacobiano.....	36

Figura 10.3	Propiedades de elementos a formular.....	37
Figura 11.3	Curvas de esfuerzo deformación del material del Automóvil correspondiente al acero de código de modelos de autos por NHTSA.....	37
Figura 12.3	Curvas de esfuerzo deformación del material de barrera vial.....	38
Figura 1.4	Características de barrera vial Original.....	40
Figura 2.4	Características de barrera vial propuesta.....	41
Figura 3.4	Ubicación de maniquí con cinturón de seguridad y asiento en el vehículo.....	41
Figura 4.4	Deflexión dinámica y anchura de trabajo.....	44
Figura 5.4	Velocidad de modelos de automóviles para simulación de impacto contra barreras viales.....	45
Figura 6.4	Soportes fijos en barrera vial propuesta.....	48
Figura 7.4	Asignación de contacto en el modelo.....	48

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1.3	Reprocesamiento de modelos	33
Gráfico 2.4	Impacto barrera vial original ensayo TB11 (Aveo 900Kg, 100Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo W = 1025 mm.....	51
Gráfico 3.4	Impacto barrera vial original ensayo TB32 (NLR 1500Kg, 110Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo W = 6268 mm.....	51
Gráfico 4.4	Impacto barrera vial original ensayo TB51 (SCANIA 13000Kg, 70 Km/h, ángulo 20°).....	52
Gráfico 5.4	Impacto barrera vial propuesta ensayo TB11 (Aveo 900Kg, 100Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo W = 35 mm.....	52
Gráfico 6.4	Impacto barrera vial propuesta ensayo TB32 (NLR 150Kg, 110Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo W = 61 mm.....	53
Gráfico 7.4	Impacto barrera vial propuesta ensayo TB51(SCANIA 13000 Kg, 70Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo W = 784 mm.....	53
Gráfico 8.4	Impacto barrera vial propuesta ensayo TB71(SCANIA 30000 Kg, 65Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo W = 3005 mm.....	54
Gráfico 9.4	Impacto barrera vial original ensayo TB11 (Aveo 900Kg, 100Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo W = 1025 mm.....	55
Gráfico 10.4	Impacto barrera vial original ensayo TB32 (NLR 1500Kg, 110Km/h, ángulo 20°), medida de anchura de trabajo W = 6268 mm.....	56
Gráfico 11.4	Impacto barrera vial original ensayo TB51 (SCANIA 13000Kg, 70 Km/h, ángulo 20°).....	57
Gráfico 12.4	Impacto barrera vial propuesta ensayo TB11 (Aveo 900Kg, 100Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo W = 35 mm.....	58
Gráfico 13.4	Impacto barrera vial propuesta ensayo TB32 (NLR 150Kg, 110Km/h, ángulo 20°), medida de anchura de trabajo W = 61 mm.....	59
Gráfico 14.4	Impacto barrera vial propuesta ensayo TB51(SCANIA 13000 Kg, 70Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo W = 784 mm.....	60
Gráfico 15.4	Impacto barrera vial propuesta ensayo TB71(SCANIA 30000 Kg, 65Km/h, ángulo 20°), medida de anchura de trabajo W = 3005 mm.....	61
Gráfico 16.4	Aceleraciones G en la cabeza para los distintos impactos contra barreras viales	62

RESUMEN

La presente investigación experimental tuvo como objetivo analizar la capacidad para atenuar impactos automovilísticos de barreras de protección vial en carretera, según los reglamentos de la normativa UNE EN 131 a través de métodos finitos, para lo cual se realizó una revisión bibliográfica de diferentes tipos de ensayos que permiten considerar los factores que están inmersos en choques, como también; se modeló tres tipos de automóviles (auto liviano, mediano y pesado) y un maniquí para realizar las respectivas simulaciones en el software LS-DYNA. Para determinar los elementos de malla de los automóviles, barrera vial y maniquí se utilizó elementos de tipo SHELL y SOLID en 2 dimensiones, el cual permite la semejanza en la malla contemplando la mayoría de elementos cuadros y la minoría en triángulos, como lo recomienda el desarrollador del software presentando un criterio de mallado Jacobiano de 0.3 (aceptable). Se propuso una barrera vial compuesta por perfil C de 200x100x3mm, tubería cuadrada de 100x5mm, con el tipo de material MAT_024 similar al acero (Módulo de elasticidad de 200GPa). Para realizar la simulación del fenómeno se utilizó un computador Toshiba Intel XEON de 32Gb de RAM con el SOFTWARE LSDYNA versión R8 dando resultados en 10 horas de reproducción. La barrera propuesta puede resistir un camión pesado SCANIA 38000Kg con una anchura de trabajo de 3005mm y una fuerza G en la cabeza de 2.61G. Concluyendo que la barrera propuesta sería de gran utilidad previniendo lesiones o la muerte en manifestación de un choque. Se recomienda la utilización de simulaciones con modelos simplificados ya que aportan valores lógicos respecto a los que se podría obtener en ensayos reales, o con simulaciones realizadas con modelos completos.

Palabras clave: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <IMPACTO AUTOMOVILISTICO >, <PROTECCION VIAL>, <MÉTODOS FINITOS>, <SIMULACION DE IMPACTO>, <MALLADO JACOBIANO>. <FUERZA G>



22-07-2021

1440-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

This experimental research aimed to analyze the ability to attenuate automobile impacts of road protection barriers on the road, according to the regulations of the UNE EN 131 standard through finite methods. It was performed a literature review of different types of trials which allow considering the immersed factors in crashes. As well; three types of cars were modeled (light, medium, and heavy-duty vehicles) and a manikin to perform the respective simulations in the LS-DYNA software. To determine the mesh elements of cars, road barriers, and the manikin. It was used elements SHELL and SOLID type in 2 dimensions, which allows the similarity in the mesh contemplating the majority of elements squares and the minority in triangles; as recommended by the developer of the software presenting a Jacobian mesh criterion of 0.3 (acceptable). It was proposed a road barrier composed of 200x100x3mm C profile, 100x5mm square pipe, with the material type MAT_024 similar to steel (Modulus of elasticity of 200GPa). A Toshiba Intel XEON computer with 32Gb of RAM with the LS-DYNA SOFTWARE R8 version performed the simulation of the phenomenon giving results in 10 hours of reproduction. The barrier proposal can withstand a SCANIA 38000Kg heavy-duty truck with a working width of 3005mm and a G-force in the head of 2.61G. Concluding that the proposed barrier would be great utility preventing injury or death in the manifestation of a crash. Recommending the use of simulations with simplified models as they provide logical values concerning those that could be obtained in real tests, or with simulations carried out with complete samples.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <AUTOMOBILE COLLISION>, <ROAD PROTECTION>, <FINITE METHODS>, <IMPACT SIMULATION>, <MALLED JACOBIANO>. <FORCE G

INTRODUCCION

Las recomendaciones de instalar una barrera de seguridad se basan en la premisa de que solo deben colocarse, si estas reducen la severidad de siniestros potenciales. Estas recomendaciones se basan en un análisis subjetivo de ciertos elementos y condiciones del borde de la carretera; en un análisis cualitativo donde se considera entre otras características la velocidad del camino, el nivel y composición de tránsito, etc.; y en un análisis económico de los costos involucrados. Sin embargo, frecuentemente se dan casos en donde no resulta tan evidente si la barrera o los elementos de protección deben instalarse, ya que estos pueden transformarse en un riesgo en sí.

El presente trabajo se encuentra inmerso en el marco del proyecto **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD PARA ATENUAR IMPACTOS AUTOMOVILÍSTICOS DE MODELOS BARRERAS DE PROTECCIONES VIALES EN CARRETERA, SEGÚN REGLAMENTOS UNE EN 1317 POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**, teniendo como objetivo principal nutrir a este proyecto mediante el análisis mediante la simulación con softwares como: SolidWorks, LS-PrePost, LS-DYN, enfocándose con mayor detenimiento en el estudio de barreras de contención longitudinales y la capacidad para atenuar impactos automovilísticos.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1.JUSTIFICACIÓN Y ACTUALIDAD

Las barreras de protección de impactos viales instaladas en el país no cuentan con estudios previos que certifique su resistencia para contener accidentes de tránsito, la construcción y su ensamblaje no tienen respaldo técnico y tampoco cuentan con una certificación, por esta razón este estudio es de suma importancia ya que se desea analizar las barreras viales implementadas en el país, por medio de ensayos descritos en la normativa europea EN 1317 la misma es implementada en la mayoría de país europeos para el alcance descrito.

Para la implementación de barreras de protección debe haber un control legislativo que implemente reglamentos, normativas y controles, de los requisitos mínimos que deberían cumplir los fabricantes de estos componentes de carretera aportando como seguridad activa, por otra parte los fabricantes de automotores de todo tipo deben tomar en cuenta estos posibles accidentes y deben desarrollar bastidores y carrocerías que disminuyan las lesiones de los pasajeros de los vehículos contribuyendo a la seguridad pasiva en ingeniería automotriz.

Las barreras de protección sirven para contener a vehículos que podrían acceder a zonas peligrosas, que puede afectar la vida los pasajeros del automóvil impactado como también a peatones que se encuentre cerca de la zona de colisión.



Figura 1.1 Barreras de protección vial.

Fuente: Edison Alomaliza

Los ensayos descritos en 1317 son impactos de vehículos a las barras de protección vial, los automóviles se colisionan a cierta velocidad y con un ángulo de desfase dependiendo el peso del vehículo como indica la tabla 1.1. Los ensayos se deben realizar dependiendo el nivel de

contención que las barras estén diseñadas ver tabla 1.2. Una vez realizado el ensayo se evalúa según los Índices de severidad del impacto ver tabla 1.3, entre los principales está el índice PHD que indica la aceleración permitida de la cabeza de los pasajeros producidas en el ensayo que debe ser $\leq 20g$, el índice THIV me indica la velocidad permitida de la cabeza en el ensayo de impacto que debe ser $\leq 33\text{Km/h}$.

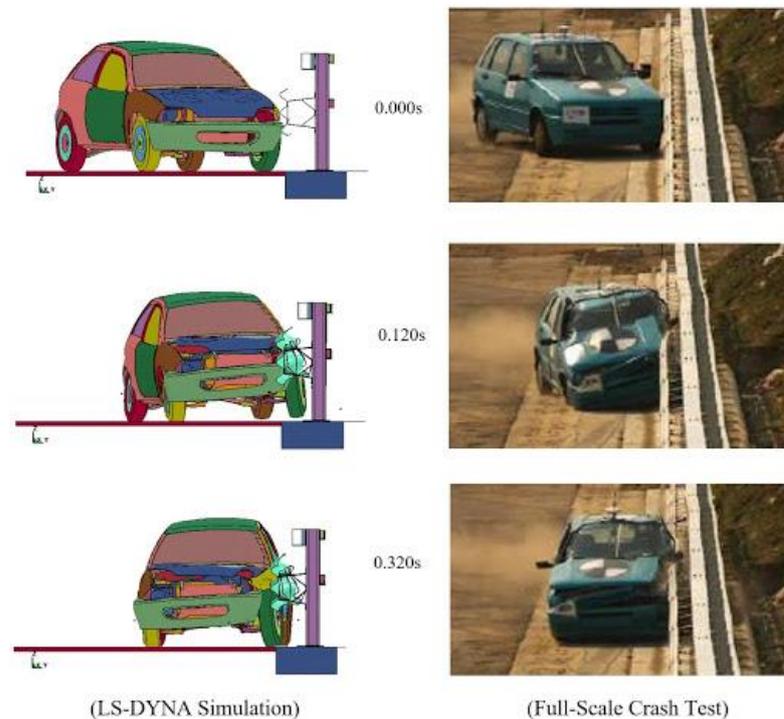


Figura 1.2 Derecha Simulación EN 1317 vs izquierda Ensayo escala real de impacto contra barrera de protección vial.

Realizado por: Edison Alomaliza

Los índices PHD y THIV se miden con acelerómetros que estas instalados en un maniquí de pruebas de impacto, para este ensayo se recomienda usar el maqui de pruebas HIBRIDO III, estos dispositivos electrónicos miden aceleración, desplazamiento, fuerza, velocidad entre otras variables. Para el presente estudio se utilizará el modelo de elementos finitos biomecánico del maniquí híbrido III.

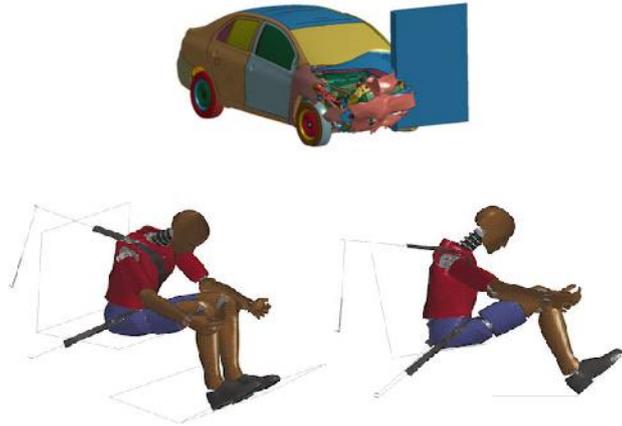
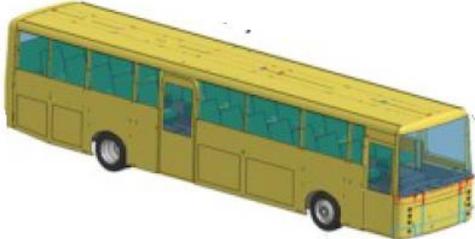
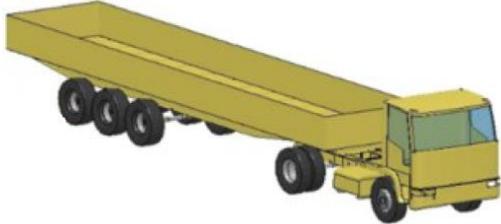


Figura 1.3 Simulación computacional FEM de impacto de automóvil con maniquí híbrido III en los mismos se pueden medir los índices PHD y THIV

Realizado por: Edison Alomaliza

Tabla 1. 1 EN 1317 Características de los ensayos según el tipo y masa del vehículo.

Tipos de vehículos según su masa	Ensayo	Velocidad de impacto (km/h)	Ángulo de impacto	Masa total del vehículo	Tipo de vehículo
	TB11	100	20	900	Turismo
	TB21	80	8	1300	
	TB22	80	15	1300	
	TB31	80	20	1500	
	TB32	110	20	1500	
	TB41	70	8	10000	

	TB42	70	15	10000	Vehículo pesado no articulado
	TB51	70	20	13000	Vehículo pesado no articulado
	TB61	80	20	16000	Vehículo pesado articulo
	TB71	65	20	30000	
	TB81	65	20	38000	Vehículo pesado articulado

Fuente: Norma UNE EN 1317, 2011

Realizado por: Edison Alomaliza

Tabla 1. 2 Niveles de contención en diferentes vehículos

Nivel de contención		Ensayo de aceptación
Baja contención  	T1	TB21
	T2	TB22
	T3	TB41 y TB21
Contención normal 	N1	TB31
	N2	TB32 y TB11
Alta contención	H1	TB42 y TB11
	L1	TB42, TB32 y TB11
	H2	TB51 y TB11
	L2	TB51 y TB32 y TB11

	H3	TB61 y TB11
	L3	TB61 y TB32 y TB11
Muy alta contención 	H4a	TB71 y TB11
	H4b	TB81 y TB11
	L4a	TB71 y TB32 y TB11
	L4b	TB81 y TB32 y TB11
<p>NOTA 1: Los niveles de baja contención se usan únicamente en caso de barreras de seguridad temporales. Las barreras temporales también se pueden ensayar para niveles de contención superiores.</p> <p>NOTA 2: Se debería considerar que una barrera ensayada con éxito para un nivel de contención determinado cumple los requisitos de cualquier nivel inferior, excepto que N1 y N2 no incluyen al T3, los niveles H no incluyen a los niveles L, y los niveles H1,..., H4b no incluyen N2.</p> <p>NOTA 3: Los ensayos TB71 y TB81 se incluyen en la norma debido a que en distintos países se han empleado vehículos pesados significativamente distintos para los ensayos y el desarrollo de barreras de seguridad de muy alta contención. Los niveles de contención H4a y H4b no deberían considerarse como equivalentes, no existiendo ninguna jerarquía entre ellos. Lo mismo ocurre con los niveles L4a y L4b.</p> <p>NOTA 4: El comportamiento de las clases de contención L mejora con respecto a las correspondientes clases H mediante la adición del ensayo TB32.</p>		

Fuente: Norma UNE EN 1317, 2011

Realizado por: Edisson Alomaliza

Tabla 1. 3 Índice de severidad del impacto

Nivel de severidad del impacto		PHD	THIV
A	$ASI \leq 1,0$	$\leq 20g$	$\leq 33Km/h$
B	$1,0 < ASI \leq 1,4$		

C	$1,4 < ASI \leq 1,9$		
---	----------------------	--	--

Fuente: Norma UNE EN 1317, 2011

Realizado por: Edison Alomaliza

Una de las razones por la que los ensayos según EN 1317 no se realizan en el país es que son muy costosos e inaccesibles debidos a que se debe ejecutar pruebas a escala real, esto implica impactar uno o más vehículos de diferentes tipos con las barreras viales (ver tabla 1). Adicionalmente a esto se deben contar con un laboratorio certificado que cuente principalmente con todos los instrumentos de medición, cámaras, fotogramas entre otros equipos que se encuentre correctamente calibrados, infraestructura, personal técnico y todos los recursos necesarios para cumplir con una certificación del laboratorio.

En el caso de países europeos por citar un ejemplo se dice que, hasta la década de 1990, los ensayos de barreras de protección viales dependían únicamente de las pruebas de choque escala real. Estas pruebas se realizaban utilizando estructuras de tamaño completo y un vehículo real, que impactaba el objeto a una velocidad y ángulo predeterminados. Estas pruebas eran costosas y difíciles que se llevaron a cabo, en las últimas décadas influyeron en el desarrollo de regulaciones, para el diseños y técnicas de construcción de carreteras más seguros como por ejemplo EN 1317. Al pasar los años el avance en procesamiento de datos y el desarrollo de computadoras cada vez más robustas, y el alto costo de las pruebas reales, motivó a realizar ensayos por ordenador suplementarios de bajos costos implementado programas de simulación que utilizan métodos de elementos finitos. Los principios de la mecánica computacional proporcionaron la posibilidad de reproducirse virtualmente eventos complejos a muy bajo costo, comparado con el ensayo a escala real y que tienen una buena correlación con la real experiencia. Para el presente proyecto se utilizará el software comercial LS-DYNA, que cuenta con un código de análisis de elementos finitos no lineal explícito versátil desarrollado por Livermore Software Technology, LST (LST, 2020). Este software es ampliamente utilizado para los análisis de seguridad vial, además, fue recomendado por US NHTSA National Highway Traffic Safety Administration para aplicaciones de análisis de accidentes y seguridad en carretera, comotambién es utilizado por NCAC National Crash Analysis Center y Euroncap European New Car Assessment Programme para la validación de pruebas de impacto.

El código LS-DYNA se caracteriza por:

- Uso de formulación lagrangiana, euleriana o mixta lagrangiana-euleriana
- Discretización espacial con elementos isoperimétricos
- Integración explícita en el dominio del tiempo
- Base de datos de más de 200 modelos de materiales.

- Modelos autom3viles desarrollados por NHTSA.
- Modelos de maquis de impactos desarrollados HUMANETICS que es uno de los principales fabricantes y distribuidores de maniqu3s de pruebas de impacto.

Modelo de barra de protecci3n analizada

Se va simular un modelo de barrera de acero empotrada a la calzada con postes y 3 gu3as horizontales de riel con secci3n transversal en W tipo A, seg3n Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO) como se muestra en la figura [2].

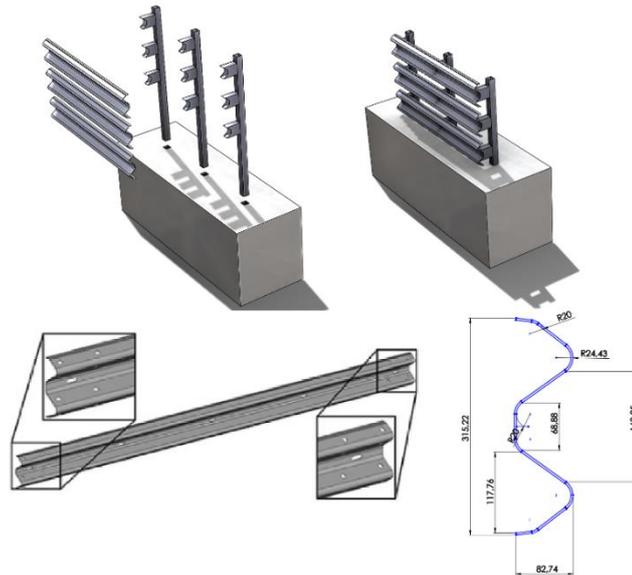
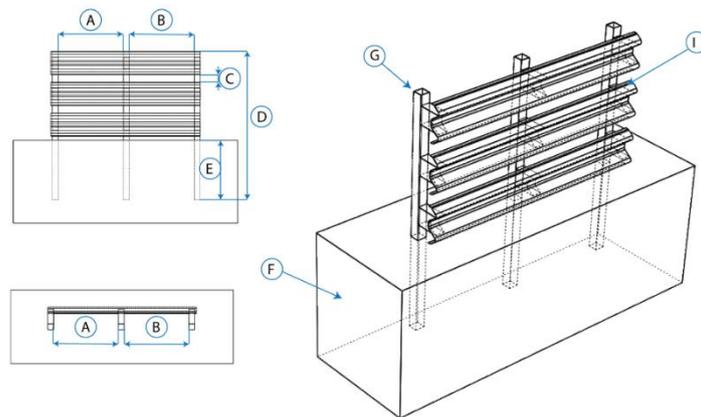


Figura 1.4 Gu3as transversales riel de tipo A dimensiones de secci3n transversal en W seg3n AASHTO [2].

