



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

**" ANÁLISIS DE LESIONES EN EL CONDUCTOR PARA
IMPACTOS FRONTALES, COMPARANDO BUS
INTERPROVINCIAL MODELOS MERCEDES BENZ (1723 CON
MOTOR DELANTERO y O5001830 CON MOTOR POSTERIOR),
POR SIMULACIÓN COMPUTACIONAL. "**

Trabajo de titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR:

CARLOS IVÁN PAUCAR TUBÓN

Riobamba – Ecuador

2021



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

**" ANÁLISIS DE LESIONES EN EL CONDUCTOR PARA
IMPACTOS FRONTALES, COMPARANDO BUS
INTERPROVINCIAL MODELOS MERCEDES BENZ (1723 CON
MOTOR DELANTERO y O5001830 CON MOTOR POSTERIOR),
POR SIMULACIÓN COMPUTACIONAL. "**

Trabajo de titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: CARLOS IVÁN PAUCAR TUBÓN

DIRECTOR: ING. EDWIN RODOLFO POZO SAFLA

Riobamba - Ecuador

2021

© 2021, Carlos Iván Paucar Tubón

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, CARLOS IVÁN PAUCAR TUBÓN, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 06 de julio de 2021



.....
Carlos Iván Paucar Tubón
C.I. 180386895-7

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: Proyecto técnico, " **ANÁLISIS DE LESIONES EN EL CONDUCTOR PARA IMPACTOS FRONTALES, COMPARANDO BUS INTERPROVINCIAL MODELOS MERCEDES BENZ (1723 CON MOTOR DELANTERO y O5001830 CON MOTOR POSTERIOR), POR SIMULACIÓN COMPUTACIONAL.** ", realizado por el señor: **CARLOS IVÁN PAUCAR TUBÓN**, ha sido minuciosamente revisados por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, la 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

2021/07/06

Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACION**



Firmado electrónicamente por:
**EDWIN
RODOLFO POZO**

2021/07/06

Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba.
MIEMBRO DE TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**SOCRATES
MIGUEL AQUINO
ARROBA**

2021/07/06

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a mis padres Claudio Paucar y Elvira Tubón que siempre me brindaron su apoyo en todos los momentos difíciles que se presentaron en mi vida de estudiante. Infundiéndome respeto hacia los demás y perseverancia para alcanzar mis sueños.

Doy gracias a mis hermanos Silvia, Marcelo, Jenny, Claudio y María por la compañía y el apoyo incondicional a lo largo de mi vida que sirvió para alcanzar mis metas.

A todos mis amigos con quienes compartí muchos momentos tristes y alegres, de los cuales logramos salir adelante.

Carlos Iván Paucar Tubón

AGRADECIMIENTO

Agradecido primeramente por la fortuna de contar con vida, la salud que es lo primordial en la vida porque con ello me ayudo a terminar con éxito mi trabajo investigativo.

De una manera especial agradezco a todas las autoridades y al personal docente de la Facultad de Mecánica, carrera Ingeniería Automotriz, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, quienes ayudaron a llegar a mi meta que es la obtención del título de Ingeniero Automotriz y marcar con éxito mi camino.

A mi director de tesis Ing. Edwin Pozo por el apoyo y conocimientos que me ha brindado para culminar con éxito mi tesis.

Carlos Iván Paucar Tubón

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE GRAFICOS.....	xiv
INDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Problema.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.5 Hipótesis.....	5
1.6 Metodología.....	6
1.6.1 <i>Investigación</i>	6
1.6.2 <i>Desarrollo de la investigación</i>	6
1.7 Resultados a alcanzar.....	7
1.8 Recursos.....	7
1.8.1 <i>Recursos materiales</i>	7
1.8.2 <i>Talento humano</i>	7
1.8.3 <i>Presupuesto</i>	8

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACION	9
2.1 Fundamentación legal.....	9
2.2 Fundamentación teórica.....	10
2.2.1 <i>Autobús</i>	10

2.2.2	<i>Clasificación de autobuses según acoplamiento de la carrocería.</i>	10
2.2.2.1	<i>Autobús con chasis.</i>	10
2.2.2.2	<i>Autobús integral.</i>	12
2.3	Carrocería metálica.	13
2.3.1	<i>Partes de la carrocería.</i>	14
2.3.1.1	<i>Estructura.</i>	14
2.3.1.2	<i>Paneles externos</i>	15
2.3.1.3	<i>Juntas.</i>	15
2.4	Transporte interprovincial.	15
2.5	Medidas estándar de vehículos interprovinciales.	16
2.6	Asiento del conductor.	18
2.7	Seguridad en los vehículos.	19
2.7.1	<i>Seguridad pasiva.</i>	19
2.7.2	<i>Seguridad activa.</i>	20
2.8	Materiales utilizados en la construcción de la carrocería.	21
2.9	Dummy.	22
2.9.1	<i>Hybrid III</i>	23
2.10	Método de elementos finitos	24
2.10.1	<i>Aspectos generales del método.</i>	24
2.10.2	<i>Tipos de elementos.</i>	25
2.11	Mallado.	26
2.12	Ls-dyna.	26
2.12.1	<i>Pasos a seguir en el cálculo (MEF).</i>	27
2.12.2	<i>Caracterización de tipos de error en métodos computacionales.</i>	28
2.13	Impacto.	28
2.14	Diario oficial de la unión europea, reglamento n° 94 de la Comisión Económica para Europa (CEPE)	29
2.14.1	<i>Especificaciones.</i>	30
2.14.2	<i>Criterios de comportamiento.</i>	30
2.14.3	<i>Determinación de los criterios de comportamiento.</i>	31
2.14.4	<i>Procedimiento de ensayo.</i>	32

CAPITULO III

3.	INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR APLICADA AL DISEÑO Y MODELADO DE UN AUTOBÚS.	34
3.1	Modelado del chasis Mercedes-Benz of-1723/59.	34

3.2	Modelado del chasis integral mercedes-Benz O 500 RS 1836 / 30	35
3.3	Modelado de carrocerías.	36
3.3.1	<i>Modelado de la carrocería mercedes-Benz OF-1723/59.</i>	36
3.3.2	<i>Modelado de la carrocería mercedes-Benz O500 RS 1836 / 30.</i>	36
3.4	Limpieza de los modelos CAD.	39
3.5	Generación de malla.	40
3.6	Ingreso del dummy.	41
3.7	Colocación del cinturón de seguridad	43
3.8	Calidad de malla.	44
3.9	Mallado del dummy.	45
3.10	Mallado de pared de impacto.	46
3.11	ASIGNACIÓN DE CONDICIONES DE BORDE	47
3.11.1	<i>Material</i>	47
3.11.2	<i>Soporte fijo.</i>	48
3.11.3	<i>Contactos.</i>	48
3.11.3.1	<i>Automatic_Surface_to_Surface</i>	48
3.11.3.1	<i>Automatic_Single_Surface</i>	49
3.11.4	<i>Velocidad.</i>	50
3.11.5	<i>Acelerómetros</i>	51
3.11.6	<i>Aceleración de la gravedad.</i>	52
3.11.7	<i>Otras condiciones utilizadas de LS – DYNA</i>	52

CAPITULO IV

4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	54
4.1	Parámetros utilizados en el análisis de resultados.	54
4.2	Resultado de impacto frontal Mercedes-Benz OF-1723/59.	56
4.3	Resultado de impacto frontal Mercedes-Benz O 500 RS 1836 / 30.	60
4.4	Desplazamiento estructural en la sección del frontal del autobús.	63
4.5	Comportamiento del dummy en el momento de impacto.	64
4.6	Cumplimiento de norma en el comportamiento HIC.	72
4.7	Cumplimiento de norma en el comportamiento del tórax.	73
4.8	Cumplimiento de norma en el comportamiento del fémur.	73
4.9	Cumplimiento de norma en el comportamiento de la pelvis.	74
	CONCLUSIONES.	75
	RECOMENDACIONES.	77

GLOSARIO.

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Dimensiones para carrocerías norma NTE INEN 1668 , autobús interprovincial..	16
Tabla 2-2: Dimensiones para asientos de norma NTE INEN 1668 , autobús interprovincial..	18
Tabla 3-2: Clasificación y propiedades de los tubos la norma NTE INEN 2415	21
Tabla 4-2: Comparación de masas entre el modelo virtual y el maniquí hybrid III 50 %.....	23
Tabla 1-3: Dimensiones globales MERCEDES-BENZ OF-1723/59	34
Tabla 2-3: Dimensiones globales MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30	35
Tabla 3-3: Piecewise linear Plasticity autobuses	47
Tabla 4-3: Velocidades utilizadas en los modelos de la simulación.	50
Tabla 5-3: Condiciones utilizadas en la simulación de impacto por medio de LS – DYNA . ..	52
Tabla 1-4: Definiciones de las Propiedades mecánicas de los materiales	54
Tabla 2-4: Desplazamiento de la estructura de la parte frontal	64
Tabla 3-4: Desplazamiento de las costillas del Dummy producidas por del impacto.	69
Tabla 4-4: Fuerza máx. en Símfisis Púbrica del Dummy	71
Tabla 5-4: Validación factor de Hourglassing	72
Tabla 6-4: Cumplimiento de norma en el comportamiento de la HIC	72
Tabla 7-4: Cumplimiento de norma en el comportamiento del tórax.	73
Tabla 8-4: Cumplimiento de norma en el comportamiento del fémur	73
Tabla 9-4: Cumplimiento de norma en el comportamiento de la pelvis	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Chasis Mercedes-Benz OF-1723/59.	11
Figura 2-2:	Diseño CAD Chasis Mercedes-Benz OF-1723/59, Secciones restringidas de color rojo para montaje de carrocería.	11
Figura 3-2:	Chasis Integral Mercedes-Benz O 500 RS 1836 / 30.	12
Figura 4-2:	Diseño CAD Chasis Integral Mercedes-Benz O 500 RS 1836 / 30.	13
Figura 5-2:	Diseño CAD de una carrocería.	14
Figura 6-2:	Diseño CAD partes de una carrocería.	15
Figura 7-2:	Dummy real hibrido III 50% percentil.	22
Figura 8-2:	Modelo de dummy de pruebas para colisiones HIBRIDO III generado por LSTC-LSDYNA	23
Figura 9-2:	Elementos para elasticidad unidimensional.	25
Figura 10-2:	Elementos para elasticidad bidimensional.	25
Figura 11-2:	Elementos para elasticidad unidimensional.	26
Figura 12-2:	Impacto frontal de autobús método FEM. software LS-DYNA.	29
Figura 13-2:	Evaluación de protección otorgada a los ocupantes adultos delanteros.	29
Figura 14-2:	Criterio fuerza del fémur.	30
Figura 1-3:	Modelado MERCEDES-BENZ OF-1723/59 en Solidworks.	35
Figura 2-3:	Modelado MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 en Solidworks.	36
Figura 3-3:	Modelado de la carrocería MERCEDES-BENZ OF-1723/59 en Solidworks. a) Vista en perspectiva de la carrocería, b) Vista lateral disposición del motor, c) Unión de anclajes al chasis.	37
Figura 4-3:	Modelado de la carrocería MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 en Solidworks. a) Vista en perspectiva de la carrocería, b) Vista lateral disposición del motor, c) Unión de anclajes al chasis.	38
Figura 5-3:	Limpieza de modelos CAD mediante SPACE CLAIM herramienta de ANSYS, a) Vista de carrocería con errores de modelado, b) Vista de carrocería con errores de modelado corregidos.	39
Figura 6-3:	Mallado se utilizando software BETA CAE a) Tamaño de malla asiento, b) Visualización de la compartición de nodos c) Asiento sin mallar d) Asiento mallado.	40
Figura 7-3:	Mallado de completo MERCEDES-BENZ OF-1723/59 utilizando software BETA CAE.	41
Figura 8-3:	Mallado completo de MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 utilizando software BETA CAE.	41

Figura 9-3:	Posicionamiento del dummy en el bus utilizando coordenadas.....	42
Figura 10-3:	a) Posicionamiento pie del dummy. b) dummy en postura correcta.	42
Figura 11-3:	a) Dummy sin cinturón. b) Dummy con cinturón.	43
Figura 12-3:	Calidad de Malla MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 utilizando criterio Jacobian (0.3)	44
Figura 13-3:	Calidad de Malla MERCEDES-BENZ OF-1723/59 utilizando criterio Jacobian (0.3)	44
Figura 14-3:	Mallado completo del Dummy	45
Figura 15-3:	Mallado de pared para modelo MERCEDES-BENZ OF-1723/59.	46
Figura 16-3:	Mallado de pared para modelo MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30.	46
Figura 17-3:	Pared de impacto como soporte fijo utilizando la opción BOUNDARY SPC_SET.....	48
Figura 18-3:	Contactos utilizando la opción Automatic_Surface_to_Surface. a) Dummy y cinturón. b) Dummy y autobús. c) Autobús pared de impacto.	49
Figura 19-3:	Contactos utilizando la opción Automatic_Single_Surface.....	49
Figura 20-3:	Asignación de velocidad por medio de Initial_Velocity	50
Figura 21-3:	Asignación de acelerómetros por medio de Element_Seatbelt_Acelerometer...	51
Figura 1-4:	CURVA TENSIÓN – DEFORMACIÓN	54
Figura 2-4:	Simulación de impacto frontal MERCEDES-BENZ OF-1723/59 con una velocidad de 6.95 m/s, grafico inferior esfuerzos de Von Mises 0.54 GPa en 90 ms.	57
Figura 3-4:	Simulación de impacto frontal MERCEDES-BENZ OF-1723/59 con una velocidad de 6.95 m/s, elementos que sufren mayor deformación 0.30 GPa en 60 ms.	58
Figura 4-4:	Simulación de impacto frontal MERCEDES-BENZ OF-1723/59 con una velocidad de 13.88 m/s, grafico inferior esfuerzos de Von Mises 0.55 GPa en 90 ms.	59
Figura 5-4:	Simulación de impacto frontal MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 con una velocidad de 6.95 m/s, grafico inferior esfuerzos de Von Mises 0.59 GPa en 110 ms.	60
Figura 6-4:	Simulación de impacto frontal MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 con una velocidad de 6.95 m/s, elementos que sufren mayor deformación 0.30 GPa en 60 ms.	61
Figura 7-4:	Simulación de impacto frontal MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 con una velocidad de 13.88 m/s, grafico inferior esfuerzos de Von Mises 0.54 GPa en 110 ms.	62

Figura 8-4:	Distancia medida en habitáculo del conducto desde parte central externa al parante interno más cercano.	63
Figura 9-4:	Secuencia de impacto frontal en carrocerías de buses, izquierda con motor delantero y der motor posterior con velocidad de impacto 6.9 m/s.	64
Figura 10-4:	Secuencia de impacto frontal en carrocerías de buses izq. motor delantero y der. motor posterior con velocidad de impacto 13.88 m/s.	65
Figura 11-4:	Comparación de maniqués, en azul maniquí en motor delantero, en verde con motor posterior, izquierda máxima energía cinética, derecha máximo cabeceo (rebote)	65
Figura 12-4:	Comparación máxima energía cinética de impacto, en morado dummy motor delantero, en amarillo motor posterior, no se produce cabeceo del dummy (rebote)	66
Figura 13-4:	Acelerómetro en cabeza utilizado para calcular el criterio de lesión en la cabeza <i>HIC</i>	66
Figura 14-4:	Nodos seleccionados del maniquí para medir el desplazamiento de costillas durante las simulaciones.	68
Figura 15-4:	Ubicación de junta 22 utilizada para verificar la fuerza producida en la sínfisis púbica del maniquí	70

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1-3: Curvas esfuerzo – deformación del material ASTM 500 correspondiente al grado A de tubos estructurales sección cuadrada rectangulares o especiales.	47
Gráfico 1-4: Variación de desplazamiento durante la simulación de impacto frontal para los 2 modelos propuestos a diferentes velocidades	63
Gráfico 2-4: Índices de lesión de la cabeza HIC en 15 ms, izquierda HIC con motor frontal con 6.94 m/s y 13.88 m/s respectivamente, derecha HIC con motor posterior ...	67
Gráfico 3-4: Comparación de fuerzas G medidas en la Cabeza del maniquí para las 4 simulaciones de impacto frontal	68
Gráfico 4-4: Variación de desplazamiento en costillas de maniquí en las 4 simulaciones de impacto, desplazamiento máximo de 82 mm simulación con motor delantero a 13.88 m/s.	69
Gráfico 5-4: Fuerzas medidas en la sínfisis púbica del maniquí en las 4 simulaciones, Fuerza máxima de 39.1 KN correspondiente a la carrocería con motor posterior a 13.88 m/s.	70
Gráfico 6-4: Balance de energías, izquierda motor frontal con 6.94 m/s y 13.88 m/s respectivamente, derecho motor posterior, Hourglass es inferior al 10% de la energía interna.	71

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CARACTERISTICAS GENERALES MERCEDES BENZ OF-1723/59

ANEXO B: CARACTERISTICAS GENERALES MERCEDES BENZ O500 RS 1836

ANEXO C: REGLAMENTO N°94 DE LA COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue comparar y analizar las lesiones producidas en el conductor en impactos frontales según el reglamento N°94 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas, utilizando dos modelos de autobuses empleados de forma interprovincial, para lo cual se modeló los autobuses a través del software de diseño asistido por computadora de las carrocerías Mercedes Benz (1723 con motor delantero y O5001830 con motor posterior) y un maniquí especializado en la recolección de datos de las lesiones críticas producidas en el cuerpo humano para realizar las respectivas simulaciones en el software LS-DYNA. Para establecer los elementos de malla que conforman los autobuses, barrera rígida y maniquí se valió de elementos tipo SHELL y SOLID en 2 dimensiones, el cual permite alcanzar una malla analógica, recomendada por el desarrollador del software para un mallado aceptable. Los resultados adquiridos permitieron conocer que las estructuras de los autobuses según la disposición del motor en ensayos a velocidades de 25km/h el modelo 1723 se deforma en la sección frontal 9.9 cm y 14.5 cm en el modelo O5001830 por lo que el conductor no sufre lesiones graves cumpliendo la norma internacional, en cambio los ensayos sometidos a velocidad de 50km/h el modelo 1723 se deforma en la sección frontal 52.3 cm y 58.8 cm en el modelo O5001830 por lo que los índices de seguridad de lesiones en los conductores no son aceptables. Se recomienda que los autobuses con chasis de peldaños o autoportante se fabriquen con la sección del conductor reforzada, que se implemente nuevas tecnologías de seguridad activa y pasiva para ayudar en la protección al conductor.

Palabras Claves: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <IMPACTO AUTOMOVILISTICO>, <SIMULACION DE IMPACTO FRONTAL>, <DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR (CAD)>, <INGENIERÍA ASISTIDA POR ORDENADOR (CAE)>.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

1764-DBRA-UPT-2021

2021-09-09

ABSTRACT

This study aimed to compare and analyze the driver injuries produced in frontal impacts according to regulation N ° 94 of the United Nations Economic Commission for Europe. The computer-aided design software of the Mercedes Benz bodies (1723 with front engine and O5001830 with rear engine) modeled two types of interprovincial buses. And a manikin specialized in data collection of critical injuries produced in the body human to perform the respective simulations in the LS-DYNA software. The elements SHELL and SOLID type in 2 dimensions implemented to set the mesh elements that comprise the buses, rigid barrier, and manikin allowed achieving an analog mesh, recommended by the software developer for valid meshing. The results showed that the structures of the buses, according to the disposition of the engine in tests at speeds of 25km/h the model 1723 was deformed in the front section 9.9 cm and 14.5 cm on the O5001830 model. That is the reason because the driver does not suffer serious injuries meeting the international standard. On the other hand, the tests subjected to a speed of 50km/h the model 1723 were deformed in the front section 52.3 cm and 58.8 cm in the O5001830 model thus, the Injury safety rules for driver's rate are not acceptable. It is recommended that buses with stepped or self-supporting chassis be manufactured with reinforced conductor sections, which is implement new active and passive safety technologies to help protect the driver.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES> <AUTOMOBILE COLLISION> <FRONT IMPACT SIMULATION>, <COMPUTER-AIDED DESIGN (CAD)> <COMPUTER-ASSISTED ENGINEERING (CAE)>.



Firmado electrónicamente por:
PATRICIA PILAR
MOYOTA AMAGUAYA

INTRODUCCIÓN

Durante años se han producido múltiples accidentes de tránsito en los que involucra a autobuses de transporte público, en los cuales, los conductores han sido los más afectados ante un impacto frontal. Gracias al desarrollo tecnológico en la industria automotriz se puede llevar a cabo ensayos virtuales con una infinidad de programas computacionales desarrollados para la recreación de movimientos reales en casos de colisiones frontales, laterales, posteriores, superiores e inferiores, estos accidentes se producen en rutas de servicio por diversos factores, estos pueden ser por el exceso de velocidad, falla de frenos, impericias del conductor, exceso de peso permitido etc., permitiendo modificar o crear nuevas formas y variaciones en la geometría de la carrocería del autobús que permita brindar seguridad al conductor y los ocupantes, de manera que la estructura a deformarse en una colisión frontal no tienda a producir lesiones graves a los ocupantes expuestos al siniestro. El presente trabajo se encuentra inmerso en el marco del proyecto **ANÁLISIS DE LESIONES EN EL CONDUCTOR PARA IMPACTOS FRONTALES, COMPARANDO BUS INTERPROVINCIAL MODELOS MERCEDES BENZ (1723 CON MOTOR DELANTERO y O5001830 CON MOTOR POSTERIOR), POR SIMULACIÓN COMPUTACIONAL**, teniendo como objetivo fundamental alimentar el análisis por medio de simulaciones con softwares computacionales tales como SolidWorks utilizado para el diseño y modelado, como LS-DYNA en la utilización del análisis en el comportamiento de la carrocería y conductor en el impacto, enfocándose en el estudio del daño que sufre el conductor en partes críticas del cuerpo mediante la variación del autobús utilizado en el impacto frontal, estos autobuses pueden ser configurados sobre chasis clásicos con bastidor de travesaños con motor frontal o autobuses integrales con motor en zaga.

CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.

1.1 Antecedentes.

Durante los años se han producido múltiples accidentes de tránsito en autobuses de transporte público, en los cuales, los conductores han sido los más afectados ante un impacto frontal. En tal virtud los países se ven en la necesidad de realizar un estudio que refleje el comportamiento de las carrocerías con este tipo de impactos, con el fin de proponer un diseño que mejore la seguridad del conductor de los autobuses. En el mercado de autobuses del país están disponibles dos tipos de configuraciones; autobuses configurados sobre chasis clásicos con **bastidor** de travesaños con motor frontal y autobuses integrales con motor en zaga.

Los ordenamientos más cruciales según el Foro Mundial, ayudan a prever el peligro existente en impactos frontales y laterales, sin embargo, solamente 49 países adjudican los ordenamientos de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para una colisión frontal y 47 aplican los ordenamientos para una colisión lateral. Del infortunio producido por siniestros de automotores, Estos son producidos en su mayoría por colisiones frontales con 55%, el otro índice alto que cubre 40% pertenece a colisiones laterales y el índice restante del 5% cubre varios tipos de colisiones. (Santos, 2017 pp. 33)

Los ensayos para evitar lesiones en los ocupantes de autobuses de transporte público interprovincial se realizan basándose en las normativas validas de la Comisión Económica para Europa (CEPE/UNECE), implementando medidas de seguridad con la creación de normas y reglamentos que garanticen la disminución del contacto físico de la estructura deformada de un bus con respecto a los ocupantes cuando estén sujetos a una colisión frontal. La unión europea publicó el reglamento N°94 y N°95 referente a la homologación de los vehículos en casos de impactos frontales para salvaguardar a sus ocupantes, y los aspectos que establecen son; Toda modificación que influya directamente en la estructura, como también al número y tipo de los asientos de los ocupantes, la decoración o el acondicionamiento en su interior, la posición de los controles del vehículo o del conjunto mecánico, y que pudiera intervenir directamente en la capacidad de la parte delantera del automotor para absorber energía deberá ponerse en conocimiento del servicio administrativo que conceda la homologación.

La unión europea de acuerdo al reglamento N°94 y N°95 establece disposiciones uniformes relativas a la homologación de los automotores con relación al resguardo de los ocupantes en caso de una colisión frontal, las carrocerías están expuestas al perfeccionamiento constante por las

innovaciones tecnológicas con respecto al desarrollo técnico y, la carrocería a seguido en parte una evolución técnica.

En el continente europeo se realizan ensayos de resistencia y comportamiento en situaciones de impactos frontales, evaluando lesiones en la cabeza, tórax, abdomen y pelvis, considerándola respuesta a velocidades a 56 ± 1 km/h, si en el ensayo de impacto del autobús se realiza a velocidades superiores a la propuesta y este lograse cumplir los requerimientos de la norma el estudio se considerará satisfactorio. (Reglamento No 94 CEPE/ONU)

1.2 Justificación.

Debido a que en el mercado automotriz existe dos tipos de autobuses comercializados, existe la necesidad de contrastar las diferencias técnicas en el acoplamiento de una carrocería sobre un chasis, el chasis de travesaños, es más sencillo desde el punto de vista técnico que el diseño de un autobús integral, también son importantes los costes: los autobuses basados en un chasis son mucho más económicos que los autobuses integrales. Además, los autobuses configurados sobre un chasis utilizan con frecuencia componentes especialmente robustos y más sencillos y pueden soportar mejor las sollicitaciones extremas que los complejos autobuses integrales. Permitiendo conocer el autobús que brinde mayor seguridad al conductor frente a un siniestro frontal.

Los productores a nivel nacional de carrocerías de buses de servicio interprovincial ensamblados en chasis de motor delantero y posterior, todos sus modelos comerciales deben cumplir con los reglamentos y requisitos indicados en la resolución de la Agencia Nacional de Tránsito **ANT** resolución N° 097-DIR-2016-**ANT** referente a la homologación del vehículo M2 y M3 de fabricación o ensamblaje nacional. El diseño y construcción de carrocerías desarrolladas en distintos puntos certificados del país están sujetos al cumplimiento de reglamentos y normativas en base a la **NTE INEN 1668** y **NTE INEN 1323**.

En ningún reglamento o normativa solicitada por la autoridad pide que se realice un estudio del habitáculo del conductor para ver su comportamiento ante un impacto frontal, por esta razón es de mucha importancia realizar el presente estudio para determinar si las estructuras frontales de autobuses diseñadas de los modelos Mercedes Benz 1723 con motor delantero y Mercedes Benz O5001830 con motor posterior son resistentes y seguras en impacto frontales. Con este estudio se desea optimizar las estructuras frontales para buses de servicio interprovincial de los dos modelos utilizando el método computacional de elementos finitos FEM.

Este trabajo investigativo de impactos automovilísticos por los métodos computacionales es de gran apoyo al sector carrocerero porque reúne en una simulación virtual los distintos escenarios reales de funcionamiento frente a una colisión, obteniendo resultados iguales o aproximados a los

reales, esto permite eliminar o sustituir las simulaciones reales que son demasiado costosas y la mayoría de los países no cuentan con laboratorios especializados para llevar a cabo los ensayos físicos.

Se analizarán dos condiciones de impacto, un autobús con motor delantero y otra con motor posterior ya que se considera como modelos atípicos, como también el servicio a analizar será de tipo interprovincial ya que es uno de los más propensos a impactarse frontalmente a gran velocidad, en los que se podría identificar la afectación **biomecánica** del conductor y su incidencia en la resistencia de la estructura de la carrocería y componentes.

Las carrocerías deben ser analizadas antes de su fabricación y distribución, en el ámbito de seguridad deben presentar características como ser resistentes y deformables siendo capaces de absorber las fuerzas de impacto a las que están expuestas, para esto es necesario estudiar los parámetros de diseño que mediante el cálculo estructural nos permite obtener deformaciones máximas de todos los elementos de la carrocería que están sometidos a esfuerzos de todo tipo, permitiendo mejorar los parámetros de la estructura eliminando riesgos de dañar la integridad física del conductor.

Para el análisis de lesiones se utilizará el modelo de maniquí híbrido III siendo la caracterización virtual morfológica del ser humano aprobada, para ver el comportamiento de aceleración, fuerza y deformación en partes críticas del cuerpo, siguiendo los requisitos técnicos indicados en normativas de seguridad automotriz y vial de las Naciones Unidas **CEPE/UNECE** como también el protocolo **EURONCAP** para la evaluación de lesiones en maniquí de pruebas de impacto.

1.3 Problema.

Al no tener datos técnicos publicados acerca de lesiones producidas en el conductor en impactos frontales de autobuses, no se ha podido desarrollar el sustento técnico suficiente para generar reglamentos y normativas referente a seguridad del conductor y sus pasajeros en impactos frontales en los autobuses. Por esta razón la estructura que componen el habitáculo del conductor son desarrolladas sin tener ningún tipo de sustento técnico por lo cual genera una incertidumbre muy grande en la seguridad del conductor. Para el presente análisis se plantea analizar dos condiciones críticas que afecten la seguridad del conductor en impactos frontales permitiendo conocer cuál es la estructura que proporciona mayor seguridad, se analizará el comportamiento de una carrocería Mercedes Benz 1723 ensamblado con motor delantero y la carrocería Mercedes Benz O5001830 ensamblado con motor posterior.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

Analizar las lesiones en el conductor producidas en impactos frontales, al comparar modelos de buses de tipo interprovincial, para dos diseños de carrocerías de buses Mercedes Benz (1723 con motor delantero y O5001830 con motor posterior), utilizando el método computacional.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Generar modelos de elementos finitos FEM de las dos carrocerías Mercedes Benz 1723 ensambladas con motor delantero y Mercedes Benz O5001830 ensambladas con motor posterior.
- Calcular y analizar las cargas de simulación actuantes en el evento de impacto del autobús implementando teorías de diseño, dinámica y estática para implementar estas condiciones en los ensayos computacionales colisión frontal.
- Analizar y caracterizar los materiales estructurales y no estructurales de la carrocería, investigando las propiedades de los materiales en normativas nacionales e internaciones para asignar en modelos de materiales de las simulaciones.
- Ejecutar las simulaciones de impacto frontal de los modelos de carrocerías implementando el software **CAE**, para obtener resultados de resistencia estructural de la carrocería y verificar las lesiones producidos en maniquí en los ensayos según reglamentos.
- Optimizar los diseños estructurales frontales para mejorar la seguridad del conductor en impactos frontales en base de los datos obtenidos para los modelos analizados.

1.5 Hipótesis.

En un autobús la ubicación del motor puede ser frontal o posterior, esta ubicación incide en la seguridad que va tener el conductor en impactos frontales, debido a que el motor, caja de cambios, ejes de tracción, ventiladores, radiador, chasis y otros componentes, tenderían a mejorar la resistencia de la carrocería debido a que estos componentes absorberían el impacto, por lo tanto se espera que la carrocería ensamblada con chasis con motor delantero muestre una mayor resistencia al impacto frontal que una ensamblada con motor posterior, considerando este criterio, las lesiones en el conductor en impactos frontales serían menores en un autobús con motor delantero comparado con uno de motor posterior.

1.6 Metodología.

1.6.1 Investigación.

Se reunirá datos técnicos sobre la elaboración de los diseños en estructuras de autobuses, el desarrollo en la fabricación y ensamblaje de buses interprovinciales solicitados a los fabricantes y centros carroceros del país, o individuos involucrados que disponga de datos relevantes en el tema, realizando visitas en los todos los sitios necesarios para recolectar información.