Realizado por: Edison Alomaliza

En el presente proyecto se va simular dos modelos de barreras de protecci3n que representen condiciones cr3ticas de impacto, para esto se evaluara los par3metros de construcci3n que podr3an variar, En la figura se identifican algunos par3metros de construcci3n. Para seleccionar los modelos a simular se realizar3 una investigaci3n de las barreras construidas e instaladas en las v3as de la ciudad de Riobamba.



A,b.-separación entre postes, C.- distancia entre guías transversales, D.- Longitud total de postes, E.- profundidad de poste desde la calzada, F.- calzada, G.- tipo de poste y I.- tipo de guías transversales riel.

Figura 1.5 Partes de barra de protección

Realizado por: Edison Alomaliza

1.2. PROBLEMA

Las barras de protección son realizadas sin ningún tipo de control debido a que no existe normativas que regulen su construcción, producción e instalación, estos es un problema que afecta la seguridad de los pasajeros y peatones al tener carreteras inseguras debido a la falta de control legislativos y normativos. Al no haber estudios realizados en estas temáticas en barreras viales del país no se tendría el sustento técnico para poder solicitar al organismo de normalización una propuesta para controlar y normar estas estructuras.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Analizar la capacidad para atenuar impactos automovilísticos de barreras de protecciones viales en carretera, según reglamentos UNE EN 1317 por el método de elementos finitos.

1.3.2. Objetivos específicos

Generar ocho modelos FEM de autos según la masa del vehículo utilizando herramientas computacionales CAD/CAE, para simular impactos según los ensayos descritos en 1317 para:

- PBV 900 Kg. TB11 – AUTO LIVIANO
- PBV 1300 Kg (TB21, TB22)- AUTO LIVIANO
- PBV 1500 Kg (TB31, TB32) – AUTO LIVIANO
- PBV 10000 Kg (TB41, TB42) – MINI BUS
- PBV 13000 Kg (TB51)- BUS

- PVB 16000 Kg (TB61)- BUS
 - PVB 30000 Kg (TB7)- CAMION
 - PVB 38000 Kg(TB81) – CAMION ARTICULADO
- Seleccionar, modelar y generar componente FEM de barrera de protección utilizando herramientas computacionales CAD/CAE, para realizar los ensayos computacionales descritos en EN1317.
 - Validar el estudio comparando resultados de un ensayo flexión utilizando la maquina universal de 3 puntos de apoyo y su réplica en un ensayo computacional efectuando un modelo FEM implementando herramientas computacionales CAD/CAE, realizadas en una probeta de barrera vial de tipo A sección en W, para estimar el error de los resultados de los ensayos computacionales a realizar según EN 1317.
 - Proponer un diseño de barrera de protección vial para que cumpla los requisitos de resistencia en contención según EN 1317, por medio del análisis de los ensayos computacionales desarrollados en este proyecto.

1.4.HIPÓTESIS

Debido a la falta de controles y la inexistencia de normativas nacionales respecto al diseño, construcción y ensamblaje de barreras de protección vial, este estudio mostraría que los modelos de barreras protección viales no tienen la capacidad para atenuar impactos automovilísticos por lo que no serían apropiados para garantizar la seguridad de pasajeros y peatones en este tipo de impactos.

1.5.METODOLOGÍA

1.5.1. Investigación

Se recopilará toda la información técnica necesaria acerca de los diseños y procesos de construcción y del ensamblaje de barreras viales solicitando a fabricantes, organismos de control o cualquier implicado que cuente con estos datos, en las mismas se realizaran visitas in sitio para recolectar información.

1.5.2. Procedimiento de la investigación

Se modelará en 3D los 8 automóviles preseleccionados que cumplan con las características de masa del vehículo descritas en EN 1317, se utilizara el software CAD SOLIDWORKS para generar los modelos que contaran con elementos que representen la carrocería externa, bastidor-estructura, puertas, capo, vidrios laterales y parabrisas, los principales sistemas automotrices como dirección, tracción, admisión, escape, suspensión, autopartes como asientos, tableros,

consolas, sistemas de seguridad como cinturones, airbags entre otros componentes complementarios. Estos modelos de automóviles deben cumplir con requisitos de EN 1317 entre estos el más importante el peso del vehículo y la ubicación del centro de gravedad.

De igual manera se modelará en 3D dos o más barras viales de tipo A con sección transversal W variando parámetros de diseño mostrados en figura 1.5. Para el modelo se utilizará el software SOLIDWORKS.

La simulación se realizará con el software CAE LSDYNA utilizando el método computacional de elementos finitos FEM explícito no lineal aplicado a impactos de grandes deformaciones estructurales. Se realizará el pre procesamiento utilizando el software LSPREPOST y programas de edición de código, Este proceso consiste en la limpieza de modelos, generación y control de malla de elementos finitos, asignación de propiedades de materiales y de elementos, análisis y asignación de condiciones de borde como cargas sujeciones, juntas, soldadura, conexiones, restricciones, velocidades, aceleraciones, fuerzas, presiones entre otros, asignación de contactos, activación de airbags, asignación y ubicación del maniquí HIBRIDO III 50 percentil de pruebas de impacto generado por LSTC, propiedades de cinturón de seguridad, controles para obtener resultados estables entre otros.

Los códigos de simulación. k generados serán solucionados utilizando el software LSDYNA de Livermore Software Technology Corporation LSTC versión smp d R7.0.0.

Una vez realizada todos los ensayos simulados indicados en EN 1317 se realizará un control de resultados para verificar que no se encuentre errores en el pre procesamiento y solución de los modelos. Si no presentan errores los resultados pasaran a ser analizados y si tienen errores se realizar las correcciones necesarias hasta que se encuentren a conformidad.

Los resultados se procesarán y se visualizaran con el software LSPREPOST en el que se podrá visualizar la animación del proceso de impacto en periodos de tiempos controlados, también se podrá ver datos como deformación y desplazamiento máximo de las barreras de protección, esfuerzos de materiales estructurales de las barreras, bastidores, carrocería entre otros, datos biomecánicos en maniqués de pruebas de impacto como aceleración, fuerzas y desplazamientos que servirán para evaluar los criterios de lesiones descritos en figura 1.3., accionamiento de airbag, energías generadas entre otros resultados.

Para la validación de las simulaciones propuestas en el presente proyecto, se contrastará resultados por medio de un ensayo de flexión real y otro computacional, con el objetivo de estimar la incertidumbre de medición del método de simulación computacional aplicado y calcular el error de los resultados. Para realizar el ensayo de flexión se construirá una probeta de guía horizontal de riel con sección transversal en W tipo A acordes a las dimensiones permitidas para el área de prueba de la máquina de ensayos. En la figura se visualiza el proceso de ensayo de flexión real y computacional de guía horizontal componente de la barrera de protección.

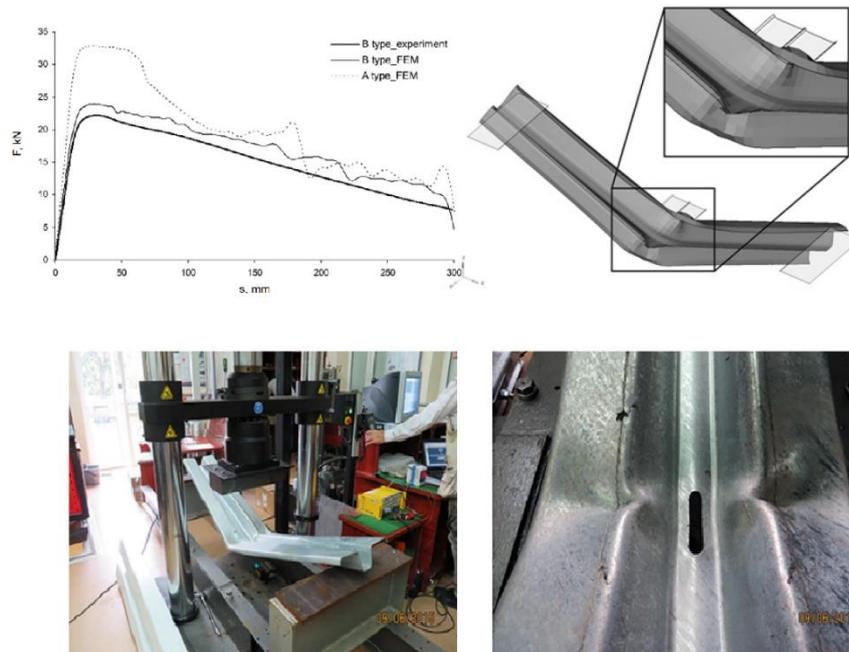


Figura 1.6 Ensayo de point bending - flexión de barra, simulado vs real [2].

Realizado por: Edison Alomaliza

Finalmente se generará una propuesta de diseño de barrera vial resistente que cumpla los requisitos de EN 1317 en base de los parámetros de diseño propuestos en figura 1.5, este modelo será documentado en planimetrías que detallen sus características dimensionales.

1.6. RESULTADOS A ALCANZAR

Los resultados que se quieren alcanzar son:

- El comportamiento de deformación plástica máxima de las barreras viales para poder evaluar su comportamiento según lo indicado en EN 1317
- El comportamiento de deformación plástica máxima de los automóviles ensayados y así evaluar su capacidad de atenuar impacto de este tipo
- Los índices PHD (Deceleración de la cabeza tras el choque) y THIV (Velocidad teórica de choque de la cabeza) dados en el ensayo de impacto medidos en el modelo computacional del maniquí híbrido III.
- Estimar el error de los resultados obtenido de las simulaciones propuestas en este proyecto, comparando resultados reales vs computacionales por medio de un ensayo de flexión realizado a una probeta de barrera vial de tipo A sección W.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Barreras de seguridad

Se definen como barreras de seguridad los sistemas de retención de vehículos instalados en los márgenes de las carreteras cuya finalidad es proporcionar un cierto nivel de contención de un vehículo fuera de control. Las barreras de seguridad se clasifican, según el material de que están formadas, en:

- ☐ **Metálicas**, estas barreras están formadas por un conjunto de elementos longitudinales en serie (raíles), por soportes (postes) y algunos elementos en el medio (separadores) que se adjuntan a los anteriores. Los soportes están predestinados a mantener la altura de contención de los rieles, para soportar la energía del choque doblándose con sentido normal hacia la carretera, y también a absorber todas las tracciones inducidas por los rieles. Por otro lado, los separadores son necesarios para reducir la severidad del choque ya que el riel está en directo contacto con el poste, el neumático delantero del auto realiza un enganche en él de esa manera adquiriendo el giro sobre sí mismo. Los rieles mencionados se deforman de una manera horizontal y transversal por ello son bastante rígidos para repartir la deformación longitudinal, así se distribuya la energía en todos los postes. La fabricación de las vallas, elementos finales y separadores se suele utilizar un acero S235JR, y un acero S253JR en los postes, con un adecuado contenido entre silicio y fosforo lo cual permita su galvanización en caliente. En la figura 2.1 a continuación se puede observar una barrera metálica real con rail de doble onda.

Barrera metálica. (Perez, 2009)



Figura 1.2 Barrera metálica
Realizado por: Autor

- ☐ **Hormigón**, estas barreras esta hechas por una continuada serie de elementos prismáticos de hormigón que involucra un perfil especial transversal. Para el modelado de fabricación de los componentes de hormigón prefabricado se utiliza hormigón de tipo HA-25. En la figura a continuación se puede observar una barrera real que se las puede ver continuamente en las autopistas. (Perez, 2009)



Figura 2.2 Barrera de hormigón
Realizado por: Eupave, 2012

- ☐ La barrera metálica denominada de doble onda es un elemento de protección vial pasiva utilizado comúnmente en las carreteras, en España principalmente como en la mayor parte de los países del mundo. Estos componentes, son conocidos como guardar rieles, están elaborados con material deformable para poder absorber al momento del impacto del automóvil. En caso de accidente, y según el ángulo de impacto, estas barreras pueden llegar a atravesar la carrocería del automóvil, invadiendo el habitáculo de seguridad y produciendo gravísimas lesiones en los ocupantes. En este estudio, el guardar raíl empleado en la simulación corresponde al modelo W-Beam Guardrail G41s desarrollado por la NCAC, el cual se encuentra publicado en su página web al alcance de todo el mundo. La figura muestra una imagen del modelo. (Perez, 2009)

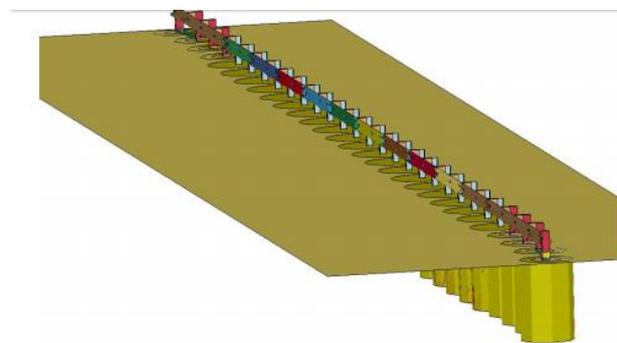


Figura 3.2. Vista general del modelo guarda raíl
Realizado por: Autor

Este modelo se trata de elementos finitos compuestos por 133 partes y 108945 nodos. El modelo lleva incorporados todos los elementos que se pueden observar en el guardar raíl

de una carretera: los raíles, los postes y los bloques de madera. También se incluye el suelo que lo sustenta, el cual tiene restringidos todos sus desplazamientos y rotaciones. (Perez, 2009)

2.2. Severidad del impacto

Al chocar un auto con algún componente o barrera de contención este genera algunos riesgos a la persona o personas que se ubican en el interior del automóvil. Por esta razón, la severidad a la que el vehículo impacte será un fundamental factor que se lo tomara presenta para analizar el comportamiento del elemento de contención, definido en la norma UNE-EN 1317, la cual calcula mediante el índice de severidad de impacto, que está en función a tres indicadores que son adquiridos a partir de los resultados de ensayos de choque de vehículos livianos. Los índices son: el índice de severidad de la aceleración (ASI), la velocidad teórica de impacto de la cabeza (THIV) y la deceleración de la cabeza tras el choque (PHD). las barreras de protección son clasificadas mediante el índice de severidad de impacto que son representadas en A, B y C, de acuerdo como presenta la norma UNE-EN 1317, observando que en la clase A la severidad más leve para las personas que se encuentran al interior del habitáculo y tomando en cuenta a la clase C como la más severa para las personas que se encuentran en el interior del automóvil. En los cuadros a continuación se especifican los índices de severidad del impacto y el valor de los indicadores ASI, THIV y PHD estipulados en la norma UNE-EN 1317 (Lanazca, 2018)

Tabla 1.2 Índice de severidad de impacto

INDICE DE SEVERIDAD DE IMPACTO	VALORES DE LOS INDICADORES	
	ASI	THIV (Km/h)
A	$ASI \leq 1,0$	≤ 33
B	$1,0 < ASI \leq 1,4$	≤ 33
C	$1,0 < ASI \leq 1,9$	≤ 33

Fuente: Norma UNE EN 1317, 2012

Realizado por: Autor.

2.3. Capacidad del re direccionamiento

Según el MTC (2008) indica que en el sistema de contención de automóviles tipo barreras de seguridad que: cualquier auto que impacte este debe ser reconducido por la barrera de contención, de una forma que la dirección de los neumáticos deben mantenerse paralelamente al punto de inicio y que se encuentra frontal a la barrera de seguridad más cercana al tráfico, ubicada a una distancia A y sobre una distancia B medida desde el cruce final (ruptura) del trayecto de los neumáticos del vehículo con el lado frontal de la barrera de seguridad más cercana al tráfico

Tipo de vehículo	Distancia de Salida (m)	
	A	B
Vehículo Ligero	$2,2 + V_A + 0.16 V_L$	10,0
Otros vehículos	$4,4 + V_A + 0.16 V_L$	20,0

Fuente: EN 1317

Donde:

V_A : Ancho del vehículo

V_L : Longitud del vehículo

Figura 4.2 Tabla del criterio para distancia de salida

Realizado por: MTC, 2016

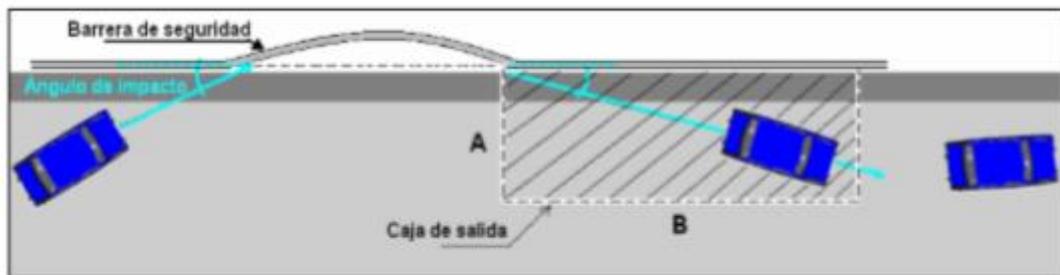


Figura 5.2 Re-direccionamiento vehicular

Realizado por: Autor

2.4. Ensayos de choque

EuroNCAP (European New Car Assessment Programme, "Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos") este es un programa desarrollado para la seguridad vehicular por gobiernos europeos, fabricantes de vehículos y organizaciones relacionadas con el sector de la automoción y la seguridad vial. Está compuesto por integrantes españoles entre ellos, destacan la Generalitat de Cataluña y Applus+IDIADA. Este consorcio nace en 1997 con el objetivo principal de analizar la seguridad y confort de los nuevos vehículos, mediante la realización de una continua serie de ensayos que tratan de reproducir diferentes tipos de accidentes, y posteriormente evalúa los daños que adquieren los ocupantes mediante los datos que generan los dummies de prueba. Dichos ensayos son analizados por grupos dentro del mismo ambiente del automóvil, de esta manera se adquiere una calificación, que se basa principalmente en un número de estrellas entre cero y cinco. Por lo tanto, esta calificación se centra en los elementos de seguridad tanto activa como pasiva, y también del grado de protección que el auto ofrece a los ocupantes, ya sean niños, adultos, y a los peatones.

Como pasan los años el número de ensayos ha ido creciendo en esta organización, incrementando en gran medida el nivel de exigencia necesaria en un automotor en material de seguridad. (Hernandez, 2015)

2.5. Clases de prestación, criterios de aceptación para los tests de impacto, métodos de prueba según la norma en EN 1317-1 e -2.

Todas las barreras viales destinadas a la instalación en terreno estabilizado, asfalto o base puente de cemento son sometidas a pruebas de impacto para certificar y calificar que se obtienen dos resultados principales:

- vehículos ligeros: absorción del impacto
- vehículos pesados: contención y transmisión del vehículo

La norma establece principalmente los criterios para el control de resultados de los test, con un objetivo primordial de proveer la seguridad del producto durante el impacto. (Buildtech)

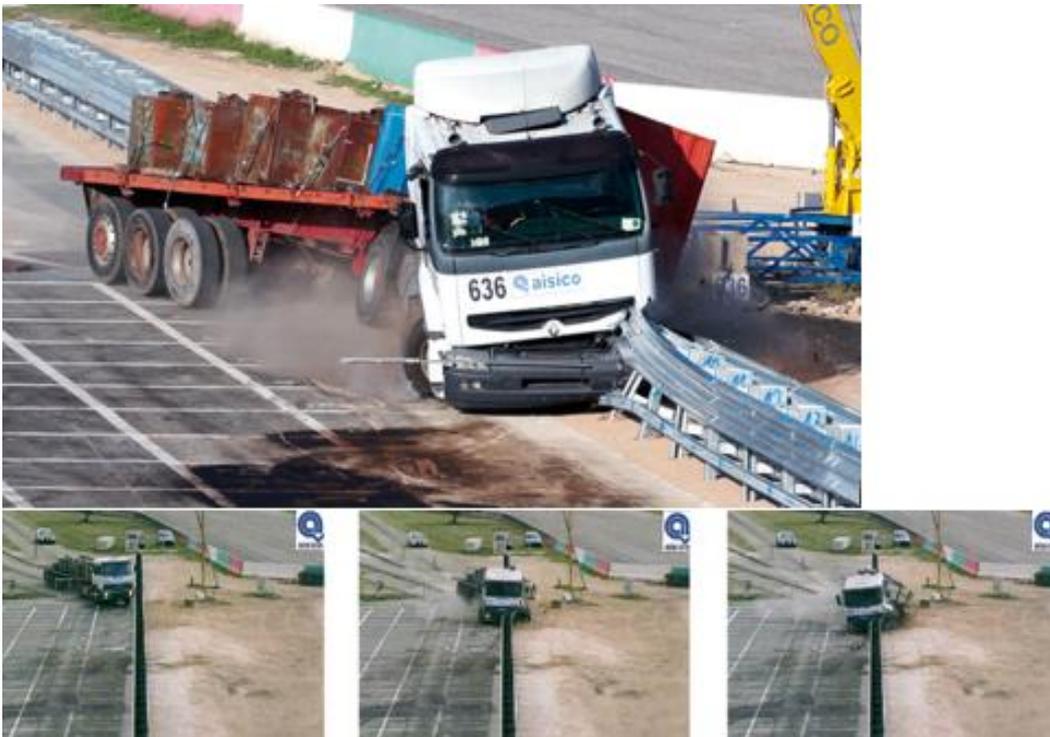


Figura 6.2 Impacto real de un vehículo pesado
Realizado por: Marcegaglia, 2008

2.6. Nivel de gravedad del impacto

Estos niveles deben necesariamente ser indicados en todas las pruebas vehiculares. Todas las barreras Marcegaglia Buildtech con perfil de onda tienen rendimiento de nivel A (ASI e THIV) marcado por valores que garantizan la mayor seguridad para los ocupantes del vehículo. (Buildtech)

2.7. Deformación de la barrera de seguridad

Esta deformación se caracteriza por el ancho operativo (W), la deflexión dinámica (D) y la intrusión del vehículo (V_i). El ancho operativo indica la distancia entre el lado hacia el tráfico antes de la colisión y la máxima posición lateral dinámica de la barrera misma.