1.6.2 Desarrollo de la investigación

Para alcanzar los objetivos propuestos de esta investigación se aplicará el método matemático de simulación computacional para impactos de grandes deformaciones de análisis estructural explícito no lineal aplicando el método de elementos finitos FEM.

EL modelado o dibujo asistido por computadora **CAD**, se realizará con él software **SOLIDWORKS 2017**, los modelos generados estarán sujetos a dimensiones reales y contarán con todos los elementos de la estructura que conforman un autobús interprovincial. Basados en la norma **INEN1668**.

En nuestro estudio se efectuará el pre procesamiento por medio de la utilización del software **BETA CAE SYSTEMS**, el cual es el encargado de la crear y generar la malla en todos los elementos de nuestros modelos de autobuses, además nos permite conocer y eliminar errores de modelado que se generan entre elementos, realizando la limpieza de los modelos de ensayo.

Se utilizará el software **CAE LS-DYNA**, para la asignación de materiales en los componentes de los autobuses, además se encargará del estudio y aplicación de condiciones de borde, estas se dan en cargas dadas a la estructura, conexiones entre elementos del dummy, conexiones entre elementos el autobús y otras condiciones relacionadas propias de las estructuras, existen otras condiciones que están sujetas a los requerimientos de ensayo del reglamento N°94 de **CEPE** restricciones en pesos de componentes, velocidades de ensayo, dimensiones de elementos de impacto, entre otros, la colocación en el autobús del dummy Híbrido III 50 percentil generado **LSTC** para ensayos de impacto. Además, **LS-DYNA** será el software encargado de realizar la simulación.

Los resultados se visualizarán con periodos de tiempos controlados, Los datos **biomecánicos** del maniquí que abarca el comportamiento de la cabeza, tórax, abdomen, pelvis, además en el impacto se conocerá los resultados de desplazamientos, se visualizará el comportamiento de la estructura en deformaciones máximas del autobús, esfuerzos de materiales estructurales, **bastidores**, carrocería entre otros.

Para evaluar los resultados obtenidos de los criterios de lesiones se equipará los datos de aceptación en impactos frontales indicados en normativas de seguridad automotriz y vial de las naciones unidas **CEPE/UNECE** como también el protocolo **EURONCAP** para la evaluación de lesiones en maniquí de pruebas de impacto.

1.7 Resultados a alcanzar.

Obtener los resultados de ensayos computacionales por el método FEM de las lesiones producidas en la cabeza, tórax y pelvis del maniquí Híbrido III de pruebas de impacto, para las dos condiciones de colisión frontal sobre los modelos de carrocería de bus con chasis con motor delantero y posterior, para compararlos con los índices de aceptación de lesiones según reglamentos **CEPE**. Obtener resultados de ensayos computacionales por el método FEM del comportamiento estructural de los dos modelos las carrocerías en impactos frontales, para analizar su afectación, identificación de zonas críticas y optimizar su estructura para mejorar su resistencia a este tipo de colisiones.

1.8 Recursos.

1.8.1 Recursos materiales.

- Licencia de programa de dibujo asistido por computadora **CAD SOLIDWORKS**
- Licencia del programa de ingeniería asistido por computadora **CAE LSDYNA Windows 10**.
- Manual de LSDYNA
- Modelos de maniquí **HIBRIDO III** desarrollado por **LSTC LSDYNA**
- Computador procesador Intel Inside core i7, memoria 16 GB RAM. Sistema operativo.

1.8.2 Talento humano.

TALENTO HUMANO	ACTIVIDADES
ING. EDWIN POZO	DIRECTOR DE TESIS
ING.MIGUEL AQUINO	MIENBRRO DE TESIS
	ANALISIS
	COMPORTAMIENTO
CARLOS PAUCAR	BIOMECÁNICO DEL
	CONDUCTOR DE UN
	AUTOBUS

1.8.3 Presupuesto.

Recurso	Costo \$
Investigación	100
Manuales de carrozado	-
Instrumentos de medición flexómetro, calibrador pie de rey, balanza entre otros	100
Ensayos de materiales Tracción, flexión, charpy.	100
Programas CAD SOLIDWORKS / LSDYNA	-
Computador	1000
Modelos de maniquí HIBRIDO III desarrollado por LSTC LSDYNA	-
Logística y transporte	100
Capacitación y asistencia técnica	200
Papelería	100
Normas y reglamentos técnicos	100
Total	1800

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACION.

2.1 Fundamentación legal.

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1668. Automotores para traslado de usuarios Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial disposición: Esta ordenanza involucra a los automotores diseñados y dotados para el traslado de viajeros de una sola planta, sean fabricados de forma nacional o internacional. (NTE INEN 1668.)

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323. Vehículos automotores. Carrocerías de buses. disposición: Esta ordenanza involucra todas las carrocerías de autobuses, es decir toda unidad de autobús producida o comercializada en el país. Además, esto involucra a las estructuras que conforman los chasis carrozados importados y carrocerías auto-portantes. (NTE INEN 1323.)

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2415. Materiales especiales empleados estructuras y aplicaciones generales. disposición: Esta ordenanza involucra las condiciones que cumple la tubería de acero al carbono sus derivados y las distintas variaciones en el conformado del material, estos incluyen tubos de distinta forma como los circulares, cuadráticos, rectangulares o especiales para la implementación en estructuras y casos generales. (INEN 2415.)

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2704. Vehículos automotores. Anclajes del cinturón de seguridad para vehículos. Esta ordenanza involucra las condiciones que deben efectuar para el montaje del cinturón de seguridad y anclaje con el fin de afianzar su ubicación, para la retención eficaz del ocupante y para disminuir la posibilidad de su fallo. Esta norma aplica tanto automotores de transporte multipropósito, camiones y buses de pasajeros. (NTE INEN 2704.)

Reglamento no 94. Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) Disposiciones equivalente sobre la homologación de los automotores concerniente al resguardo de sus ocupantes en sucesos de siniestros frontales. (Reglamento No 94 CEPE/ONU.)

Resolución No.097-DIR-2016-ANT. Normativa para el método de homologación de automotores e instrumentación de medida, control, protección y aprobación de los automotores en comercialización, **Art.1.-** El ordenamiento tiene como finalidad implantar las condiciones, aptitudes administrativas y métodos adaptables para la adquirir el certificado único de homologación de vehículos automotores, dispositivos de medición, control y seguridad de transporte terrestre y carrocerías, sean importados ensamblados o fabricados en el país, como estipulación obligatoria previo a la entrada del país, registro y venta con el objetivo de asegurar

una prestación de calidad e integridad de los usuarios y operadores. (Resolución No.097-DIR-2016-ANT.)

2.2 Fundamentación teórica.

2.2.1 Autobús.

Es un medio de transporte terrestre con capacidad para un gran número de usuarios, los buses están diseñados para realizar largos recorridos por lo que debe brindar confort y seguridad a los pasajeros.

El autobús está conformado por una parte mecánica y una parte estructural o también llamada carrocería. La parte mecánica está formada por diversos elementos que conforman un vehículo como son el sistema de propulsión, sistema transmisión, sistema de refrigeración entre otros. La sección de la carrocería es conocida como la carcasa o estructura del autobús, está constituido habitualmente, por elementos estructurales y láminas de metal las cuales están sujetas mediante varios métodos estos pueden ser soldado u remachado entre otros, permite aportar en el soporte de las partes mecánicas.

2.2.2 Clasificación de autobuses según acoplamiento de la carrocería.

2.2.2.1 Autobús con chasis.

Este tipo de configuración es la más comercializada en nuestro medio por las grandes exigencias en la geografía de las rutas viales que conectan nuestras ciudades.

Este modelo esta con formado por un chasis o **bastidor** que no debe ser confundido con la carrocería, consiste en una estructura interna que sostiene y aporta rigidez, formando a un vehículo, es **análogo** al esqueleto de un animal. Para el caso de un vehículo consta de un armazón que integra entre sí y sujeta tanto los componentes mecánicos, como el grupo moto-propulsor y la suspensión de las ruedas, motor incluyendo la carrocería.

El chasis de un autobús está diseñado con el fin de proporcionar una base para el montaje de la carrocería y sus componentes desarmables, está conformado por dos largueros en forma de c, unidos con travesaños y diagonales formando algo parecido a una escalera.



Figura 1-2: Chasis Mercedes-Benz OF-1723/59.

Fuente: Autolider Ecuador S.A.

El acoplamiento de una carrocería sobre estos chasis robustos es más sencillo desde el punto de vista técnico permitiendo soportar mejor las sollicitaciones extremas, el chasis de travesaños cuenta con ciertas restricciones al momento de montar las carrocerías, son secciones especiales destinadas a los soportes de las partes mecánicas para dar movimiento a todo el conjunto. Como se muestra en la Figura 2-2.

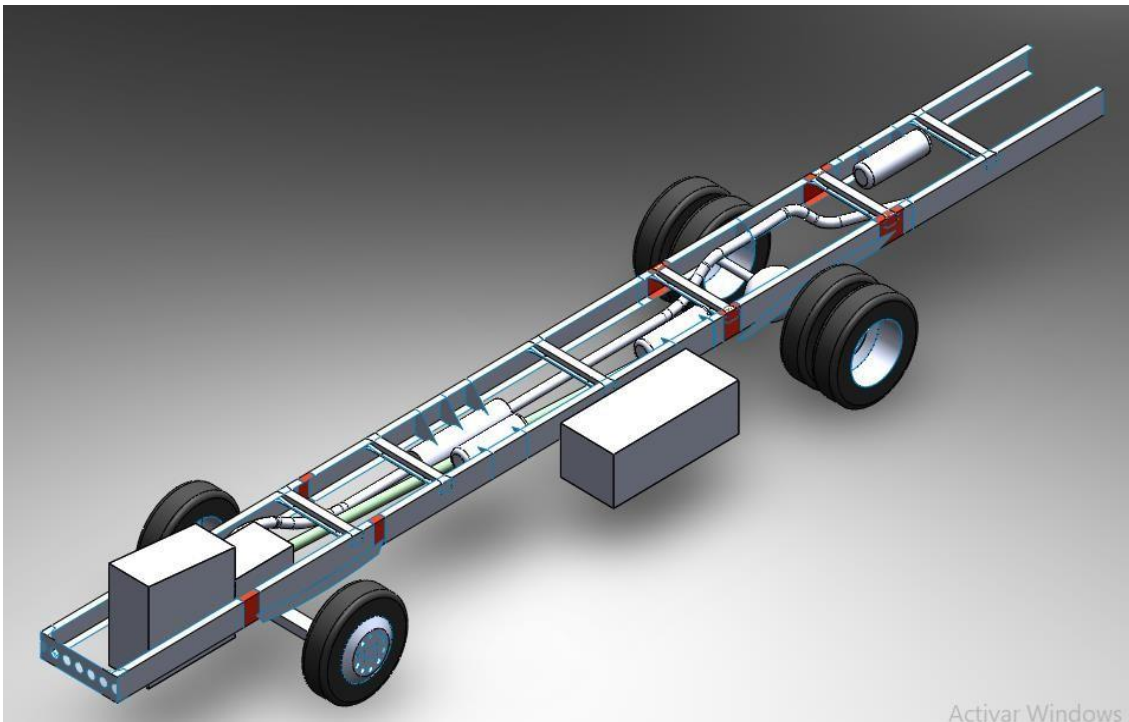


Figura 2-2: Diseño CAD Chasis Mercedes-Benz OF-1723/59, Secciones restringidas de color rojo para montaje de carrocería.

Realizado por: Paucar C, 2021

2.2.2.2 *Autobús integral.*

En Ecuador también se comercializa el chasis de motor posterior de tipo autoportante, el concepto integral permite que la carrocería y las partes motrices estén ensambladas de forma que no existan cortes y el chasis no se puede separar de la carrocería formando en si un solo conjunto, Otro punto importante de esta tecnología, es que su estructura está diseñada para circular en largas distancias en carretera y no para terracería y cortas distancias, o someterlos a trabajos agresivos, ya que se corre el riesgo de dañar severamente la unidad.

Debido a que se utiliza tecnología con un elevado costo, entre 35 y 40 por ciento más que un autobús convencional, su adquisición se fija entorno a aquellas grandes empresas turísticas, las cuales tienen una alta capacidad de adquisición, sobre todo para brindar un alto índice de seguridad y confort a los pasajeros que eligen los servicios de transporte para cubrir los viajes de largas distancias. (Canales sectoriales Interempresas, 2010).

Los autobuses integrales deben pasar por una serie de detecciones de calidad y seguridad muy estrictas, la cual asegura que la unidad, aunque tenga vuelcos, no debe colapsarse para no dañar a los pasajeros. De otra forma, si llega a tener un impacto lateral o frontal no se debe doblar, esto debido al tipo de fabricación de su estructura con el objetivo de preservar la seguridad de los pasajeros y el conductor.



Figura 3-2: Chasis Integral Mercedes-Benz O 500 RS 1836 / 30.

Fuente: Autolider Ecuador S.A.

El chasis integral de motor posterior no presenta una estructura frontal elaborada y segura, además no cuenta con un elemento que atenué el impacto como es el motor en el caso del otro tipo chasis ver figura 3-2, por esta razón el fabricante de la carrocería debe diseñar y fabricar una estructura

que sea resistente a cargas de funcionamiento normal como también ante impactos incluyendo colisiones frontales, con el objetivo de preservar la seguridad del conductor y de sus pasajeros.

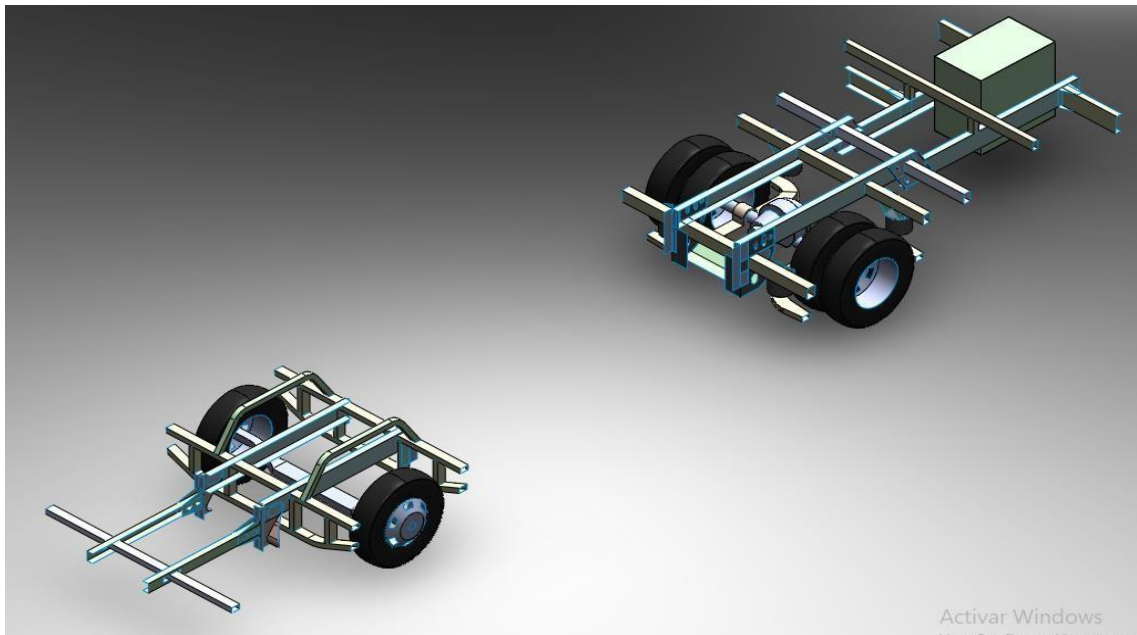


Figura 4-2: Diseño CAD Chasis Integral Mercedes-Benz O 500 RS 1836 / 30.

Realizado por: Paucar C, 2021

2.3 Carrocería metálica.

Una carrocería metálica se define como una estructura de forma cubica especial destinada para trasladar personas en cuanto esté efectuado el trayecto del autobús de un punto hacia otro, la misión fundamental de la carrocería es albergar y reguardar a los pasajeros.

Cumple con la principal característica de ser el armazón del autobús, conformado por perfiles, y tubería estructural resguardados contra el desgaste que se da por distintas causas a las que están expuestos, cuyo interior se destina para el habitáculo de los pasajeros, la carrocería debe concentrar la mayor cantidad de energía liberada en el impacto por medio de la deformación gradual y controlada de la sección frontal, posterior, lateral u otras del autobús, sin que intervenga negativamente la integridad y compartimento a los pasajeros. Dicha estructura debe garantizar características de solidez resistencia y seguridad, obedeciendo en todo sentido los requisitos de las normas vigentes en cada país, permitiendo desarrollar estructuras de calidad. (CEDE)

Las carrocerías varían de acuerdo al material, tanto en costo de los elementos que la conforman, como en peso total de la estructura por características directas al material, los fabricantes abarcan todas estas exigencias de acuerdo a las peticiones de cada cliente.

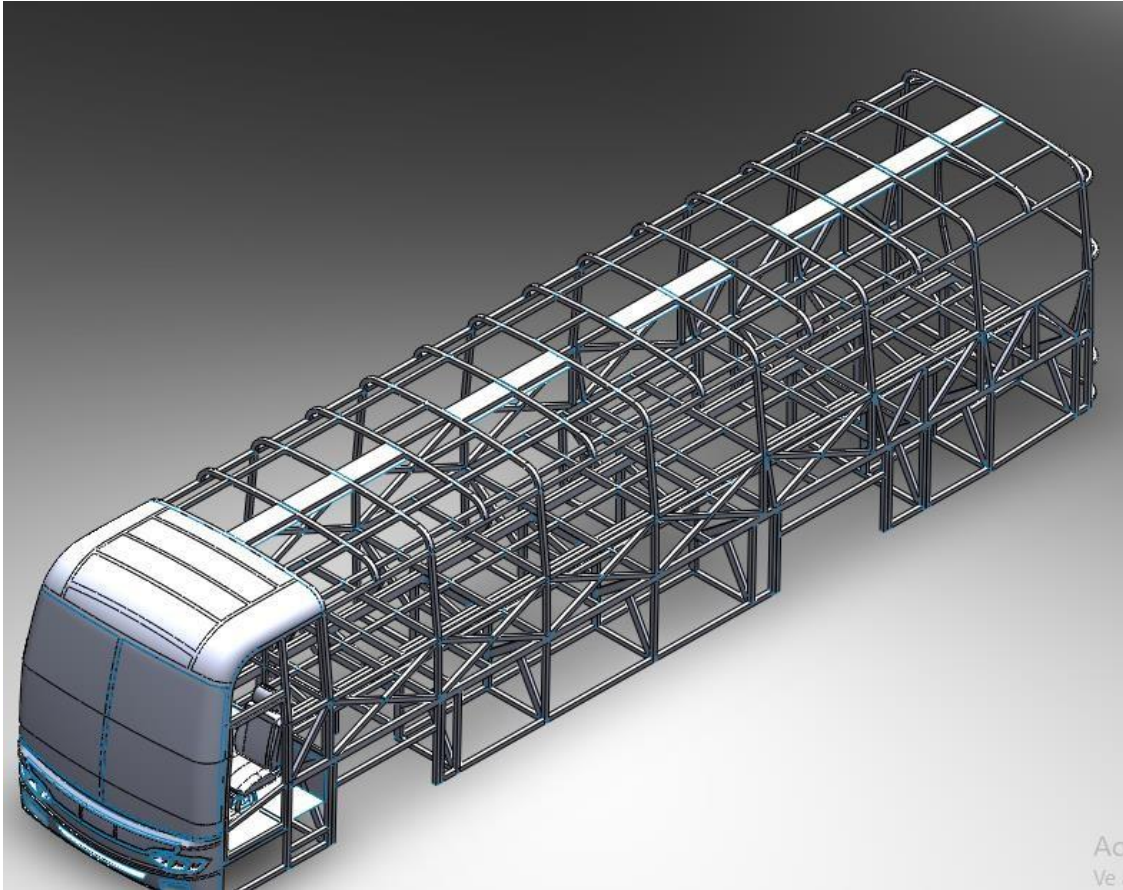


Figura 5-2: Diseño CAD de una carrocería.

Realizado por: Paucar C, 2021

2.3.1 Partes de la carrocería.

La carrocería es el sistema mecánico que ha sido diseñado y empleado para el transporte o movilidad humana y también de carga pesada. De esta manera se constituye el transporte terrestre como la interfaz inevitable entre el viajero y el vehículo, como el conjunto de soporte estructural con el fin de prometer comodidad y seguridad al usuario que decida emplear el servicio junto a la confianza de tener un traslado cómodo cumpliendo normas de calidad. (Durán, 2006 pp 27-28)

2.3.1.1 Estructura.

Está constituida por un habitáculo o **armadura** de soporte, es el conjunto de partes que permite proporcionar soporte, resistencia, rigidez y estabilidad a la carrocería, la función principal que debe cumplir es absorber y contra restar la energía formada de pesos muertos, circunstancias producidas en el manejo, anomalías en impactos con el fin del redireccionamiento de energía en

elementos expuestos hacia elementos con menor incidencia por medio de juntas rígidas, obteniendo una mejor disolución.

2.3.1.2 Paneles externos.

Superficie que está directamente en conexión con el ambiente exterior de la región de trabajo, conformada por láminas de metal o partes de materiales combinados, brindando la silueta representativa al autobús y son las encargadas del resguardo de la estructura contra los efectos de la corrosión y desgaste a través de capas de recubrimiento. (Cepeda, 2017 pp. xix)

2.3.1.3 Juntas.

Constituyen los elementos utilizados para la unión de partes estructurales principalmente, esto influye directamente en el funcionamiento del autobús y del bienestar para los usuarios. Las conexiones fundamentales ocupadas son las uniones soldadas, empernadas y adheridas, esto varía por el requerimiento de partes a unir ya sean estos elementos estructurales, elementos funcionamiento principal, recubrimiento y confort. (Cepeda, 2017 pp. xix)

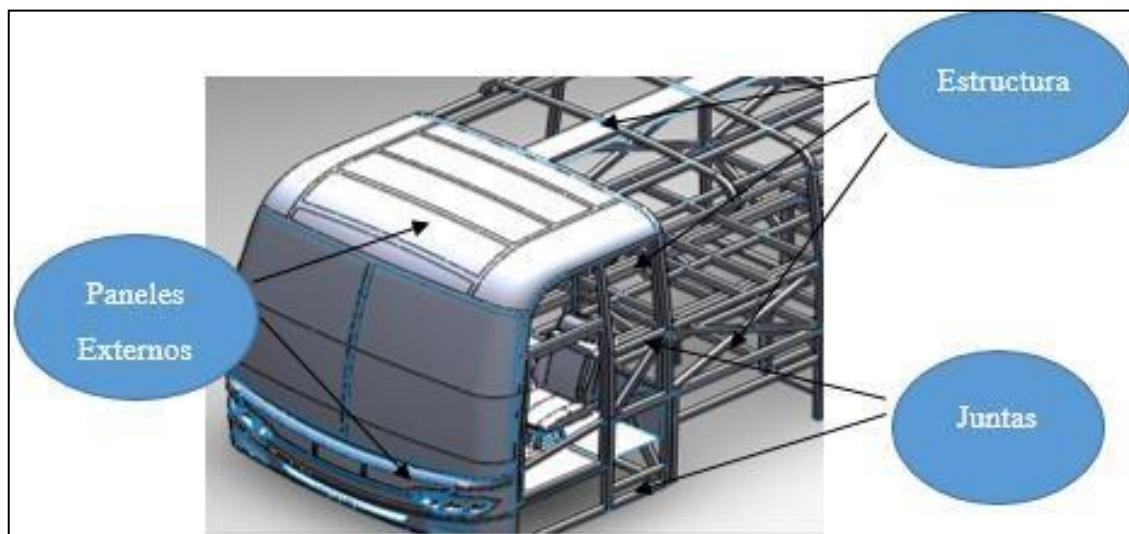


Figura 6-2: Diseño CAD partes de una carrocería.

Realizado por: Paucar C, 2021

2.4 Transporte interprovincial.

El transporte interprovincial ha sido diseñado y preparado para cubrir viajes largos entre provincias sin la excursión del límite de un país, excepto si adquiere permisos para salir del

mismo. Este tipo de autobuses no son adecuados para el transporte de pasajeros que tomen la postura de pie, estas cuentan con elementos de gran confort y zonas para carga lo cual los transforma en medios de transporte terrestre adecuados para recorrer amplias distancias. (Universidad Politécnica de Madrid)

2.5 Medidas estándar de vehículos interprovinciales.

A continuación, se detalla las medidas que tienen que presentar los autobuses destinados al traslado de grandes cantidades de usuarios con el fin de salvaguardar la vida de los ocupantes basado en la norma **NTE INEN 1668**, como se muestra en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Dimensiones para carrocerías norma **NTE INEN 1668**, autobús interprovincial.

No	Literal	Requisito	Dimensión
1	5,5	Chasis	Si
2	5,5	Distancia entre ejes	especificada por el fabricante
3	5.6.8c	Numero de puertas	1
4	5.6.5	Visibilidad del conductor	Debe cumplir lo indica en la normativa
5	5.6.6	Altura de ventanas	900
6	5.6.7	Parachoques frontal y posterior dimensión sobresalida	300
7	5.6.7	Altura desde la calza parte inferior del parachoques frontal	500
8	5.6.7	Altura desde la calza parte inferior del parachoques inferior	600
9	5.6.8	ubicación de puertas	derecho del eje frontal delantero
10	5.6.8	Número de asientos	1 asiento de conductor
11	5.6.8	Ancho libre de puerta	850
12	5.6.8	Alto de la puerta	2000
13	5.6.8	Ancho de puerta del conductor	550
14	5.6.8	Puerta del conductor	Si
15	5.6.8	Altura de puerta del conductor	por confirmar
16	5.6.9	Dimensiones e salida de emergencia en vidrios laterales	500 x 700 mm

17	5.6.9	Número de salida de emergencia	una por cada ventana lateral del bus
18	5.6.10	Número de escotillas	3
19	5.6.10	Distancia entre escotillas	2000
20	5.6.10	Área mínima de escotilla	0.35 m ²
21	5.6.11	Portaequipajes	Si
22	5.6.11	Para que albergue el equipaje un volumen de	0.1 m ³ por pasajero
23	5.6.11	Bodega individual para rueda de emergencia	SI
24	5.6.11	Bodega individual para tanque de combustible	SI
25	5.6.11	Dispositivos de apertura de puertas de tipo	panto gráficas
26	5.6.12	Altura del corredor	1900 mm
27	5.6.12	Altura piso a borde inferior	700 mm
28	5.7.1	Dimensiones de gradas	cumple con dimensiones de huellas y contra huellas
39	5.7.1	Cabina del conductor	SI
40	5.7.1	Altura material solido de cabina	700 mm
41	5.7.1	Distancia mínima desde el borde superior del asientos del conductor y el acompañante al techo del autobús	min 900 mm
42	5.7.1	Ancho la puerta de cabina de conducción	según lo indica en la figura 10
43	5.7.1	Asientos para pasajero	No tiene
44	5.7.1	Número de pasajeros para aplicar carga de equipaje	45
45	5.7.1	Porta paquetes	Si
46	5.7.1	Ancho de porta paquetes	800 mm
47	5.7.1	Altura desde el piso al borde inferior del porta paquete	1500 mm

48	5.7.1	Sistema de Aire acondicionado	Si
49	5.7.1	Dimensiones de aire acondicionado	6000 mm
50	5.6.9	Largo de ventanas	1450
53	5.6.3 ^a	Largo del bus	min. a 10 250 no máx. a 13 300 mm
54	5.6.3d	Voladizo posterior	66% máx. de la distancia entre ejes.
55	5.6.3d	Voladizo frontal	min 2000mm, máx. 3000mm.
56	5.6.3b	Ancho del bus	2600 mm medidos en las partes más salientes de la estructura.
57	5.6.3c	Altura de la carrocería	máx. 3800 mm

Fuente: NTE INEN 1668, 2015

Realizado por: Paucar C, 2021

2.6 Asiento del conductor.

El asiento del conductor debe ser de tipo ergonómico, regulable en los planos vertical y horizontal (longitudinal), deberá estar ubicado frente al tablero de conducción. Los recorridos de ajuste del asiento deben ser verticales entre 400 mm y 550 mm; horizontales con una carrera mínima de 120 mm. La inclinación del espaldar debe estar entre 90° y 110° con respecto a la parte horizontal del asiento. Todos estos ajustes deben ser fácilmente realizables por un conductor de peso medio de 70 kg y los mandos de ajuste deben estar al alcance de sus brazos. La base del asiento debe estar firmemente anclada a la estructura del piso de la carrocería. (NTE INEN 1668). como se muestra en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Dimensiones para asientos de norma NTE INEN 1668, autobús interprovincial.

N°	Líteral	Requisito	Dimensión
1	5.7.1	Distancia del conductor al panel de instrumentos	700 mm
2	5.7.1	asiento del conductor	Si
3	5.7.1	Ancho	450 mm
4	5.7.1	Profundidad	450 mm
5	5.7.1	altura de espaldar	500 mm

6	5.7.1	Tipo de sujeción de asiento a estructura de la carrocería	Pernos
7	5.7.1	cinturones de seguridad	Si
8	5.7.1	número de puntos de cinturón de seguridad para conductor	3
9	5.7.1	Tipo de cinturón	sin accionamiento de retractores y pretensores
10	5.7.1	apoya cabeza	Si

Fuente: NTE INEN 1668, 2015

Realizado por: Paucar C, 2021

2.7 Seguridad en los vehículos.

Dentro de la seguridad en los automóviles hay que diferenciar dos temas: seguridad pasiva y seguridad activa. La seguridad activa son todos los elementos del automóvil que mejoran la seguridad en la conducción y la seguridad pasiva son todos los elementos del automóvil que en caso de accidente evitan o disminuyen los daños a los ocupantes como el entorno del accidente.

2.7.1 Seguridad pasiva.

Cuando un vehículo alcanza una determinada velocidad, también ha alcanzado una cantidad de energía y es el motor de combustión interna quien lo ha suministrado. La energía de un cuerpo en movimiento toma el nombre de energía cinética y su estimación equivale a la mitad del producto del cuadrado de la velocidad del móvil por su masa. En este cálculo la magnitud más importante es la velocidad del móvil, puesta que va elevada al cuadrado; como resultado, hemos de ser conocedores que la energía que disponen los vehículos que manejamos aumenta de forma cuadrática al elevar la velocidad.

$$Ed = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Ec. (1)}$$

Cuando el automotor que dirigimos sufre una colisión contra una superficie no deseada, toda la energía cinética que tenía, debido a su velocidad, se convierte en energía de deformación,

agotándola en deformar y romper las estructuras metálicas de la parte delantera del vehículo y el elemento no deseado sujeto al impacto.

El operario del vehículo y sus ocupantes se involucran directamente en la distribución de energía generada, los ocupantes al tomar velocidad con el vehículo y en el momento de la colisión devuelven la energía desplazándose en el sentido de la marcha, acto que debe soportar al toparse de manera impetuosa contra las partes del vehículo empleadas en la parte delantera. (Parera, 2000 pp.15)

Los autobuses disponen de mecanismos de seguridad pasiva que son altamente importantes, a continuación, detallaremos algunos de los principales sistemas;

- Cinturón de seguridad tres puntos.
- Asientos confiables y adaptables
- Reposacabezas ergonómicos.
- Tablero de control de instrumentos de mando deformables.
- Airbag.
- Carrocerías de deformación progresiva.