La deflexión dinámica indica el desplazamiento lateral máximo del lado de la barrera situado hacia el tráfico. Además, el parámetro que se define como intrusión del vehículo es utilizado para medir la máxima posición lateral dinámica del vehículo. (Buildtech)

2.7.1. Otros parámetros valorados con criterios de tipo cualitativo

- Abandono de vuelco del vehículo
- VCDI: Vehicle Cockpit Deformation Index (índice de deformación de la cabina del vehículo)
- Dirección de salida en el interior del “CEN box”
- Ninguna separación completa de los principales componentes longitudinales
- Ninguna introducción en el interior del vehículo (Buildtech)

2.8. Método de elementos finitos

El método de elementos finitos en la mecánica de estructuras y del continuo publicado por primera vez en 1967. Aunque el tamaño es ahora tres veces el de la edición original se ha escrito con idénticos objetivos; el primer objetivo es, didáctico, y como segundo, proponer una base de relación del actual tema, que en estos días son reconocidos necesarios para ingenieros y físicos dedicados tanto a la práctica como a la investigación. (Zienkiewicz, 1982)

El Método de Elementos Finitos (FEM) se ha transformado en una de las tecnologías necesarias e indispensables tanto para el modelado como la simulación en sistemas de ingeniería. Escrito para ingenieros y estudiantes por igual, como objetivo primordial del libro es facilitar las teorías y técnicas necesarias del FEM para que los lectores puedan ocupar un atadizo FEM comercial para descifrar los problemas primordialmente lineales tanto en la ingeniería mecánica como civil enfocándose en primer lugar en estructuras, mecánica y transferencia de calor. (GR , y otros, 2003)

Las teorías primordiales se muestran de forma fácil y se sostienen en detalle las técnicas más modernas para diseñar y examinar sistemas de ingeniería, integrados los sistemas micro estructurales.

Los estudios de casos se usan para mostrar estas teorías, procedimientos, técnicas y aplicaciones prácticas, y se aplican varios diagramas y tablas en cada una de las piezas.

Los estudios de caso y los ejemplos usan el paquete de programa comercial ABAQUS, pero las técnicas explicadas son por igual aplicables para los lectores que usan otras aplicaciones, incluidas, NASTRAN, ANSYS, MARC, etc. (GR, y otros, 2003)

El procedimiento de recursos finitos (MEF) tiene en la actualidad un grado de desarrollo que posibilita su uso de parte de la mayor parte de diseñadores estructurales. Si bien en el pasado varios de los usuarios del MEF además estaban relacionados en la respectiva programación del pcs, hoy se puede ver que casi todos los diseñadores de construcciones se preocupan solamente por la utilización del programa que corresponde y por la interpretación de los resultados obtenidos. Gracias a la monumental dificultad vinculada al desarrollo de programas informáticos modernos con una interfaz gráfica intuitiva, el desarrollo de programa se ha restringido cada vez más a organizaciones especializadas. Por esto, el cliente programador casi desapareció, dando paso al mero cliente. Frente a un problema de estudio estructural y disponer de un programa intuitivo, es perfectamente accesible para que un diseñador obtenga resultados creíbles, inclusive una vez que no posee ingreso a la fuente del código computacional o una vez que no conoce las propiedades del modelo que está usando. ¿es primordial entonces reclamar que un alumno de ingeniería dedique parte de su tiempo a aprender formulaciones y metodologías

¿Que en su historia profesional seguramente ignora? Antecedente de la contestación a esta pregunta, se muestran varias consideraciones. (Azevedo, 2003)

Para lograr contestar a tiempo a la necesidad de justificar la estabilidad de una composición, un proyectista que desconozca las técnicas que corresponden a la formulación del MEF se verá tentado por el fácil uso de cualquier programa de cálculo. Ya que no tiene ingreso a los modelos que permanecen programados, ni tienes la base para entenderlos, se procederá a usar el programa de acuerdo con la formación recibida o con base a continuas imprevisiones. La tentación de admitir los resultados del programa es enorme, sean cuales sean aquellos resultados, debido a que estima que el programa escogido es de alta calidad. Los riesgos potenciales del uso en estas condiciones son la carencia de percepción de errores en el acceso de datos, la carencia de correspondencia entre el modelo seleccionado y la composición que se está analizando, el elaborado de que se descuidan limitaciones relevantes, etcétera. En ausencia de una comparación de los resultados del MEF con los de otros modelos, existe un grave peligro de que la estabilidad de una composición se justifique sobre la base de cálculos del todo inadecuados. Este suceso fue confirmado por el alto número de accidentes en construcciones recién construidas, así como por la monumental proporción de reparaciones que fue primordial hacer en estructuras actuales. La transmisión a los alumnos de los fundamentos de MEF, y además una introducción a la

programación informática que corresponde, son ciertamente componentes que llevarán a los futuros diseñadores a un uso más seguro del programa de estudio estructural. Existe otra motivación para continuar enseñando las bases teóricas del MEF, y es que es importante elaborar hoy a los innovadores del mañana. (Azevedo, 2003)

Por todo ello, se concluye que es fundamental seguir enseñando las técnicas en las que se basan la mayoría de los programas de elementos finitos. La principal motivación para escribir esta publicación fue organizar de manera coherente algunas de las formulaciones en las que se basó el desarrollo del programa FEMIX 4.0. Aunque ya existen versiones anteriores, la versión actual del programa ha sido completamente reescrita, con el fin de poder explorar una estructuración mucho más versátil del código computacional. Se espera, con este compromiso, producir software en el que sea sencillo desarrollar y probar nuevas formulaciones. Finalmente, agradecer a las personas que se han comprometido con el desarrollo del proyecto FEMIX y que han contribuido mucho para que todos los conceptos aquí expuestos presenten una claridad y coherencia indispensable. En particular, un agradecimiento a los presentes desde el principio, Joaquim Barros, así como a los entusiastas más recientes, José Sena Cruz y Antonio Ventura Gouveia. También agradezco a Luís Brás su trabajo en la preparación de la maqueta del puente que aparece en la portada. (Azevedo, 2003)

2.9. LS-DYNA

LS-DYNA es un paquete de programa de recursos finitos de uso general, capaz de simular situaciones complicadas de todo el mundo. Se fundamenta principalmente en el cálculo de recursos finitos, con sistemas no lineales y con una dinámica transitoria, por medio de la unión en tiempo explícita. Se usa en el ámbito automotriz, aeroespacial, creación, aplicaciones militares y de bioingeniería. Este programa fue desarrollado por la compañía Livermore Program Technology Corporation (LSTC), mediante la cual. Posibilita bajar gratuitamente desde su página web toda clase de manuales y tutoriales para la utilización del programa. La no linealidad implica complicaciones como las condiciones de contorno variables, enormes deformaciones o materiales que no muestran un comportamiento lineal. La dinámica transitoria desea mencionar que examina eventos de corta duración y de alta reproducción, donde las fuerzas iniciales poseen monumental trascendencia. De esta forma, este paquete informático se utiliza para él estudia de choques de autos, explosiones o manufacturación del metal (estampado, troquelado, etcétera). LS-DYNA se ha especializado especialmente para la industria del auto, en específico, para la investigación de accidentes de tránsito, aplicando el programa con recursos, por ejemplo cinturones de estabilidad, airbags, o maniqués, de la misma forma que se representa a continuación. (Hernandez, 2015)

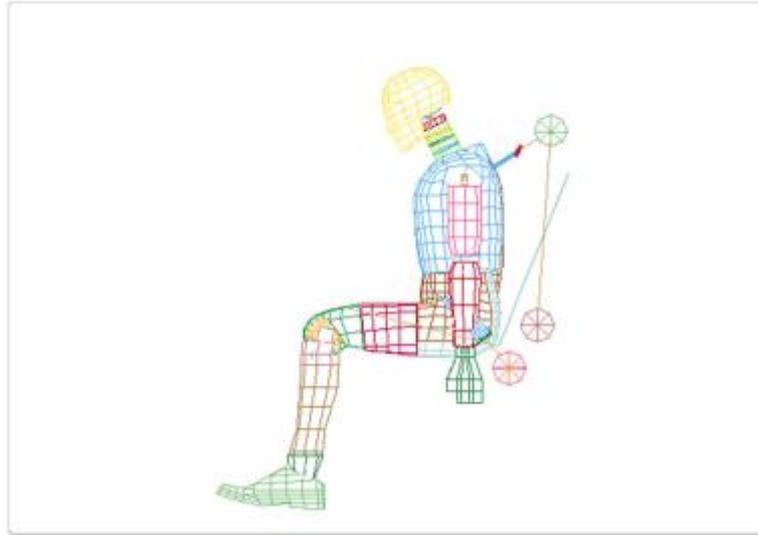


Figura 7.2 Dummy implementado en LS-DYNNNA

Realizado por: LS-DYNA, 2015

Sin embargo, LS-DYNA, LSTC además lleva a cabo un programa de pre y post procesamiento, disponible gratuitamente en su página web, denominado LSPREPOST, elemental para el desarrollo de esta tesis. LSPREPOST es una herramienta que permite involucrar todos los parámetros necesarios para el análisis que se quiere hacer. Posteriormente realiza los cálculos, y analiza todos los resultados obtenidos, así como los de forma numérica como con una interfaz gráfica avanzada. Como ya se ha mencionado con anterioridad, tanto LS-DYNA, como el procesador LSPREPOST, están muy especializados en la simulación de accidentes por lo que incluyen entre sus múltiples opciones, el cálculo directo de parámetros básicos en esta disciplina, como el Head Injury Criterion (HIC), o el Chest Severity Index (CSI). (Hernandez, 2015)

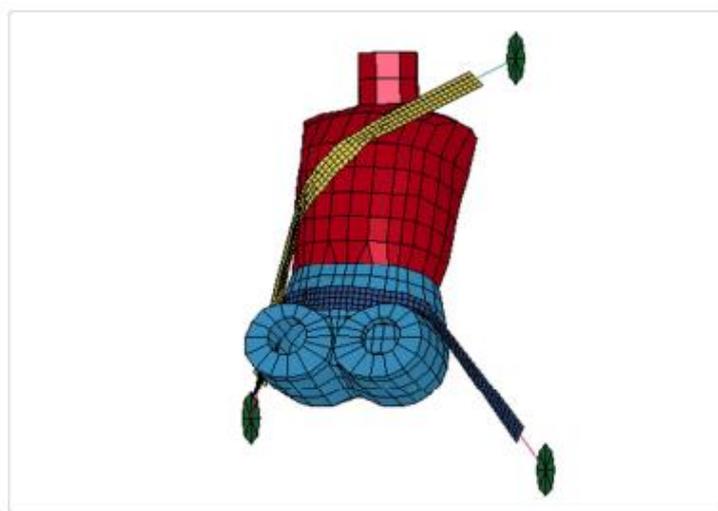


Figura 8.2 Cinturón de seguridad en LS-DYNNNA

2.10. Ecuación de modelos de estado

LS-DYNA conlleva 10 modelos de ecuaciones de estado que se detallan a continuación:

1. Polinomio lineal
2. JWL High Explosive
3. Saque "Martes" de alto explosivo
4. Gruneisen
5. Razón de polinomios
6. Polinomio lineal con deposición de energía
7. Ignición y crecimiento de la reacción en explosivos altos
8. Compactación tabulada
9. Tabulado
10. Deflagración del propulsor

Las formas de las cinco primeras ecuaciones de estado se dan en el manual del usuario de KOVEC. [Woodruff 1973] así como a continuación.

2.10.1. Ecuación de la forma de estado 1: polinomio lineal

Esta ecuación de estado polinomial, lineal en la energía interna por volumen inicial, E , viene desarrollada por:

$$p = C_0 + C_1\mu + C_2\mu^2 + C_3\mu^3 + (C_4 + C_5\mu + C_6\mu^2)E \quad (1.1.1)$$

Aquí $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ y C_6 son constantes definidas por el usuario y

$$\mu = \frac{1}{V} - 1. \quad (1.1.2)$$

donde V es el volumen relativo. En elementos expandidos, los coeficientes de μ^2 se establecen en cero, es decir.

$$C_2 = C_6 = 0. \quad (1.1.3)$$

La ecuación de estado polinomial lineal se puede utilizar para modelar gas con la ecuación de estado de la ley gamma. Esto se puede lograr configurando:

$$C_0 = C_1 = C_2 = C_3 = C_6 = 0, \quad (1.1.4)$$

and

$$C_4 = C_5 = \gamma - 1, \quad (1.1.5)$$

Donde γ es la relación de calores específicos. Entonces, la presión viene dada por:

$$p = (\gamma - 1) \frac{\rho}{\rho_0} E. \quad (1.1.6)$$

Tenga en cuenta que las unidades de E son las unidades de presión.

2.10.2. Ecuación del formulario estatal 2: JWL High Explosive

La ecuación de estado de JWL define la presión como una función del volumen relativo, V , y la energía interna por volumen inicial, E , así:

$$p = A \left(1 - \frac{\omega}{R_1 V}\right) e^{-R_1 V} + B \left(1 - \frac{\omega}{R_2 V}\right) e^{-R_2 V} + \frac{\omega E}{V}, \quad (1.2.7)$$

donde ω , A , B , R_1 y R_2 son parámetros de entrada definidos por el usuario. La ecuación de estado de JWL se usa para determinar la presión de los productos de detonación de explosivos de gran potencia en aplicaciones que implican aceleraciones de metales. Dobratz [1981] proporciona los parámetros de entrada para esta ecuación para una variedad de materiales altamente explosivos.

La ecuación descrita se la usa con el modelo de material de combustión explosiva (modelo de material 8) que determina el tiempo de encendido del elemento explosivo.

2.10.3. Ecuación del formulario estatal 3: Saque "martes" de explosivos altos.

La presión de los productos de detonación se da en términos del volumen relativo, V , y la energía interna por volumen inicial, E , como [Woodruff 1973]:

$$p = \frac{A_3}{V^{A_1}} e^{-A_2 V} \left(1 - \frac{B_1}{V}\right) + \frac{B_2}{V} E, \quad (1.3.8)$$

donde A_1 , A_2 , A_3 , B_1 y B_2 son parámetros de entrada definidos por el usuario.

Esta ecuación de estado se usa con el modelo de material de combustión explosiva (modelo de material 8) la cual determina el tiempo de encendido del elemento explosivo.

2.10.4. Ecuación del formulario estatal 4: Gruneisen

La ecuación de estado de Gruneisen con velocidad de choque cúbica-velocidad de partículas la cual manifiesta que la presión para el material comprimido como se muestra a continuación:

$$p = \frac{\rho_0 C^2 \mu \left[1 + \left(1 - \frac{\gamma_0}{2} \right) \mu - \frac{a}{2} \mu^2 \right]}{\left[1 - (S_1 - 1) \mu - s_2 \frac{\mu^2}{\mu + 1} - s_3 \frac{\mu^3}{(\mu + 1)^2} \right]} + (\gamma_0 + \alpha \mu) E, \quad (1.4.9)$$

donde E es la energía interna por volumen inicial, C es la intersección de la curva $us - up$, S_1 , S_2 y S_3 son los coeficientes de la pendiente de la curva $us - up$, γ_0 es la gamma de Gruneisen y a es la corrección de volumen de primer orden a γ_0 . Las constantes C , S_1 , S_2 , S_3 , γ_0 y a son parámetros de entrada definidos por el usuario. La compresión se define en términos del volumen relativo, V , como:

$$\mu = \frac{1}{V} - 1. \quad (1.4.10)$$

Para materiales expandidos, ya que la presión viene dada por:

$$p = \rho_0 C^2 \mu + (\gamma_0 + \alpha \mu) E. \quad (1.4.11)$$

2.10.5. Ecuación de la forma estatal 5: Razón de polinomios

La relación de la ecuación de estado de los polinomios manifiesta que la presión como:

$$p = \frac{F_1 + F_2 E + F_3 E^2 + F_4 E^3}{F_5 + F_6 E + F_7 E^2} (1 + \alpha \mu), \quad (1.5.12)$$

where

$$F_i = \sum_{j=0}^n A_{ij} m^j, \quad n = 4 \text{ if } i < 3, \quad n = 3 \text{ if } i \geq 3 \quad (1.5.13)$$

$$\mu = \frac{\rho}{\rho_0 - 1}. \quad (1.5.14)$$

En la zona expandida, F_1 se reemplaza por $F'_1 = F_1 + \beta \mu^2$. Las constantes A_{ij} , α y β son entradas del usuario.

2.10.6. Ecuación de la forma de estado 6: lineal con deposición de energía

Esta ecuación de estado polinomial, lineal en la energía interna por volumen inicial, E , está dada por

$$p = C_0 + C_1\mu + C_2\mu^2 + C_3\mu^3 + (C_4 + C_5\mu + C_6\mu^2)E, \quad (1.6.15)$$

Aquí $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ and C_6 son constantes definidas por el usuario y

$$\mu = \frac{1}{V} - 1, \quad (1.6.16)$$

La energía interna, E , se incrementa de acuerdo con una tasa de deposición de energía en función de la curva de tiempo cuya ID se define en la entrada.

2.10.7. Ecuación del formulario estatal 7: Modelo de encendido y crecimiento

Una ecuación de estado de JWLV define la presión en el alto explosivo sin reaccionar como

$$P_e = A_e \left(1 - \frac{\omega_e}{R1_e V_e}\right) e^{-R1_e V_e} + B_e \left(1 - \frac{\omega_e}{R2_e V_e}\right) e^{-R2_e V_e} + \frac{\omega_e E}{V_e}, \quad (1.7.18)$$

donde V_e es el volumen relativo, E_e es la energía interna y las constantes $A_e, B_e, \omega_e, R1_e$ y $R2_e$ son constantes de entrada. De manera similar, la presión en los productos de reacción está definida por otra forma JWLV

$$P_p = A_p \left(1 - \frac{\omega_p}{R1_p V_p}\right) e^{-R1_p V_p} + B_p \left(1 - \frac{\omega_e}{R2_p V_p}\right) e^{-R2_p V_p} + \frac{\omega_p E}{V_p}. \quad (1.7.19)$$

La mezcla de explosivo sin reaccionar y productos de reacción se define por la fracción reaccionada F ($F = 0$ implica que no hay reacción, $F = 1$ implica conversión completa de explosivo a productos). Se supone que las presiones y la temperatura están en equilibrio, y se supone que los volúmenes relativos son aditivos:

$$V = (1 - F)V_e + FV_p. \quad (1.7.20)$$

La velocidad de reacción se define como

$$\frac{\partial F}{\partial t} = I(FCRIT - F)^y (V_e^{-1} - 1)^3 [1 + G(V_e^{-1} - 1)] + H(1 - F)^y F^x P^z (V_p^{-1} - 1)^m, \quad (1.7.21)$$

donde I, G, H, x, y y m (generalmente $m = 0$) son constantes de entrada.

Las ecuaciones de estado de JWLV y las velocidades de reacción se han ajustado a los datos de principio y detonación de choque en una dimensión y dos dimensiones para cuatro explosivos: PBX-9404, RX-03-BB, PETN y TNT fundido. Cochran y Chan [1979] describen los detalles del método de cálculo. Lee y Tarver [1980] dan los cálculos y parámetros unidimensionales mostrados para los cuatro explosivos. Tarver y Hallquist [1981] analizan los cálculos en dos dimensiones con este modelo para PBX 9404 y LX-17.

2.10.8. Ecuación del formulario estatal 8: compactación tabulada

La presión es positiva en compresión y la deformación volumétrica ϵ_V es positiva en tensión.

El modelo de compactación tabulado es lineal en energía interna por unidad de volumen. La presión está dada por

$$p = C(\epsilon_V) + \gamma T(\epsilon_V)E, \quad (1.8.22)$$

durante la carga (compresión). La descarga se produce en una pendiente correspondiente al módulo volumétrico en la deformación volumétrica máxima (más compresiva), como se muestra en la Figura 1.1. La recarga sigue la ruta de descarga hasta el punto donde comenzó la descarga, y luego continúa en la ruta de carga descrita por la ecuación (1.8.22).