2.7.2 Seguridad activa.

Esta seguridad operante está conformada por sistemas especializados que disponen todos los autobuses en movimiento para afianzar la garantía en los recorridos que estos deben cumplir. Sistema de frenado es el más importante con la utilización del ABS que maximiza su control, los sistemas de control de estabilidad permite que el autobús no sufra la pérdida de carril, mediante la actuación rápida de la unidad de control del autobús que activa el sistema de frenado y la suspensión, ajustándose a las características de la superficie de la calzada. (Parera, 2000 pp.23)

Los autobuses están conformados por distintos sistemas de seguridad activa por lo que detallaremos los principales:

- Sistema de frenos
- Sistema de Dirección
- Sistema de Suspensión
- Elementos de adherencia con el suelo (Neumáticos)
- Sistema de Iluminación
- Sistema Control de estabilidad

2.8 Materiales utilizados en la construcción de la carrocería

De acuerdo a la norma **INEN 2415** que muestra los requisitos que esta ordenanza involucra las condiciones que cumple la tubería de acero al carbono sus derivados y las distintas variaciones en el conformado del material, estos incluyen tubos de distinta forma como los circulares, cuadráticos, rectangulares o especiales para la implementación en estructuras y casos generales, como se muestra en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Clasificación y propiedades de los tubos la norma **NTE INEN 2415**.

Grado	Descripción	Límite de fluencia mín. (MPa)	Resistencia a la tracción mín. (MPa)	Elongación % mín. $\geq 3,05$ mm de espesor
AC	Tubo Para usos generales	205 a 340	----	≥ 25
A	Tubos estructurales Sección Circular	230	310	25
B		290	400	23
C		315	425	21
D		250	400	23
A	Tubos estructurales Sección cuadrada, rectangular o especial	270	310	25
B		315	400	23
C		345	425	21
D		250	400	23

¹ ASTM A500/A500M Tabla 2 Tensile requirements.

Fuente: INEN 2415, 2016

Realizado por: Paucar C, 2021

El material más utilizado en nuestro medio por las fábricas constructoras de carrocerías son los tubos estructurales de sección cuadrada, rectangular o especial de grado A con un límite de fluencia mínimo de 270 MPa, la resistencia a la tracción mínima es de 310 MPa y una elongación porcentual mínima, a menor o igual a 3.05 de espesor. Cabe recalcar que este material ha sido seleccionado por la mayoría de los fabricantes por su costo accesible y la baja relación del peso final de la carrocería.

Los materiales de grado B, C, D siguientes de los tubos estructurales de sección cuadrada, rectangular o especial son utilizados es ciertas ocasiones especiales cuando a petición del dueño del autobús desea la fabricación con dichos materiales teniendo muy cuenta que esto abarca costos muy elevados en el material con relación al anterior material de grado A, además supone aumento significativo en el peso total del vehículo, obteniendo como resultado una estructura más robusta

y pesada, esto permite cuestionar las capacidades de peso y tracción del motor del bus permitidas por el fabricante.

2.9 Dummy

Actualmente las simulaciones de los modelos de cuerpo humano en colisión de vehículos se desarrollan principalmente usando como base los datos que ofrecen los maniqués **antropomórficos** (dummies) que se utilizan en los ensayos reales.

Los crash test dummies (maniqués para ensayos de choque), son muñecos **antropomórficos** que tienen como finalidad suplantar al ser humano en los test de choque a las que están sujetos los vehículos. Además de cambiar a los ocupantes de los automotores en los test, deben mostrar una conducta semejante al del cuerpo del conductor, por consiguiente, están sujetos a mostrar un conjunto de cualidades físicas iguales a las del cuerpo de un individuo. Estas propiedades pueden abarcar las dimensiones, la masa, las estructuras internas o la elasticidad de las distintas partes del cuerpo, estas se deben mostrar lo más semejante a un cuerpo humano real, con la finalidad de que la correlación entre los resultados conseguidos con el dummy y los logrados con un cuerpo humano se asemejen. Por otra parte, están compuestos con una serie de sensores colocados por todas las partes críticas que conforman el ser humano, con los que, calculando varios criterios, permitiendo calificar la gravedad del infortunio que se expone en la persona. (Muñoz & López, 2007 pp. 63-71.)



Figura 7-2: Dummy real híbrido III 50% percentil.

Fuente: (HUMANESTICS GRUP)

2.9.1 Hybrid III

Es el maniquí de prueba de choque más empleado en el mundo para la evaluación de sistemas que están sujetas a seguridad automotriz en pruebas de colisión frontal. Originalmente desarrollado por General Motors, el diseño masculino del percentil 50 Híbrido III, como se muestra en la Tabla 4-2, ahora es mantenido y desarrollado por Humanetics junto con los Comités de **Biomecánica** de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) y la Administración Nacional de Seguridad y Transporte en Carreteras (NHTSA).

Tabla 4-2: Comparación de masas entre el modelo virtual y el maniquí hybrid III 50 %.

CONJUNTO		Requisitos norma		Peso medio maniqués (kg)	Peso Modelo FEM (kg)
		Mín. (kg)	Máx. (kg)		
Cabeza	Cabeza	4,49	4,59	4,55	4,54
Cuello	Cuello	1,49	1,59	1,51	1,55
Tórax	Torso Superior	17,05	17,33	17,07	17,27
Pelvis	Torso Inferior	22,90	23,81	23,07	23,07
Pierna	Pierna Superior	5,90	6,08	5,97	6,04
	Pierna Inferior	4,22	4,36	4,40	4,35
	Pie	1,09	1,23	1,15	1,14
Brazo	Brazo Superior	1,91	2,09	2,03	1,96
	Brazo Inferior	1,65	1,75	1,69	1,67
	Mano	0,52	0,61	0,55	0,53
TOTAL MANIQUÍ HIII-50th		76,52	78,88	77,76	77,81

Fuente: Martínez & otros, pp. 804

El dummy digital cuenta con las mismas características del maniquí real, por lo que está sujeto a calibraciones digitales, estas son llevadas a cabo por LSTC-LSDYNA y organismos reguladores, Además proporciona distintos tipos de dummy siempre y cuando el usuario disponga de una licencia de utilización del software LSDYNA.



Figura 8-2: Modelo de dummy de pruebas para colisiones HIBRIDO III generado por LSTC-LSDYNA.

Realizado por: Paucar C, 2021

2.10 Método de elementos finitos

Gracias a la dificultad de las ecuaciones de régimen de las construcciones sucesivas y, generalmente, de la mayor parte de las construcciones se hace indispensable la implementación del procedimiento de los recursos finitos o **MEF**. Este procedimiento establece la conducta de una composición frente a las cargas anteponiendo el resultado continuo, preciso y por lo general del imposible sistema de ecuaciones diferenciales que componen el problema elástico, obteniendo una solución discontinua o discreta y por consiguiente acercada. Para eso **discretiza** el conjunto de elementos, por lo que divide en componentes no diferenciales o componentes finitos interconectados entre sí por medio de una definida cantidad de aspectos llamados nodos.

Terminado el estudio cada componente de manera aislada se recompone la estructura restableciendo la estabilidad y la concordancia de desplazamientos en los nodos, lo cual da espacio a un conjunto de ecuaciones algebraicas. La determinación de este conjunto de ecuaciones posibilita encontrar los desplazamientos de los nodos y, desde ellos las incógnitas faltantes de la estructura. Es un procedimiento aproximado cuyo nivel de exactitud se incrementa con la cantidad de componentes en que se divide la estructura una vez que la aplicación del procedimiento es adecuada. (Vázquez & López, pp. 31)

2.10.1 Aspectos generales del método.

Para solucionar problemas, el Método de los Elementos Finitos recurre a la presunción de discretización, determinando lo siguiente:

La estructura expuesta a estudio se fragmenta por medio de líneas imaginarias en un conjunto de partes colindante y disjuntas entre sí, de conformaciones geométricas fáciles y ordenadas, que toman el nombre de elementos finitos.

El movimiento de un punto independientemente cualquiera que este fuese, esta unívocamente definido por el movimiento de los nudos del componente de la estructura al que integra el punto. De esta manera se limita para cada factor o parte, unas funcionalidades de interpolación que posibiliten encontrar la estimación de todos los movimientos interiores por interpolación de los movimientos nodales. Estas funcionalidades de interpolación van a ser de tal habitualidad que se asegure la conformidad de deformaciones inevitables en los límites de contacto entre los componentes. El ejercicio de interpolación y los movimientos nodales demarcan explícitamente la circunstancia de desplazamientos unitarios en la parte interna del componente. Obtenidas por medio de las ecuaciones intrínsecas del material definiendo las circunstancias de las tensiones en el componente y en los límites de cada uno. En todo componente, se encuentra un conjunto de

fuerzas concentradas en los nudos, que equiparan a las tensiones presentes en la periferia del componente, y a las fuerzas extrínsecas sobre él actuantes. (Celigüeta, 2011 pp.3)

2.10.2 Tipos de elementos.

- *Unidimensional.*

El dominio continuo que se analiza se extiende según una única dimensión x , teniendo el material un área variable con dicha coordenada $A(x)$. (Celigüeta, 2011 pp.26)

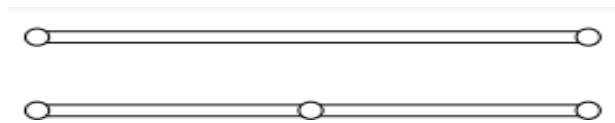


Figura 9-2: Elementos para elasticidad unidimensional.

Fuente: (Celigüeta, 2011)

- *Bidimensional.*

Son muy frecuentes en Ingeniería, y son asimismo los primeros en los que se aplicó el **MEF**. En este caso el medio continuo que se analiza es plano, y se considera situado en el plano (x, y) . Se denomina t al espesor del dominio en su dirección transversal, el cual se considera despreciable frente a las dimensiones del dominio en el plano (x, y) . (Celigüeta, 2011 pp.39)

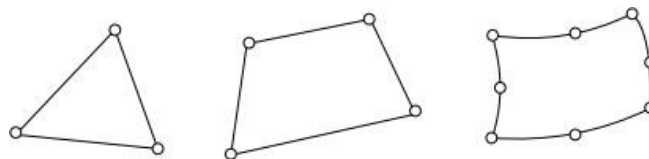


Figura 10-2: Elementos para elasticidad bidimensional.

Fuente: (Celigüeta, 2011)

- *Tridimensional.*

Las elasticidades en tres dimensiones son bastante frecuentes en la práctica ingenieril, y se presentan sobre todo en elementos que, por su proceso de fabricación, o necesidades funcionales no pueden tener una dimensión mucho menor que las otras dos. Esto ocurre con piezas fundidas

o forjadas (carcasas de maquinaria, bancadas de máquinas herramienta, soportes y aparatos de apoyo, etc.), con elementos estructurales en hormigón para apoyo y cimentación (apoyos de puentes, cimentaciones de máquinas, obras hidráulicas...), y en general en cualquier estructura en la que no pueda asumirse la hipótesis de que la tensión en la dirección del espesor sea nula. (Celigüeta, 2011 pp.85)

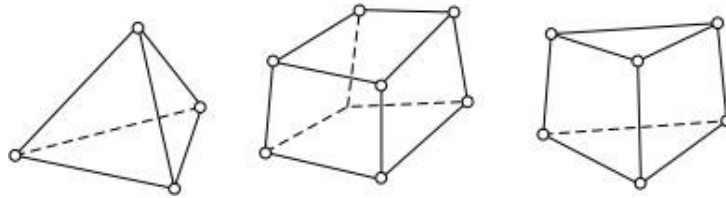


Figura 11-2: Elementos para elasticidad unidimensional.

Fuente: (Celigüeta, 2011)

2.11 Mallado.

Independientemente del método de mallado utilizado, en la fase de discretización del **MEF** surge también la dificultad de distribuir los grados de libertad a lo largo del dominio del problema de modo que éstos se concentren en aquellas zonas donde el campo presente unas variaciones más abruptas. La mejor distribución será aquella que proporcione la solución más exacta con el menor número de incógnitas. Una forma de conseguir una buena distribución es utilizar un esquema adaptativo, esto es, generar una malla inicial con pocos elementos, resolver el problema con esta discretización, estimar el error cometido en el cálculo de la solución, añadir incógnitas en las regiones donde el error sea mayor y resolver de nuevo sobre la nueva malla. Este proceso se aplica iterativamente hasta obtener la precisión deseada o alcanzar un número de grados de libertad aceptable para el problema dado. (Díaz, 2000 pp. 2-3)

2.12 Ls-dyna.

Es un software de elementos finitos con la capacidad de simular cuestiones complejas que se llevan a cabo en un sinnúmero de eventos físicos reales. Su aplicación está directamente relacionada con las industrias automotriz, aeroespacial, de construcción, militar, manufacturera y de bioingeniería. La aplicación de este método se basa en el análisis de las deformaciones transitorias no lineales que se llevan a cabo en un intervalo reducido de tiempo. (ANSYS/LTS.)

La aplicación de LS-DYNA en el ámbito automotriz es apreciado cuando se realiza el análisis del diseño en los automotores. Esto permite conocer a ciencia cierta el comportamiento del automotor

frente a un siniestro y los principales efectos producidos a los ocupantes en el instante de la colisión. De esta manera las empresas de automoción y proveedores consiguen acreditar sus prototipos virtuales, consiguiendo que pase los test físicos y adquiera la certificación. De esta manera las empresas tienen la opción que les permite reducir gastos y tiempo en sus proyectos. LS- DYNA cuenta con archivos de cinturones de seguridad, sensores, acelerómetros, airbags, modelos de maniquí para facilitar los estudios virtuales. (VETTURAZZI, 2020)

2.12.1 Pasos a seguir en el cálculo (MEF).

Estos métodos disponen de ciertos pasos a seguir para resolver cualquier estudio. (Frías, 2004 pp. 121)

a) Pre-procesador.

- Dibujar los modelos de autobuses.
- Selección del tipo de elementos a utilizar en la obtención de la carrocería como en la totalidad de elementos que conforman el autobús.
- Seleccionar el material que se va a utilizar en los autobuses, que pueden obtenerse de acuerdo a estándares y normas de fabricación de cada país.
- Asignación de propiedades de los materiales a los diferentes componentes de los modelos de autobuses.
- Mallado de los componentes de los modelos de autobuses.
- Aplicación de las cargas exteriores en los modelos de autobuses estos pueden ser puntuales, lineales o superficiales.
- Aplicación de las condiciones de contorno en cada uno de los modelos.

b) Calculador

- Seleccionar el cálculo dinámico a realizar en los modelos de autobuses.
- Selección de intervalos de tiempo para cada simulación.

c) Inicio del cálculo

El programa resuelve de acuerdo a los parámetros y condiciones proporcionadas para cada modelo de cada uno de los ensayos a realizar, generando la solución.

d) Post-procesador

Este nos permite conocer resultados en forma numérica como también de manera gráfica.

2.12.2 Caracterización de tipos de error en métodos computacionales

Durante la aplicación de método se presentan errores, tanto en el modelado como en el análisis de los modelos expuestos a ensayos, como detallaremos a continuación. (Frías, 2004 pp. 120)

- Errores en el conformado de elementos.
- Conformado de restricciones de aproximación.
- Características del material.
- Características en la Discretación.
- Fallas en el límite de la geometría. Debido a la carencia de precisión en las dimensiones reales. Se soluciona mejorando la calidad de malla.
- Fallas en la Discretación. Estos dependen de la dimensión del elemento y la forma del desplazamiento de sus nodos.
- Fallo informático.
- En la integración sobre los elementos. De forma inevitable para el desarrollo del estudio hay que asumir un porcentaje de error.
- Durante la solución del conjunto de ecuaciones. Por errores de truncamiento en la interpretación del sistema interno del procesador.

2.13 Impacto.

El impacto frontal demuestra que es la forma de accidente con una elevada concurrencia en todos los espacios viales, exponiendo a todo tipo de vehículo destinado al traslado de personas, estas formas de traslado conllevan a que los usuarios estén expuestos a una serie de traumatismos que afecten a su integridad en situaciones de colisión. De esta manera el estudio del impacto de un autobús se da mediante el software LS-DYNA y se produce en la sección delantera. El impacto que se da entre el autobús y la barrera debe cubrir todo el ancho delantero del autobús como se muestra en la Figura 12-2. La barrera utilizada en el impacto es rígida para representar la naturaleza deformable del autobús. Es una forma rigurosa de conocer y visualizar las lesiones de los individuos expuestos, el comportamiento de la estructura frontal de un autobús sin que exista instrucción de elementos hacia el espacio de supervivencia de los ocupantes.



Figura 12-2: Impacto frontal de autobús método FEM. software LS-DYNA.

Realizado por: Paucar C, 2021

En la mayoría de los vehículos, el sistema de retención no puede impedir que las piernas de los ocupantes delanteros no impacten contra el salpicadero. **EURO NCAP** ha eliminado las estructuras de las zonas peligrosas que pueden afectar a las rodillas. El impacto en las rodillas puede causar lesiones en la rodilla y transmitirse hasta la articulación de la cadera y la pelvis. Debido a las lesiones que se producen en las piernas, se ha realizado un mayor control de la intrusión en la cabina y un mayor control de los desplazamientos de los pedales. Como se muestra en la Figura 13-2. (Becerril, 2010 pp. 30-31)



Figura 13-2: Evaluación de protección otorgada a los ocupantes adultos delanteros.

Realizado por: Paucar C, 2021

2.14 Diario oficial de la unión europea, reglamento n° 94 de la Comisión Económica para Europa (CEPE).

Las pruebas están desarrolladas según los requerimientos **CEPE**, cumpliendo con los parámetros, criterios y especificaciones propuestos, los cuales se precisan en los siguientes puntos.

2.14.1 Especificaciones.

Estas especificaciones deben cumplir el operario o conductor permitiendo obtener resultados reales atribuyendo los puntos siguientes de la norma. (Reglamento No 94 CEPE/ONU. pp 54).

- La altura del asiento debe ser adecuado, el operario debe tener los controles a disposición permanentemente.
- El sistema de protección de las plazas de asiento delanteras incluye cinturones.
- Las plazas de asiento donde se instale un maniquí y cuyo sistema de protección incluya cinturones deberán estar provistas de puntos de anclaje.

2.14.2 Criterios de comportamiento.

Los criterios de comportamiento que se precisa para la prueba de colisión de adecuación con el reglamento estipulado deberán ceñirse a las posteriores disposiciones de los apartados 5.2.1.1, 5.2.1.4, 5.2.1.5, 5.2.1.6 del reglamento N°94. Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en relación al amparo de sus ocupantes en caso de conflicto frontal y lateral respectivamente. (Reglamento No 94 CEPE/ONU. pp 54-56).

- El criterio de comportamiento de la cabeza (**HPC**) no deberá sobrepasar a 1 000, y la rapidez proveniente de la cabeza no sobrepasará los 80 g durante más de 3 ms.
- El criterio de compresión del tórax (**THCC**) no sobrepasara los 50 mm.
- El criterio de viscosidad ($V * C$) para el tórax no sobrepasara a 1,0 m/s
- El criterio de fuerza del fémur (**FFC**) no deberá ser superior al criterio de comportamiento fuerza-tiempo de 9,07 KN como se muestra la Figura 14-2.

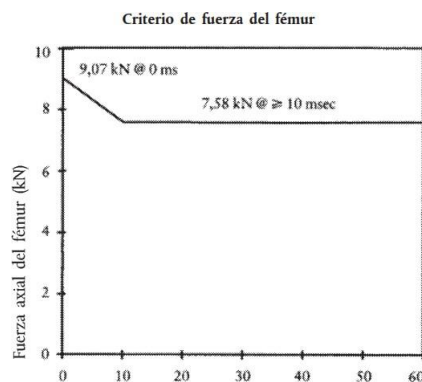


Figura 14-2: Criterio fuerza del fémur.

Fuente: Reglamento No 94 CEPE/ONU, 2009

También se tomará el inciso del comportamiento la pelvis del reglamento N°95 el lateral 5.2.1.3. (Reglamento No 95 CEPE/ONU. pp 97).

- El criterio en la conducta de la pelvis deberá presentar una resistencia máxima sobre la sínfisis púbica menor o equivalente a 6 KN.

2.14.3 Determinación de los criterios de comportamiento.

El procedimiento se detalla en los numerales 1, 1.1, 1.2, 1.2.1, 1.2.2, 3, 3.1, 3.2, 4, 4.1. (Anexo 4 del Reglamento No 94 CEPE/ONU. pp 67-69).

- *Criterio de comportamiento de la cabeza (HPC)*

Se estima que se cumple con el criterio de comportamiento de la cabeza (**HPC**) una vez que, a lo largo del ensayo, no se genera ningún contacto entre la cabeza y cualquier parte del vehículo.

Si a lo largo del ensayo la cabeza llegase a encontrarse con alguna parte del vehículo, se deberá llevarse a cabo el cálculo del valor del **HPC** sobre la base de la aceleración (a) tomada conforme al punto.2.1 del anexo 3, La cual se calculará a partir de las componentes triaxiales de la aceleración medidas con una clase de frecuencias del canal de datos de 1 000, mediante la fórmula siguiente:

$$HPC = (t_1 - t_2) \left[\frac{1}{t_1 - t_2} \int_{t_2}^{t_1} a dt \right]^{2.5} \quad \text{Ec. (2)}$$

De manera que:

«a» es el resultado de la aceleración dimensionada en magnitudes de gravedad g (1 g = 9,81 m/s²), si en el origen del contacto de la cabeza se facultan las condiciones de manera satisfactoria, t_1 y t_2 constituyen los dos momentos, representados en segundos, que determinan el espacio de tiempo entre el inicio del contacto de la cabeza y en la terminación del registro en el que la estimación del **HPC** es máximo.

- *Criterio de compresión del tórax (THCC) y criterio de viscosidad (V * C)*

El criterio de compresión del tórax vendrá definido por la estimación absoluta de la deformación del tórax, expresado en mm y medido conforme al punto 5.2.3 del anexo 3, que detalla lo siguiente: El hundimiento del pecho entre el esternón y la columna vertebral se medirá con una clase de frecuencia de canales de 180.

El criterio de viscosidad ($V * C$) se calculará como el producto instantáneo de la compresión y el índice de desviación del esternón.

- *Criterio de fuerza del fémur (FFC).*

Este criterio vendrá establecido por la carga de compresión, detallada en KN, que se produce axialmente sobre cada fémur del maniquí, así como el tiempo de esa carga de compresión expresada en milisegundos.

2.14.4 Procedimiento de ensayo.

El procedimiento se detalla en los numerales 1, 1.1, 1.4, 1.4.1, 1.4.2, 1.4.2.1, 1.4.2.2, 1.4.2.3, 1.4.2.4, 1.4.2.5, 3, 3.1, 3.2, 4. Instalación y preparación del vehículo. (Anexo 3 del Reglamento No 94 CEPE/ONU. pp 64-66).

- *Terreno de ensayo.*

El área de ensayo será amplia, de manera que el espacio entre la barrera y vehículo estén libres de elementos que intervengan en el ensayo, la superficie debe ser completamente uniforme y no contará con ningún grado de inclinación

- *Estado del vehículo.*

La condición principal del vehículo será la representación de su elaboración en serie abarcando todos sus componentes naturales y permanecerá de forma habitual en su curso. Se estará en la capacidad de suplantar ciertos componentes si esto no intervienen directamente en los resultados medidos.

- *Masa del vehículo.*

Para el ensayo, el peso del vehículo de estudio competará a la tara del mismo. En los sistemas que contengan aceite, refrigerante, etc. pueden permanecer vacíos, teniendo en cuenta que estos deben ser recompensados posteriormente.

- *Impulso y transcurso del vehículo.*

Deberá el vehículo ser propulsado por el mecanismo que goce. En el instante del choque, el vehículo no estará bajo el accionamiento de ningún mecanismo complementario de impulsión.

- *Velocidad de ensayo.*

La velocidad en el instante de la colisión es de $56 - 0, + 1$ km/h. De forma que si en el estudio se plantea una velocidad superior y el vehículo satisface las estipulaciones de la norma, el ensayo se considerará satisfactorio.

CAPITULO III

3. INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR APLICADA AL DISEÑO Y MODELADO DE UN AUTOBÚS.

El modelado se realizó con Solidworks 2017 software especializado en diseño **CAD 3D** y planos en **2D**, el cual nos permite representar de forma virtual los distintos componentes que conforman la parte mecánica de nuestro autobús como son el batidor, aros, neumáticos, depósito de combustible sistema de transmisión etc. Los componentes están conformados por partes tipo Shell (superficies), esto ayuda a exponer una estimación de forma superior en los resultados de esfuerzos como en deformaciones. Además, se tomó la resolución de suprimir ciertos detalles y partes de los modelos de autobuses que no interfieran en la resistencia de la estructura que conforma la carrocería en siniestros frontales, de manera que el costo computacional es bajo porque permite alcanzar el desarrollo de modelos mucho más ligeros. En el desarrollo del modelado de los autobuses se realizó una minuciosa inspección de las interferencias que provocan errores, estos deben ser identificados y corregidos, los más frecuentes son las separaciones que pueden dar espesores de cero y duplicados tanto de caras como aristas, el modelado debe ser excelente para que no presente problemas en la simulación virtual futura.

3.1 Modelado del chasis Mercedes-Benz of-1723/59

Para este modelo se tomó en cuenta las medidas globales dadas por el fabricante, también se tomará en cuenta a la hora del modelado la parte del motor, diferencial, transmisión que no pueden ser elementos de tipo Shell (superficies) debido a que vienen a ser representados por sólidos por el índice de peso que representan.

Tabla 1-3: Dimensiones globales MERCEDES-BENZ OF-1723/59

Dimensiones	(mm)
Distancia entre ejes	5,950
Largo Total	11,769
Ancho	2,442
Altura	2,582

Fuente: Autolider Ecuador S.A.

Realizado por: Paucar C, 2021

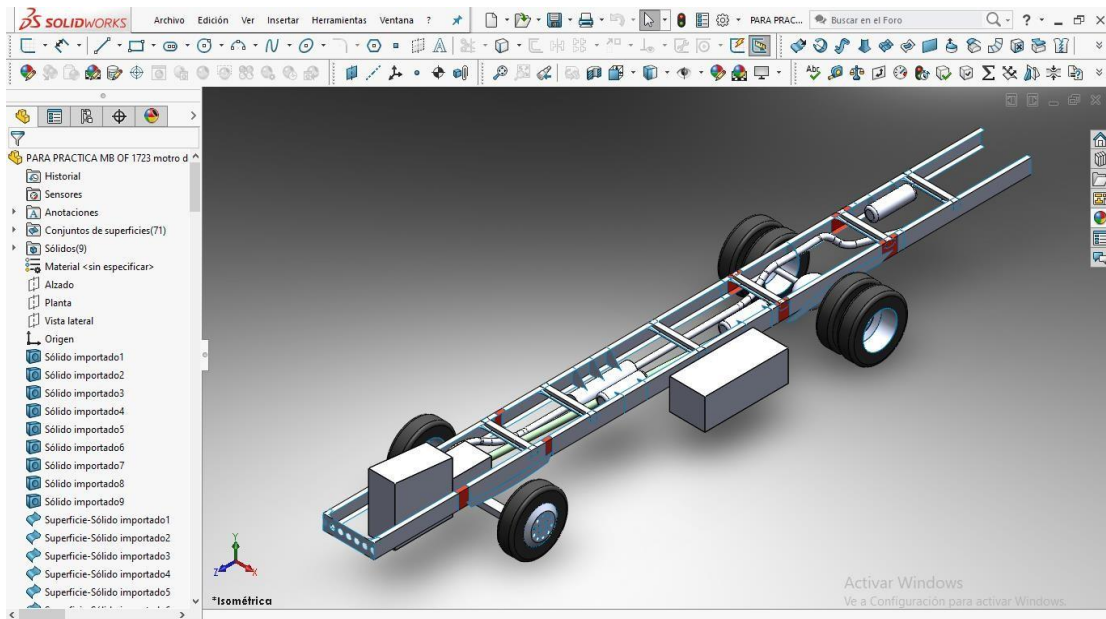


Figura 1-3: Modelado MERCEDES-BENZ OF-1723/59 en Solidworks.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.2 Modelado del chasis integral mercedes-Benz O 500 RS 1836 / 30

De igual forma como en el modelo anterior se debe tomar en cuenta las medidas globales adecuadas permitidas por el fabricante ya que este tipo de modelo de chasis es regulable y varia las dimensiones entre ejes.

Todos los elementos que conforman el modelo son de tipo Shell a excepción del motor, transmisión, diferencial que son sólidos por el peso que se representan.

Tabla 2-3: Dimensiones globales MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30

Dimensiones	(mm)
Distancia entre ejes	3,006
Largo Total	8,926
Ancho	2,469
Altura	1,790

Fuente: Autolider Ecuador S.A.

Realizado por: Paucar C, 2021

La distancia entre ejes esta modificada de acuerdo al criterio del fabricante de carrocerías, cuando se realice el montaje de la misma en este caso se modificará a una distancia entre ejes de 5,950 mm.

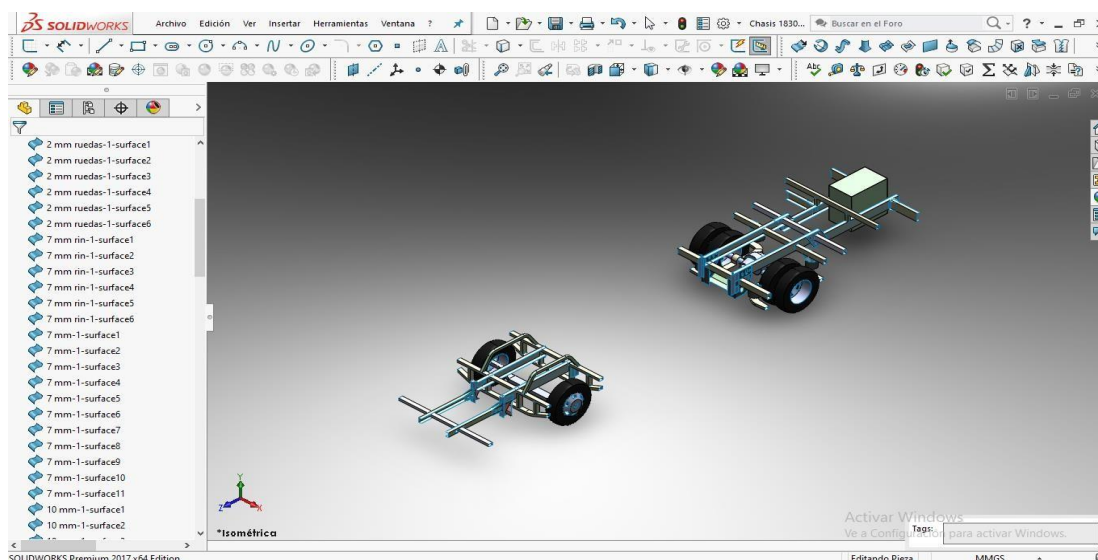


Figura 2-3: Modelado MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 en Solidworks.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.3 Modelado de carrocerías.

3.3.1 Modelado de la carrocería mercedes-Benz OF-1723/59.

La estructura está conformada por elementos estructurales de tipo Shell que van montados sobre el **bastidor**, además la estructura respeta todas las dimensiones otorgada por la norma **INEN 1668**, los anclajes fueron diseñados con características que aporten a la sujeción y soporte en la unión entre la parte mecánica de propulsión y la carrocería. Estos anclajes son diferentes del modelo autoportante son más robustos porque la conexión chasis carrocería es distinta, como se puede observar de color amarillo en la Figura 3-3 c).

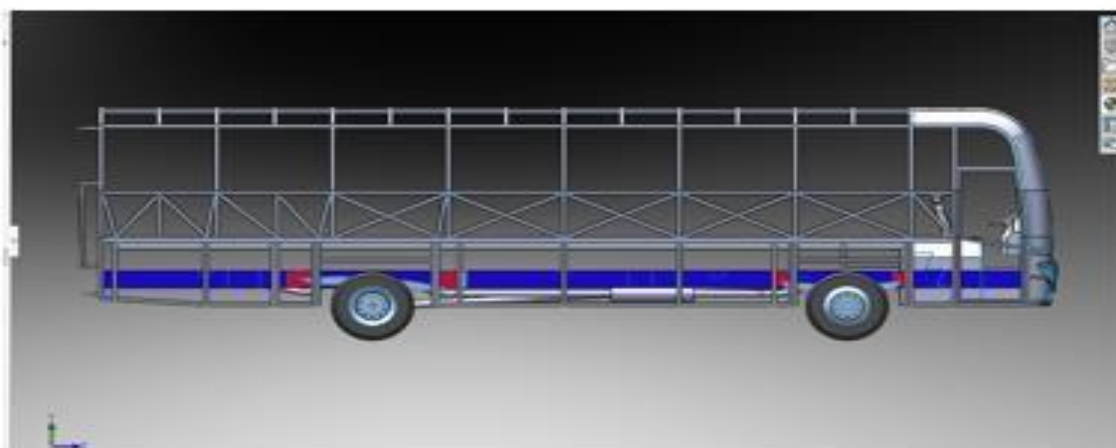
3.3.2 Modelado de la carrocería mercedes-Benz O500 RS 1836 / 30.

En la modelación de esta carrocería se tomó en cuenta la distancia entre ejes ya que es regulable, como en el modelo anterior los elementos estructurales son de tipo Shell, debido a que este modelo actúa como una sola estructura los anclajes parten de los soportes verticales proporcionados por el fabricante, anclajes de color amarillo y de color verde chasis autoportante como se muestra en la Figura 4-3 c) , el diseño de esta carrocería se centra en la parte intermedia ya que no cuenta con chasis, esta sección de la carrocería debe ser capaz de soportar las cargas a las que va estar sometida permitiendo la seguridad de los ocupantes, las dimensiones del diseño están sujetos a la norma **INEN 1668**. como se muestra en la Figura 4-3.

a)



b)



c)



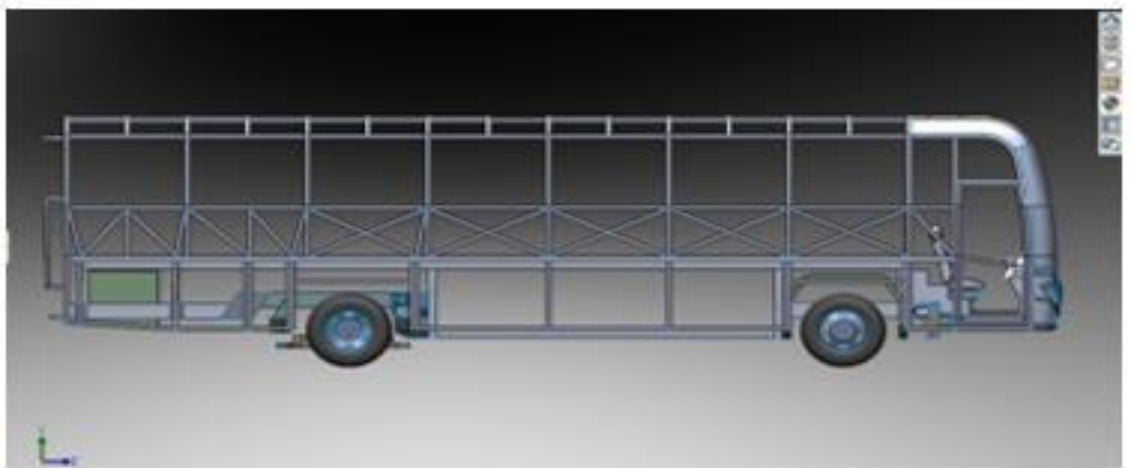
Figura 3-3: Modelado de la carrocería MERCEDES-BENZ OF-1723/59 en Solidworks. a) Vista en perspectiva de la carrocería, b) Vista lateral disposición del motor, c) Unión de anclajes al chasis.

Realizado por: Paucar C, 2021

a)



b)



c)



Figura 4-3: Modelado de la carrocería MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 en Solidworks.
a) Vista en perspectiva de la carrocería, b) Vista lateral disposición del motor, c) Unión de anclajes al chasis.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.4 Limpieza de los modelos CAD.

Los modelos **CAD** están sujetos a varios conflictos en el modelado por lo que es necesario una revisión preliminar de todos elementos de nuestro diseño, Las interferencias entre elementos, los elementos duplicados, espesores cero, elementos basura son los conflictos más frecuentes, estos errores se dan porque en algunos casos no son perceptibles a los ojos del modelador.

ANSYS ofrece una herramienta llamada SPACE CLAIM que es muy eficaz para la detección de errores antes de generar nuestra malla, evitando generar índices bajos de calidad de malla, la característica más importante de esta herramienta es que marca de un color rojo los duplicados e interferencias que presenta nuestro modelo permitiendo conocer los elementos que necesitan una revisión y corrección de su modelado.

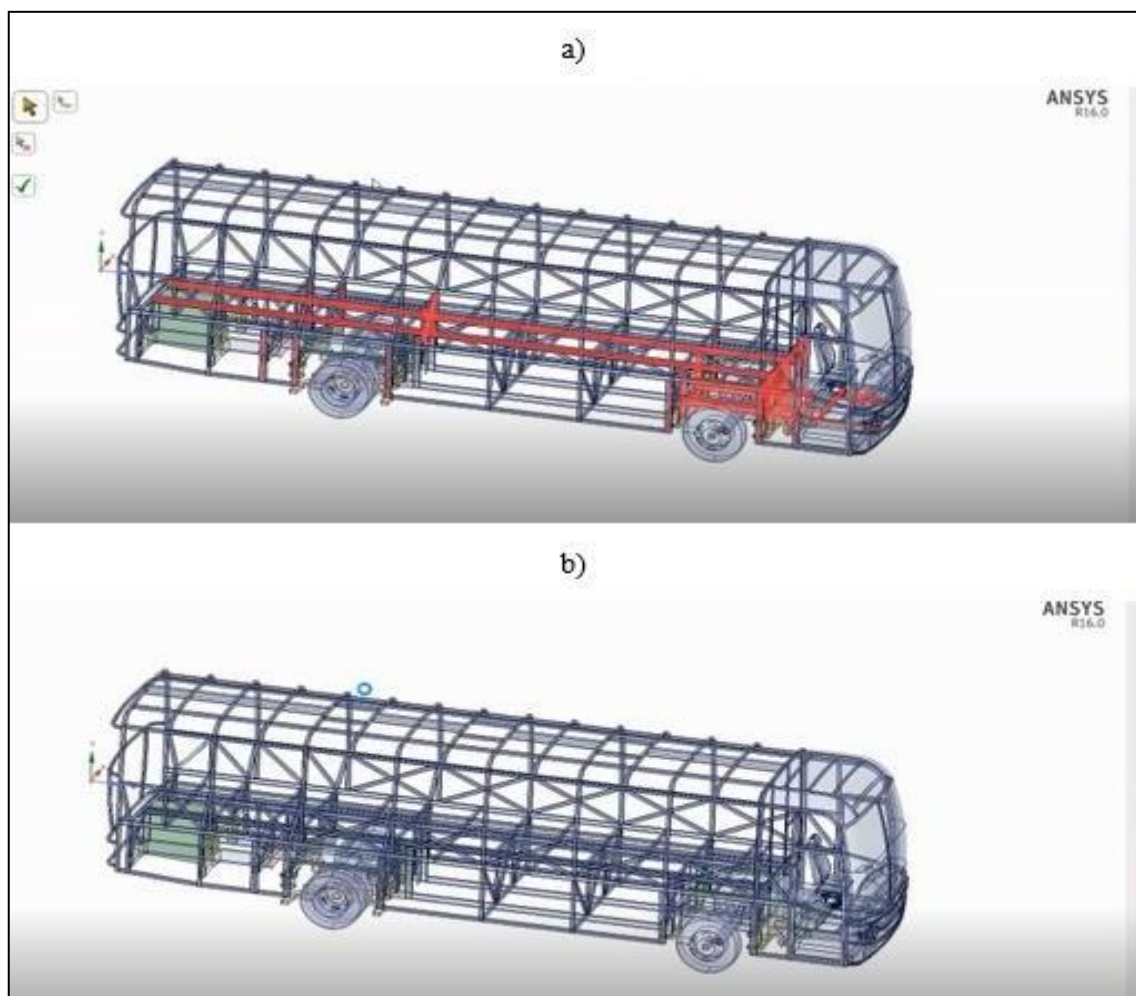


Figura 5-3: Limpieza de modelos **CAD** mediante SPACE CLAIM herramienta de ANSYS, a) Vista de carrocería con errores de modelado, b) Vista de carrocería con errores de modelado corregidos.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.5 Generación de malla.

La malla fue creada con el software BETA CAE el cual nos presenta una interfaz de trabajo simple permitiendo desarrollar nuestro mallado adecuado, los componentes de las carrocerías están formados por elementos cuadráticos y triangulares tipo Shell, se debe tomar en cuenta el tamaño de la malla producida en ciertos elementos como el asiento, volante, motor u otras partes que tienen otra característica. El tamaño de malla es muy importante ya que entre menor sea el tamaño de los elementos mayor será la calidad y el costo computacional.

Para los dos modelos se utilizó en el volante y asiento un tamaño de malla de 0.02mm y para la estructura de la carrocería y la parte mecánica un tamaño de malla de 0.05 mm.

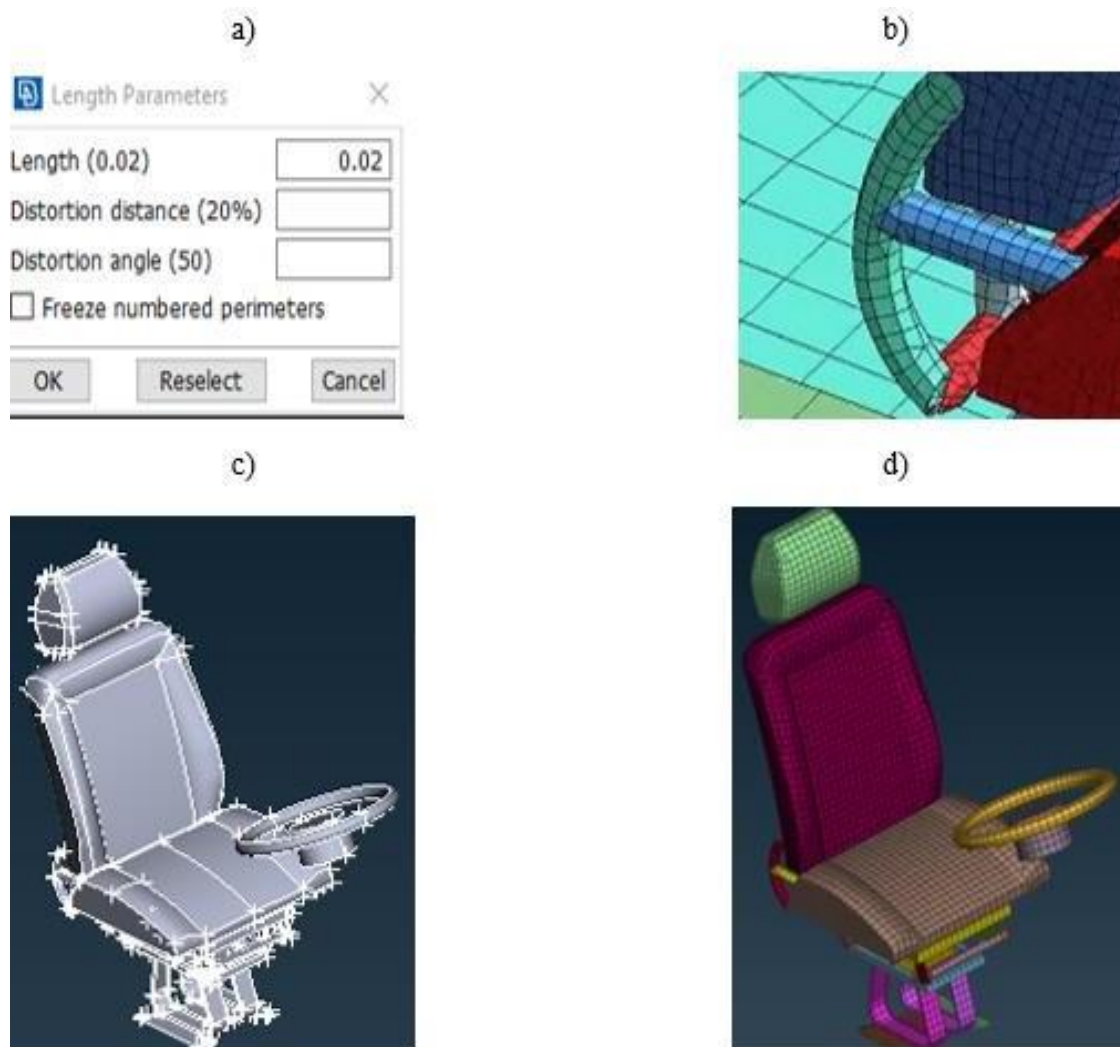


Figura 6-3: Mallado se utilizando software BETA CAE a) Tamaño de malla asiento, b) Visualización de la compartición de nodos c) Asiento sin mallar d) Asiento mallado.

Realizado por: Paucar C, 2021

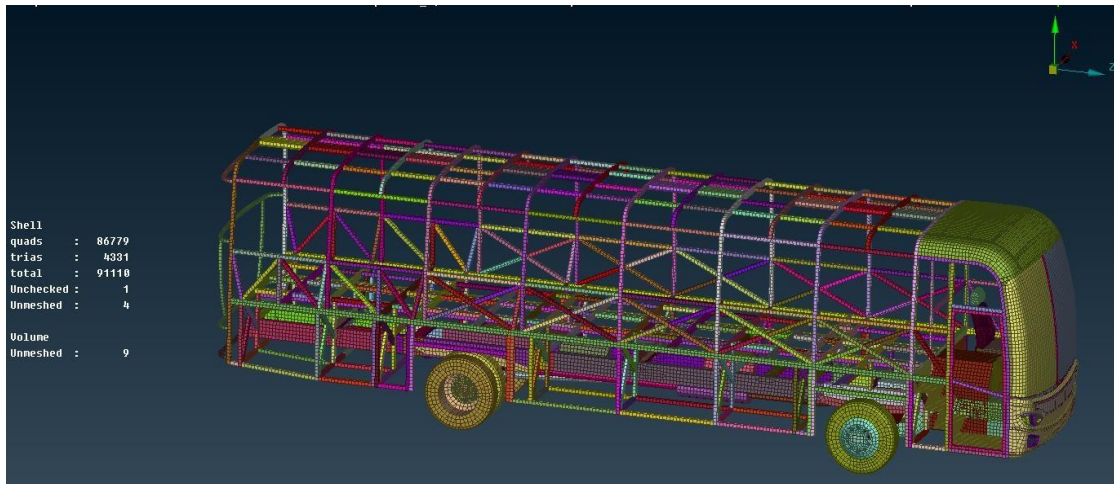


Figura 7-3: Mallado de completo MERCEDES-BENZ OF-1723/59 utilizando software BETA CAE.

Realizado por: Paucar C, 2021

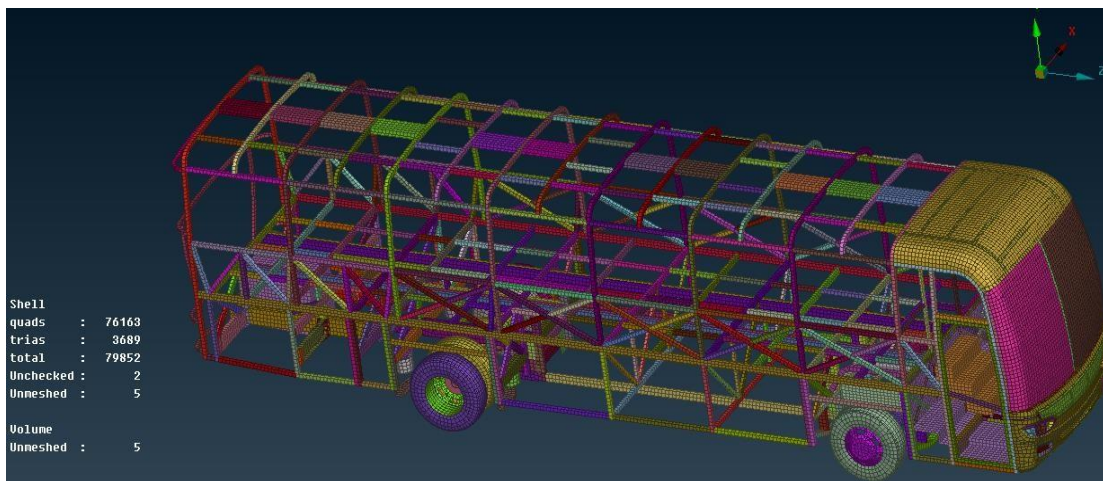


Figura 8-3: Mallado completo de MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 utilizando software BETA CAE.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.6 Ingreso del dummy.

El dummy puede ser trasladado en el eje x, y o z, esto facilita el posicionamiento del mismo en el interior del autobús, las coordenadas evitan que el dummy presente interferencias con la carrocería y el asiento.

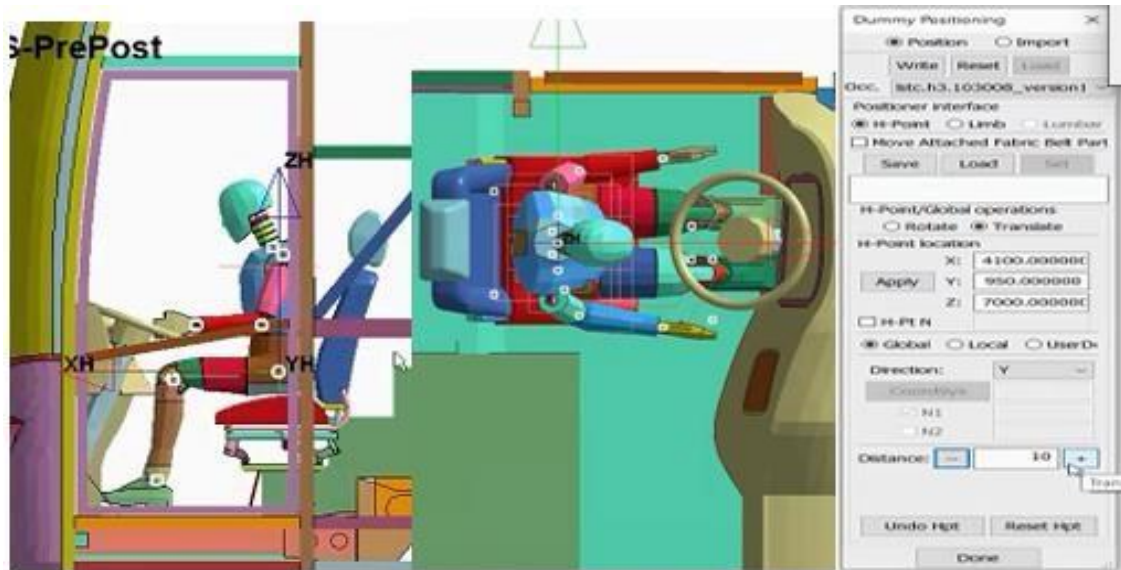


Figura 9-3: Posicionamiento del dummy en el bus utilizando coordenadas.

Realizado por: Paucar C, 2021

El dummy cuenta con las características de modificar la posición y rotación de la cabeza como de sus partes superiores e inferiores ver Figura 10-3, a) esto permite que el dummy adquiera una postura natural similar o igual a la de un conductor real.

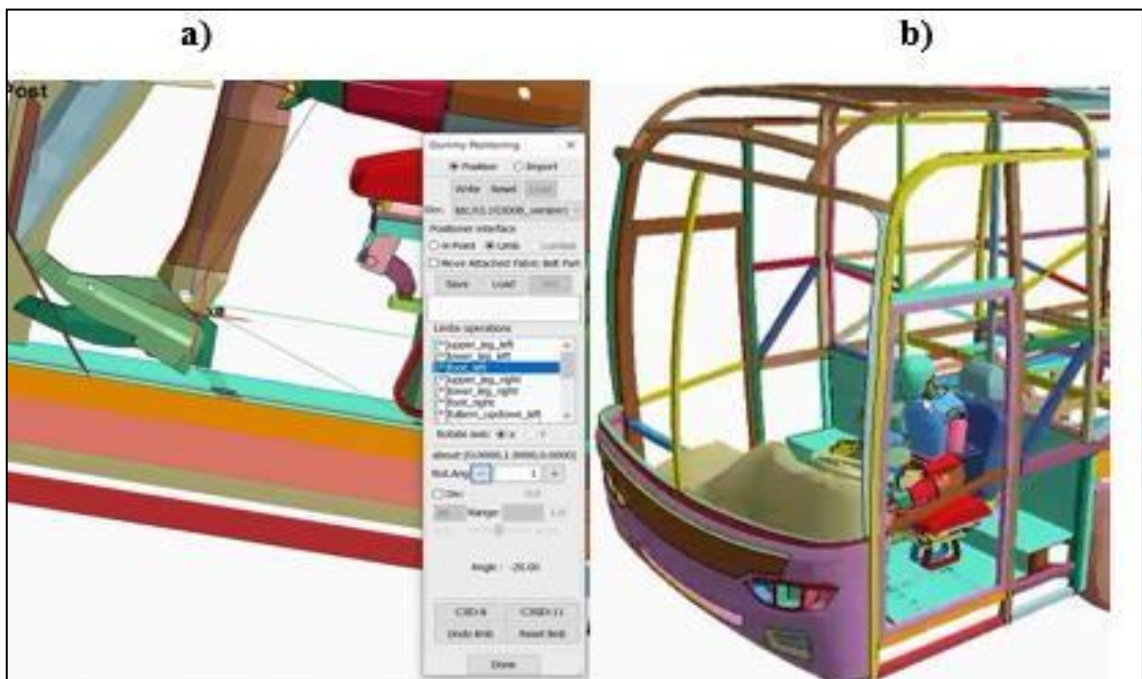


Figura 10-3: a) Posicionamiento pie del dummy. b) dummy en postura correcta.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.7 Colocación del cinturón de seguridad.

El cinturón proporciona seguridad pasiva a nuestro dummy evitando que en la simulación este salga expulsado por el parabrisas de nuestro autobús, la primera parte del cinturón debe cubrir parte del hombro izquierdo pasando transversalmente el tórax hasta la cintura, la segunda parte debe proporcionar soporte a toda la parte frontal de la cintura del dummy, aplicado estas condiciones el dummy está listo para añadir las condiciones de sujeción.

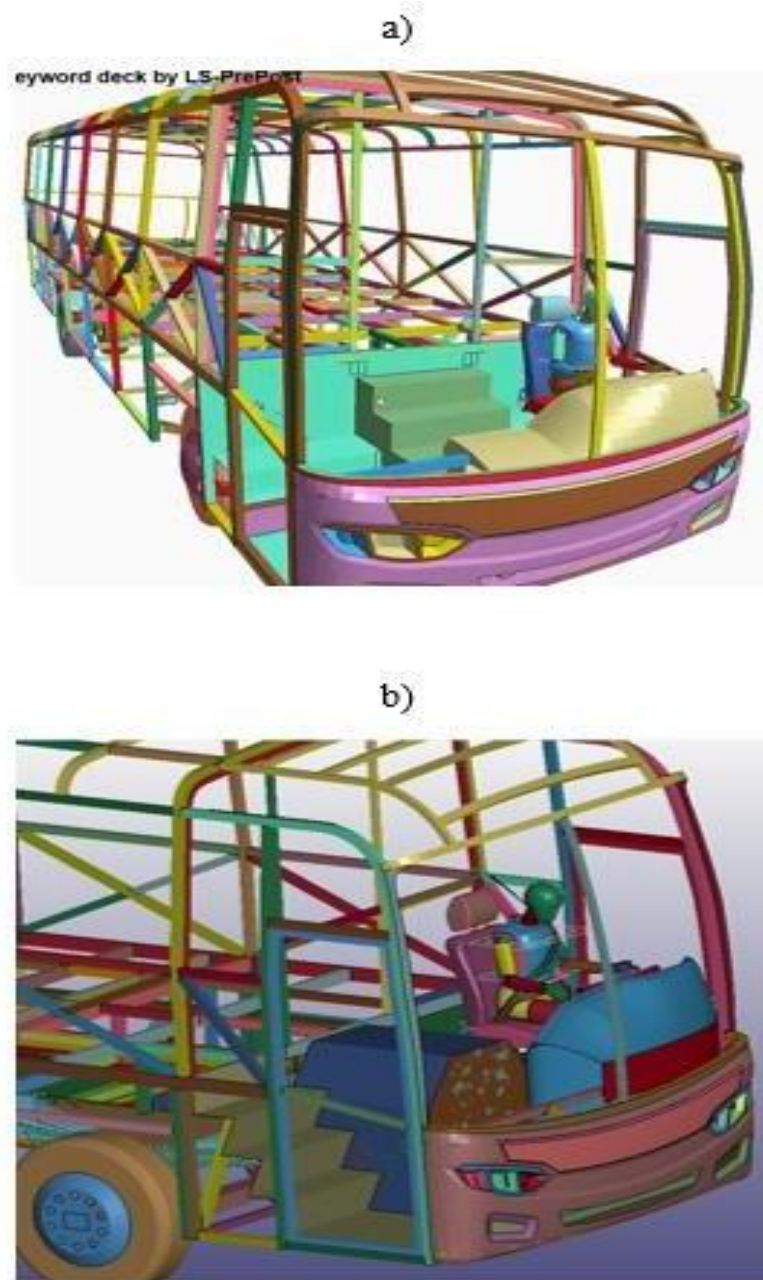


Figura 11-3: a) Dummy sin cinturón. b) Dummy con cinturón.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.8 Calidad de malla.

Con el criterio Jacobian se analiza que la calidad de malla sea fiable, este calcula y prueba íntegramente los componentes del autobús, si el mallado del modelo es de proporción alta nos indica que el estudio computacional es poco fiable, teniendo en cuenta el criterio Jacobian el valor mínimo debe ser de 0.3 valor recomendado por LS DYNA, se puede observar que nuestros dos diseños cumplen con el valor establecido permitiendo un mallado de buena calidad.

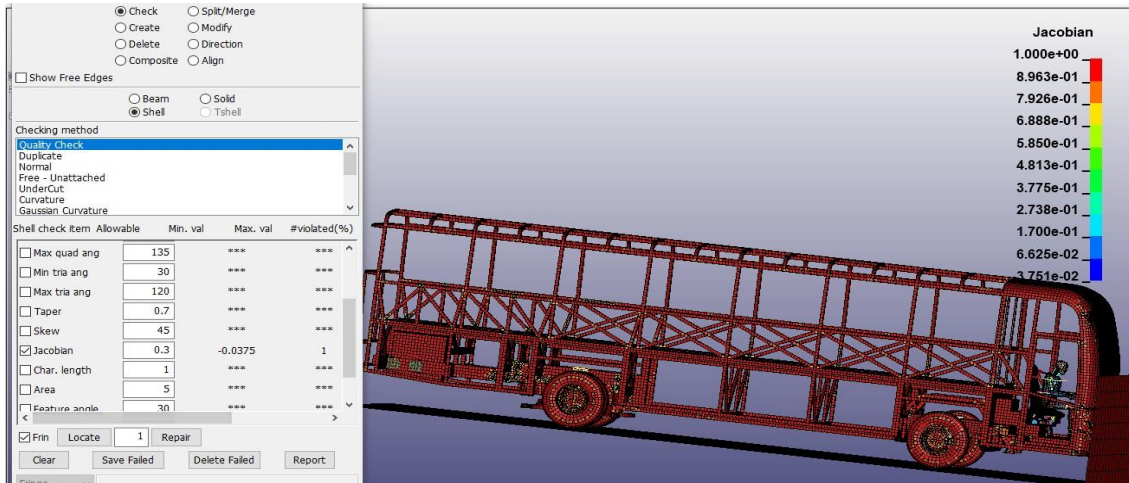


Figura 12-3: Calidad de Malla MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 utilizando criterio Jacobian (0.3).

Realizado por: Paucar C, 2021

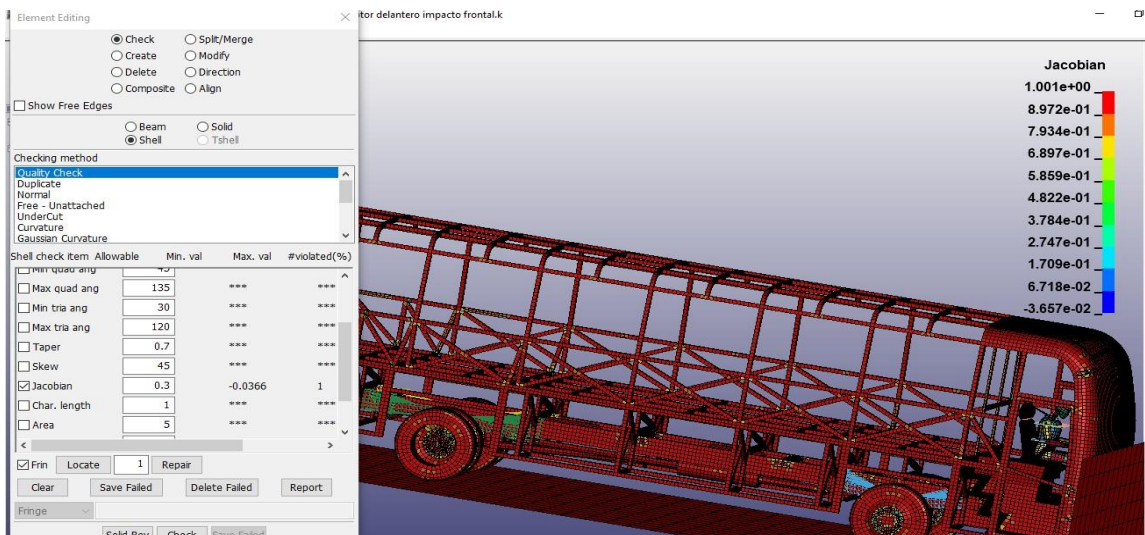


Figura 13-3: Calidad de Malla MERCEDES-BENZ OF-1723/59 utilizando criterio Jacobian (0.3).

Realizado por: Paucar C, 2021

3.9 Mallado del dummy.

El maniquí cuenta con diferentes tipos de malla para interpretar las conexiones reales firmes, estas también incluyen conexiones elásticas tipo muelle que determinan una representación de las condiciones naturales del dummy, además cuenta con acelerómetros en la cabeza, tórax, abdomen y pelvis que son partes que están expuestas a traumatismos. Los acelerómetros ayudan en la obtención de aceleraciones, fuerzas y deformaciones. El mallado del maniquí masculino híbrido III del percentil 50 es un desarrollo conjunto con el Centro Nacional de Análisis de Choques (NCAC) de la Universidad George Washington y LSTC distribuido por LS – DYNA.