2.10.9. Ecuación del formulario estatal 9: tabulado

La ecuación mostrada del modelo de estado es lineal en energía interna. La presión se manifiesta por

$$p = C(\epsilon_V) + \gamma T(\epsilon_V)E, \quad (1.9.23)$$

La deformación volumétrica ϵ_V viene dada por el algoritmo natural del volumen relativo. Se pueden utilizar hasta 10 puntos y tan solo 2 al definir las funciones tabuladas. La presión se extrapola si es necesario. La carga y descarga se realizan a lo largo de la misma curva a diferencia de la ecuación de la forma de estado 8.

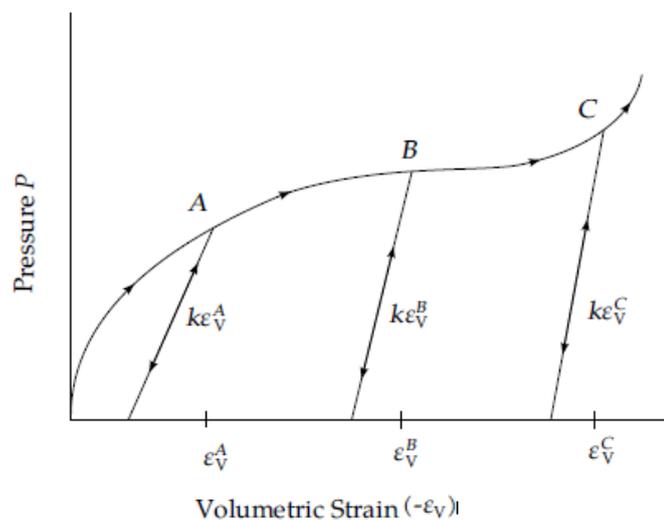


Figura 9.2 Curva de presión vs deformación volumétrica

Realizado por: Woodruff 1973

En los estados compactados, el módulo de descarga a granel depende de la deformación volumétrica máxima.

2.11. Dummy

Antes que se utilizaran los dummies en los procesos crash test, solo se podía obtener datos del auto frente a una colisión, pero en ningún caso se lograba analizar el comportamiento o daños que podía sufrir un cuerpo humano en dicha colisión. Los dummies que se utilizaron en primer lugar fueron cadáveres y animales. Fue por la construcción de un simulador de asientos eyectables y arneses de seguridad para pilotos de aviones. Dicho proyecto fue llevado a cabo por la empresa “Sierra” junto con el laboratorio “Alderson” en el año 1949. El nombre del maniquí era “Sierra Sam”. Para principios de la década de 1950 esta misma empresa junto con los laboratorios Grumman construyeron el primer dummy usado para las pruebas de colisión de automóviles y aviones. Posteriormente, el laboratorio Anderson produjo la serie “VIP-50” (construida principalmente para GM y FORD), Sierra respondió con un nuevo dummy, el “Sierra Stan”, sin embargo, GM decidió que ninguno de estos dos dummies cumplían con los parámetros que buscaban, por lo que el auténtico departamento de ingenieros de GM desarrolló su propio dummy uniendo las mejores características de los dummies “VIP-50” y “Sierra Stan”, naciendo así, en 1971 el Hybrid I. En la figura se observa el dummy modelo “VIP-50” desarrollado por el laboratorio Anderson. (Muñoz, 2011)



Figura 10.2 Dummy modelo VIP 50

Realizado por: Sierra Sam, 1950

El dummy Hybrid I tenía la función de simular a un humano masculino promedio en cuanto a masa, altura y proporciones, es decir, era un dummy percentil 50, allí se podía notar que fue un gran avance con respecto al primer dummy, el “Sierra Sam” era un percentil 95, es decir, era más pesado y más grande que el 95% de los hombres. A partir del dummy Hybrid I, a partir de ahí se ha conseguido un alto desarrollo y optimización en la búsqueda de un dummy más complejo y completo. En 1972 se construyó el Hybrid II, este tenía rodillas, hombros, y columna vertebral, con la cual daba una respuesta mas desarrollada, así fue como este dummy fue el primero en cumplir los parámetros norteamericanos para los ensayos de cinturones de seguridad. Con el paso del tiempo estos dummies se desarrollaron los cuales consiguieron un gran salto con respecto a las pruebas que se solían hacer con los cadáveres, estos dummies solo eran válidos para prueba de diseños de cinturones de seguridad, por lo que, en la búsqueda de reducción de daños a las personas, los ingenieros de GM desarrollaron, en 1976, una nueva generación de dummies, el Hybrid III. La serie Hybrid III está compuesta de varios modelos/tallas representativas de la sociedad: (Muñoz, 2011)

- Hybrid III hombre percentil 50: masa 77kg y altura de 168cm.
- Hybrid III hombre percentil 95: masa de 100kg y altura de 188cm.
- Hybrid III mujer percentil 50: masa de 50kg y altura de 152cm.
- Hybrid III niño 6 años: 21kg. □ Hybrid III niño 3 años: 15kg

En la figura se muestran distintos tipos de dummy del modelo Hybrid III.



Figura 11.2 modelo de dummy de la serie Hybrid III

Realizado por: GM, 1976

La fabricación de los dummies se los hace con diferentes materiales como son la goma, espuma, acero, aluminio para de esa manera realizar la simulación del comportamiento mecánico del cuerpo frente a una colisión. Los dummies tienen diferentes marcas ubicadas en muchas zonas como son la cabeza y rodillas, para así ayudar al análisis y estudio del choque al ver las grabaciones en cámara lenta. En la actualidad existen dummies especialmente para cada ensayo de choque (frontal, lateral contra una barrera, lateral contra un poste, atropello). (Muñoz, 2011)

2.12. Materiales

La clase de material que se utiliza en los componentes del auto corresponden con el tipo Piecewise linear plasticity, las propiedades se definen en la tabla a continuación:

Tabla 2.2 Tabla de materiales utilizados en el vehículo

	densidad (kg/mm ³)	Módulo de Young (Mpa)	coeficiente de Poisson	Límite de fluencia (Mpa)
Parabrisas	2,50E-009	7,60E+004	0,3	138
aleta izquierda	7,89E-009	2,10E+005	0,3	300
aleta derecha				
lateral derecho	7,89E-009	2,10E+005	0,3	300
lateral izquierdo				
interior capo	7,89E-009	2,10E+005	0,3	300
exterior capo				

Fuente: LS-DYNA SOFTWARE, 2015

Realizado por: LS-DYNA SOFTWARE, 2015

El material utilizado para el diseño del modelado de los componentes (salvo el parabrisas) se corresponde con un acero convencional un límite elástico relativamente bajo con respecto a otros aceros empleados en la fabricación del automóvil. La selección de este tipo de acero, es necesariamente fundamental en términos de seguridad y protección al peatón, ya que su límite elástico es relativamente bajo lo cual permite la deformación en caso de colisión, absorbiendo de esa manera la energía de la colisión, y reduciendo los daños ocasionados al peatón. (Hernandez, 2015)

2.13. Acelerómetros

A menudo, para realizar las aceleraciones obtenidas por el impactador, se fabrica un elemento llamado acelerómetro mediante el comando ELEMENT SEATBEL ACCELEROMETER. Como medida diferencial de este proyecto, en este caso, no se crea el acelerómetro, sino que mediante el cual podemos registrar las aceleraciones obtenidas por el nodo situado en el punto medio del pivote central de la base del impactador, el cual coincide con la situación de los acelerómetros en

los modelos reales. Este registro se realiza mediante el comando HISTORY NODE. (Hernandez, 2015)

CAPÍTULO III

3.1. Diseño y simulación

Para el modelado de los autos para el impacto se utilizaron 3 tipo de automóviles un liviano, mediano y pesado. El auto liviano se desarrolló en base de modelo aveo hatchback ver figura 1.3, que es uno de los vehículos más comerciales en el país, para el auto de mediano peso se utilizó el diseño de camión más liviano comercial que se encuentra en el país como es el ISUZU NLR ver figura 3.2., el último modelo de que representa al automotor más pesado es el diseño de camión Scania SH el mismo que cuenta con su tráiler de remolque. El modelado de los automóviles fue realizado en el programa CAD especializado, en el que se representó los principales componentes como bastidor o estructura, motor, parabrisas, puertas, sistemas automotrices como sistema de dirección, tracción, frenado, suspensión entre otros, como también se modelo los asientos del conductor conjuntamente con el cinturón de seguridad, anclajes de asiento, anclajes de cinturón de seguridad, y adicionalmente se diseñó accesorios como retrovisores, faros frontales y posteriores, guardachoque entre otros.

En el modelado se procuró disminuir en gran cantidad los detalles de los automotores que no aportan a la resistencia de la estructura en impactos de este tipo, por esta razón muchos de los componentes adicionales se eliminaron y así se pudo obtener un modelo los más liviano posible que sea de bajo gasto computacional y que se pueda resolver en pocas horas contando con resultados fiables.

Los modelos de los autos están realizados por medio de componentes de tipo superficie 2D, se utilizó esta opción para poder tener un modelo liviano y que facilite la malla de elementos finitos con el objetivo de tener una malla de calidad aceptable y así garantizar los resultados obtenidos. Se realizaron una revisión de posibles errores en el modelo que pudieron dar en el proceso de modelado, se identificaron errores de interferencias, separaciones y duplicados como también se solucionaron caras y aristas incorrectas, y se buscó elementos residuales, todos estos errores fueron solucionados previamente a realizar el pre procesamiento.

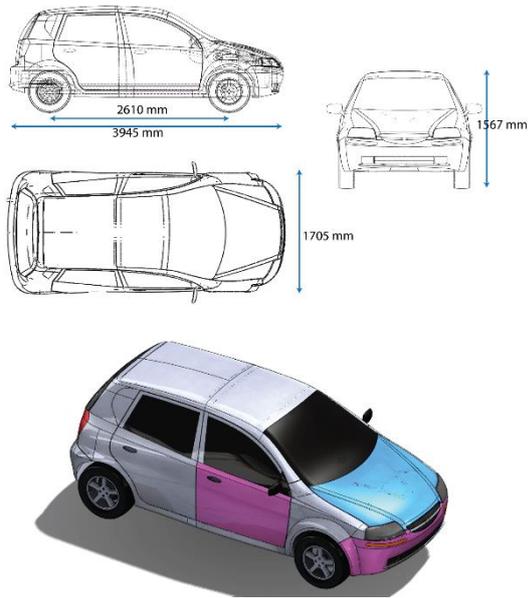


Figura 1.3 Dimensiones generales de modelo 3D Aveo Hatchback marca Chevrolet

Realizado por: Edison Alomaliza

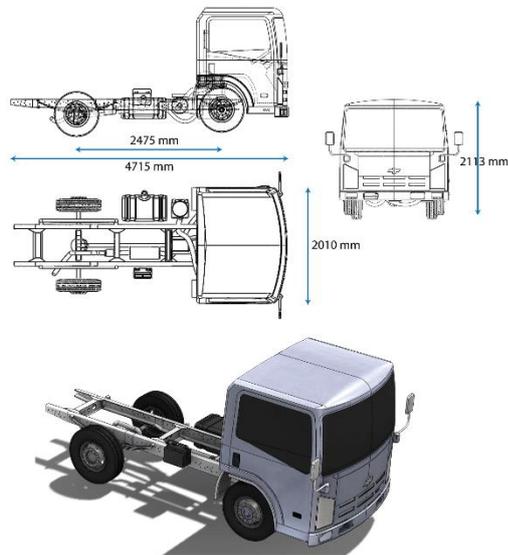


Figura 2.3 Dimensiones generales de modelo 3D camión NLR marca ISUZU – Chevrolet

Realizado por: Edison Alomaliza

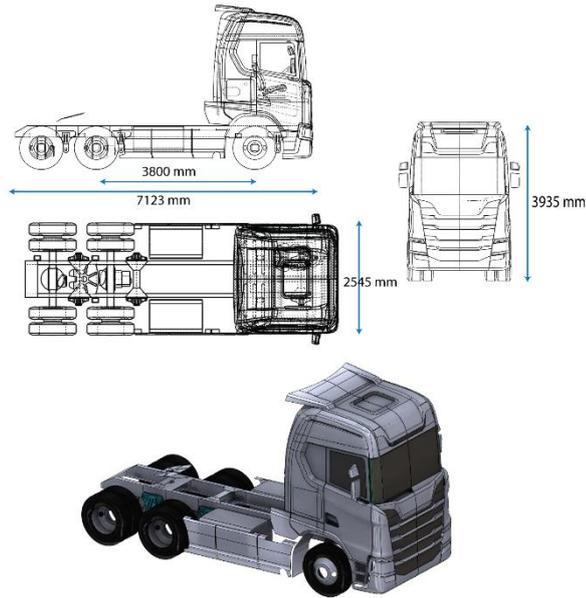


Figura 3.3 Dimensiones generales de modelo 3D camión SH marca SCANIA.
Realizado por: Autor

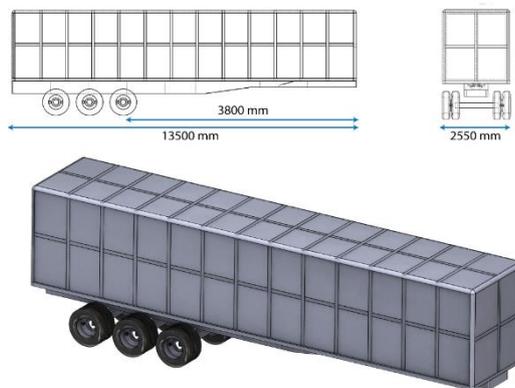


Figura 4.3 Dimensiones generales de tráiler de carga.

Realizado por: Edison Alomaliza

3.1.1. Maniquí para ensayos de pruebas

El maniquí utilizado para los ensayos computacionales es el utilizado para pruebas de impacto denominado HIBRIDO III 50 percentil de sexo masculino, desarrollado y validado por los laboratorios de LSTC, este maniquí es una representación de malla FEM, el mismo proporciona un modelo matemático que representara las condiciones y características realista del maniquí real, que se ha su vez se utiliza para representar el comportamiento del cuerpo humano para impactos en vehículos. El objetivo de modelo es poder medir las fuerzas G en la cabeza durante el ensayo

y así comparar esta magnitud con los valores aceptables indicado en los índices de severidad de impacto indicados en el reglamento EN 1317.

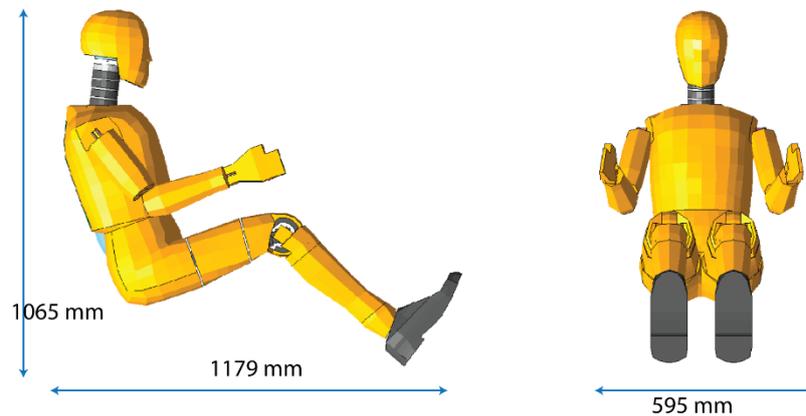
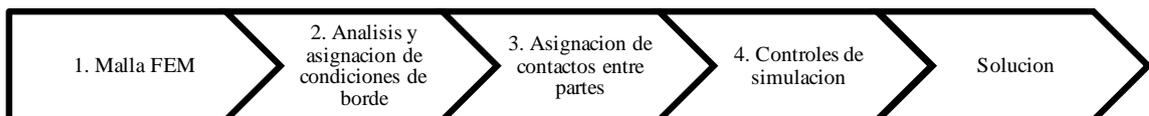


Figura 5.3 Dimensionamiento de maniquí de prueba EN 1317

Realizado por: Autor

Dimensiones generales del maniquí, estos variarían por el cambio de posición dentro del automóvil.

Una vez realizada la limpieza de los modelos se realizó el pre procesamiento, este proceso consiste en 4 fases la malla, análisis y aplicación de condiciones de borde, asignación contactos y controles.



Gráfica 1.3 Reprocesamiento de modelos

Realizado por: Autor.

3.2. Malla FEM

3.2.1. Elementos de malla del automóvil y de la barrera vial

Para la malla de los automóviles y de las barreras viales se utilizaron elementos de tipo SHELL en 2 dimensiones, obteniendo una malla uniforme con elementos cuadros en su gran mayoría y triángulos en pequeñas cantidades, se realiza una malla de tipo SHELL 2D siguiendo las recomendaciones por el desarrollador del software para realizar análisis estructurales no lineales.

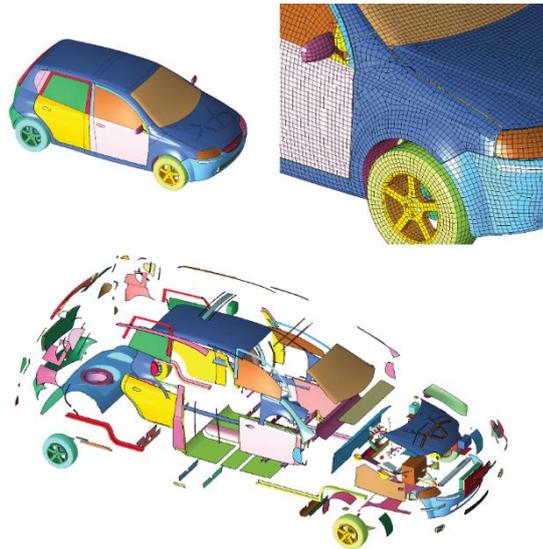


Figura 6.3 Auto liviano, grafico superior densidad de malla, grafico inferior partes del automóvil.

Realizado por: Autor

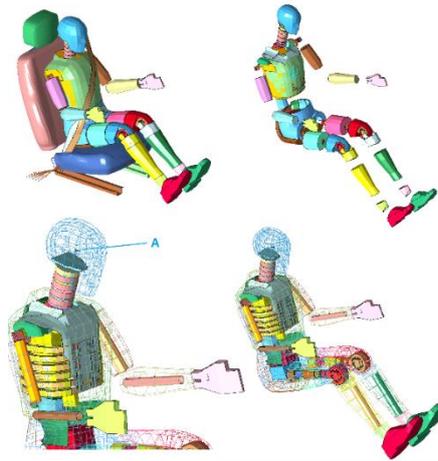


Figura 7.3 Camión pesado. Densidad de malla y sus partes

Realizado por: Autor.

3.2.2. Elementos de malla del maniquí

El maniquí cuenta con diferentes tipos de malla como elementos de tipo BEAM 1D que son utilizados para generar uniones para generar uniones fijas, como también uniones elásticas de tipo resortes y amortiguadores, otro componentes son los elementos de tipo discretos que estos también se utilizan para genera unión de tipo elástica como resorte y amortiguadores, que viene a representar articulaciones del mecanismos del maniquí, los elementos de masas también se utilizan el maniquí los mismo proporcional masas puntuales para alivianar el gasto computacional del modelo, se utiliza los acelerómetros para medir aceleraciones, fuerzas y deformaciones utilizando los elementos de tipo Seatbelt Accelerometer los mismo se ubican en las partes más propensas a lesiones como es la cabeza, pecho, abdomen y pelvis. Para el resto de componentes se utiliza malla de tipo SHELL y SOLID que vendría a representar las parte blandas externas como cabeza, pecho, pelvis, extremidades superiores e inferiores entre otros.



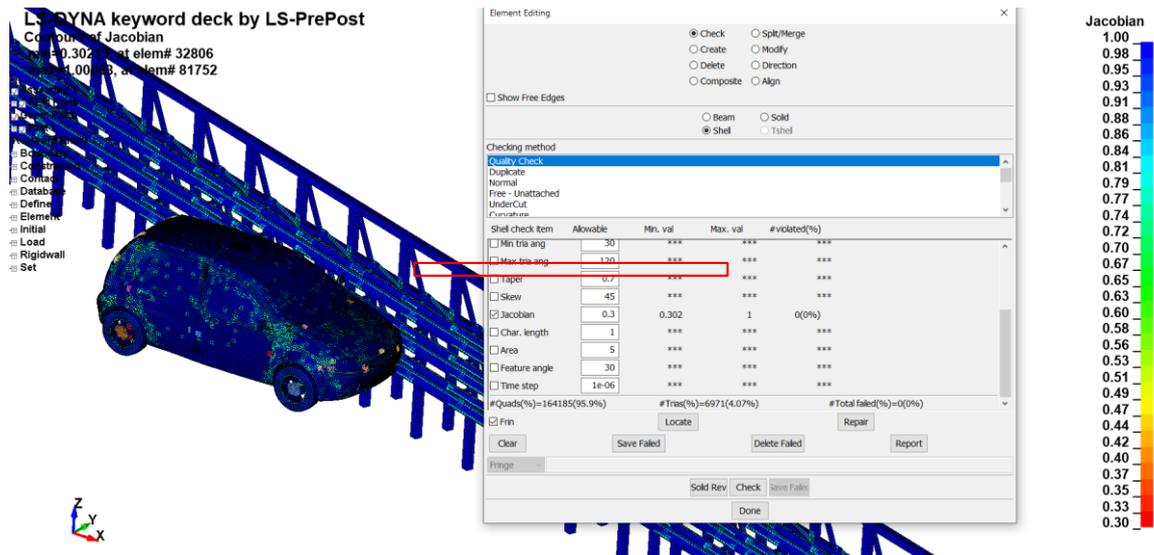
(A) identifica el acelerómetro de la cabeza.