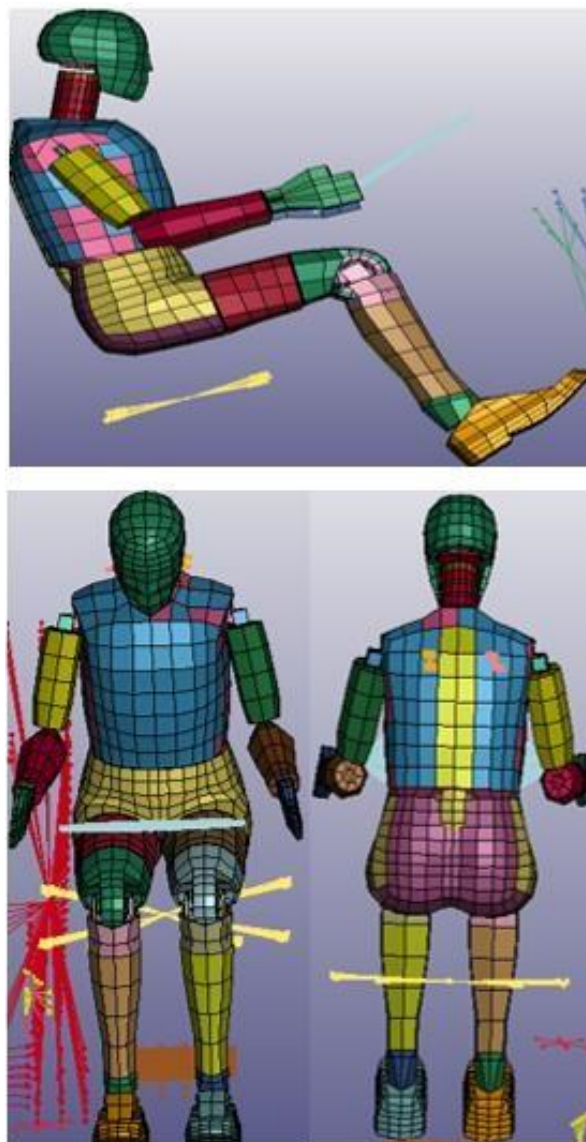


Figura 14-3: Mallado completo del Dummy.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.10 Mallado de pared de impacto.

En las dos paredes se utilizó un tamaño de malla adecuado permitiendo eliminar costos computacionales innecesarios, mejorando el tiempo de respuesta a la solución de nuestra simulación, la pared cuenta con una altura de 2 metros y cubre todo el ancho frontal del autobús.

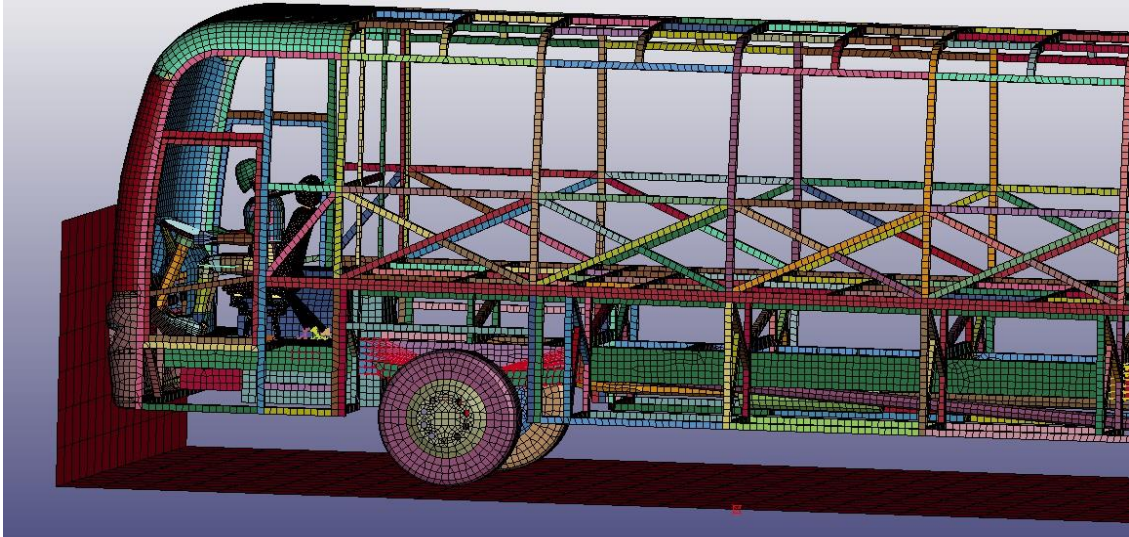


Figura 15-3: Mallado de pared para modelo MERCEDES-BENZ OF-1723/59.

Realizado por: Paucar C, 2021

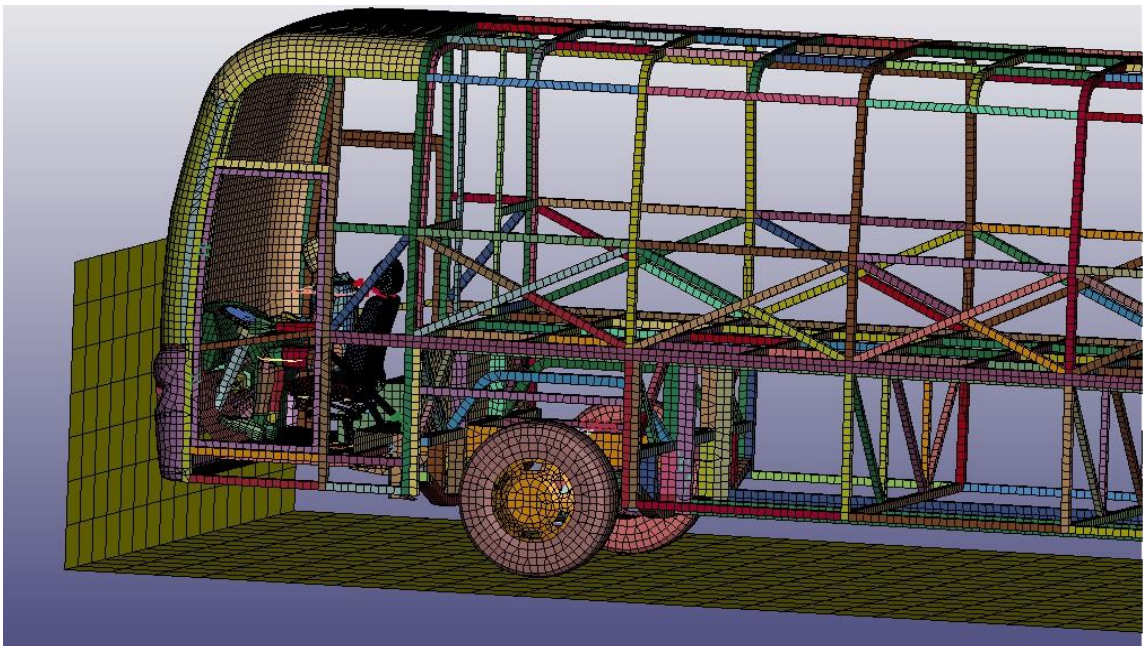


Figura 16-3: Mallado de pared para modelo MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.11 ASIGNACIÓN DE CONDICIONES DE BORDE.

3.11.1 Material

El material que se empleó tanto en la parte mecánica como en la carrocería es de tipo PICEWISE LINEAR PLASTICITY, la conducta del material es de un modo elástico-plástico, en donde la tensión actúa de forma lineal dependiente de la deformación llegando en su transcurso a sobrepasar el límite elástico. De manera que si se supera el límite elástico entra en plasticidad y desaparece la linealidad que había entre tensión - deformación, el material experimenta altas concentraciones de energía cinética formadas en la colisión y representadas como deformaciones.

Tabla 3-3: Picewise linear Plasticity autobuses

Magnitud	Medida
Densidad ρ	$7.830e^{-6} \text{ Kg/mm}^2$
Módulo de Young E	200 GPa
Coefficiente de Poisson	0.3
Límite elástico σ_y	270 GPa

Fuente: INEN 2415, 2016

Realizado por: Paucar C, 2021

La curva de esfuerzo ingresadas en todos los elementos de la estructura, para los dos modelos se puede apreciar en el Gráfico 1-3.

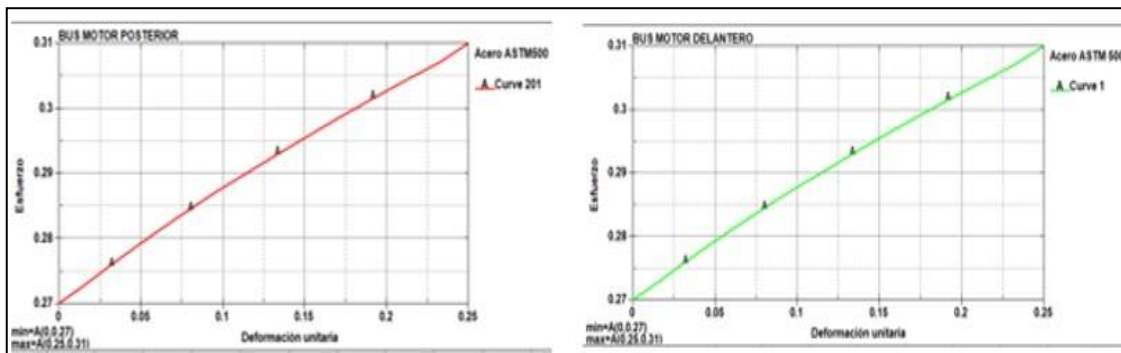


Gráfico 1-3: Curvas esfuerzo – deformación del material ASTM 500 correspondiente al grado A de tubos estructurales sección cuadrada rectangulares o especiales.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.11.2 Soporte fijo.

LS DYNA dispone para esta opción BOUNDARY SPC_SET. definiendo a la pared de impacto como una superficie rígida, esto permite restringir en su totalidad los grados de movilidad y eliminar desplazamientos no programados en los elementos del autobús.

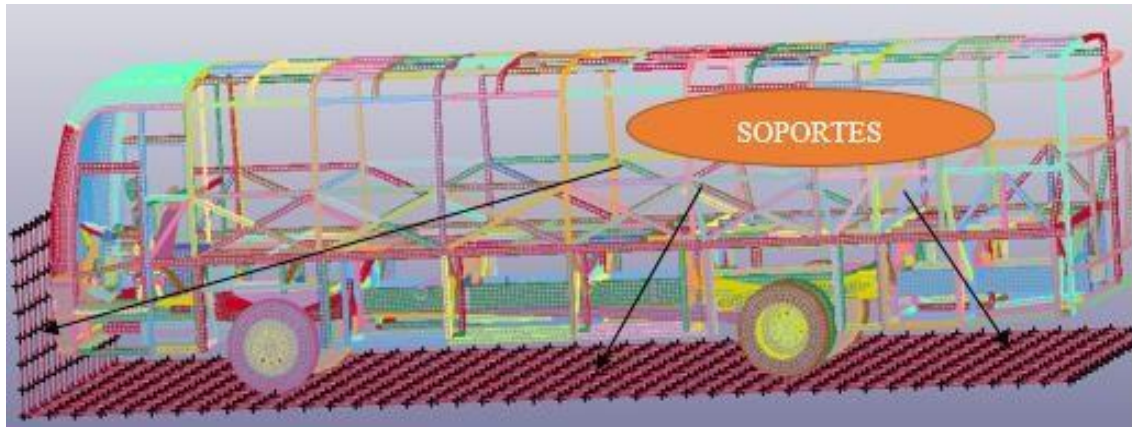


Figura 17-3: Pared de impacto como soporte fijo utilizando la opción BOUNDARY SPC_SET.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.11.3 Contactos.

Los contactos en la simulación forman una parte muy importante de muchos de los problemas donde aparecen grandes deformaciones. Una simulación precisa de los puntos de contacto entre los cuerpos, es crucial para una capacidad de precisión de las simulaciones de elementos finitos. LS-DYNA ofrece un gran número de tipos de contactos:

3.11.3.1 Automatic_Surface_to_Surface.

Esta opción no permite la penetración entre elementos que conforman el autobús permitiendo definir los esfuerzos por el coeficiente de rozamiento estático y dinámico.

El contacto entre la pared y el autobús se produce en el momento del impacto, ya que la pared es rígida, esto permite la deformación solo de la parte frontal del autobús que tiene contacto directo con la pared.

Este tipo de contacto se utilizó entre;

- Partes del dummy
- Dummy y cinturón
- Dummy y autobús

- Autobús pared de impacto

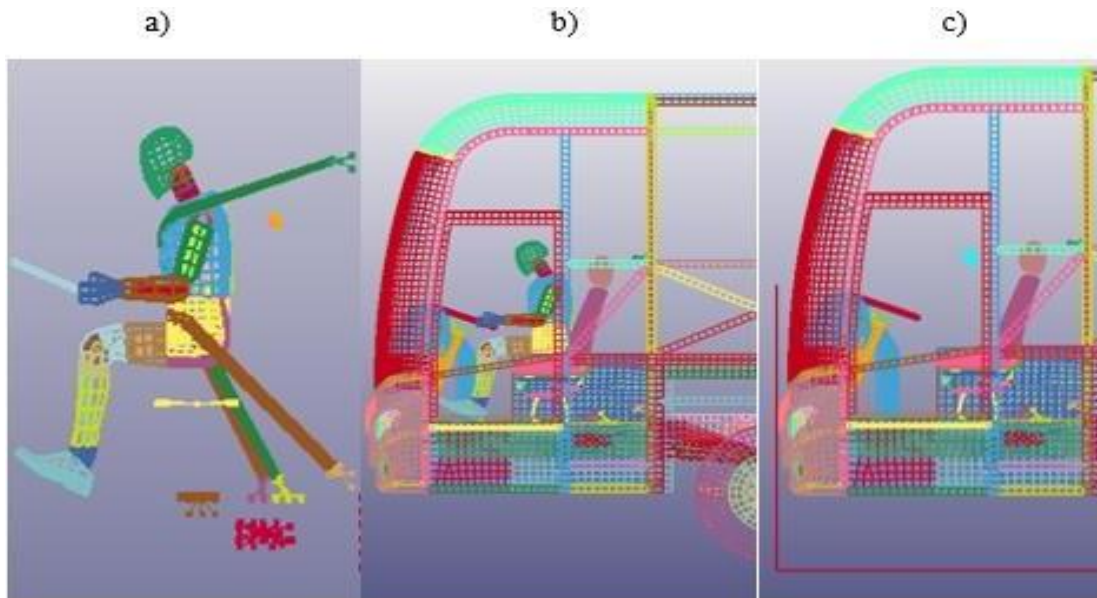


Figura 18-3: Contactos utilizando la opción *Automatic_Surface_to_Surface*. a) Dummy y cinturón. b) Dummy y autobús. c) Autobús pared de impacto.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.11.3.1 *Automatic_Single_Surface*.

Esta opción no permite la penetración entre elementos que conforman solamente el autobús.

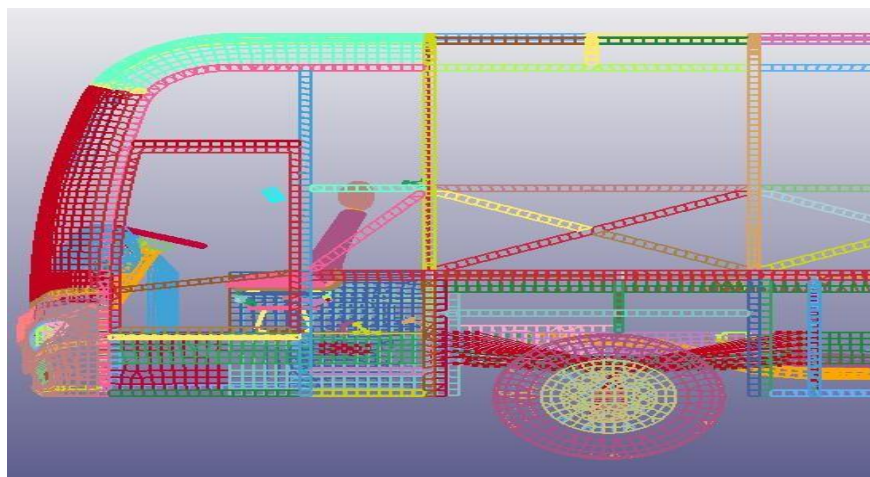


Figura 19-3: Contactos utilizando la opción *Automatic_Single_Surface*.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.11.4 Velocidad.

LS- DYNA proporciona la opción INITIAL_VELOCITY, en el cual permite asignar a todos los nodos de nuestro autobús una misma velocidad lineal. La velocidad que se asignó en las simulaciones se muestra en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Velocidades utilizadas en los modelos de la simulación.

MODELO AUTOBUS	VELOCIDAD	
	Km/h	m/s
OF-1723/59	25	6.95
OF-1723/59	50	13.88
O 500 RS 1836 / 30	25	6.95
O 500 RS 1836 / 30	50	13.88

Realizado por: Paucar C, 2021

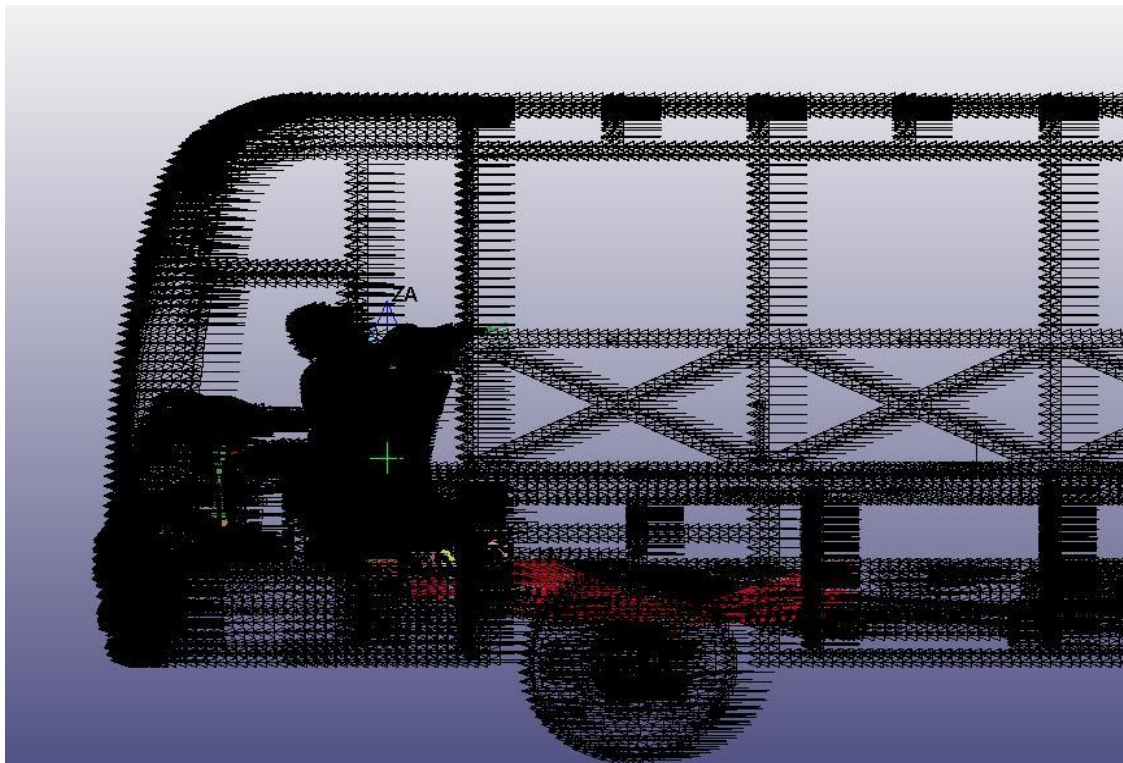


Figura 20-3: Asignación de velocidad por medio de Initial_Velocity.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.11.5 Acelerómetros.

Los acelerómetros son dispositivos que permiten medir las aceleraciones, fuerzas en distintas zonas del dummy. Son instalados en diferentes partes de la geometría del dummy para poder obtener la aceleración y fuerzas de dicha zona. Suelen instalarse en la parte de la cabeza, tórax, pelvis.

En el LS-DYNA el acelerómetro es una pieza en forma de cubo proporcionada por la herramienta ELEMENT_SEATBELT_ACCELEROMETER, este elemento está conformado por un sistema de coordenadas específicas representadas en los ejes X_A , Y_A , Z_A . La información obtenida por el acelerómetro virtual se registra y se almacena. Al terminar la simulación se obtiene la aceleración y fuerzas resultantes en función de intervalos de tiempo, la cuales son recogidas por los acelerómetros distribuidos en las partes críticas del cuerpo.

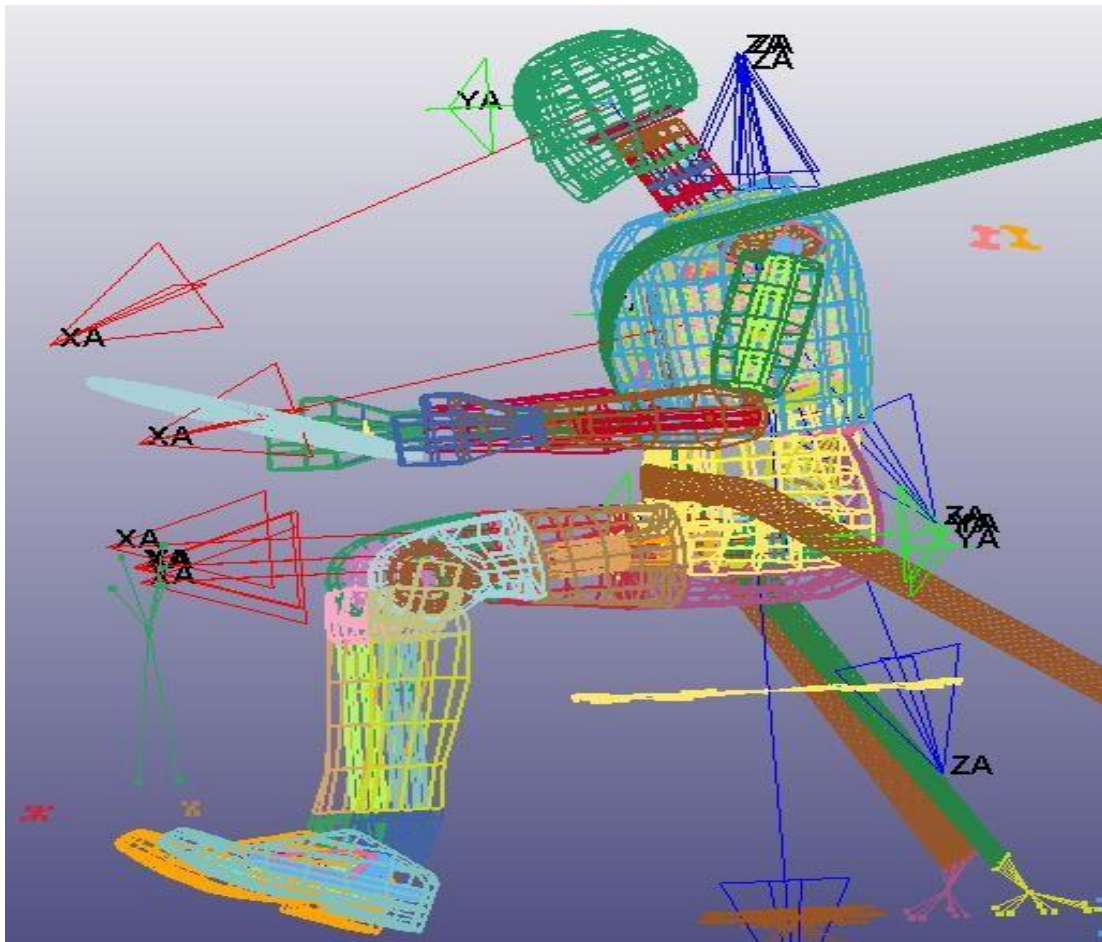


Figura 21-3: Asignación de acelerómetros por medio de Element_Seatbelt_Acelerometer.

Realizado por: Paucar C, 2021

3.11.6 Aceleración de la gravedad.

El efecto de la gravedad es muy importante en esta investigación ya que actúa directamente en todos los componentes de nuestra carrocería como también en las partes que componen nuestro dummy, LS – DYNA proporciona el comando LOAD_BODY_Z especializado para que se genere de forma automática el valor de la gravedad en todos los nodos existentes en nuestro modelo a simular, el valor asignado es de $9.8m/s^2$.

3.11.7 Otras condiciones utilizadas de LS – DYNA.

Los modelos necesitan estar bien definidos para evitar errores de simulación por lo que en la siguiente Tabla 5-3, se detalla los comandos generados en repetidas ocasiones y otros aplicados condición específica.

Tabla 5-3: Condiciones utilizadas en la simulación de impacto por medio de LS – DYNA.

CONDICIONES	DETALLE	APLICACIÓN
CONSTRAINED_EXTRA NODE SET	Se utiliza para la unión de las partes	Dummy
CONSTRAINED_JOINT	Forma juntas	Dummy
CONSTRAINED_NODAL RIGID BODY	Se utiliza para la unión de las partes	Dummy autobús
CONSTRAINED_RIGID BODY	Se utiliza para la unión de las partes	Dummy autobús
BULK_VISCOSITY	Nivel permitido de viscosidad de los elementos	Por defecto: Cuadrático 1.5 Lineal 0.6
ENERGY	Activa las energías existentes	
CONTROL_HOURLASS	Controla la expansión de energía de Hourglass	Por defecto: IHQ 1
SHELL	Control sobre los elementos Shell en la simulación.	Todo el modelo
TERMINATION	Tiempo de simulación	250 ms

TIMESTEP	Controla los pasos de tiempo y los ciclos de solución de los modelos	Todo el modelo
DEFINE_CURVE	Muestra el comportamiento de magnitudes utilizadas	Material Velocidad Gravedad
HOURGLASS	Control de expansión de la energía de los elementos	IHQ 5 10% de la energía interna.
KEYWORD_KEYWORD	Comando que inicia la simulación	Todo el modelo
NODE_NODE	Genera de nodos	Todo el modelo
PART_PART	Asigna partes para proporcionarles propiedades	Todo el modelo
SECTION	Asigna propiedades a las partes	Condiciones de elementos y espesores en los materiales
SET	Asigna conjuntos de nodos, partes y segmentos.	Todo el modelo
TITLE	Asigna título al modelo simulado	Todo el modelo

Fuente: LS- DYNA. Keyword User's Manual.

Realizado por: Paucar C, 2021

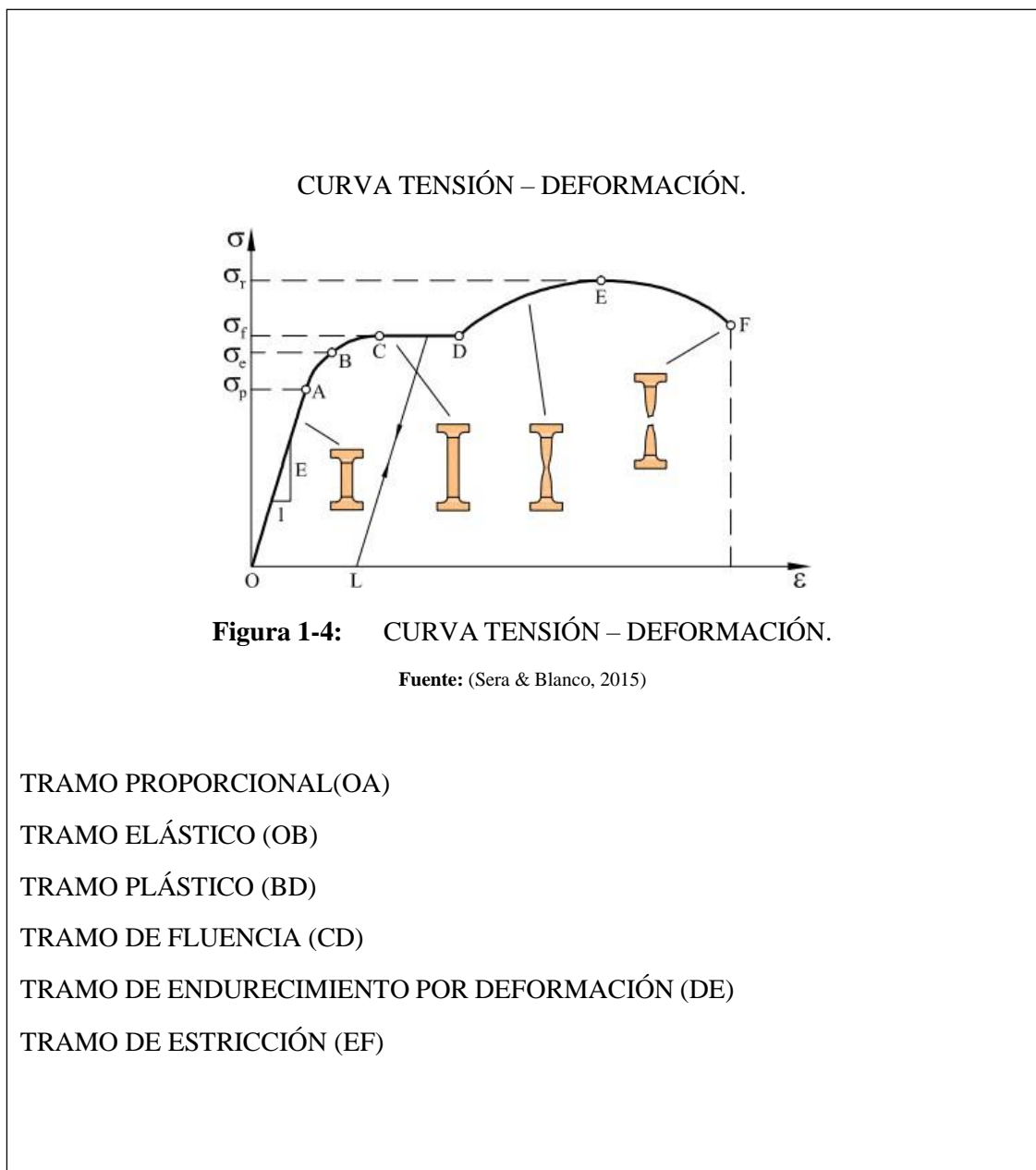
CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Parámetros utilizados en el análisis de resultados.

Cuando se realiza una simulación de un impacto frontal se valoran las lesiones de los ocupantes mediante unos criterios de análisis, Los parámetros se detallan en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4: Definiciones de las Propiedades mecánicas de los materiales.