Figura 8.3 Componentes de maniquí HIBRIDO III 50% utilizado en impactos

Realizado por: Autor

3.2.3. Índices de calidad

Todas las mallas generadas para los distintos componentes presentados para este estudio fueron revisadas según el índice de calidad de malla Jacobiano, cumpliendo el criterio de malla aceptable con un valor mayor a 0.3, esto se realizó según la recomendación del desarrollador del software.



Nota: Valores no permitidos menores a 0.3

Figura 9.3 Verificación de índice de calidad de malla Jacobiano.

Realizado por: Autor.

3.2.4. Número de elementos y nodos de modelos

Tabla 1.3 Componentes de automóviles: número de elementos y nodos.

Componentes	Elementos	Nodos
Aveo + barrera vial original	154 735	168 358
Camión NLR + barrera vial original	94 989	99 302
Camión SH SCANIA + barrera vial original	193 762	194 748
Aveo + barrera vial propuesta	170 757	173 474
Camión NLR + barrera vial propuesta	101 011	114 020
Camión SHSCANIA + barrera vial propuesta	209 784	209 466

Fuente: Autor

Realizado por: Autor.

3.2.5. Número de elementos y nodos de modelos

Para el análisis se utilizaron distintos tipos de propiedades de elementos, los elementos de tipo Shell que representa los automóviles y las barreras viales se utilizó una formulación del elemento de tipo Belytschko-Tsay que es lo recomendado para análisis de impacto estructurales, también se asignó el espesor correspondiente a la parte que conforma el componente del modelo y se utilizaron 2 puntos de integración, para el cálculo del análisis.

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 aveo final 2.k) Setting Done

*SECTION_SHELL(TITLE) (75)

TITLE
2 mm

1	SECID	ELFORM	SHRF	NIP	PROPT	QR/IRID	ICOMP	SETYP
	2	2	1.0000000	2	1	0	0	1
2	T1	T2	T3	T4	NLOC	MAREA	IDOF	EDGSET
	2.0000000	2.0000000	2.0000000	2.0000000	0.0	0.0	0.0	0

Repeated Data by Button and List

Data Pt.
Replace Insert

ELFORM:=ELFORM Element formulation options:
EQ.1: Hughes-Liu.
EQ.2: Belytschko-Tsay (default).
EQ.3: BCIZ triangular shell.
EQ.4: C0 triangular shell.

Figura 10.3 Propiedades de elementos a formular.

Realizado por: Autor

En la figura 10.3 se señala: SECTION_SHELL propiedades de la parte, ELFORM formulación del elemento, NIP número de puntos de integración, T espesor de parte.

3.2.6. Materiales de Automóviles

Para los modelos de automóviles se utilizó un acero con 0.35 GPa límite de fluencia y con 0.65GPa de limite a la tracción con una deformación unitaria de 0.3, estos valores fueron referenciados de los modelos de LSDYNA desarrollados por NHTSA y que se encuentran disponibles para su descarga en su página.

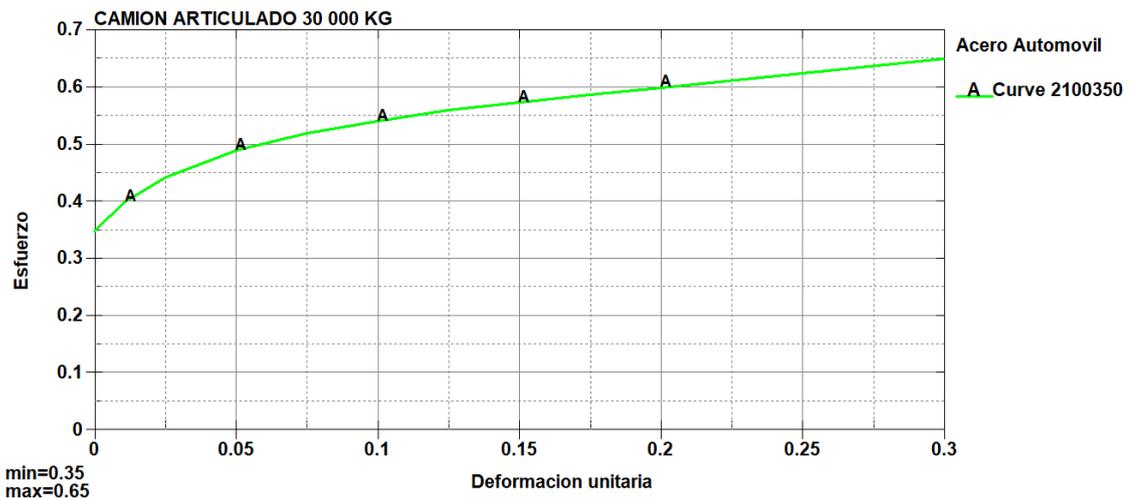


Figura 11.3 Curvas de esfuerzo deformación del material del Automóvil correspondiente al acero de código de modelos de autos por NHTSA

Realizado por: Edisson Alomaliza

3.2.7. Materiales de Barrera vial

Para el material de la barrera vial se utilizó acero con menos resistencia indicado en NTE INEN 114 referente a normalización de propiedades Mecánicas de planchas de acero delgadas de hasta

6 mm. Que cuenta con 0.176 GPa de límite de fluencia, con 0.333 GPa de límite a la tracción y con 0.32 de deformación unitaria.

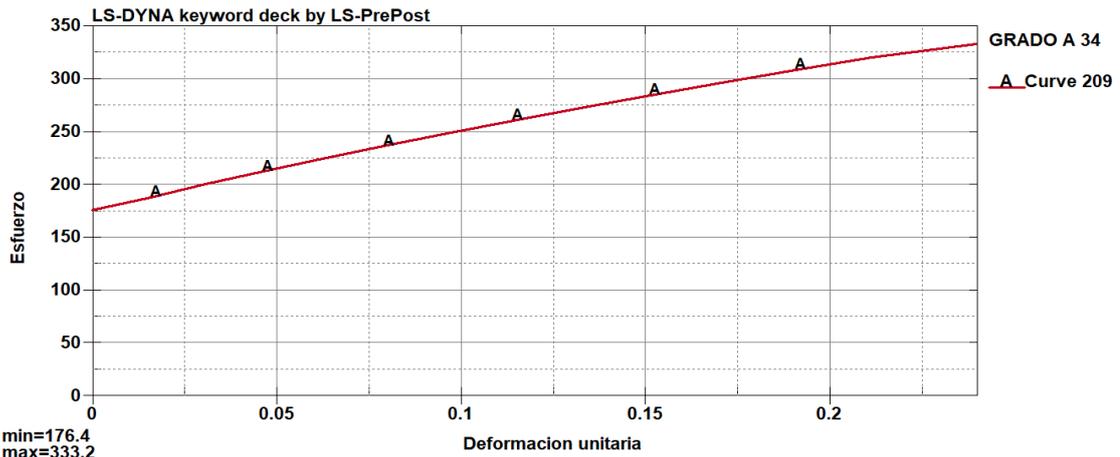


Figura 12.3 Curvas de esfuerzo deformación del material de barrera vial

Realizado por: Edison Alomaliza

La gráfica 12.3 corresponde a GRADO A 34 NTE INEN 114 PLANCHAS DELGADAS DE ACERO AL CARBONO.

A continuación, se detalla las propiedades Mecánicas de las planchas de acero delgadas comercializadas en el país y controladas por NTE INEN 114.

Tabla 2.3 Propiedades mecánicas del ensayo de tracción (valores mínimos) requeridos para comercialización de planchas delgadas según NTE INEN 114.

Requisitos	Unidad	Grado de Acero				Método de ensayo
		A 34	A 37	A 42	A 50	
		A 34E	A 37E	A 42	A 50E	
		A 34	A 37ES	A 42ES	A 50ES	
Resistencia a la tracción	MPa	334	364	412	490	
Límite de fluencia	MPa	176	196	235	295	
% alargamiento según espesor e en mm con probeta de 50 mm de d entre marcas						
$e \leq 1.0$	-	20%	17%	14%	13%	
$3.0 < e \leq 5$	-	24%	22%	18%	17%	

Fuente: NTE INEN 114, 2013

Realizado por: Autor.

Para el análisis se utilizó el material MAT_024 de comportamiento matemático no lineal que presenta falla de materiales que se utiliza para un material isotrópico como es el acero. Los aceros utilizados tienen una densidad de 7.800×10^{-6} Kg/mm³, un módulo de elasticidad de 200 GPa, y un radio de polisón de 0.3.

CAPITULO IV

4.1. ANÁLISIS Y ASIGNACIÓN DE CONDICIONES DE BORDE

4.1.1. Barreras viales

Las barreras viales se modelaron en base de una barrera vial implementada en la carretera ubicada en el tramo del paso lateral de Ambato, esta se ubica en una curva, las dimensiones se tomaron en el sitio. Los modelos se los realizo utilizando el software CAD en el que represento todas sus características generales y sus dimensiones, se utilizaron componentes de tipo superficie.

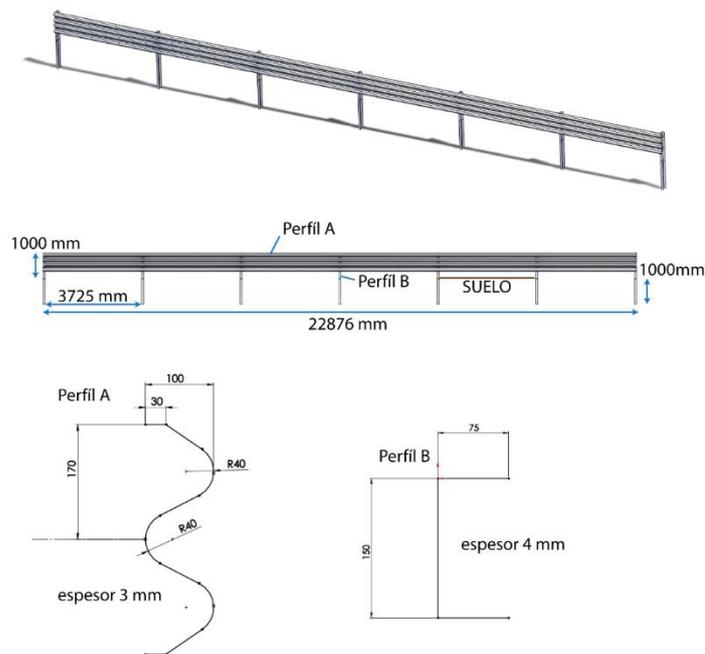


Figura 1.4 Características de barrera vial Original

Realizado por: Autor

4.1.2. Barrera vial propuesta

Para la barrera vial que se propuso en este estudio se modelo una barrera de 2 tramos con 3 hileras de perfil de barrera cada uno, las misma se conectó estructuralmente con perfiles de tipo C de 200mm x 100mm, que tienen un espesor de 3 mm, las barreras tienen pilares de tubería cuadrada de 100 mm con un espesor de 5 mm y que van empotrados al suelo con una separación de 1000 mm entre cada uno.

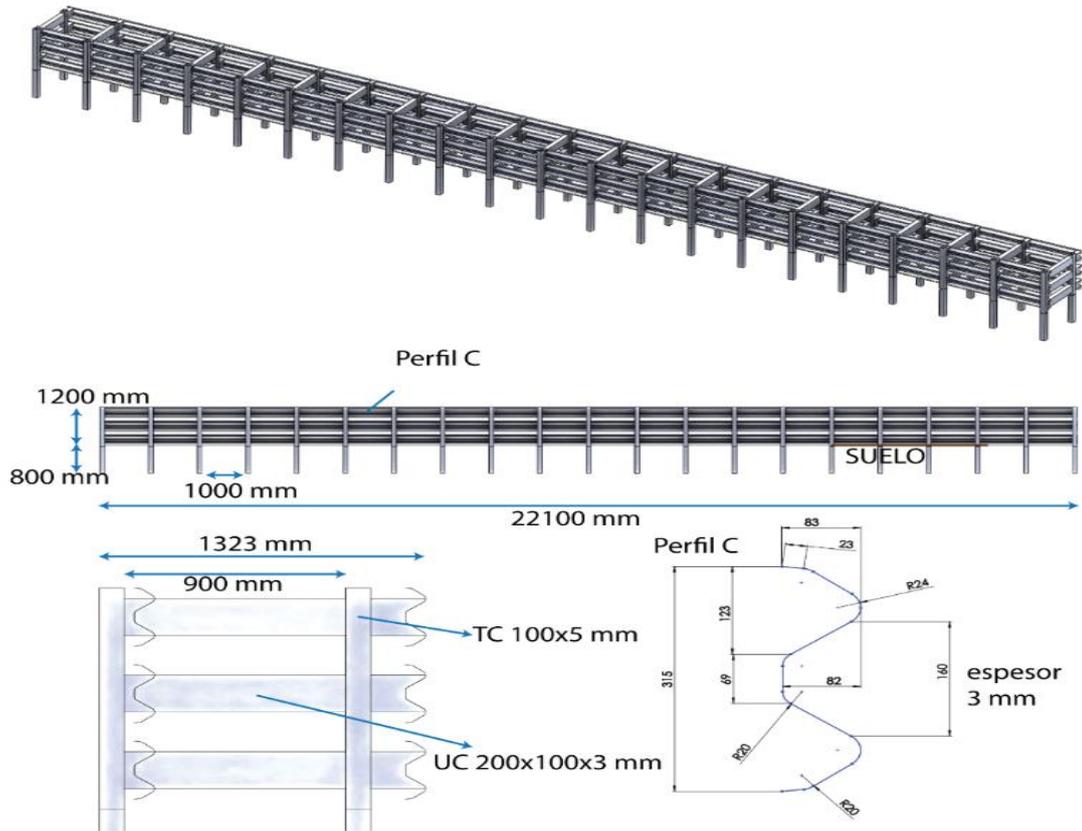


Figura 2.4 Características de barrera vial propuesta.

Realizado por: Autor

Los maniqués se ensamblan a los automóviles se colocan el cinturón de seguridad, no se considera el accionamiento del airbag para estas simulaciones y así verificar la mayor afectación del maniquí en el impacto, en especial analizando las aceleraciones en la cabeza durante la colisión.

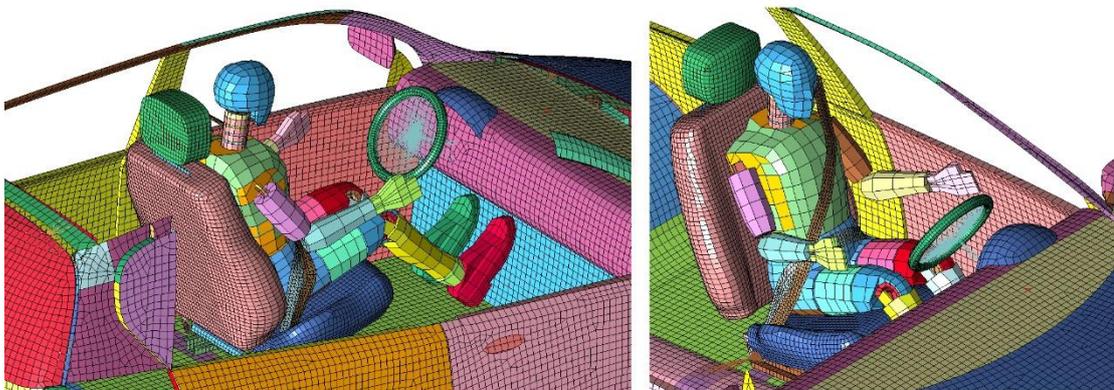


Figura 3.4 Ubicación de maniquí con cinturón de seguridad y asiento en el vehículo.

Realizado por: Autor

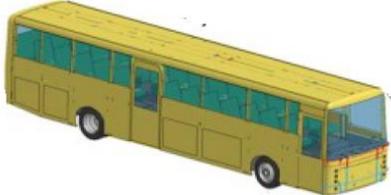
Tipos de vehículos según su masa	Ensayo	Velocidad de impacto (km/h)	Ángulo de impacto	Masa total del vehículo	Tipo de vehículo
	TB11	100	20	900	Turismo
	TB21	80	8	1300	
	TB22	80	15	1300	
	TB31	80	20	1500	
	TB32	110	20	1500	
	TB41	70	8	10000	Vehículo pesado no articulado
	TB42	70	15	10000	
	TB51	70	20	13000	Vehículo pesado no articulado
	TB61	80	20	16000	Vehículo pesado articulo
	TB71	65	20	30000	
	TB81	65	20	38000	Vehículo pesado articulado

Tabla 1.4 Características de los ensayos según el tipo y masa del vehículo EN 1317

Fuente: UNE EN 1317, 2011

Realizado por: Autor

Para el estudio se realizarán 4 ensayos para comprobar la seguridad en el conductor y el nivel de contención de las barreras viales, para esto se evaluará las condiciones de ensayo TB11, TB32, TB51 y TB71 descritas la tabla del reglamento EN 1317 para proponer una barrera vial de alta

contención de tipo L4a descrita en la tabla. Se considera 3 tipos de vehículos con 4 distintas masa, velocidades y ángulo de impacto a la barrera vial, se utilizará el modelo de camión pesado con 2 masas distinta para 13000 Kg y 30000 Kg para realizar los ensayos TB51 y TB71, el incremento de masa se realizar por medio de elementos masas asignado en la carga del tráiler.

Tabla 2.4 Niveles de contención

Nivel de contención		Ensayo de aceptación	
Baja contención  	T1	TB21	
	T2	TB22	
	T3	TB41 y TB21	
Contención normal 	N1	TB31	
	N2	TB32 y TB11	
Alta contención   	H1	TB42 y TB11	
		L1	TB42, TB32 y TB11
	H2		TB51 y TB11
		L2	TB51 y TB32 y TB11
	H3		TB61 y TB11
		L3	TB61 y TB32 y TB11
Muy alta contención  	H4a	TB71 y TB11	
	H4b	TB81 y TB11	
	L4a	TB71 y TB32 y TB11	
	L4b	TB81 y TB32 y TB11	
NOTA 1: Los niveles de baja contención se usan únicamente en caso de barreras de seguridad temporales. Las barreras temporales también se pueden ensayar para niveles de contención superiores.			
NOTA 2: Se debería considerar que una barrera ensayada con éxito para un nivel de contención determinado cumple los requisitos de cualquier nivel inferior, excepto que N1 y N2 no incluyen al T3, los niveles H no incluyen a los niveles L, y los niveles H1, ..., H4b no incluyen N2.			

NOTA 3: Los ensayos TB71 y TB81 se incluyen en la norma debido a que en distintos países se han empleado vehículos pesados significativamente distintos para los ensayos y el desarrollo de barreras de seguridad de muy alta contención. Los niveles de contención H4a y H4b no deberían considerarse como equivalentes, no existiendo ninguna jerarquía entre ellos. Lo mismo

ocurre con los niveles L4a y L4b.

NOTA 4: El comportamiento de las clases de contención L mejora con respecto a las correspondientes clases H mediante la adición del ensayo TB32.

Fuente: UNE EN 1317, 2011

Realizado por: Autor.

Para evaluar el nivel de contención se utilizará los criterios descrito en el reglamento EN 1317, evaluando la deflexión dinámica y la anchura de trabajo. Se midió estos valores en las simulaciones realizadas.

Sí, D = Deflexión dinámica y W = anchura de trabajo

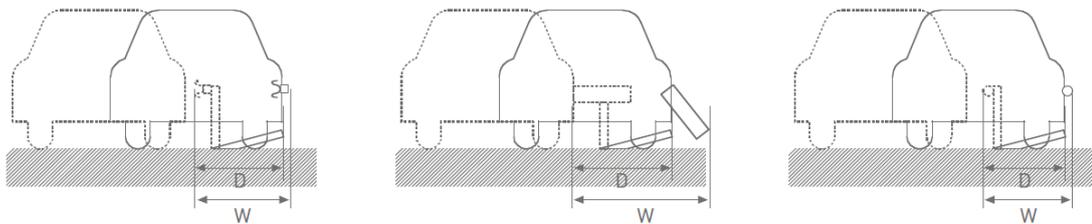


Figura 4.4 Deflexión dinámica y anchura de trabajo

Realizado por: UNE EN 1317, 2011

Tabla 3.4 Índice de severidad del impacto

Numero de Simulación	Automóvil	Tipo de ensayo EN1317	Peso Kg	Velocidad de impacto	Angulo de Impacto	Tipo de barrera vial
1	Aveo	TB11	900	100	20	Original
2	Camión ISUZU NLR	TB32	1500	110	20	Original
3	Camión SCANIA SH	TB51	13000	70	20	Original

4	Camión SCANIA SH	TB71	30000	65	20	Original
5	Aveo	TB11	900	100	20	Propuesta
6	Camión ISUZU NLR	TB32	1500	110	20	Propuesta
7	Camión SCANIA SH	TB51	13000	70	20	Propuesta
8	Camión SCANIA SH	TB71	30000	65	20	Propuesta

Fuente: Autor

Realizado por: Autor

En la figura indicada a continuación se muestra las velocidades asignadas a los modelos de los automóviles para el impacto, recalcando que el camión pesado de modelo SCANIA SH realizará 2 simulaciones con condiciones diferentes de velocidad y peso, el uno será de 13000 Kg con una velocidad de 70 Km/h, y el otra será con una masa de 30000 Kg y una velocidad de 65Km/h.

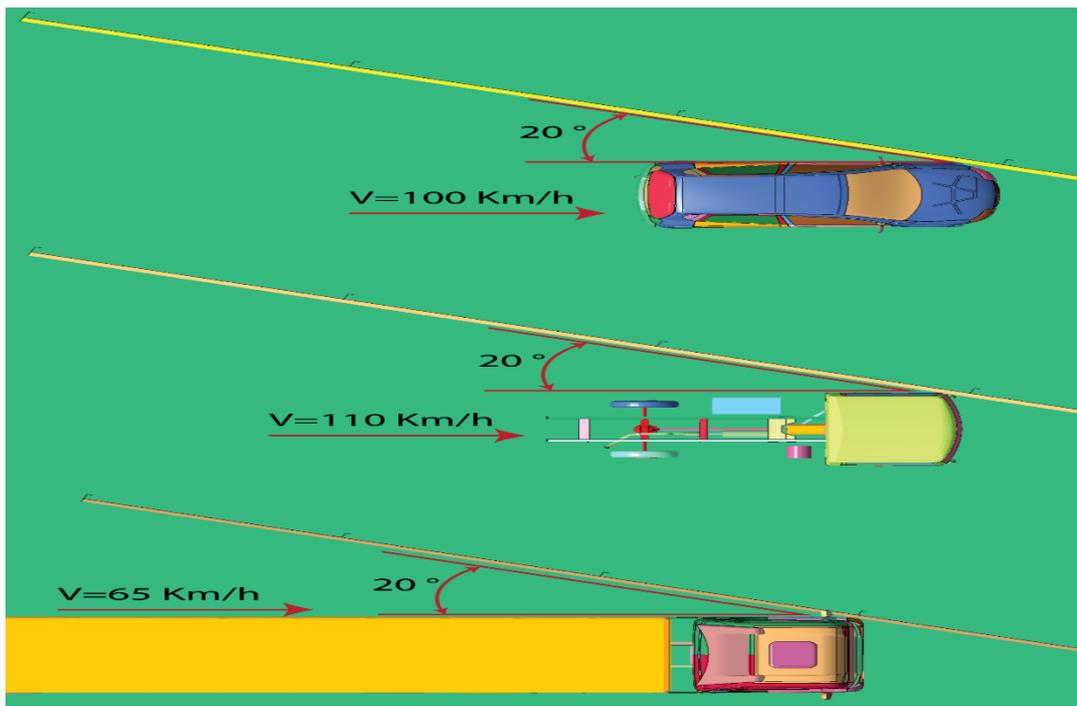


Figura 4. 5 Velocidad de modelos de automóviles para simulación de impacto contra barreras viales.

Realizado por: Autor

4.1.3. Condiciones de impacto de vehículos vs barrera vial

Las condiciones de borde utilizadas en las simulaciones representan soportes, velocidad, uniones, contactos entre las partes a impactar, entre otras funciones, a continuación, se detalla cada una de las condiciones aplicadas en las simulaciones y su función:

Tabla 4.4 Condiciones de impacto

Carta de control KEYWORD	Detalle	Descripción de aplicación
BOUNDARY SPC_SET	Soportes fijos	En barras de piso
CONSTRAINED EXTRA NODE SET	Une dos o más partes	Maniquí
CONSTRAINED JOINT	Genera juntas entre partes	Maniquí
CONSTRAINED NODAL RIGID BODY	Une dos o más partes	Maniquí y camión
CONSTRAINED RIGID BODY	Une dos o más partes rígidas	Maniquí y camión
CONSTRAINED SPOTWELD	Une dos o más partes	Camión
CONTACT	Contactos entre partes	Todos los componentes
CONTROL	Controla el proceso de simulación	
DATABASE	Asigna que tipo de resultados se desean obtener y a qué periodo de tiempo	
DEFINE	Define curvas, sistemas coordinado para controlar los modelos	Maniquí, materiales curva de esfuerzo deformación, define gravedad por medio de curva.
ELEMENT	Generación de elementos	Elements Beam, shell, solid, discretos, masa, seat belt accelerometer.

HOURGLASS	Control de energía residual de Hourglass	Todos los componentes
INITIAL	Genera velocidad inicial de impacto	
KEYWORD	Carta obligatoria que inicializa la simulación	
LOAD	Aplica cargas en partes	Se utiliza para asignar la gravedad
MAT	Asigna modelos matemáticos de materiales	Todos los componentes
NODE	Generación de nodos del modelo	
PART	Asigna partes para aplicar propiedades	
RIGID WALL	Asigna una pared rígida	Se utiliza para asignar el piso
SECTION	Asigna propiedades a las partes	Asigna tipo de formulación, espesores, secciones transversales, masas entre otras condiciones de elementos
SET	Asigna conjuntos de nodos, partes, segmentos y cajas	
TITLE	Asigna un título al modelo	

Fuente: Autor

Realizado por: Autor

4.1.4. Soportes fijos de la simulación

Los soportes fijos se asignaron a los elementos estructurales de tipo pilar que unen la berrearía vial con el piso con una profundidad de 500 mm dentro del suelo, el soporte restringe todos los grados de libertad sin permitir ningún tipo de desplazamiento.

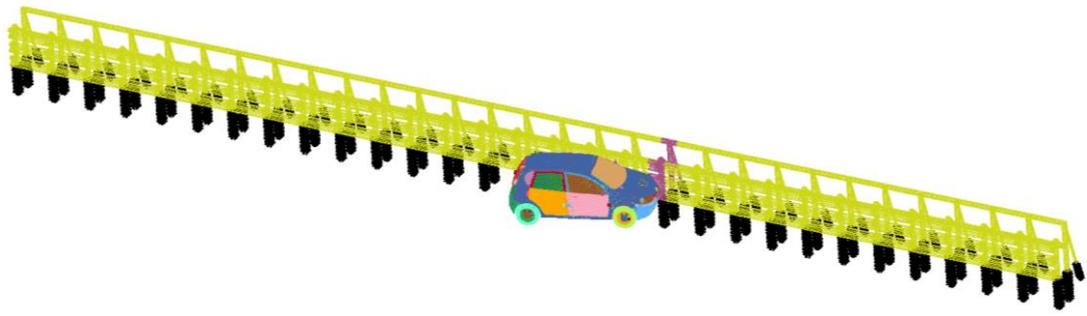


Figura 6.4 Soportes fijos en barrera vial propuesta

Realizado por: Autor

4.1.5. Asignación de contactos entre partes

Se utilizó el contacto de tipo superficie sobre superficie de una manera automática utilizando la carta de control *CONTAC_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE, Los contactos generados se realizaron entre el vehículo y la barrera vial, el maniquí con el asiento del automóvil, el automóvil con el suelo por medio de RIGIDWALL y un contacto general entre los componentes del automóvil.

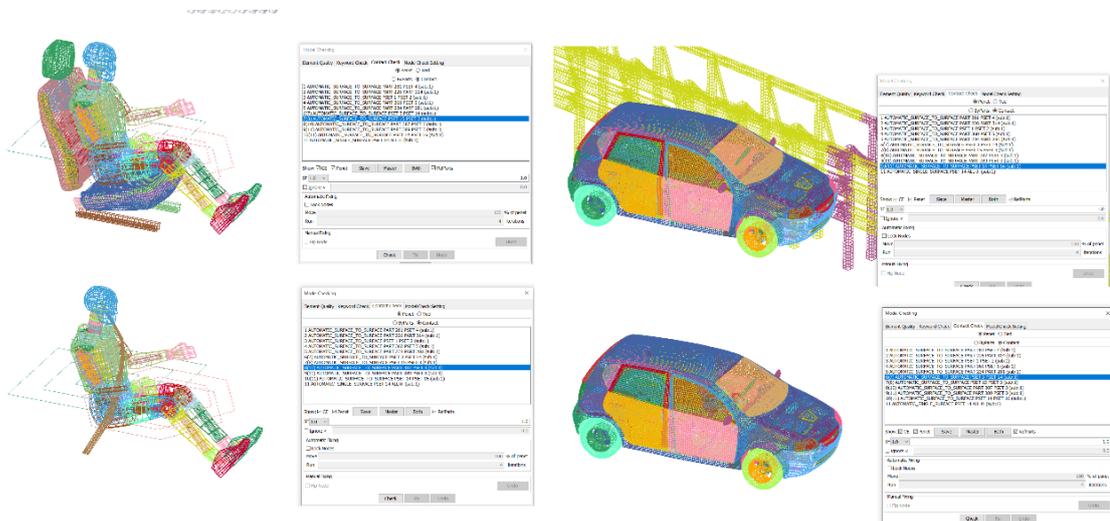


Figura 7.4 Asignación de contacto en el modelo

Realizado por: Autor

4.2.6. Controles de simulación

Tabla 5.4 Controles de simulación

Tipo de control	Aplicación	Observación
Energy	Activación para calcular energías como la energía de Hourglass, de deslizamiento entre otras	
Hourglass	Control para reducir en gran medida la expansión de la energía de hourglass de forma general para todos los componentes	Para el análisis se utilizo un IHQ 5 y QH 0.1 para controlar la energía de Hourglass
Shell	Controla el comportamiento de los elementos finitos de tipo Shell durante la simulación	
Termination	Asigna el tiempo de simulación esta carta es obligatoria	Se simularon los modelos para un tiempo promedio de 500 ms
Timestep	Controla los pasos de tiempo y los ciclos de solución de los modelos	

Fuente: Autor

Realizado por: Autor

La solución se realizó utilizando un computador de marca Toshiba, con un procesador Intel XEON con 16 núcleos, con 32 Gb en RAM, se utilizó el SOFTWARE LSDYNA de versión R8 single precisión, las simulaciones tardaron un promedio de 10 horas cada una.

4.2. Resultados

Tabla 6.4 Resultados de simulación con diferentes tipos de barreras

Denominación	Valor	Observación
BARRERA ORIGINAL		
1. Auto liviano AVEO 900 Kg		
W anchura de trabajo	1025 mm	
Fuerza G en cabeza	1.55G	

2. Camión liviano NLR 1500 Kg		
W anchura de trabajo	6268 mm	
Fuerza G en cabeza	0.31G	
3. Camión pesado SCANIA 13000 Kg		
W anchura de trabajo	NO SE PUEDE MEDIR	Sobre pasa el vehículo la barrera de protección
Fuerza G en cabeza	0.35G	
4. Camión pesado SCANIA 38000 Kg		
W anchura de trabajo	NO SE PUEDE MEDIR	Sobre pasa el vehículo la barrera de protección
Fuerza G en cabeza	0.35G	
BARRERA PROPUESTA		
5. Auto liviano AVEO 900 Kg		
W anchura de trabajo	35 mm	
Fuerza G en cabeza	1.77G	
6. Camión liviano NLR 1500 Kg		
W anchura de trabajo	61 mm	
Fuerza G en cabeza	2.38	
7. Camión pesado SCANIA 13000 Kg		
W anchura de trabajo	784 mm	
Fuerza G en cabeza	0.19G	
8. Camión pesado SCANIA 38000 Kg		
W anchura de trabajo	3005 mm	La cabina del vehículo se deforma en su totalidad
Fuerza G en cabeza	2.61G	

Fuente: Autor

Realizado por: Autor

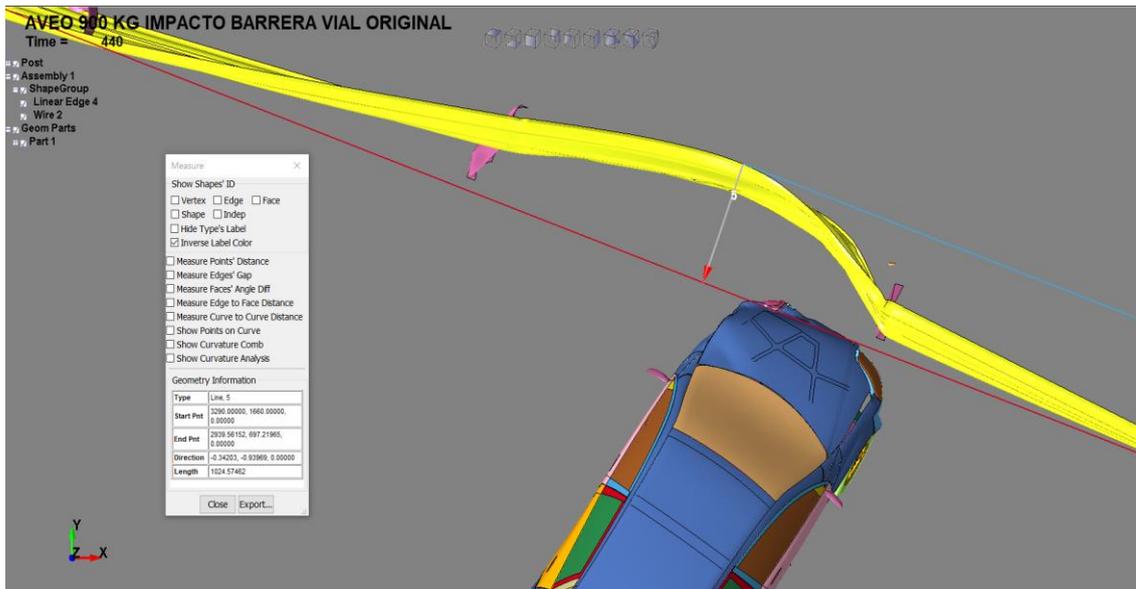


Gráfico 2.4 Impacto barrera vial original ensayo TB11 (Aveo 900Kg, 100Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo $W = 1025$ mm.

Realizado por: Autor

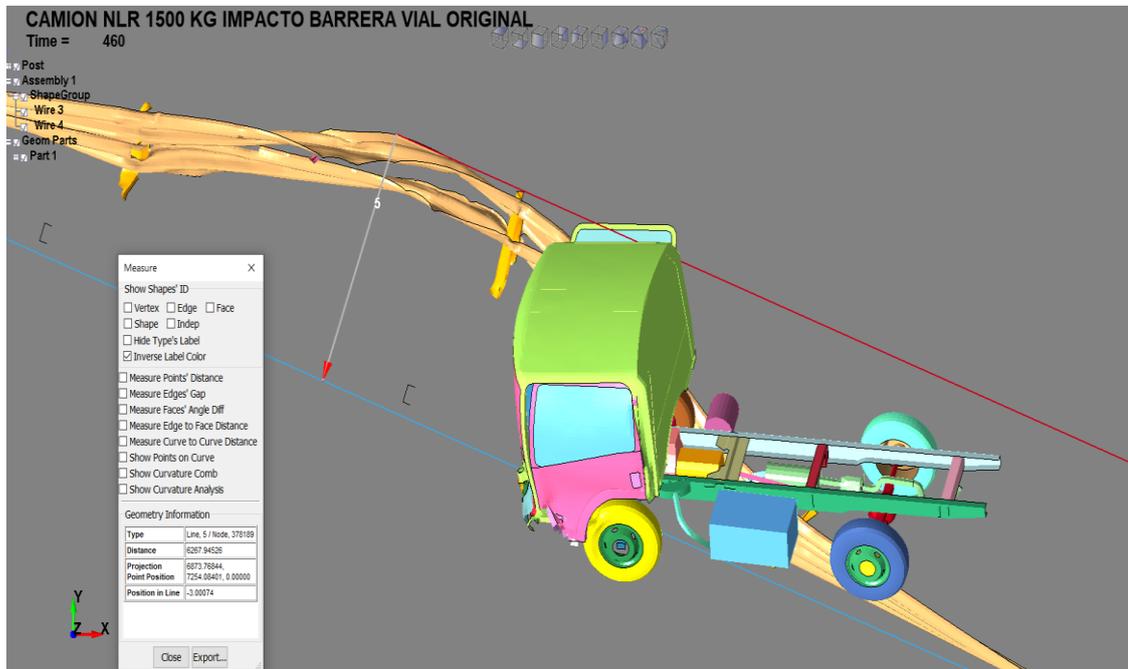


Gráfico 3.4 Impacto barrera vial original ensayo TB32 (NLR 1500Kg, 110Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo $W = 6268$ mm.

Realizado por: Autor

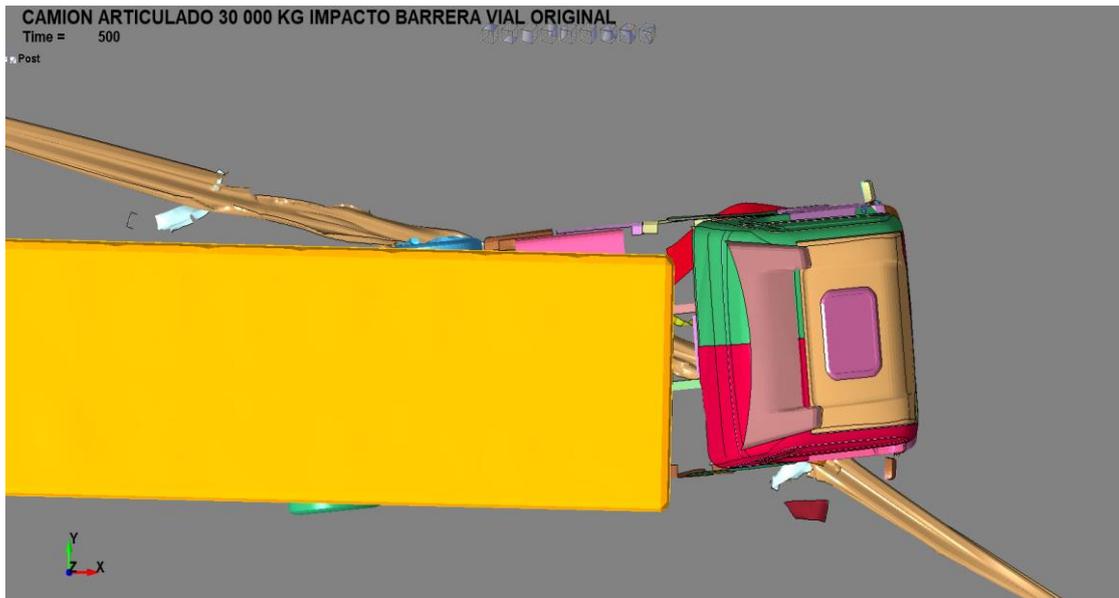


Gráfico 4.4 Impacto barrera vial original ensayo TB51 (SCANIA 13000Kg, 70 Km/h, ángulo 20°).

Realizado por: Autor

NOTA: Medida de anchura de trabajo W no se puede medir por que el vehículo sobre pasa la barrera.