PARÁMETRO	DETALLE	ECUACIÓN
ESFUERZO	Permite conocer la fuerza realizado de un material por unidad de área	$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (3)}$ <p>$\sigma =$ esfuerzo producido $F =$ fuerza axial aplicada $A =$ area de sección rasversal</p>
DEFORMACIÓN	Cambio que sufre un cuerpo después de haberle aplicado una fuerza.	$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{Ec. (4)}$ <p>$\varepsilon =$ deformación unitaria $\Delta L =$ variacion de longitud $L_0 =$ longitud inicial</p>
DEFORMACIÓN ELÁSTICA	Es aquella en la que el cuerpo recupera su forma original al retirar la fuerza que le provoca la deformación.	
DEFORMACIÓN PLÁSTICA	Es aquella en la que el cuerpo no recupera su forma original al retirar la fuerza que le provoca la deformación.	
ESFUERZO A LA FLUENCIA	Es aquella que indica del esfuerzo máximo que ejerce un material sin llegar a una alteración plástica	
ESFUERZO ULTIMO	Estimación máxima del esfuerzo que debería emplearse en el material.	
LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD	Es el límite de esfuerzo para la aprobación de la ley de Hooke	
MÓDULO DE ELASTICIDAD	Calcula el comportamiento elástico y el estiramiento de un material	$\sigma = \varepsilon \text{ Ec. (5)}$

MÓDULO RESILENCIA	DE	Deformación por unidad de volumen necesaria para llegar al límite elástico del material.	
DUCTILIDAD		Porción de la deformación plástica que lograrse un material antes que consiga romperse.	$\% \text{ de elong} = \frac{L_F - L_0}{L_0} \times 100$ Ec. (6)
RESISTENCIA ESFUERZO ULTIMO	AL	La máxima cantidad de esfuerzo que se puede desarrollar en el material	
TENACIDAD		Es la energía por unidad de volumen que el material puede absorber antes de romperse.	
TRAMO ESTRICCIÓN	DE	En este tramo la sección de una parte de la probeta comienza a disminuir de forma apreciable.	

Fuente: SERA & BLANCO, 2015

Realizado por: Paucar C, 2021

4.2 Resultado de impacto frontal Mercedes-Benz OF-1723/59.

Los resultados son visualizados gracias al interfaz de LS-DYNA que permite controlar los intervalos de tiempo de simulación, de esta manera se puede observar la secuencia del impacto y la variación de los esfuerzos de Von Mises en función del tiempo de simulación.

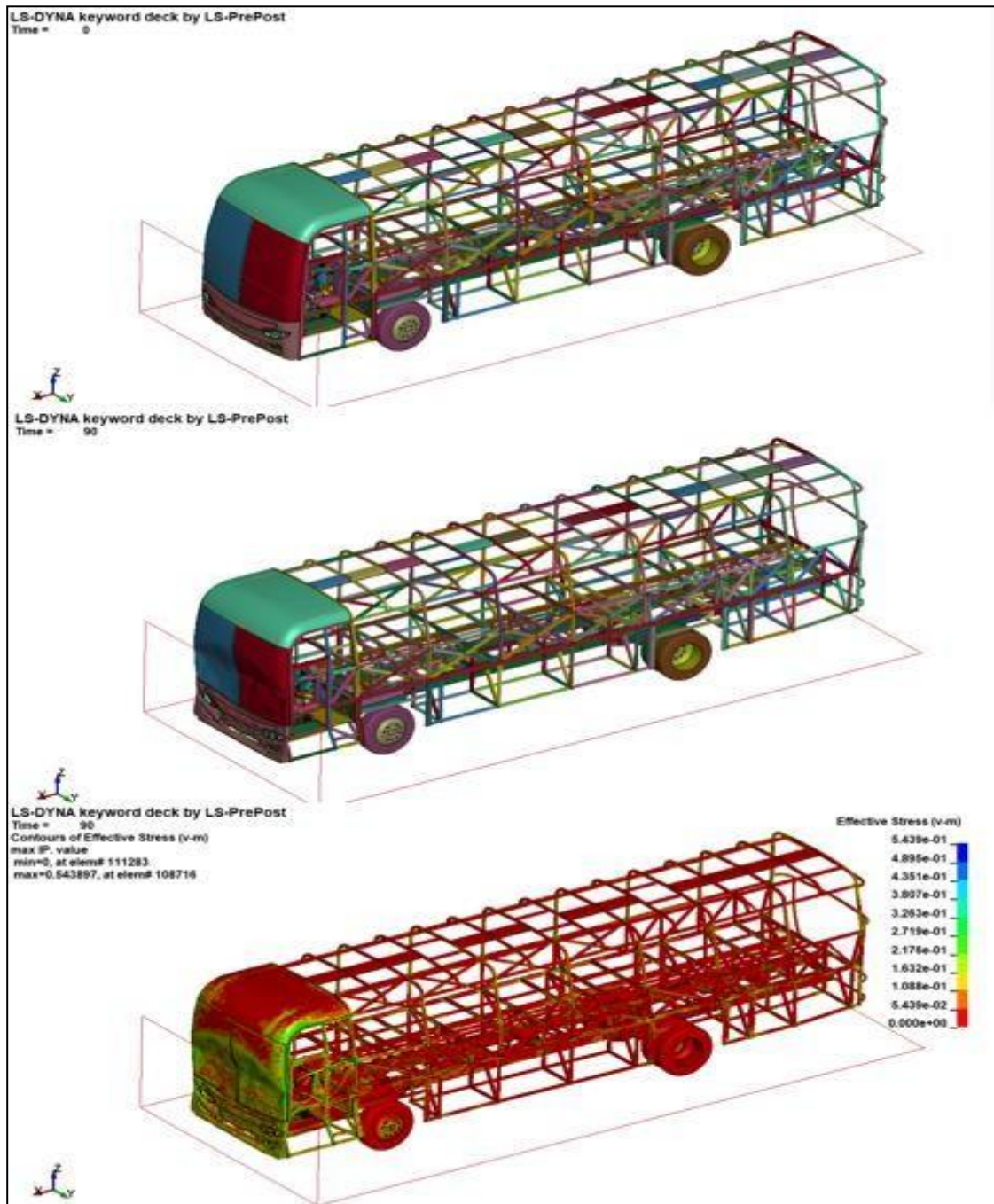


Figura 2-4: Simulación de impacto frontal MERCEDES-BENZ OF-1723/59 con una velocidad de 6.95 m/s, grafico inferior esfuerzos de Von Mises 0.54 GPa en 90 ms.

Realizado por: Paucar C, 2021

El resultado de las zonas con mayor incidencia a la deformación en la estructura frontal del autobús con chasis tipo peldaños a velocidad media se puede observar en la Figura 3-4, permitiendo observar que el chasis ayuda en la absorción de una gran cantidad de energía en la parte inferior del asiento del conductor producida en el impacto, en la parte superior se puede apreciar la protección del cinturón por lo que el conductor no tiene contacto con la carrocería en el momento del impacto.

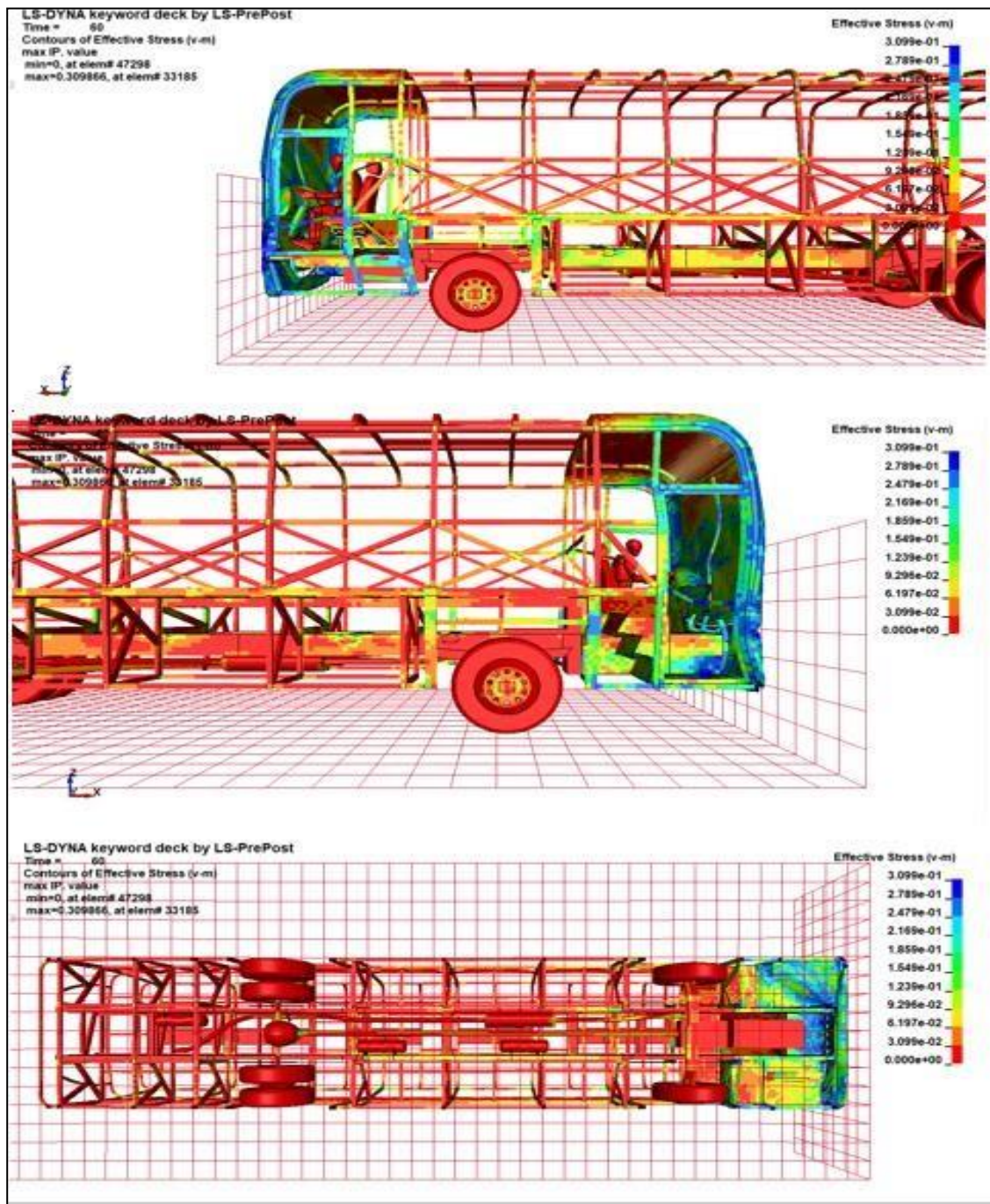


Figura 3-4: Simulación de impacto frontal MERCEDES-BENZ OF-1723/59 con una velocidad de 6.95 m/s, elementos que sufren mayor deformación 0.30 GPa en 60 ms.

Realizado por: Paucar C, 2021

Los resultados de la deformación máxima en la estructura frontal del autobús con chasis tipo peldaños expuesta a una velocidad alta se aprecia en la Figura 4-4, esto permite observar que el chasis y toda la parte frontal de la carrocería no es lo suficientemente capaz de absorber la energía

producida en el impacto por lo que el conductor queda expuesto a absorber parte de la energía generada, esto provoca fuertes lesiones y el deceso del mismo.

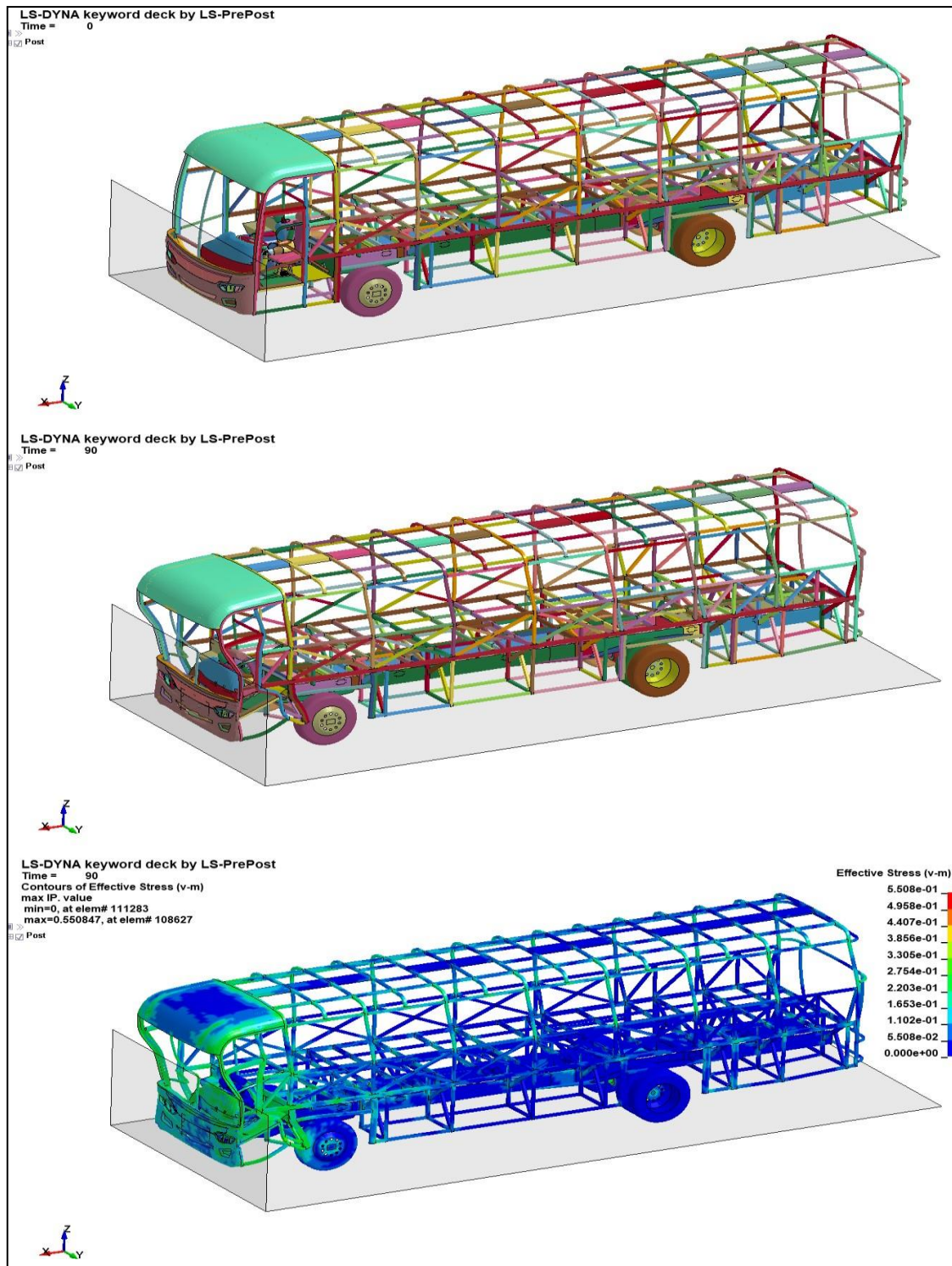


Figura 4-4: Simulación de impacto frontal MERCEDES-BENZ OF-1723/59 con una velocidad de 13.88 m/s, grafico inferior esfuerzos de Von Mises 0.55 GPa en 90 ms.

Realizado por: Paucar C, 2021

4.3 Resultado de impacto frontal Mercedes-Benz O 500 RS 1836 / 30.

La visualización de los datos de deformación al que está expuesta la estructura en este modelo de autobús no es diferente al anterior, ya que se tiene control total del tiempo de las simulaciones en este caso se trabajara en la obtención de resultados con un tiempo estimado en 110 ms.

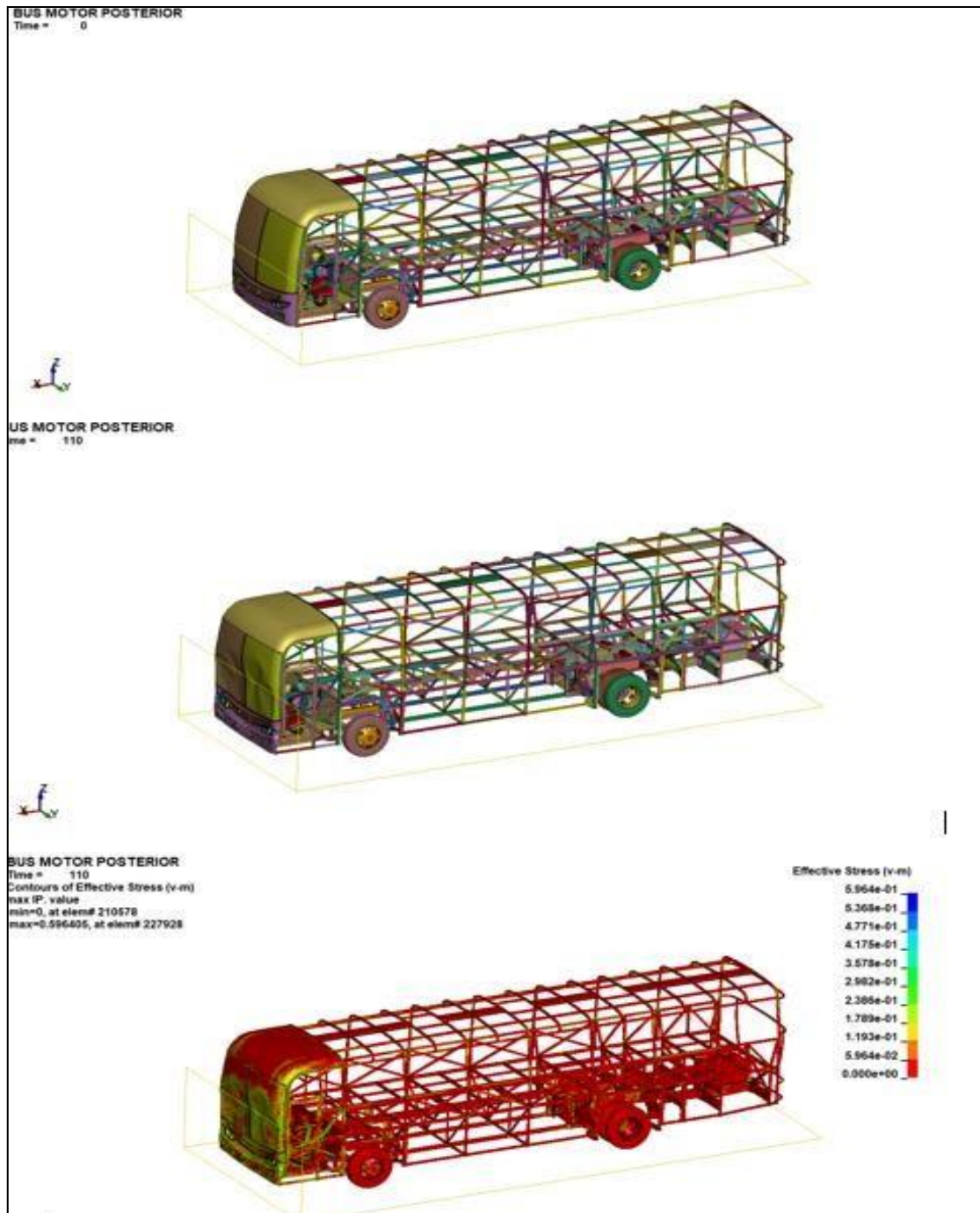


Figura 5-4: Simulación de impacto frontal MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 con una velocidad de 6.95 m/s, grafico inferior esfuerzos de Von Mises 0.59 GPa en 110 ms.

Realizado por: Paucar C, 2021

El resultado de las zonas con mayor incidencia a la deformación en la estructura frontal del autobús con chasis integral a velocidad media se puede observar en la Figura 6-4, permitiendo observar que existe una mejor distribución en la absorción de energía de impacto en todos elementos de la parte frontal de la estructura, además se puede apreciar la protección del cinturón por lo que el conductor no tiene contacto con la carrocería en el momento del impacto.

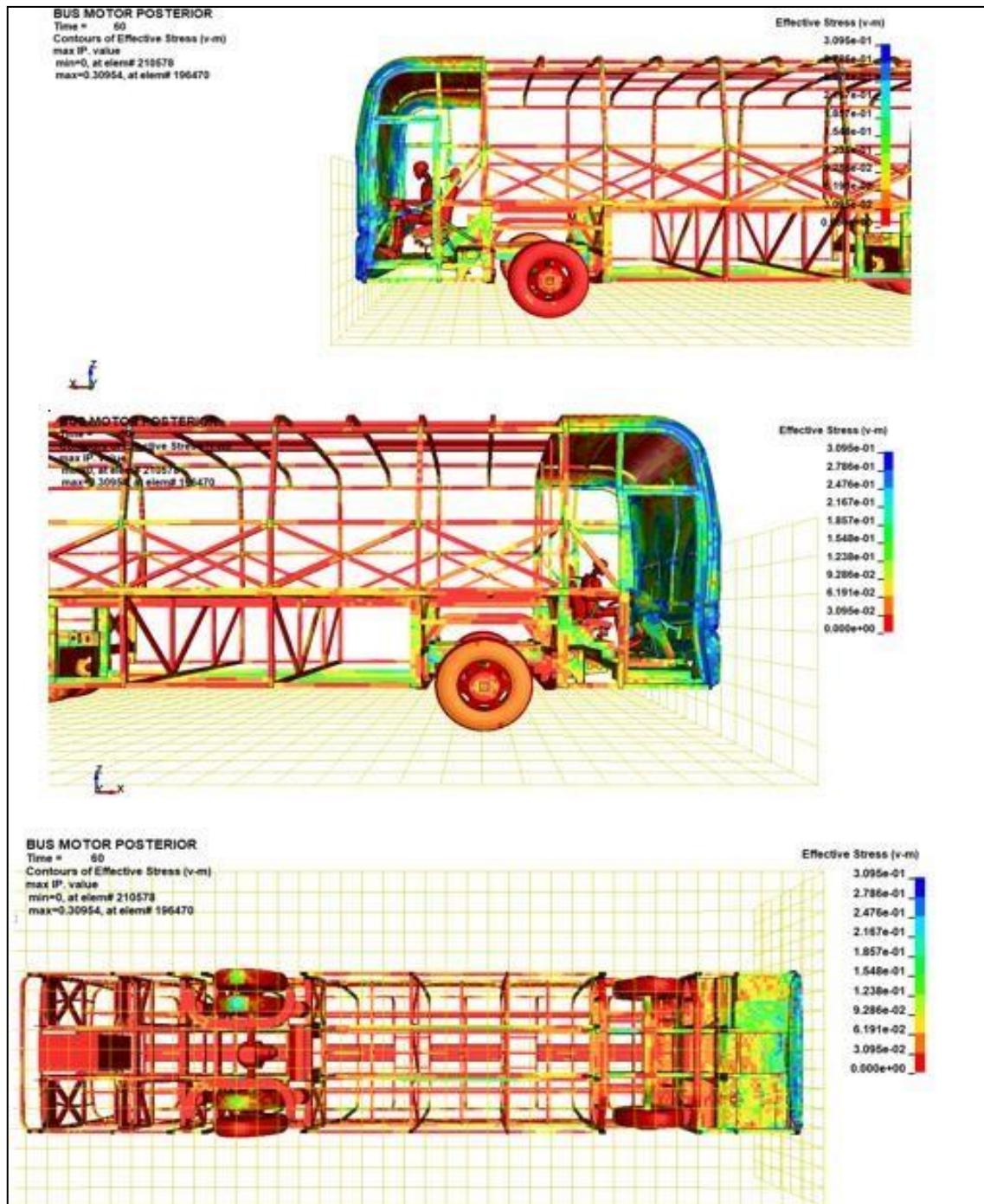


Figura 6-4: Simulación de impacto frontal MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 con una velocidad de 6.95 m/s, elementos que sufren mayor deformación 0.30 GPa en 60 ms.

Realizado por: Paucar C, 2021

El resultado de la deformación máxima en la estructura frontal del autobús con chasis integral expuesto a una velocidad alta se aprecia en la Figura 7-4, esto permite observar que toda la parte frontal de la carrocería no es capaz de absorber la energía producida en el impacto por lo que el conductor queda expuesto como en el modelo anterior a absorber parte de la energía generada, esto provoca fuertes lesiones y el deceso del mismo.

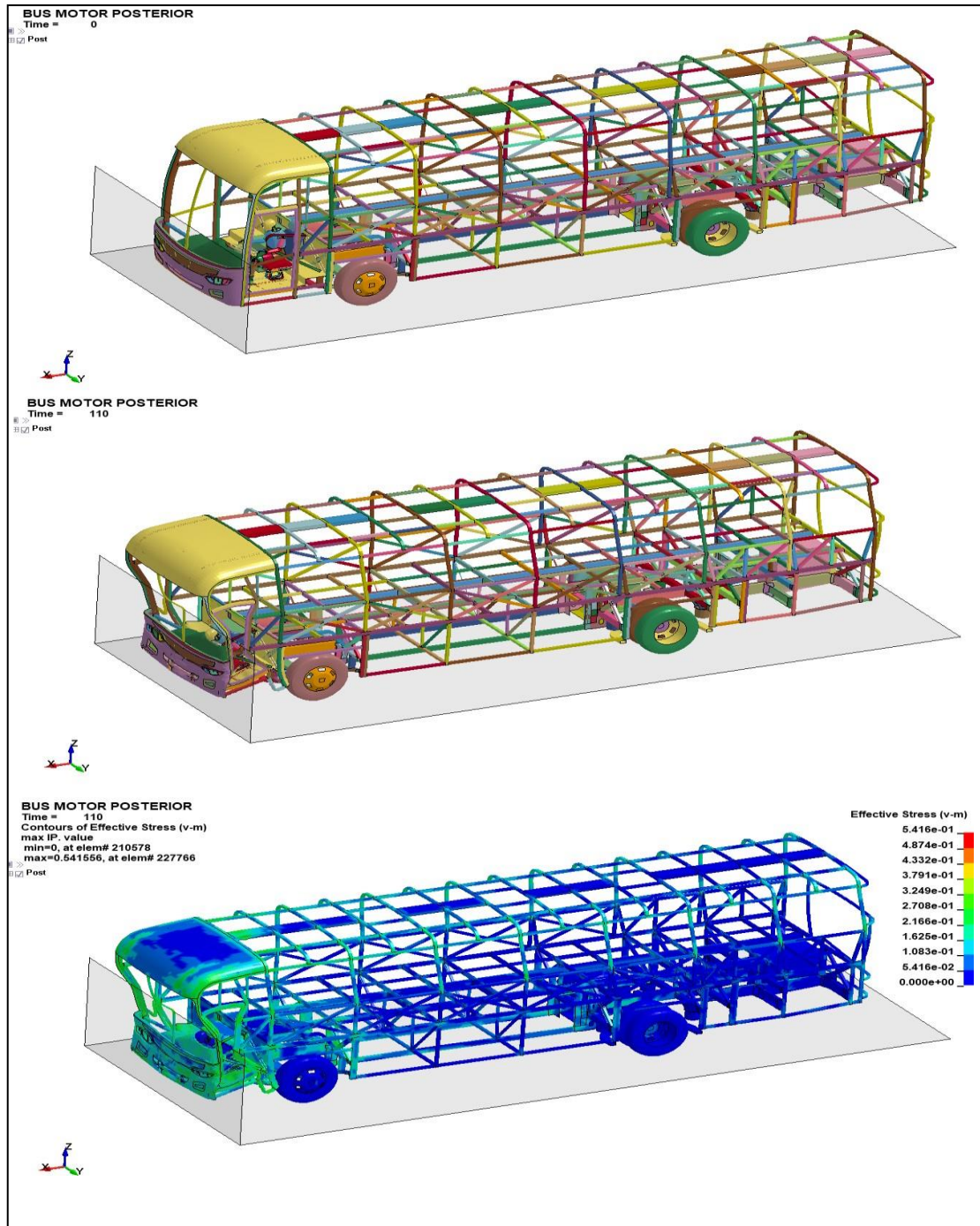


Figura 7-4: Simulación de impacto frontal MERCEDES-BENZ O 500 RS 1836 / 30 con una velocidad de 13.88 m/s, grafico inferior esfuerzos de Von Mises 0.54 GPa en 110 ms.

Realizado por: Paucar C, 2021

4.4 Desplazamiento estructural en la sección del frontal del autobús.

En el impacto es necesario conocer la distancia de separación entre la parte externa del autobús al primer parante interno de la estructura de la carrocería, esto permitirá conocer la distancia que se necesita para absolver la energía producida en el impacto frontal.

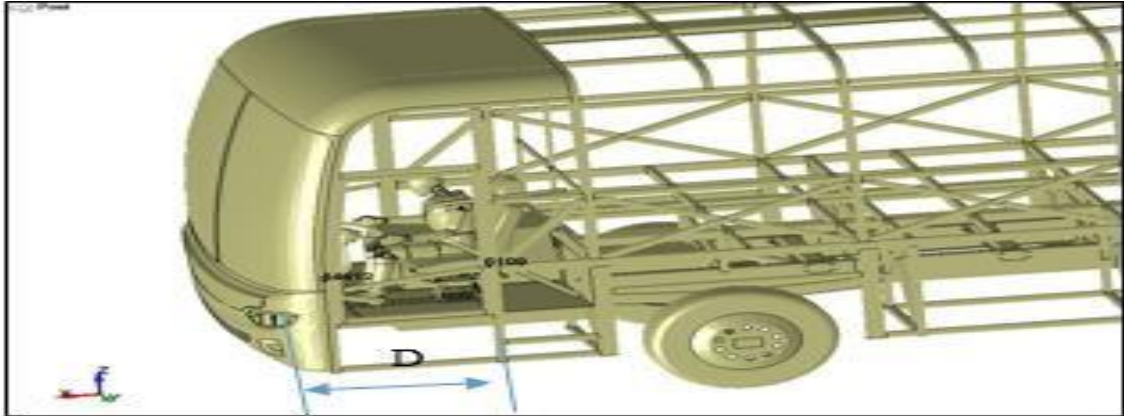


Figura 8-4: Distancia medida en habitáculo del conductor desde parte central externa al parante interno más cercano.

Realizado por: Paucar C, 2021

La comparación de las variaciones de desplazamientos en la parte frontal de la estructura de los dos modelos a distintas velocidades se aprecia en la Gráfico 1-4, la máxima variación es de 849 mm a 261 mm en modelo de simulación de carrocería con motor posterior para una velocidad de 13.88 m/s.

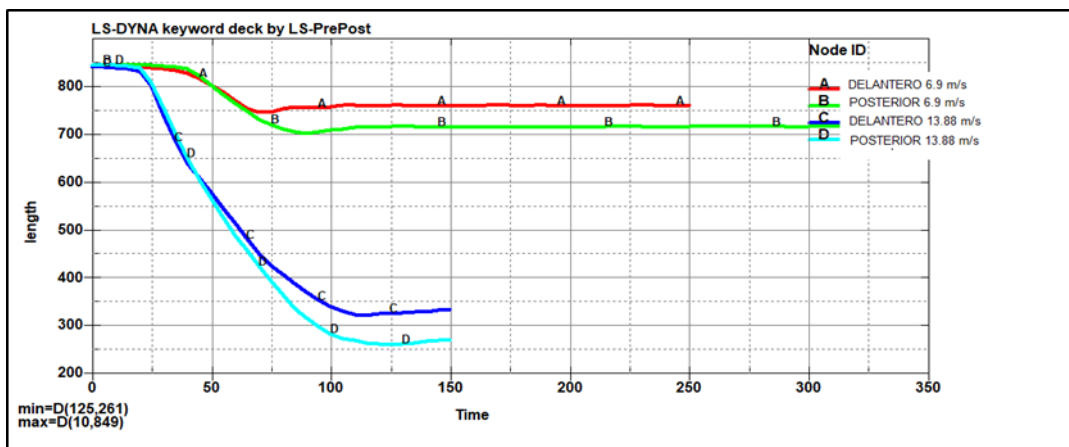


Gráfico 1-4: Variación de desplazamiento durante la simulación de impacto frontal para los 2 modelos propuestos a diferentes velocidades.