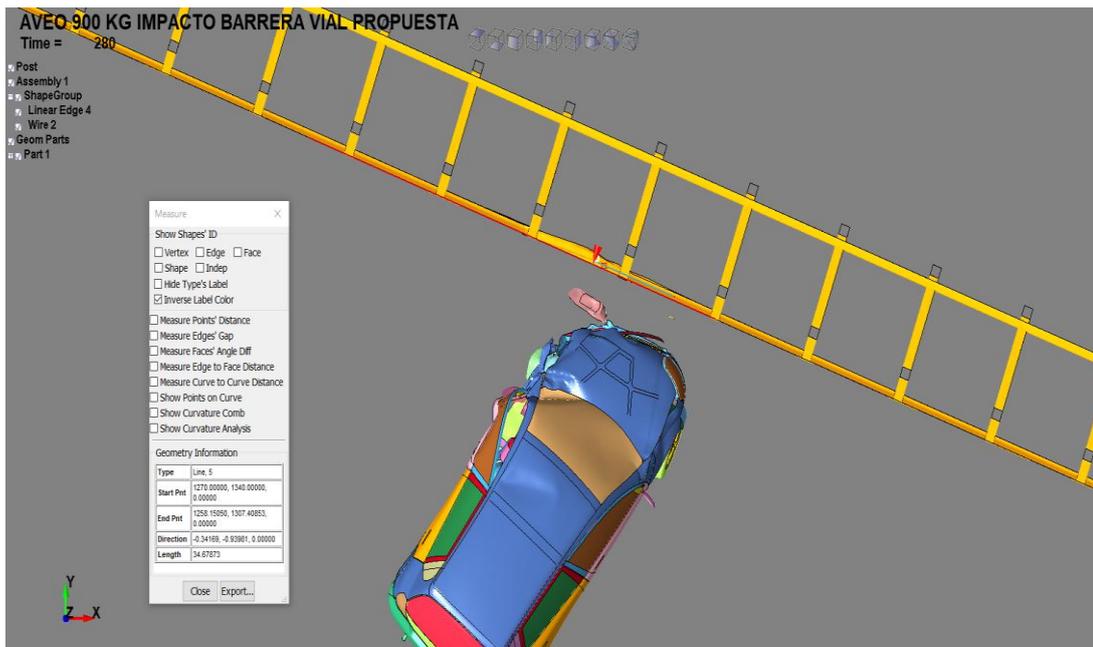


Gráfico 5.4 Impacto barrera vial propuesta ensayo TB11 (Aveo 900Kg, 100Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo W = 35 mm

Realizado por: Autor

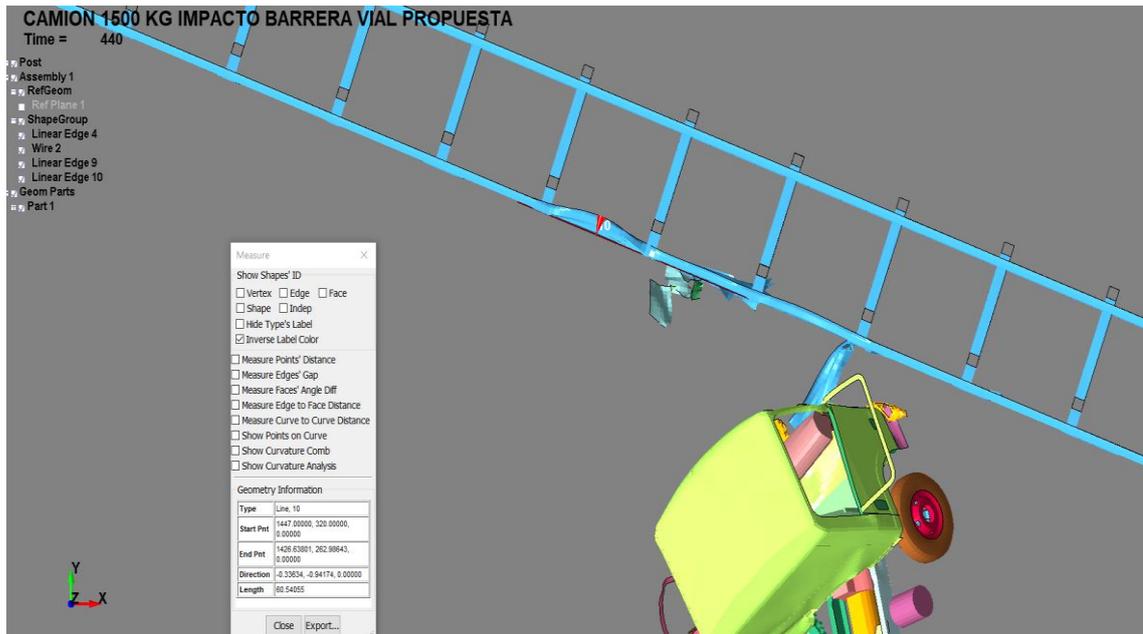


Gráfico 6.4 Impacto barrera vial propuesta ensayo TB32 (NLR 150Kg, 110Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo $W = 61$ mm.
Realizado por: Autor

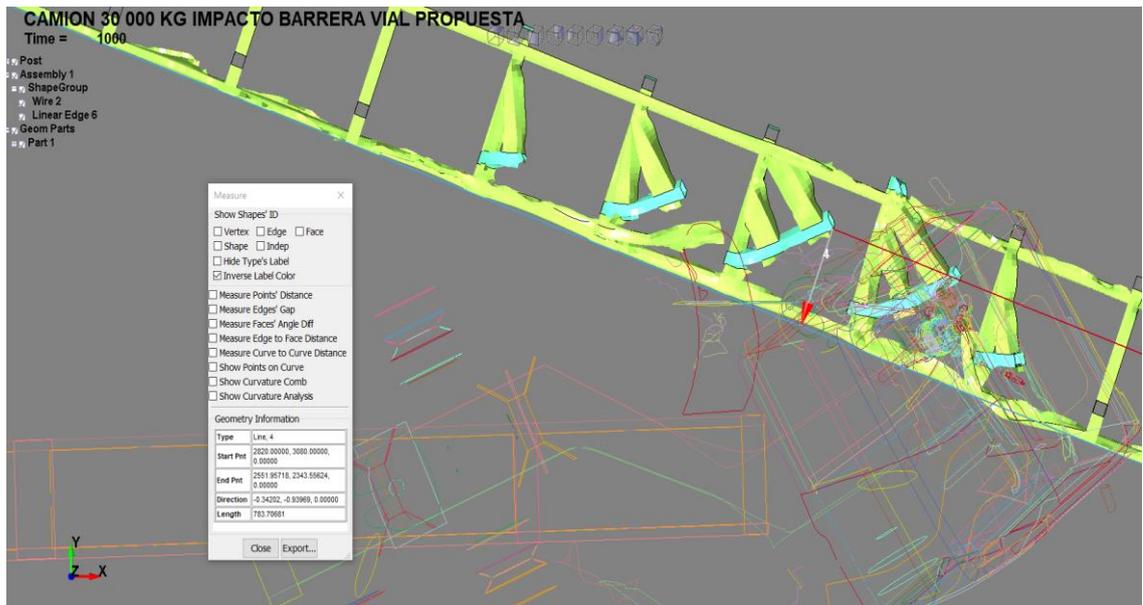


Gráfico 7.4 Impacto barrera vial propuesta ensayo TB51(SCANIA 13000 Kg, 70Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo $W = 784$ mm.
Realizado por: Autor

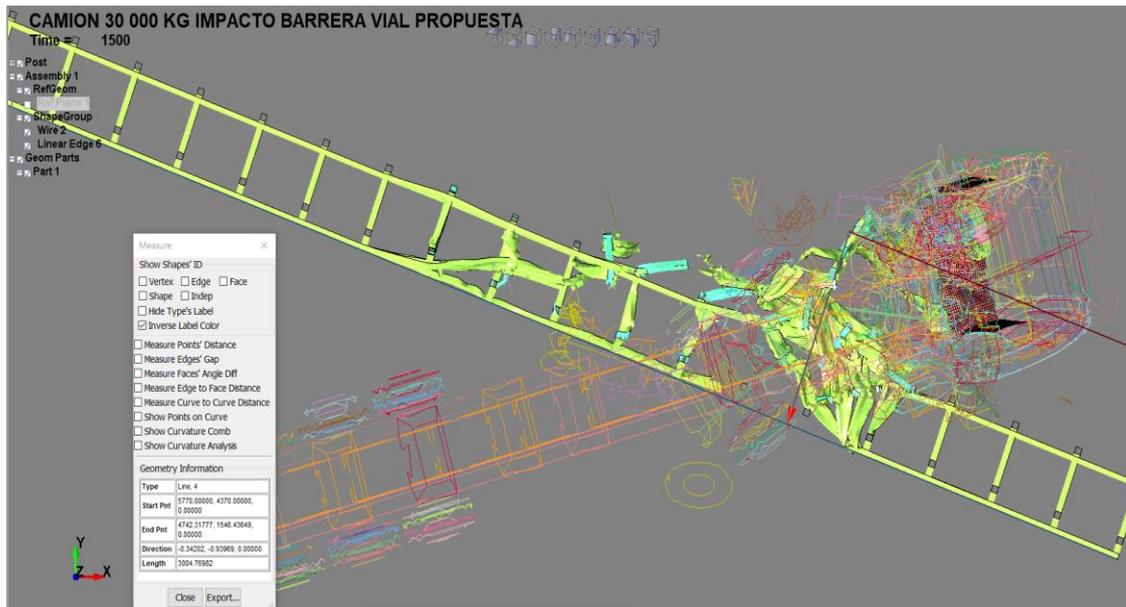


Gráfico 8.4 Impacto barrera vial propuesta ensayo TB71(SCANIA 30000 Kg, 65Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo $W = 3005$ mm.

Realizado por: Autor

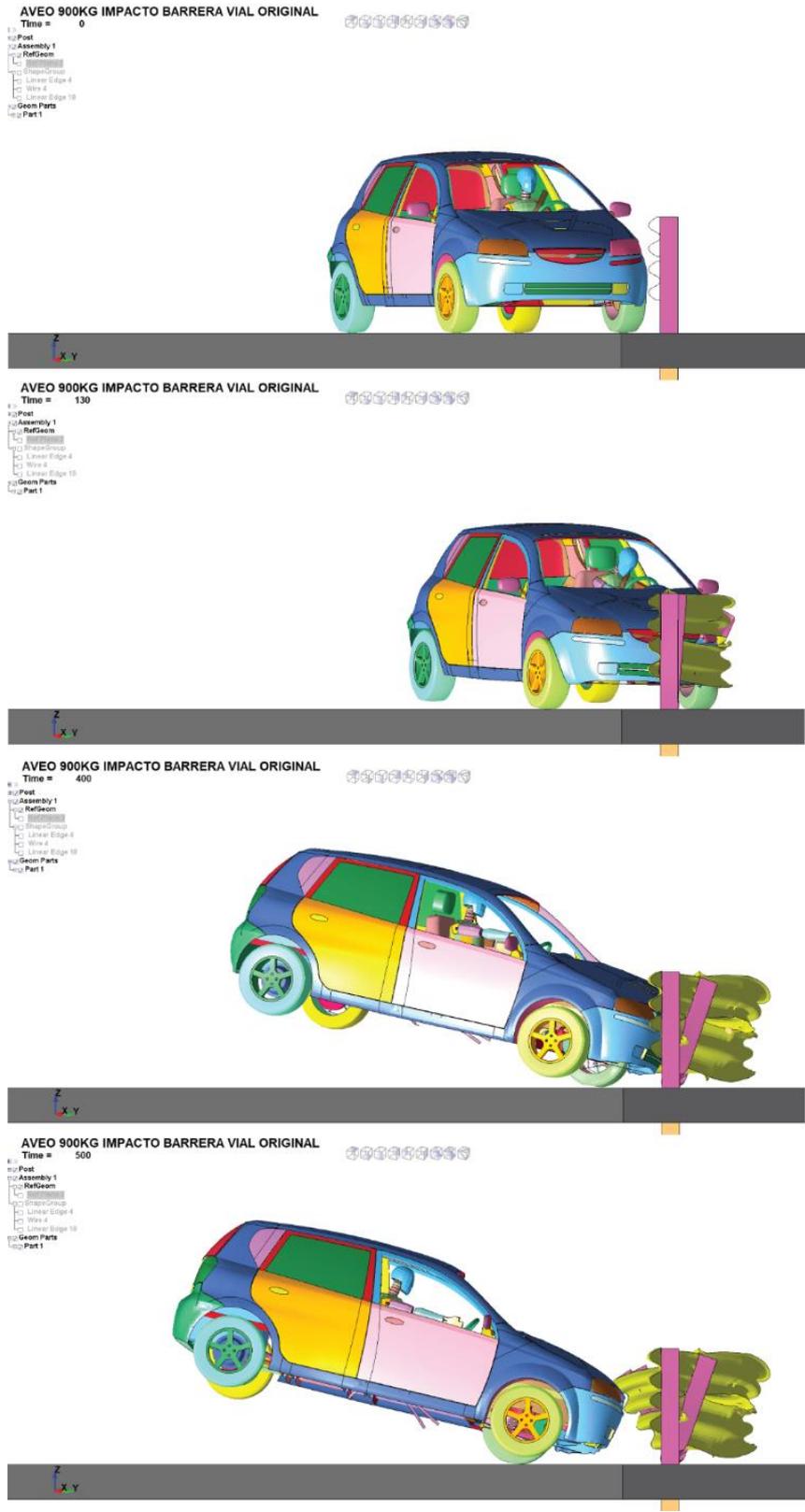


Gráfico 9.4 Impacto barrera vial original ensayo TB11 (Aveo 900Kg, 100Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo W = 1025 mm.
Realizado por: Autor

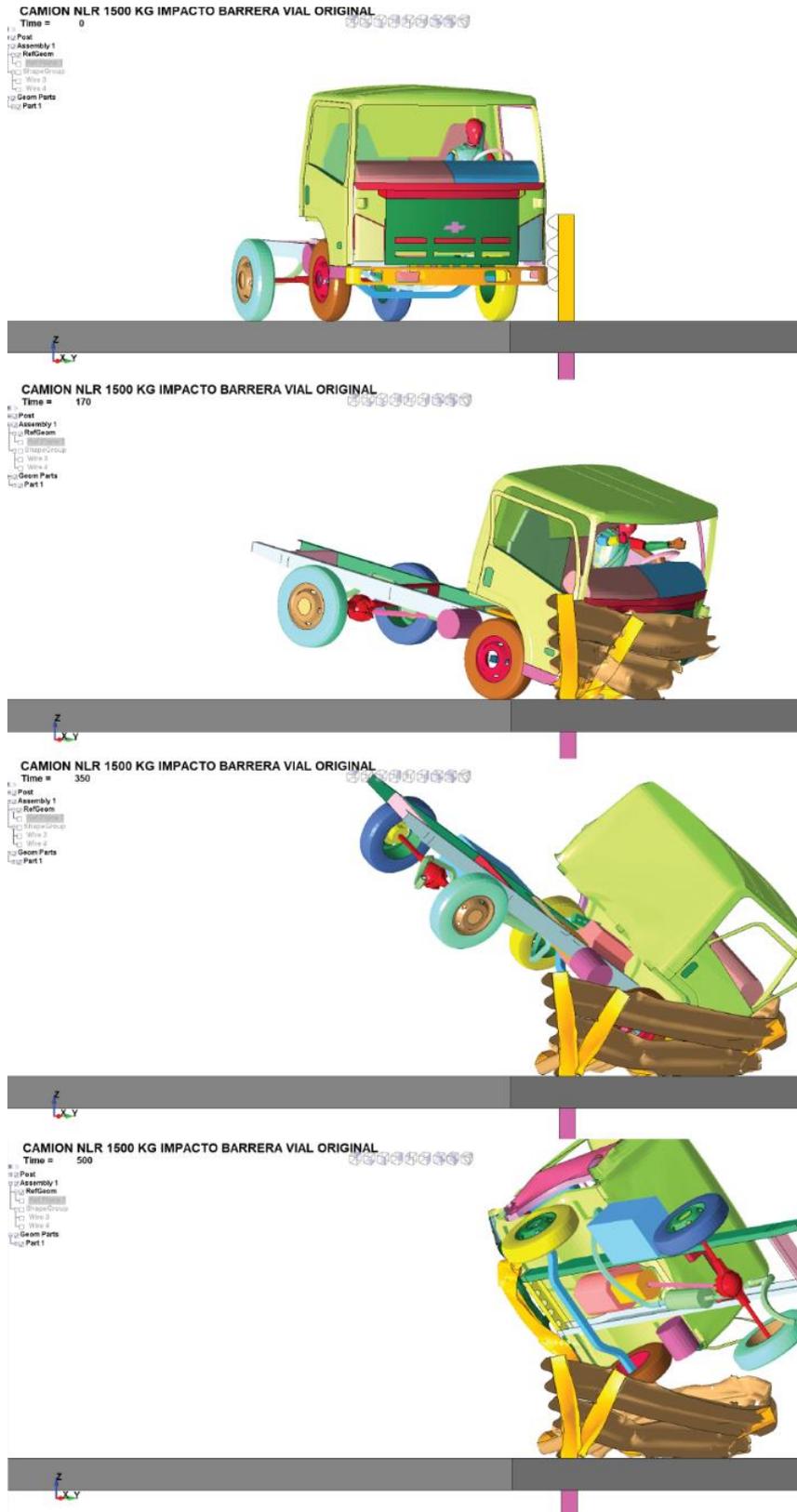


Gráfico 10.4 Impacto barrera vial original ensayo TB32 (NLR 1500Kg, 110Km/h, ángulo 20°), medida de anchura de trabajo $W = 6268$ mm.

Realizado por: Autor

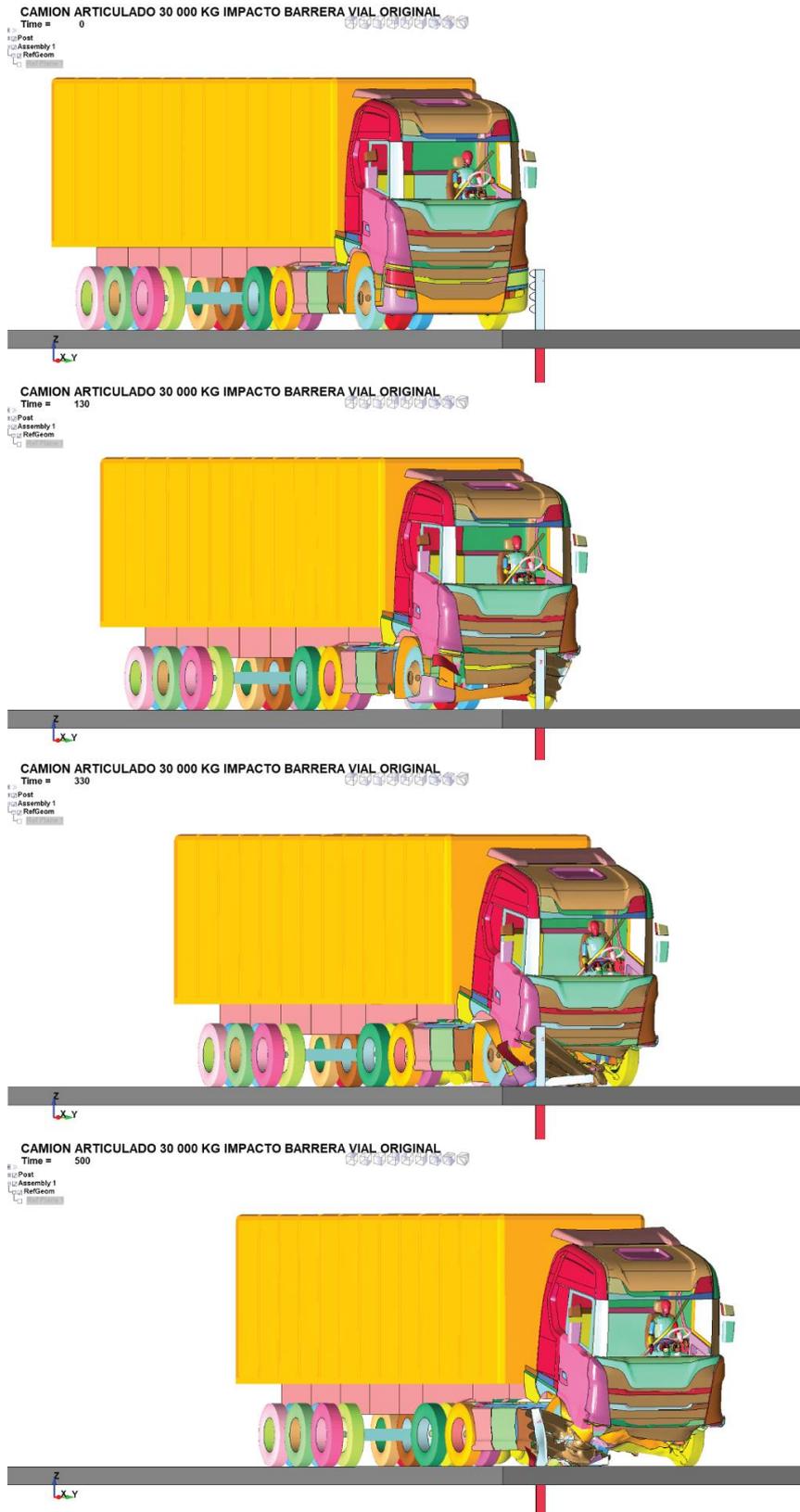


Gráfico 11.4 Impacto barrera vial original ensayo TB51 (SCANIA 13000Kg, 70 Km/h, ángulo 20°).

Realizado por: Edison Alomaliza

NOTA: anchura de trabajo W no se puede medir por que el vehículo sobre pasa la barrera.

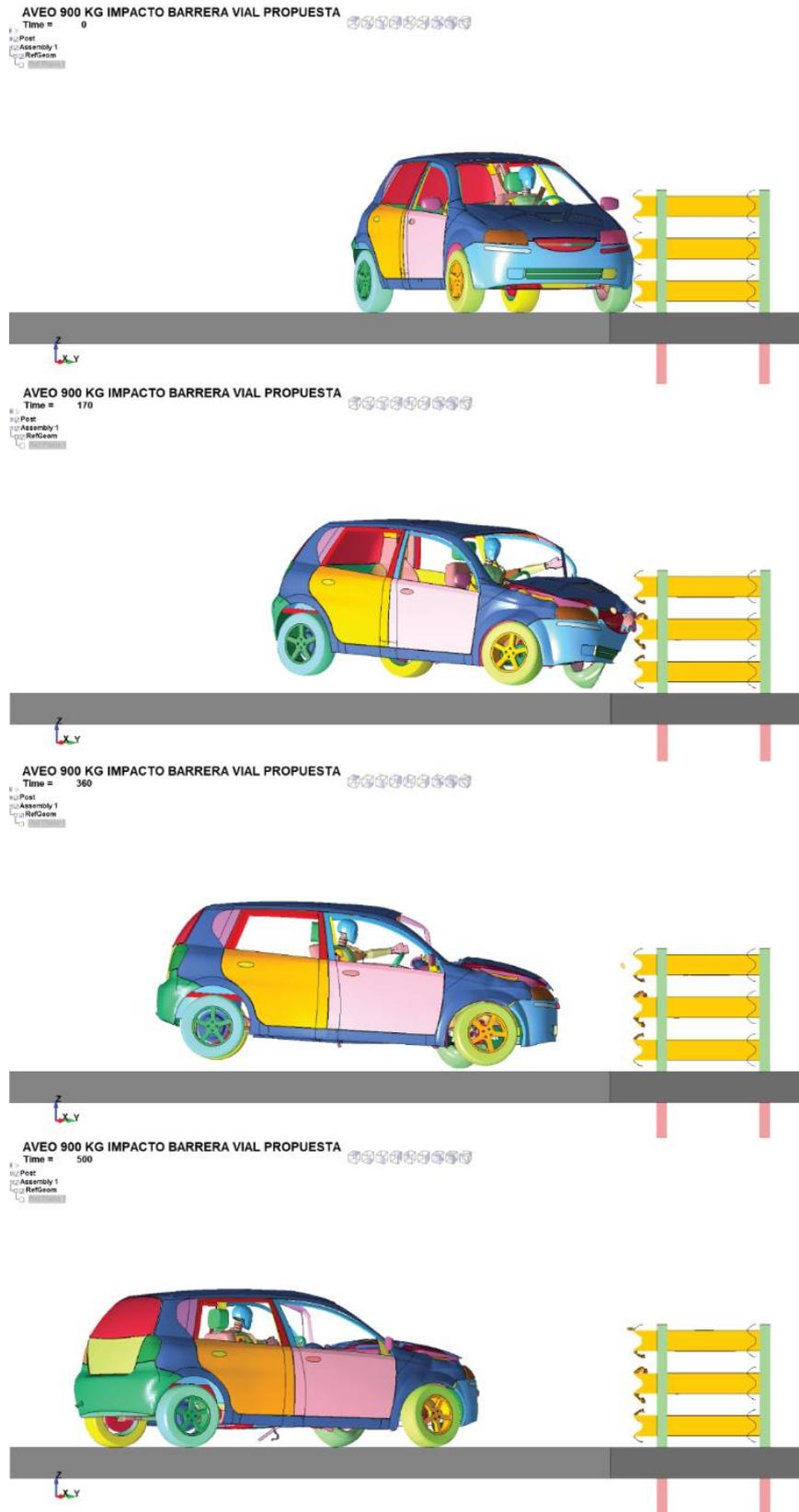


Gráfico 12.4 Impacto barrera vial propuesta ensayo TB11 (Aveo 900Kg, 100Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo W = 35 mm.