Realizado por: Paucar C, 2021

Los desplazamientos que se generaron en el impacto para absorber la energía cinética producida en los dos modelos, estos medidos desde la parte externa al primer parante interior, esto garantizara la seguridad del conductor para que este no quede atrapado entre la estructura y el asiento, los desplazamientos se muestran en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4: Desplazamiento de la estructura de la parte frontal.

Tipo de simulación	Velocidad	Desplazamiento lateral de la estructura
Carrocería motor delantero	6.9 m/s	99 mm
Carrocería motor posterior	6.9 m/s	145 mm
Carrocería motor delantero	13.88 m/s	523 mm
Carrocería motor posterior	13.88 m/s	588 mm

Realizado por: Paucar C, 2021

4.5 Comportamiento del dummy en el momento de impacto.

Al comparar las simulaciones de los dos tipos de autobuses a velocidad media de 6.9 m/s se puede apreciar que el modelo de chasis tipo peldaños el conductor no presenta un elevado efecto de compresión de las costillas producido por el cinturón de seguridad, en el modelo integral se puede observar que el efecto de compresión en las costillas producido por el cinturón es mucho más alto que el anterior.

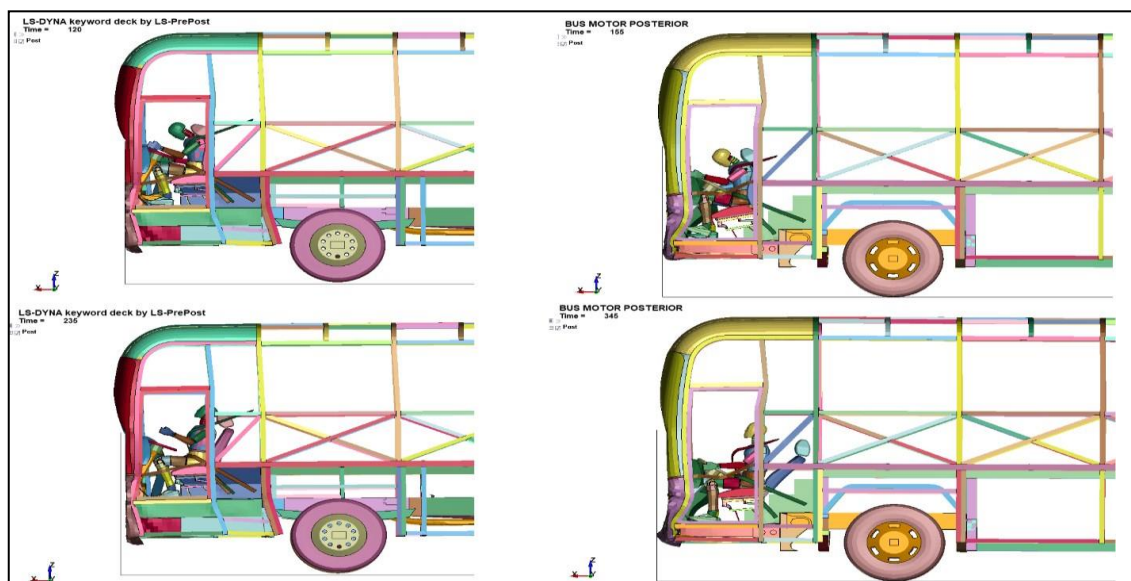


Figura 9-4: Secuencia de impacto frontal en carrocerías de buses, izquierda con motor delantero y der motor posterior con velocidad de impacto 6.9 m/s.

Realizado por: Paucar C, 2021

A velocidades altas es insostenible para la carrocería absorber la energía cinética producida en el impacto como se muestra en la Figura 10-4.

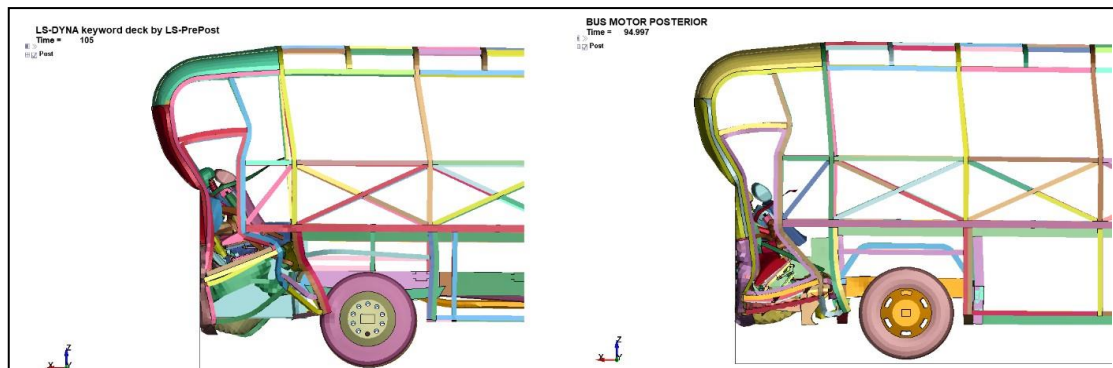


Figura 10-4: Secuencia de impacto frontal en carrocerías de buses izq. motor delantero y der. motor posterior con velocidad de impacto 13.88 m/s.

Realizado por: Paucar C, 2021

La comparación en el resultado de la energía cinética producida en el dummy a la velocidad de 6.9 m/s inicialmente en el impacto no existe mayor diferencia en el comportamiento entre los dos modelos, esto se debe a que las dos estructuras son capaces de absorber la energía cinética producida en el momento del impacto, cuando el dummy está expuesto en el momento que la energía cinética llega a su punto máximo se aprecia que en el modelo de autobús con chasis de peldaños obtiene mayor **cabeceo** a diferencia del modelo integral que el efecto es menor, como se muestra en la Figura 11-4.

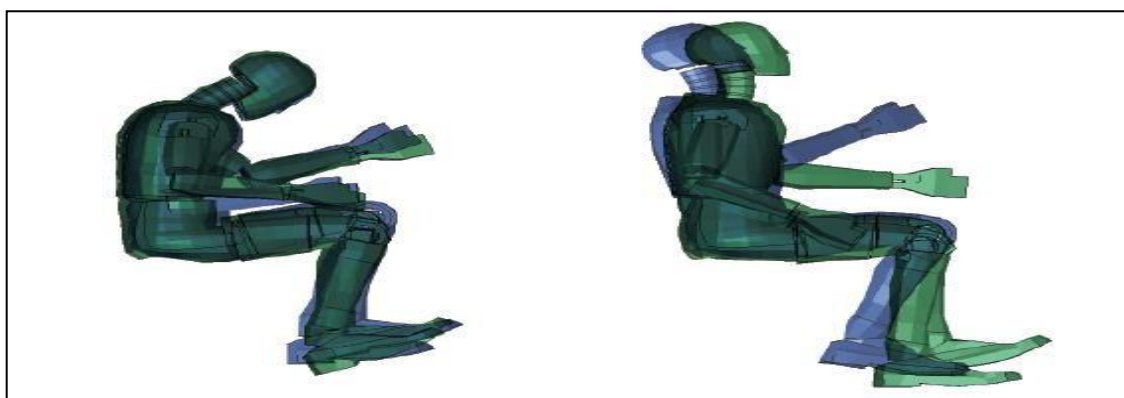


Figura 11-4: Comparación de maniqués, en azul maniquí en motor delantero, en verde con motor posterior, izquierda máxima energía cinética, derecha máximo **cabeceo** (rebote).

Realizado por: Paucar C, 2021

El resultado de la comparación del comportamiento de dummy cuando está expuesto como condición la velocidad de 13.88m/s en los dos modelos, se tiene como resultado que no existe **cabeceo** en ninguno de los dos casos, esto se puede deber a que la estructura sede al momento del impacto no siendo capaz de absorber la energía cinética producida, quedando como resultado atrapamiento del dummy contra la estructura en forma de compresión con los elementos que lo rodean.

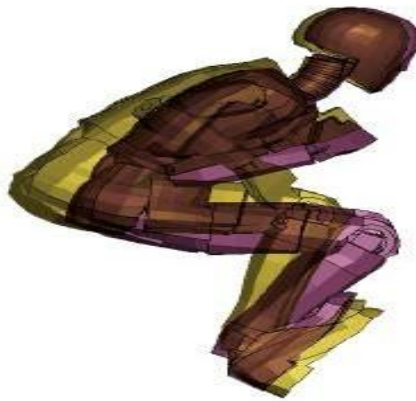


Figura 12-4: Comparación máxima energía cinética de impacto, en morado dummy motor delantero, en amarillo motor posterior, no se produce **cabeceo** del dummy (rebote).

Realizado por: Paucar C, 2021

Es importante ubicar el acelerómetro en la cabeza del dummy esto permitirá una correcta recolección de datos sobre las lesiones producidas en el momento del impacto.



Figura 13-4: Acelerómetro en cabeza utilizado para calcular el criterio de lesión en la cabeza *HIC*.

Realizado por: Paucar C, 2021

Los resultados de los índices de lesión de la cabeza HIC_{15} medidos en 15 milisegundos en las cuatro simulaciones se muestra en el Gráfico 2-4, obteniendo como valor mínimo correspondiente a la simulación del motor posterior con velocidad de 6.9 m/s con un HIC_{15} de 51.52, el máximo valor corresponde a la simulación del motor frontal con velocidad de 13.88 m/s con un HIC_{15} de 8837, los cuales deben regirse al valor permitido máximo de HIC 1000 según CEPE R95 y R94.

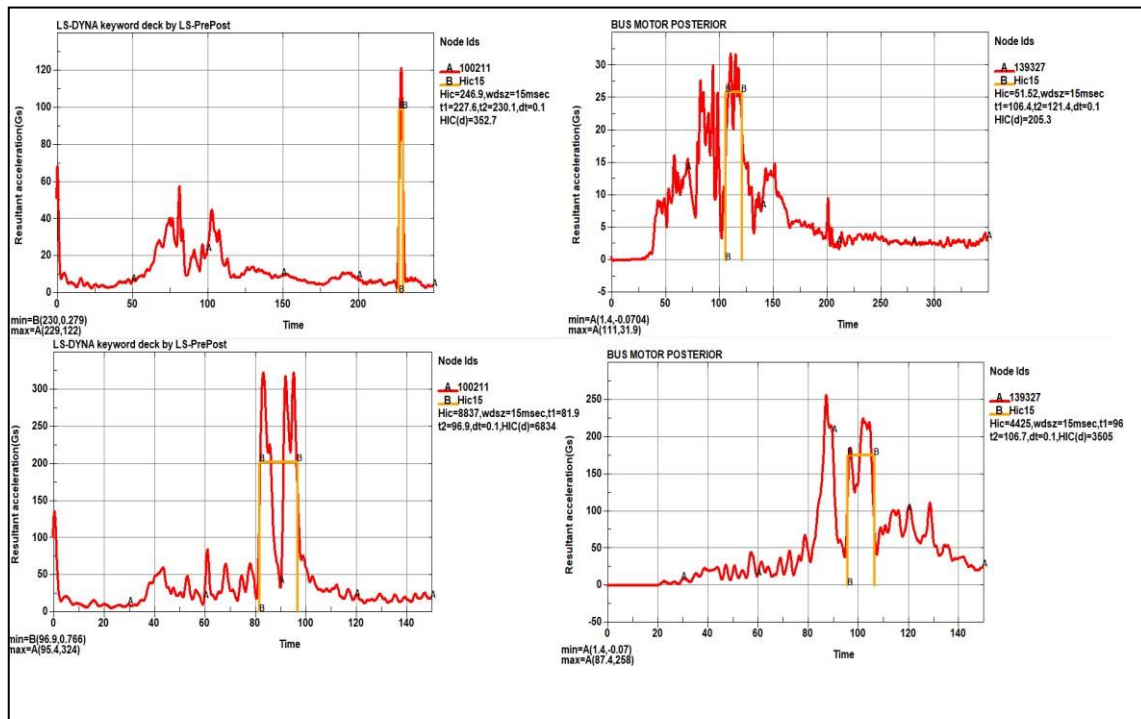


Gráfico 2-4: Índices de lesión de la cabeza HIC en 15 ms, izquierda HIC con motor frontal con 6.94 m/s y 13.88 m/s respectivamente, derecha HIC con motor posterior.

Realizado por: Paucar C, 2021

El resultado de la comparación de las **fuerzas G** medidas gracias al acelerómetro que está conformado el dummy permite elaborar una gráfica comparativa del comportamiento de la cabeza, para la identificación de cuál de los modelos en la simulación presentan los datos más elevados, estos permitirán la identificación de los valores que pueden ser aprobados por la norma para que el vehículo sea seguro en caso de un impacto frontal.

La fuerza G máxima producida por las cuatro simulaciones corresponde a la de color Azul que pertenece a la simulación de motor delantero con una velocidad de impacto de 13.88 m/s, como se muestra en el Gráfico 3-4.

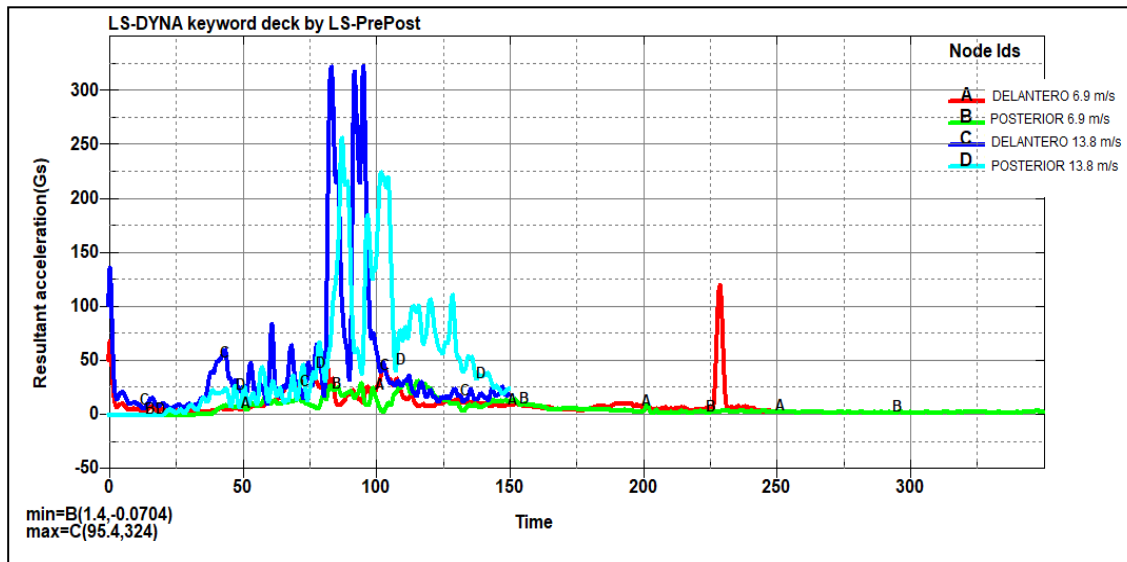


Gráfico 3-4: Comparación de fuerzas G medidas en la Cabeza del maniquí para las 4 simulaciones de impacto frontal.

Realizado por: Paucar C, 2021

Para la obtención del desplazamiento de las costillas se selecciona los nodos de la estructura del tórax del dummy más distantes que representan la distancia correcta de las costillas, se obtiene el desplazamiento realizando la diferencia entre la medida obtenida cuando el dummy está en reposo y la medida cuando el dummy está expuesto en el momento de impacto, como se muestra en la Figura 14-5.

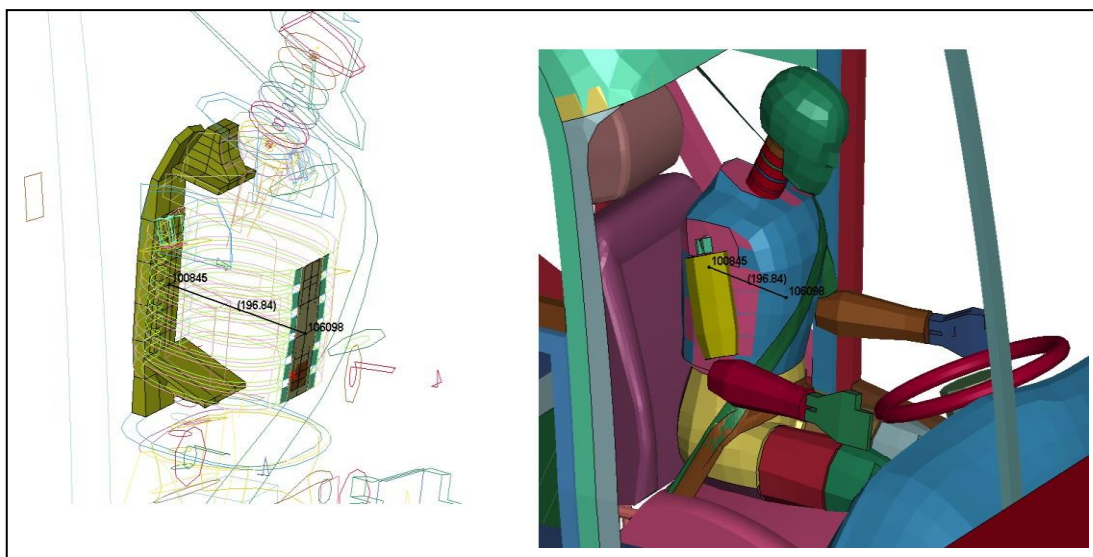


Figura 14-4: Nodos seleccionados del maniquí para medir el desplazamiento de costillas durante las simulaciones.

Realizado por: Paucar C, 2021

Los resultados obtenidos de los desplazamientos de las costillas producidos en el impacto frontal en diferentes tipos de estructura y velocidades utilizadas se muestran en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4: Desplazamiento de las costillas del Dummy producidas por del impacto.

Tipo de simulación	Velocidad	Desplazamiento de costillas
Carrocería motor delantero	6.9 m/s	45 mm
Carrocería motor posterior	6.9 m/s	40 mm
Carrocería motor delantero	13.88 m/s	82 mm
Carrocería motor posterior	13.88 m/s	60 mm

Realizado por: Paucar C, 2021

La comparación del comportamiento de las variaciones de los del desplazamiento de las costillas de las cuatro simulaciones se muestra en el Gráfico 4-4.

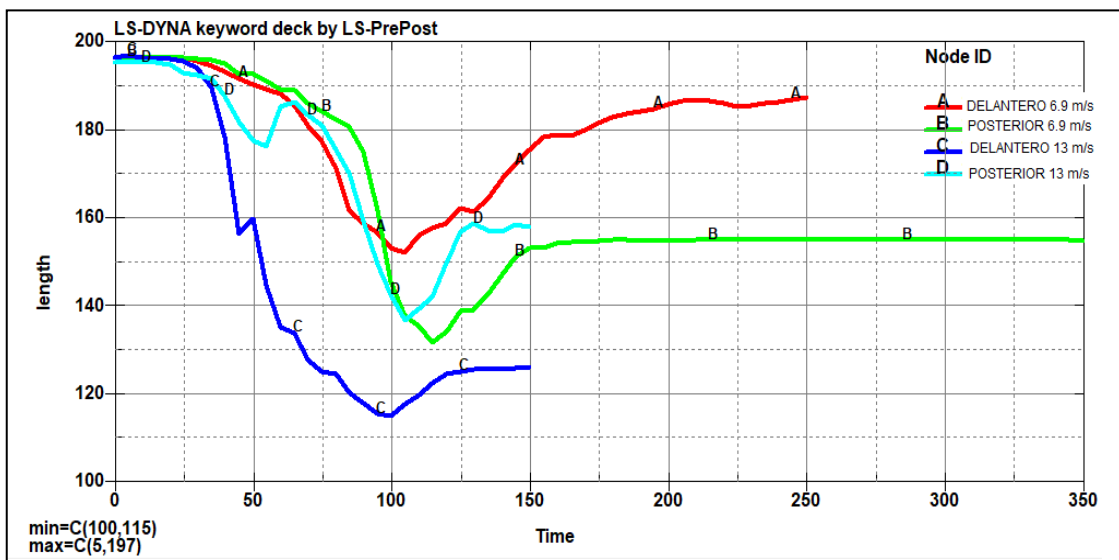


Gráfico 4-4: Variación de desplazamiento en costillas de maniquí en las 4 simulaciones de impacto, desplazamiento máximo de 82 mm simulación con motor delantero a 13.88 m/s.

Realizado por: Paucar C, 2021

Para la obtención de los resultados producidos en la sínfisis pública durante el impacto frontal de los modelos de autobuses simulados a la velocidad de 6.9 y 13.88m/s, primero se debe localizar el acelerómetro en nuestro dummy esto permitirá la correcta obtención de datos, en nuestro caso el acelerómetro se encuentra en la junta 22 del dummy como se muestra en la Figura 15-4.

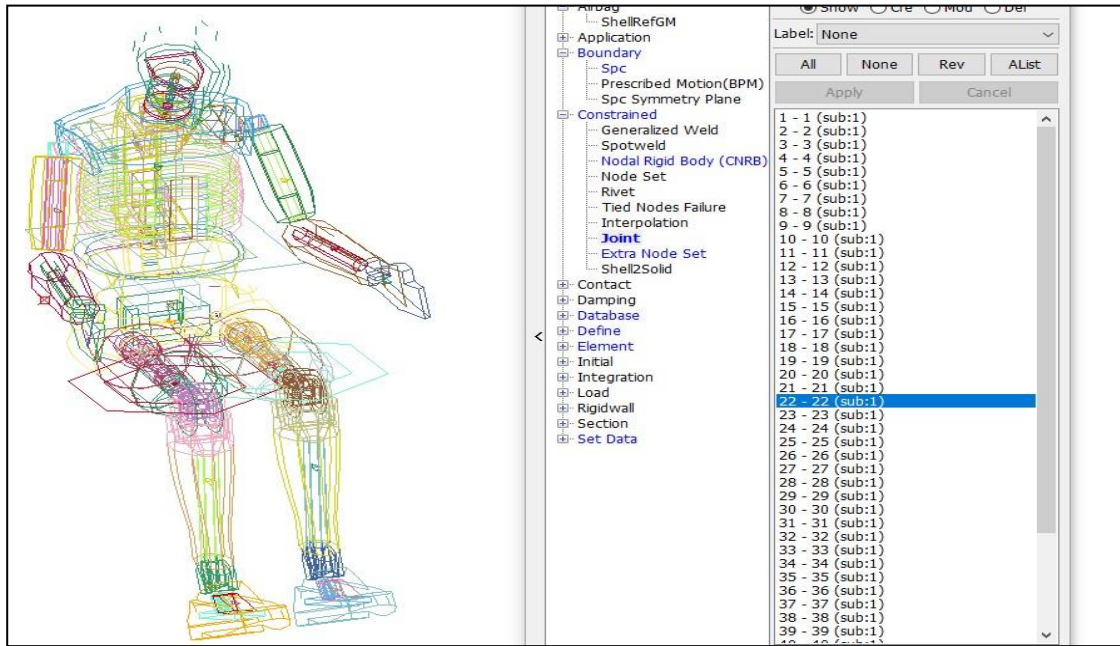


Figura 15-4: Ubicación de junta 22 utilizada para verificar la fuerza producida en la sínfisis púbica del maniquí.

Realizado por: Paucar C, 2021

El gráfico comparativo del comportamiento de las fuerzas producidas en la sínfisis púbica de los distintos modelos, se muestra en el Gráfico 5-4, esta permite observar las fuerzas producidas en los dos modelos de autobuses a velocidad de 6.9m/s son bajas a comparación de las fuerzas medidas en los modelos a una velocidad de 13.88m/s que son altas.

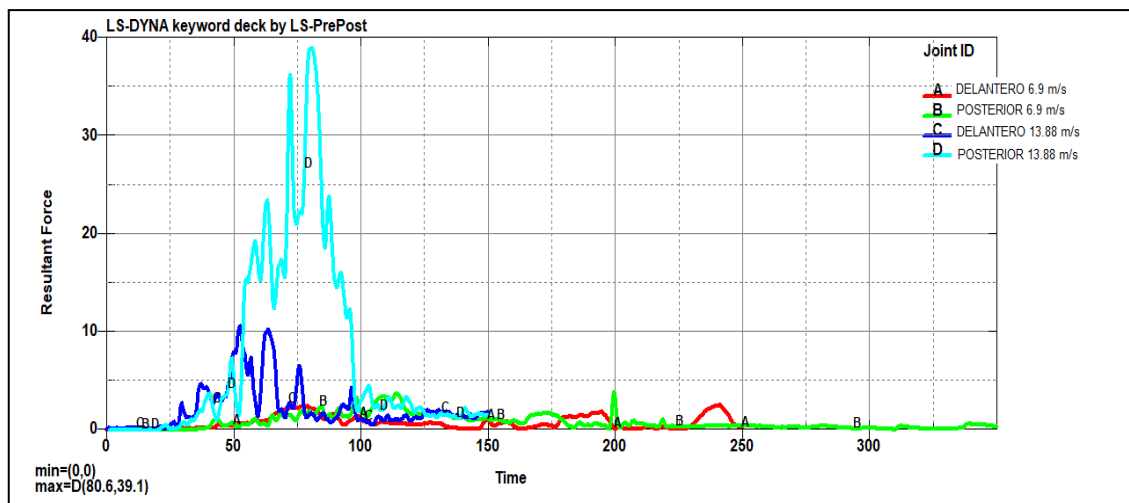


Gráfico 5-4: Fuerzas medidas en la sínfisis púbica del maniquí en las 4 simulaciones, Fuerza máxima de 39.1 KN correspondiente a la carrocería con motor posterior a 13.88 m/s.

Realizado por: Paucar C, 2021

En la Tabla 4-4, se muestra las medidas exactas obtenidas en la medición de la sínfisis pública del dummy en los dos modelos de autobuses y a distintas velocidades.

Tabla 4-4: Fuerza máx. en Sínfisis Pública del Dummy.

Tipo de simulación	Velocidad	Fuerza máx. en Sínfisis Pública
Carrocería motor delantero	6.9 m/s	2.44 KN
Carrocería motor posterior	6.9 m/s	3.76 KN
Carrocería motor delantero	13.88 m/s	10.6 KN
Carrocería motor posterior	13.88 m/s	39.1 KN

Realizado por: Paucar C, 2021

Los resultados deben estar sujetos a criterios de aceptación con respecto a las energías que actúan en nuestras simulaciones, los balances de las energías de nuestros modelos se pueden apreciar en el Gráfico 6-4.

El factor de Hourglass se encuentra dentro del rango aceptable del 10% que se maneja para simulaciones dinámicas.

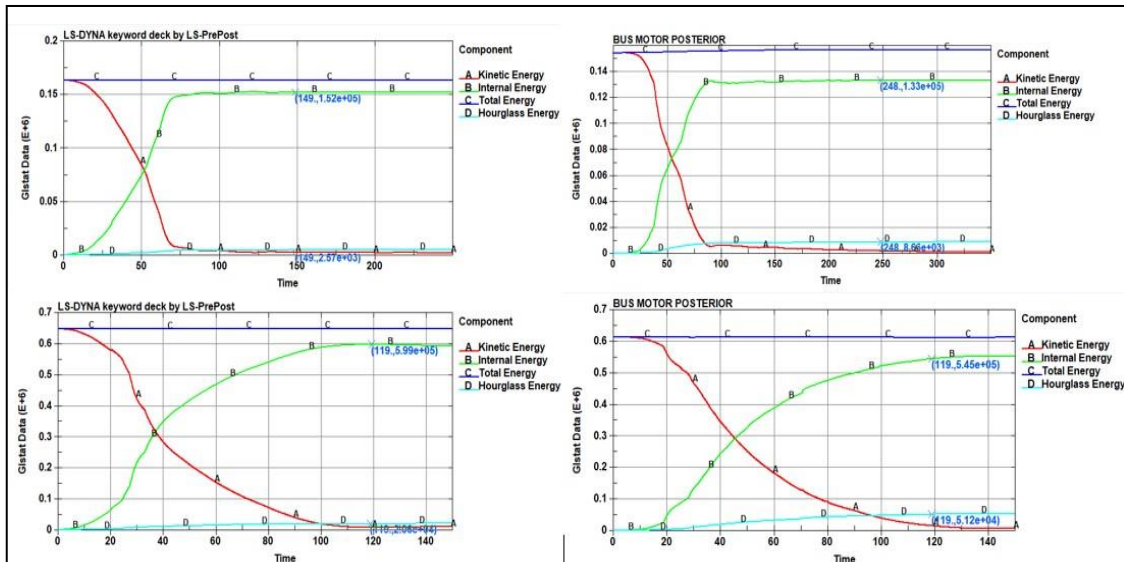


Gráfico 6-4: Balance de energías, izquierda motor frontal con 6.94 m/s y 13.88 m/s respectivamente, derecho motor posterior, Hourglass es inferior al 10% de la energía interna.

Realizado por: Paucar C, 2021

Validación de los modelos virtuales están regidos mediante la aplicación de la ecuación (7), esto permite conocer si las simulaciones de los modelos son fiables.

$$H = \frac{\text{Hourglassing}}{\text{Energía interna}} \times 100\% \text{ Ec. (7)}$$

Tabla 5-4: Validación factor de Hourglassing.

Tipo de simulación	Velocidad	Valor de H	Validación
Carrocería motor delantero	6.9 m/s	1.7%	H<10%
Carrocería motor posterior	6.9 m/s	6.5%	H<10%
Carrocería motor delantero	13.88 m/s	4.3%	H<10%
Carrocería motor posterior	13.88 m/s	9.4%	H<10%

Realizado por: Paucar C, 2021

4.6 Cumplimiento de norma en el comportamiento HIC.

Tabla 6-4: Cumplimiento de norma en el comportamiento de la HIC

TIPO DE SIMULACIÓN	VELOCIDAD	HIC	INDICE PERMITIDO POR LA NORMA	CUMPLIMIENTO
Carrocería motor delantero	6.9 m/s	352.7	1000	Cumple
Carrocería motor posterior	6.9 m/s	205.3	1000	Cumple
Carrocería motor delantero	13.88 m/s	6834	1000	No Cumple
Carrocería motor posterior	13.88 m/s	3505	1000	No Cumple

Realizado por: Paucar C, 2021

4.7 Cumplimiento de norma en el comportamiento del tórax.

Tabla 7-4: Cumplimiento de norma en el comportamiento del tórax.

TIPO DE SIMULACIÓN	VELOCIDAD	DESPLAZAMIENTO DE COSTILLAS	INDICE PERMITIDO POR LA NORMA	CUMPLIMIENTO
Carrocería motor delantero	6.9 m/s	45 mm	50 mm	Cumple
Carrocería motor posterior	6.9 m/s	40 mm	50 mm	Cumple
Carrocería motor delantero	13.88 m/s	82 mm	50 mm	No cumple
Carrocería motor posterior	13.88 m/s	60 mm	50 mm	No cumple

Realizado por: Paucar C, 2021

4.8 Cumplimiento de norma en el comportamiento del fémur.

Tabla 8-4: Cumplimiento de norma en el comportamiento del fémur.