Realizado por: Autor

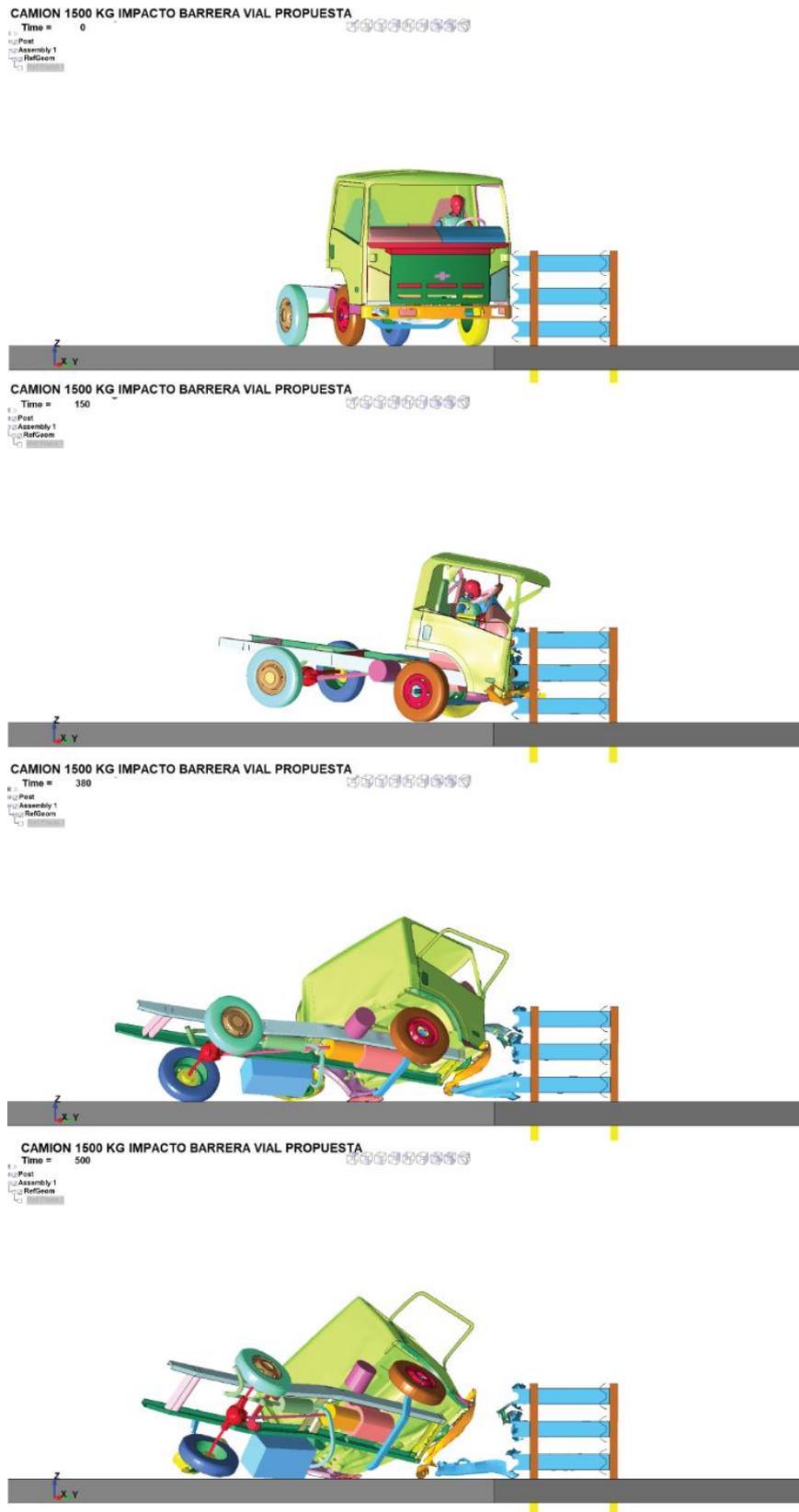


Gráfico 13.4 Impacto barrera vial propuesta ensayo TB32 (NLR 150Kg, 110Km/h, ángulo 20°), medida de anchura de trabajo $W = 61$ mm.
 Realizado por: Autor

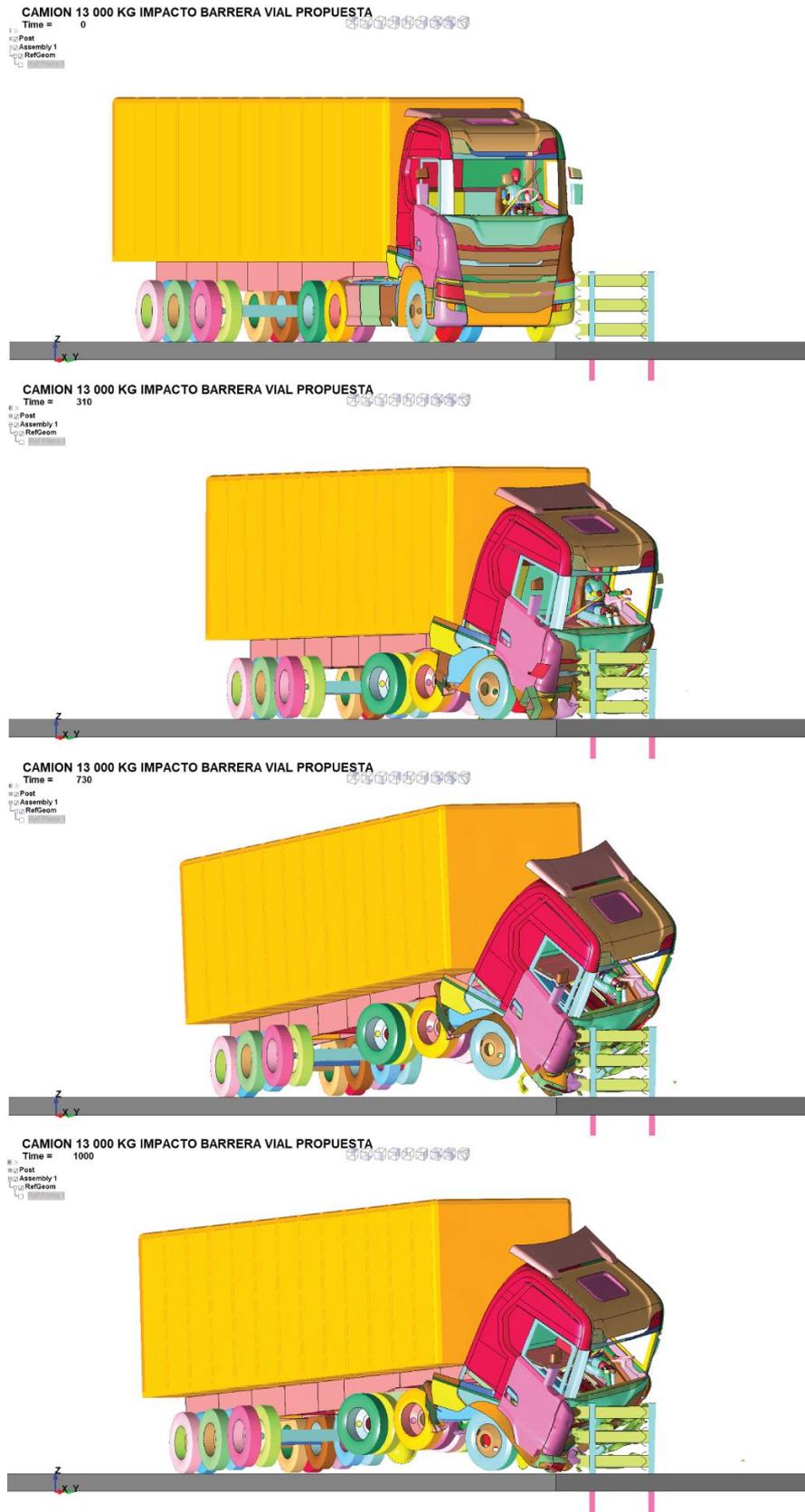


Gráfico 14.4 Impacto barrera vial propuesta ensayo TB51(SCANIA 13000 Kg, 70Km/h, ángulo 20°), anchura de trabajo $W = 784$ mm.

Realizado por: Autor



Gráfico 15.4 Impacto barrera vial propuesta ensayo TB71(SCANIA 30000 Kg, 65Km/h, ángulo 20°), medida de anchura de trabajo W = 3005 mm.

Realizado por: Autor

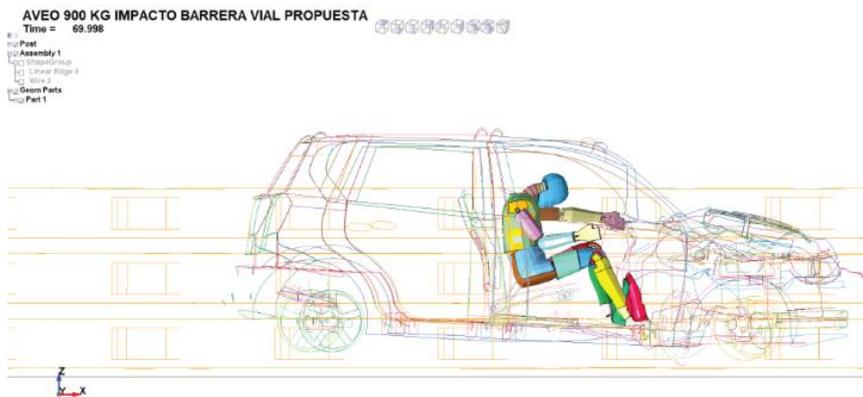
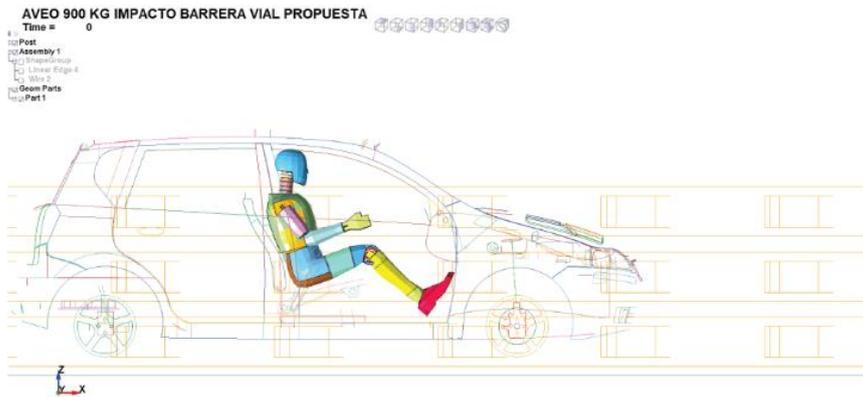
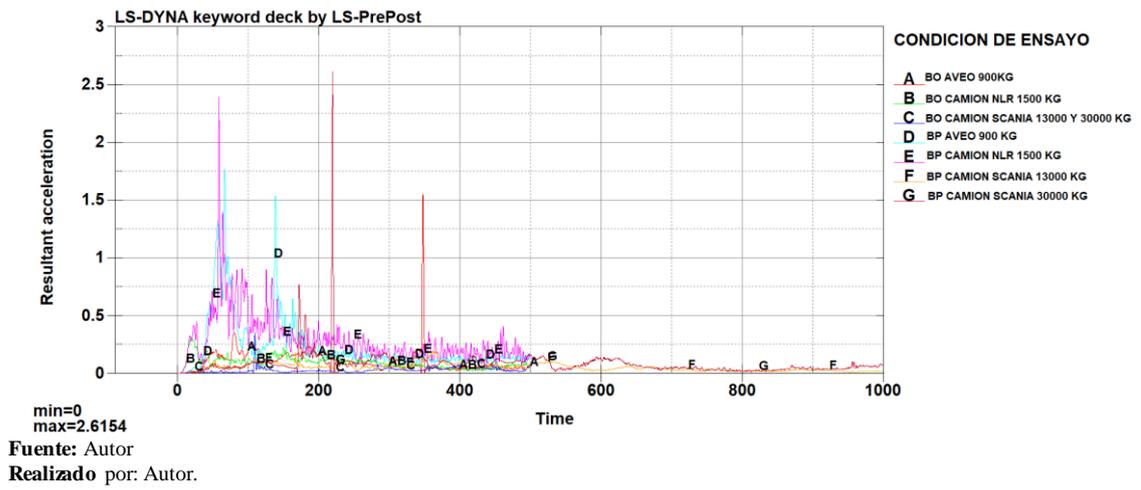


Gráfico 16.4 Aceleraciones G en la cabeza para los distintos impactos contra barreras viales
 Realizado por: Autor

Tabla 7.4 Tabla de aceleraciones G en la cabeza para distintos impactos en barreras viales.



CONCLUSIONES

Para hacer los modelos CAD se utilizó la herramienta computacional SolidWorks donde el uso principal fueron las superficies.

Se diseñó una nueva barrera de protección vial que cumpla los requisitos de resistencia en contención según EN 1317, según los datos presentados en la simulación donde el acelerómetro de la cabeza presenta menor deformación.

Se comparó los resultados de un ensayo flexión utilizando la maquina universal de 3 puntos de apoyo y su réplica en un ensayo computacional efectuando un modelo FEM implementando herramientas computacionales CAD/CAE, realizadas en una probeta de barrera vial de tipo A sección en W, para estimar el error de los resultados de los ensayos computacionales a realizar según EN 1317.

El presente proyecto ha contemplado una posible adaptación de las barreras existentes hacia un nivel de seguridad más elevado, con el respecto de algunas características físicas de las barreras y la incorporación de ciertos elementos a la barrera vial propuesta. Estas pequeñas modificaciones pueden ser incorporadas para reducir la severidad del impacto.

El diseño de la barrera de protección vial propuesta en el presente proyecto a diferencia de la barrera de protección real obtenida del paso lateral de la vía quito Ambato, al realizar los ensayos y análisis computacionales cumple con los requisitos de resistencia en contención según EN 1317

La simulación de este caso de choque realizado mediante los softwares LS-PrePost y LS-Dyna permite conocer los daños que se producen tanto en el vehículo como en el ocupante.

Los protocolos desarrollados en el programa LS-DYNA con base en la reglamentación de normas de seguridad, demuestran ser muy efectivos, aunque tiene sus limitaciones lógicas, ya que resulta prácticamente complicado e imposible adecuar las distintas variaciones que pueden suceder en el seceso del accidente.

Sin embargo, pese a estas limitaciones, los ensayos desarrollados para unas circunstancias concretas, se puede observar que muestran ser efectivos en la medida de que consiguen comparativas precisas entre diferentes vehículos, instando a los fabricantes a mejorar continuamente sus componentes de seguridad.

Por medio del programa LS-DYNA es un instrumento de fundamental trascendencia en el momento de averiguar la estabilidad de los autos, evaluando probables perjuicios a lo largo de las colisiones, tanto en la composición del transporte, con en sus ocupantes, como es la situación de

este plan. No obstante, los procesos de desarrollo de los diversos modelos de autos conducen a un arduo trabajo. Además, las simulaciones requieren una potencia de cálculo demasiado alta y unos tiempos de ejecución bastante altos.

Con los resultados obtenidos, podría decirse que las simulaciones con modelos simplificados aportan valores lógicos respecto a los que se podría obtener en ensayos reales, o con simulaciones realizadas con modelos completos.

Estas simulaciones tienen la posibilidad de facilitar en enorme forma el trabajo de los profesionales delegados a realizarlas, debido a que simplifica en enorme medida los trabajos a hacer, más que nada disminuyendo de forma notable la función de cálculo elemental y la época empleado a cada simulación. Al minimizar los cálculos puede dar por sentado un crecimiento en la efectividad de esta clase de test, debido a que se podrían reproducir más situaciones y condiciones además de las ya establecidas por los protocolos.

Se necesita someterse, además, que el sistema de modelos simplificados, únicamente debe aplicarse en ciertos tipos de ensayos, debido a que solo tendría beneficios reales en esos ensayos en los cuales intervienen una serie reducida de recursos del transporte.

En conclusión, los softwares LS-DYNA y LS-PrePost entienden un avanzado programa capa de simular los límites con una exactitud demasiado precisa impactos de vehículos. Por tal fundamento es que su uso este tan extendido entre gigantes organizaciones elaboradores de carros, debido a que las simulaciones son enormemente realistas y lógicas que permiten obtener resultados sin necesidad de realizar examen real, con una reducción notable del coste económico que ello conlleva.

RECOMENDACIONES

Para modelar superficies la herramienta principal es la proyección de curvas en el espacio.

Los nodos en un mayor porcentaje deben ser cuadriláteros para que el rango de falla en la simulación sea menor.

Se deben eliminar los nodos duplicados

La masa debe ubicarse en el centro de gravedad de los vehículos.

Las unidades con la que trabajamos en el software LS-DYNA como es la masa en toneladas (ton), la fuerza en newton (N), el esfuerzo en Mpa, la energía en N/mm y el tiempo en segundos (s).

La solución se realizó utilizando un computador de marca Toshiba, con un procesador Intel XEON con 16 núcleos, con 32 Gb en RAM, se utilizó el SOFTWARE LSDYNA de versión R8 single precisión, las simulaciones tardaron un promedio de 10 horas cada una.

Se recomienda en el paso lateral Ambato reemplazar la barrera simple por una barrera de alta contención y que este certificada por la norma UNE EN 1317, en general se recomienda colocar un sistema de mayor contención que tenga la capacidad de retener automotores de gran tamaño.

Es necesario realizar estudios de inspección y mantenimiento a los componentes que conforman la barrera de seguridad, con el fin de dar mayor confort y seguridad tanto a los automotores como a los pasajeros que circulan por la carretera, ya que en el momento que se visitó el lugar se pudo visualizar barreras de seguridad que fueron impactadas no llevan los protocolos de seguridad.

Es necesario también acotar a los conductores respetar los límites de velocidad establecidas en los cruces, en las curvas y demás señalizaciones viales, ya que se pudo constatar un impacto contra una barrera de seguridad con una velocidad alta los resultados son serias lesiones de los ocupantes del automotor. También es necesario recomendar realizar un adecuado mantenimiento de la vía como es la limpieza pues las impurezas y demás basura que obstruyen el tránsito normal del auto.

BIBLIOGRAFÍA

AZEVEDO, ALvaro S.M. *Metodo dos elementos finitos*. Portugal : s.n., 2003.

BUILDTECH, Marcegaglia. Marcegaglia Buildtech. [En línea] <https://www.italianbuildtech.com/barreras-carretera-seguridad-guardarrail-especificaciones-tecnicas/>.

GR , Liu y SS , Quek. *Metodo de elementos finitos*. Reino Unido : Butterworth-Heinemann, 2003.

HERNANDEZ, Diego Alonso. [En línea] Mayo de 2015. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/25291/PFC_Diego_Alonso_Hernandez.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

LANAZCA, Milton Alex Tristan. [En línea]. [http://repositorio.uvcv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/36882/Tristan_LMA.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/36882/Tristan_LMA.pdf?sequence=3&isAllowed=y).

MUÑOZ, Alejandro Carrero. [En línea] . https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13673/PFC_Alejandro_Carrero_Munoz.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

PEREZ, David Illesca. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/7532#preview>. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/7532#preview>. [En línea] <http://hdl.handle.net/10016/7532>.

ZIENQUIEWICZ, O.C. *Metodo de elementos finitos*. BARCELONA, España : REVERTÉ S.A, 2021.

EN 1317-1: *Road restraint systems – Part 1: Terminology and general criteria for test methods. Sistema de contención de vehículo tipo barreras de seguridad*. 2008. Ministerio de Transporte y Comunicación (MTC) , Directiva N° 007-2008- MTC/02