TIPO DE SIMULACIÓN	VELOCIDAD	COMPORTAMIENTO DEL FÉMUR	INDICE PERMITIDO POR LA NORMA	CUMPLIMIENTO
Carrocería motor delantero	6.9 m/s	No hay contacto	9,07 KN	Cumple
Carrocería motor posterior	6.9 m/s	No hay contacto	9,07 KN	Cumple
Carrocería motor delantero	13.88 m/s	Imposible de calcular	9,07 KN	No cumple
Carrocería motor posterior	13.88 m/s	Imposible de calcular	9,07 KN	No cumple

Realizado por: Paucar C, 2021

4.9 Cumplimiento de norma en el comportamiento de la pelvis.

Tabla 9-4: Cumplimiento de norma en el comportamiento de la pelvis

TIPO DE SIMULACIÓN	VELOCIDAD	FUERZA MÁX. EN SÍNFISIS PÚBLICA	INDICE PERMITIDO POR LA NORMA	CUMPLIMIENTO
Carrocería motor delantero	6.9 m/s	2.44 NK	6 KN	Cumple
Carrocería motor posterior	6.9 m/s	3.76 KN	6 KN	Cumple
Carrocería motor delantero	13.88 m/s	10.6 KN	6 KN	No cumple
Carrocería motor posterior	13.88 m/s	39.1 KN	6 KN	No cumple

Realizado por: Paucar C, 2021

CONCLUSIONES.

- En esta investigación se analizó el comportamiento biomecánico en el conductor permitiendo conocer el nivel de daño al que están expuestos los conductores y las lesiones producidas en impactos frontales. Además, permitió el estudio del comportamiento del entorno estructural que rodea al conductor en impactos frontales, al comparar modelos de buses de tipo interprovincial con motor posterior y motor delantero utilizando el método computacional.
- Se generó los modelos CAE de las dos carrocerías basadas en las dimensiones exteriores de los autobuses de la normativa ecuatoriana INEN 1668 para vehículos de transporte público, gracias a que en todos los autobuses se aplica esta normativa se es posible conocer los daños que se pueden generar en el comportamiento natural biomecánico de los conductores en un impacto frontal. Esto permitió conocer que tanto influyen la estructura de las carrocerías, materiales, peso y las disposiciones del motor en el momento de la colisión.
- Se calculó y analizó las cargas de simulación actuantes en el evento de impacto del autobús implementando teorías de diseño, dinámica y estática, Como también se analizó los materiales estructurales y no estructurales de la carrocería más utilizados por las empresas carroceras, investigando las propiedades de los materiales en normativas nacionales e internacionales para asignarlo en los modelos simulación
- Se ejecutó las simulaciones de impacto frontal de los modelos de carrocerías utilizando el reglamento N° 94 y N° 95 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas, que dicta los parámetros permitidos para la formulación de ensayos de automotores que están sometidos a impactos tanto frontal como lateral.
- Las simulaciones realizadas por el software de ingeniería asistida por computadora LS – DYNA permitió obtener resultados efectivos en la resistencia de la estructura del autobús, como también en la recolección de datos que verifican las lesiones que se producen en el dummy.
- Gracias a los datos proporcionados por LS – DYNA en los ensayos realizados se llegó a determinar que las carrocerías producidas en el país no presentan la suficiente seguridad al conductor en una situación de impacto frontal, ya sean estos los autobuses con chasis tipo peldaños o autoportante.
- El autobús con chasis autoportante es el que presenta mejor respuesta a la absorción de energía en el impacto cuando este está sometido a una velocidad de 25 Km/h, mostrando una deformación frontal de 14.5 cm obteniendo una mejor absorción de energía por parte de la estructura, esto ayudo a que el conductor apruebe los criterios de comportamiento de la cabeza con 205.3, el tórax con 4 cm, la pelvis con 3.76 KN y en el fémur no existe contacto, con

respecto a los requerimientos que dispone la norma N° 94 y N° 95 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas, esto se puede deber por que la estructura elaborada sobre el chasis ayuda en la absorción de energía cuando se produce el impacto, sin embargo en velocidades mayores como 50 Km/h la estructura no tiene la capacidad de absorber toda la energía producida, por lo que el conductor en gran parte también sufre la absorción de energía, dando como resultado una deformación frontal de 58.8 cm obteniendo el límite de absorción de energía por parte de la estructura, los criterios de comportamiento de la cabeza con 3505, el tórax con 6 cm, la pelvis con 39.1 KN y en el fémur es imposible de calcular, esto no permite aprobar los requerimientos de la norma establecida para impactos frontales.

- El autobús con chasis tipo peldaños presenta una absorción de energía menor al modelo anterior cuando está sometido a una velocidad de 25 km/h, lo suficiente para ser capaz de pasar los controles que dispone la norma. Con una deformación frontal de 9.9 cm por parte de la estructura, esto ayudo a que el conductor apruebe los criterios de comportamiento de la cabeza con 352.7, el tórax con 4.5 cm, la pelvis con 2.44 KN y en el fémur no existe contacto. A velocidades mayores como 50 km/h tiene el comportamiento aún más crítico que el modelo anterior. Una de las causas puede ser que carece de componentes que apacigüen y se deformen en el impacto, ya que cuenta solo con elementos rígidos en la parte frontal esto origina una canalización de energía hacia el conductor y ocupantes, obteniendo una deformación frontal de 52.3 cm por parte de la estructura, esto evita a que el conductor apruebe los criterios de comportamiento de la cabeza con 6834, el tórax con 8.2 cm, la pelvis con 10.6 KN y en el fémur es imposible de calcular.
- Se puede decir que los autobuses no son capaces de absorber toda la energía mecánica generada en el impacto a una velocidad alta, esto ocurre debido a que, en el país al no existir un ente regulador en la fabricación de autobuses especializado en la cabina del conductor permite que el consumidor y los fabricantes carroceros vayan por la opción de proporcionar al mercado autobuses más ligeros con la ventaja de generar un bajo consumo de combustible, dejando a un lado las necesidades de implementar nuevas tecnologías de seguridad activa y la creación de un habitáculo seguro de trabajo para los conductores.
- Los inconvenientes que se originan en los autobuses actuales es por la gran facilidad de estos en la obtención de altas velocidades en muy poco tiempo y que la distancia de la estructura destinada a la absorción de energía sea menor aun metro antes que afecte al conductor.

RECOMENDACIONES.

- Con respecto a la obtención de del modelo **CAD** y simulación **CAE** se debe llevar a cabo teniendo en cuenta las restricciones y siguiendo las normas a las que están sujetos esto permite la obtención de resultados fiables en todos los análisis propuestos.
- Con respecto a la utilización de autobuses con chasis de peldaños o autoportante estos deben ser fabricados con refuerzos en toda la cabina del conductor, esto ayudará en la protección y permitirá mitigar los daños producidos y por ende también decesos en los conductores expuestos a un siniestro frontal.
- Con respecto a los índices de velocidad se recomienda a los operadores de autobuses interprovinciales respetar los índices de velocidad, esto ayuda en una rápida respuesta frente a un imprevisto de impacto, esto permitirá la reducción de la velocidad llegando a índices de velocidad a las cuales la carrocería y componentes soporten el impacto y que no afecten la integridad del conductor como de sus ocupantes.
- Con respecto a los fabricantes de autobuses implementar nuevas tecnologías de seguridad activa y pasiva, como sistema sensores de movimiento en la parte frontal, como también un sistema de frenado automático cuando no exista una respuesta rápida del conductor cuando este expuesto a una colisión futura.

GLOSARIO.

Análogo: Relación de semejanza que se establece entre dos cosas distintas. Es una herramienta que toma una característica que está presente en un elemento y observa que esta característica es compartida por otra cosa

ANT: Agencia Nacional de Tránsito

Antropomórficos: Atribución de características y cualidades humanas a animales de otras especies, a objetos o a fenómenos naturales. Se trata de una forma de personificación parecida a la prosopopeya.

Armadura: Sistema estructural reticular de barras rectas interconectadas en nudos articulados formando triángulos.

ASTM: Sociedad Americana de Ensayo de Materiales

Bastidor: Estructura rígida donde se fijan de una u otra forma, tanto la carrocería como los distintos elementos y grupos mecánicos que componen un vehículo (motor, elementos del sistema de transmisión, suspensión, etc.)

Biomecánica: Estudia el movimiento del cuerpo humano, ya sea andando, corriendo o realizando cualquier acción que implique movimiento.

Cabeceo: Mover o inclinar la cabeza, ya a un lado, ya a otro, o moverla reiteradamente hacia delante.

CAD: Diseño Asistido por Computador

CAE: Ingeniería Asistida por Computadora

CEPE: Comisión Económica Para Europa

Discretiza: Modelo contrapuesto al continuo en el que la función a resolver no depende de las coordenadas de cada punto, sino de un conjunto finito de variables y, por tanto, no tiene dependencia espacial.

EURO NCAP: Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos

Fuerzas G: Medida de aceleración basada en el incremento de velocidad de un objeto o una persona a causa de la gravedad.

FFC: Criterio de fuerza del fémur

HPC: Criterio de comportamiento de la cabeza

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

IHQ 1: Forma viscosa estándar (puede inhibir la rotación del cuerpo si las formas de los elementos sólidos están sesgadas).

IHQ 5: Forma de rigidez de tipo 3 (Flanagan-Belytschko) para sólidos elementos.

LSTC: Corporación de Tecnología de Software de Livermore

MEF: Método de los Elementos Finitos

NHTSA: Administración Nacional de Seguridad y Transporte en Carreteras

NTE: Norma Técnica Ecuatoriana

ONU: Organización de las Naciones Unidas

THCC: Criterio de compresión del tórax

UNECE: Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas los reglamentos

SAE: Sociedad de Ingenieros Automotrices

2D: Dos Dimensiones

3D: Tres Dimensiones

BIBLIOGRAFÍA.

Albert Martí Parera. “*Sistemas de seguridad y confort en vehículos automóviles*”, Barcelona – España. Editorial Marcombo, 2000, pp 15- 23

ANSYS/LTS. *Ls-Dyna*. [On line] 2011. [Consulta: 07 de enero de 2021]. Disponible en: <http://www.lstc.com/products/lis-dyna>.

Autolider Ecuador S.A. Distribuidor general, **Chasis y Buses Listos**. Disponible en: <http://www.autoliderecuador.com.ec/comerciales/producto/categoria/chasis-y-buses-listos>.

BECERRIL NIETO, D. Daniel. Estudio del impacto de un vehículo sobre señales de tráfico mediante LS-Dyna. [On line] (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España.2010 pp. 30-31 [Consulta: 2020-12-20]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/10798#preview>

Canales sectoriales Interempresas (2010). Autobuses: ¿Integrales, basados en chásis o mixtos? Canales Sectoriales Interempresas. [On line] [citado: 10 15,2020]. Disponible en: https://www.interempresas.net/Automocion/Articulos/41701-Autobuses_integrales-basados-en-chasis-o-mixtos.html.

CEDE. Carrocerías y bastidores: Tipos, características, procesos de fabricación, elementos que los componen y métodos de ensamblado y unión de éstos. [On line] [citado: 10 21,2020]. Disponible en: http://www.serina.es/empresas/cede_muestra/304/tema/%20MUESTRA.pdf.

CELIGÜETA, J. *Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural*. [On line]. Cuarta Edición. Madrid - España: UNICOPIA C.B, 2011. [Consulta: 15 de noviembre 2020]. Disponible en: <https://dadun.unav.edu/handle/10171/19069>.

CEPEDA MIRANDA, Jorge Luis, Análisis del comportamiento mecánico del sistema estructural del autobús Feline para la empresa carrocera Miral buses. [On line] (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2017. pp. xix. [Consulta:2020-10-20]. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2006. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/734?locale-attribute=en>.

Díaz, A. Métodos de mallado y algoritmos adaptativos en dos y tres dimensiones para la resolución de problemas electromagnéticos cerrados mediante el método de los elementos finitos. [On line] (Trabajo de titulación) (Doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.2000 pp. 2-3 [Consulta: 2020-11-17]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/39745508_Metodo_de_mallado_y_algoritmos_adaptativos_de_dos_y_tres_dimensiones_para_la_resolucion_de_problemas_electromagneticos_cerrados_mediante_el_metodo_de_los_elementos_finitos.

DURÁN CAGUANA, John Jairo. Diseño y construcción de un jig de ensamble de anclajes y plataforma en el proceso de fabricación de estructuras metálicas para buses interprovinciales modelo silver plus-glass en chasis hino ak de la carrocería patricio cepeda de la ciudad de Ambato, periodo octubre 2016 – marzo 2017. [On line] (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador. 2006. pp. 27-28. [Consulta: 2020-10-15]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26543/1/Tesis%20I.%20M.%20405%20-%20Dur%c3%a1n%20Caguana%20John%20Jairo.pdf>.

FRÍAS VALERO, Eduardo. Aportaciones al estudio de las maquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos. [On line] (Trabajo de titulación) (Doctorado). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España. 2004 pp. 120-121 [Consulta: 2020-11-20]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93606>

HUMANESTICS GRUP. Dispositivos de prueba antropomórficos de impactos frontales, híbrido III. [On line] [citado: 12 21,2020]. Disponible en: <https://humanetics.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/frontal-impact/hybrid-iii-50th-male/hybrid-iii-50th-male>.

ING. SANTOS CORREA, Luis Alberto. Simulación por el método de los elementos finitos del impacto frontal de un bus interprovincial de fabricación nacional, para proponer la modificación de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1323:2009. [On line] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador. 2017. pp. 33. [Consulta: 2020-10-10]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13543/1/T-ESPE-057893.pdf>

LS- DYNA. Keyword User's Manual. (2001). [On line]. [Consulta: 28 de diciembre 2020]. Disponible en: https://www.dynasupport.com/manuals/ls-dyna-manuals/ls-dyna_manual_volume_i_r12.pdf, pp. (5-1)-(44-40).

MARTÍNEZ, L.; PELÁEZ, R.; GÓMEZ, V.; LÓPEZ, E.; GARCÍA, A. “Optimización de Modelos en Elementos Finitos de los Maniqués Hybrid-III Percentiles 50% y 95% para su Aplicación en Transporte Ferroviario. Asociación Española de Ingeniería Mecánica”. *Asociación Española de Ingeniería Mecánica*. Vol. 21. (España), pp. 804.

MUÑOZ, Belén Abella & LÓPEZ, Vicente Díaz. “Desarrollo de un modelo humano plano para la simulación de ensayos de choque en vehículos”. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*. Vol. 11, n.º 3 (2007), (España) pp. 63-71.

NTE INEN 1323. *Vehículos automotores. Carrocerías de buses.* Requisitos.

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

NTE INEN 2415. *Tubos de acero al carbono soldados para aplicaciones estructurales y usos generales.* Requisitos.

NTE INEN 2704. *Vehículos automotores. Anclajes del cinturón de seguridad para vehículos.* Requisitos.

Protocolo de Evaluación. EURO-NCAP. Protección de Ocupantes Adultos Nuevo Programa Europeo de Evaluación de Coches

Reglamento No 94 CEPE. *Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión frontal.* Reglamentos. y Anexos 3 y 4.

Resolución No.097-DIR-2016-ANT. *Reglamento del procedimiento general de homologación vehicular y dispositivos de medición, control, seguridad y certificación de los vehículos comercializados.* Requisitos.

SERA RUIZ, M & BLANCO DIAZ, E. Resistencia de Materiales. [On line]. Barcelona – España; © Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), 2015. [Consulta: 23 de diciembre 2020]. Disponible en: <http://cervera.rmee.upc.edu/libros/Resistencia%20de%20Materiales.pdf>

Universidad Politécnica de Madrid, Conceptos básicos de diseño mecánico, Madrid: UPM, 2011

VÁZQUEZ, M. & LÓPEZ, E. *El método de los Elementos Finitos, aplicado al análisis estructural.* [On line]. Madrid - España: Editorial Noelia. [Consulta: 7 de noviembre 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/38827344/El_m%C3%A9todo_de_los_Elementos_Finitos_aplicado_al_an%C3%A1lisis_estructural_Manuel_V%C3%A1zquez_Elo%3ADsa_L%C3%B3pez.

VETTURAZZI, Rafael. Ventajas de la integración de LS-DYNA con las herramientas de Ansys. [blog]. [Consulta: 06 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.esss.co/es/blog/ventajas-de-la-integracion-de-ls-dyna-con-las-herramientas-de-ansys/>

ANEXOS

ANEXO A: CARACTERISTICAS GENERALES MERCEDES BENZ OF-1723/59

Mercedes-Benz OF-1723/59

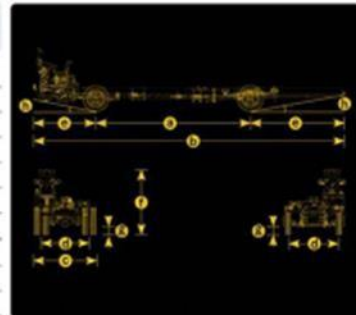
El chasis de Mercedes-Benz OF 1723/59 está homologado para todas las modalidades de transporte, desde urbano hasta interprovincial. Desarrollado para un largo carrozable de hasta 13.2 mts., con un P.B.V. de 17 toneladas y un motor Euro III de 6 cilindros; proporciona economía de combustible y alto par en bajas rotaciones. Es la opción más adecuada para todo tipo de recorrido, ofreciendo como principales ventajas la robustez, el desempeño y la calidad del líder en transporte de personas.



Imágenes referenciales, especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso.

Dimensiones [mm] [chasis sin cabina, sin carrocería]

[a] entre ejes	5.950
[b] largo total	11.769
[c] ancho	2.442
[d] trocha: eje delantero / eje trasero	1.960/1.842
[e] voladizo: delantero/trasero	2.275/3.544
[f] altura	2.582
[g] vano libre: delantero /trasero	296/263
[h] ángulo: de entrada/de salida	13° 5' /13
círculo de viraje del vehículo (mØ)	20,4
largo máximo total carrozado	Aprox 13,200



Pesos a vacío [kgts] [sin carrocería, en orden de marcha]

Pesos admisibles

eje delantero	2.974	eje delantero	6.500
eje trasero	2.062	eje trasero	10.500
total	5.036	peso bruto vehicular (PBV)	17.000

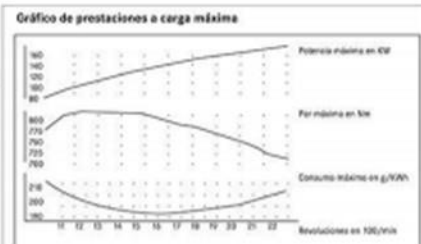
Los datos presentados en Pesos a vacío consideran la versión de serie del vehículo y pueden cambiar de acuerdo con los opcionales.

Mercedes-Benz



170 kW (231 cv) @ 2.200 rpm

Motor	
MB OM 906 LA Euro III 6 cilindros verticales en línea, turbocooler	
potencia máxima [NBR ISO 1585]	170 kW (231 cv) @ 2.200 rpm
par motor máximo [NBR ISO 1585]	810 Nm (83 mkgf) @ 1.200-1.600 rpm
cilindrada total	6.374 cm ³
consumo específico	195 g/kWh @ 1.500 rpm
sistema de enfriamiento	por circulación de agua con termostato
unidad inyectora	DTC, individual con control electrónico (Diesel Technology Company)
sistema de inyección	directa, con gerenciador electrónico
motor - compresor	Wabco, con 2 cilindros, accionado por engranajes y refrigerado con agua



Imágenes referenciales, especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso.

Transmisión MB G 85 - 6 / 6,7 - 0,73 (accionamiento por palanca)

relación de transmisión	i = 6,70 / 3,81 / 2,29 / 1,48 / 1,00 / 0,73
	marcha atrás = 6,29
embrague	MF 395 mm, monodisco, seco
	• accionamiento hidroneumático

Ejes eje delantero MB VL 3/8 D - 6,5 tipo puño / eje trasero MB HL 5/60 DZ - corona D427 armadura central con tubos de acero insertados

ejes - reducción (sencillo / dual)	i = 5,625 / 7,891
------------------------------------	-------------------

Suspensión • Neumáticos • Dirección • Chasis [tipo: escalera, remachado]

suspensión eje delantero	ballestas semi elípticas con 2 amortiguadores telescópicos de doble acción y barra estabilizadora
suspensión eje trasero	ballestas semi elípticas con 2 amortiguadores telescópicos de doble acción y barra estabilizadora
ruedas	7,50 X 22,5
neumáticos	275/80R 22,5"
dirección hidráulica	ZF 8097 i máx. = 20,6 : 1

Desempeño OF 1723 | MB G 85 - 6 / 6,7 - 0,73 / MB HL 5 / 60 DZ - corona D427 | 275/80R 22,5"

reducción	i = 5,625	tensión normal	24 V
velocidad máxima (km/h)	108 (Opcional limitador de velocidad - 90 Km/h)	alternador [capacidad]	28 V / 80 A
pendiente máximo (PBV)	39	batería	2 x 12 V / 135 Ah

Sistema eléctrico

Frenos a aire comprimido, de dos circuitos / tambor en la delantera y tambor en la trasera

área de frenado	eje delantero 2.129 cm ² eje trasero 3.808 cm ² total 5.437 cm ²	tanque de combustible	300
regulador automático de freno	sí	aceite en el carter	[máx] 28 [mín] 23
freno de estacionamiento	cámaras de aire y resorte acumulador de energía con accionamiento neumático actuación en ruedas traseras	caja de cambios	9,0
freno adicional	freno motor de mariposa en el tubo de escape accionamiento electro-neumático; puede actuar con el freno de servicio	carcasa del diferencial [eje trasero]	10
frenos ABS	sí	dirección hidráulica	3,5
Top Brake	sí	sistema de enfriamiento	37

Volúmenes de suministro [l]

Autolider Ecuador S.A.
DISTRIBUIDOR GENERAL

MATRIZ QUITO: Av. Galo Plaza Lasso 5898 y Manuel Zambrano, Panamericana Norte Km 3 PBX: (593 2) 3930780
QUITO SUR: Av. Pedro Vicente Maldonado 557-254 y Transversal No. 3 (Guamaní) PBX: (593 2) 3930780
GUAYAQUIL: Av. de las Américas 313 y Eugenio Almazan, Edificio de Las Américas PBX: (593 4) 3713080
CUENCA: Av. España 8-31 y Barcelona Telf: (593 7) 2865473 - 2864810
www.autoliderecuador.com.ec Mercedes-Benz Autolider Ecuador

PUBLIDER 0995354416

Mercedes-Benz O500 RS 1836

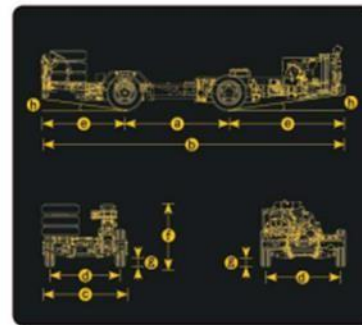
El chasis Mercedes-Benz O500 RS 1836 es equipado con todas las ventajas tecnológicas para un transporte confortable y seguro de personas en medianas y largas distancias. Potente y robusto, fue desarrollado para 18 toneladas y hacia 13,2 m de largo en las más severas condiciones de uso. Definitivamente, es un chasis con diseño osado asociado a la calidad del líder en transporte de pasajeros.



Imágenes referenciales, especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso.

Dimensiones [mm] [chasis sin cabina, sin carrocería]

[a] entre ejes	3.006
[b] largo total	8.926
[c] ancho	2.469
[d] trocha: eje delantero/eje trasero	2.036/1.824
[e] voladizo: delantero [mín • máx]/trasero	2.200 • 2.570/3.350
[f] altura	1.790
[g] vano libre: delantero/trasero	210/234
[h] ángulo: de entrada/de salida	14°/9°
círculo de viraje del vehículo (mØ)	20,6
largo máximo total carrozado	13.200



Pesos a vacío [kg | sin carrocería, en orden de marcha]

eje delantero	890
eje trasero	5.100
total	5.990

Pesos admisibles [kg]

eje delantero	7.000
eje trasero	11.000
peso bruto vehicular (PBV)	18.000

Los datos presentados en Pesos a vacío consideran la versión de serie del vehículo y pueden cambiar de acuerdo con los opcionales.

Principales opcionales

Baterías 12V / 170 Ah | 12 V / 220 Ah * caja automática zf 6 HP 602 Ecomat II con retardador primario integrado * columna de dirección regulable * condensador con válvula de drenaje (CONSEP) * eje delantero MB VC 4/40 DCL-7,1 * limitador de velocidad * llave general eléctrica y de combustible * piloto automático * preparación de toma de aire en el techo * preparación para aire acondicionado - alternador adicional * regulador de nivel Lifting * regulador de nivel KNR * relaciones de transmisión 3,667 (44:12) | 3,917 (47:12) | 4,300 (43:10) (solamente con caja automática ZF 6 HP) | 4,750 (38:8) * retardador Voith 115 * sistema de frenos ABS * sistema ASR (obligatoriamente + ABS) * tacógrafo semanal * tanque de combustible 300 l * voladizo delantero corto * 11.00 R 22 16PR y 8.00 x 22 * 11.00 R 22,5 16PR y 8.25 x 22,5 * 12.00 R 22,5 16PR y 8.25 x 22,5 * ruedas en aluminio * sistema de frenado de emergencia AEBS (Advanced Emergency Brake System) * sistema de alerta de abandono de carril LDWS (Lane Departure Warning System)

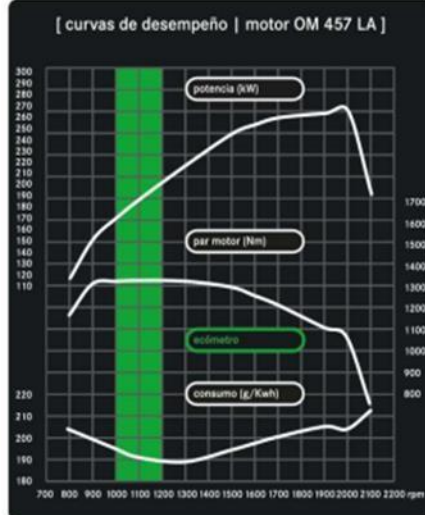
Activ
 Wir
 Ve a Configura

Mercedes-Benz



Motor OM 457 LA | Euro III | electrónico
6 cilindros verticales en línea, turbocooler

potencia máxima [NBR ISO 1585]	265 kW (360 cv) @ 2.000 rpm
par motor máximo [NBR ISO 1585]	1.600 Nm (163 mkgf) @ 1.100 rpm
cilindrada total	11.967 cm ³
consumo específico	188 g/kWh @ 1.300 rpm
filtro de aceite - tipo	filtro de aceite con elemento de papel intercambiable
filtro de aire - tipo	seco, con elemento de papel
sistema de enfriamiento	por circulación de agua con termostato
unidad inyectora	DTC (Diesel Technology Company)
sistema de inyección	individual con control electrónico
compresor	directa, con gerenciador electrónico por engranajes



Transmisión MB GO 240 - 8 powerShift (electrónico - neumático)
8 marchas sincronizadas

relación de transmisión	i = 6,571 / 4,158 / 2,748 / 1,739 / 1,259 / 1,000 / 0,797 / 0,633
marcha atrás	6,173 / 3,909
embrague	MFZ 430 • monodisco, seco • accionamiento servo asistido

Ejes MB VO 4/40 DCL - 7,1 • tipo puño
MB HO 4/08 DCL - 11,5 • armadura central con tubos de acero insertados

reducción	i = 3,917(47:12)
-----------	------------------

Suspensión • Neumáticos • Dirección • Chasis [tipo: bastidor de módulos • voladizo delantero largo]

suspensión eje delantero	neumática, con 2 fuelles de aire, 4 amortiguadores telescópicos de doble acción y barra estabilizadora
suspensión eje trasero	neumática, con 4 fuelles de aire, 4 amortiguadores telescópicos de doble acción y barra estabilizadora
ruedas	8.25 X 22,5
neumáticos	295/80 R 22,5 16PR
dirección hidráulica	ZF 8098 i máx. = 26,2 : 1

Desempeño O 500 RS 1836 | MB GO 240/8
MB HO 4 / 08 DL-11,5 | 295/80 R 22,5 16 PR

reducción	i = 3,917(47:12)
velocidad máxima [km/h]	110
pendiente máximo [PBV]	48

Sistema eléctrico

tensión normal	24 V
alternador	28 V / 140 A
batería	2 x 12 V / 170 Ah

Frenos a aire comprimido, de dos circuitos • disco en la delantera y disco en la trasera • sistema ABS

regulador automático de freno	sí
freno de estacionamiento	cámara de muelle acumuladora
freno motor	mariposa en el tubo de escape • accionamiento electro-neumático; puede actuar con el freno de servicio
Top Brake	sí

Volúmenes de suministro [l]

tanque de combustible	20
aceite en el carter	[máx] 26 • [mín] 22
caja de cambios	11,0
carcasa del diferencial [eje trasero]	10
dirección hidráulica	3,5
sistema de enfriamiento	42

Acvar M
Me a Confign
Autolider Ecuador S.A.
DISTRIBUIDOR GENERAL

MATRIZ QUITO: Av. Galo Plaza Lasso 5898 y Manuel Zambrano, Panamericana Norte Km 3 PBX: (593 2) 3930780
QUITO SUR: Av. Pedro Vicente Maldonado 557-254 y Transversal No. 3 (Guamani) PBX: (593 2) 3930780
GUAYAQUIL: Av. de las Américas 313 y Eugenio Almazan, Edificio de Las Américas PBX: (593 4) 3713080
CUENCA: Av. Gil Ramírez Dávalos 295 y Eila Liut (Frente a Kywi) Telf: (593 7) 2861732
www.autoliderecuador.com.ec Mercedes-Benz Autolider Ecuador

POL00499354413

Solo los textos originales de la CEPE surten efectos jurídicos con arreglo al Derecho internacional público. La situación y la fecha de entrada en vigor del presente Reglamento deben verificarse en la última versión del documento de la CEPE «TRANS/WP.29/343», que puede consultarse en:

<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocsts.html>

**Reglamento n° 94 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas —
Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección
de sus ocupantes en caso de colisión frontal**

Incorpora todo el texto válido hasta:

El suplemento 3 de la serie 01 de enmiendas — Fecha de entrada en vigor: 2 de febrero de 2007

La corrección de errores 2 de la serie 01 de enmiendas, objeto de la notificación del depositario C.N.1165.2007.TREATIES-2, de 18 de enero de 2008

La corrección de errores 1 de la revisión 1 — Fecha de entrada en vigor: 24 de junio de 2009

ÍNDICE

REGLAMENTO

1. Ámbito de aplicación
2. Definiciones
3. Solicitud de homologación
4. Homologación
5. Especificaciones
6. Instrucciones para los usuarios de vehículos equipados con airbags
7. Modificación y extensión de la homologación del tipo de vehículo
8. Conformidad de la producción
9. Sanciones por no conformidad de la producción
10. Cese definitivo de la producción
11. Disposiciones transitorias
12. Nombres y direcciones de los servicios técnicos responsables de realizar los ensayos de homologación y de los servicios administrativos

ANEXOS

- Anexo 1 — Comunicación relativa a la homologación, a la extensión, denegación o retirada de la homologación o al cese definitivo de la producción de un tipo de vehículo con respecto a la protección de los ocupantes en caso de colisión frontal, de conformidad con el Reglamento n° 94
- Anexo 2 — Ejemplos de marcas de homologación
- Anexo 3 — Procedimiento de ensayo
- Anexo 4 — Determinación de los criterios de comportamiento
- Anexo 5 — Disposición e instalación de los maniqués y ajuste de los sistemas de retención
- Anexo 6 — Procedimiento de determinación del punto «H» y del ángulo real del torso de las plazas de asiento en los vehículos de motor

Apéndice 1 — Descripción del maniquí tridimensional para el punto «H»

Apéndice 2 — Sistema de referencia tridimensional

Apéndice 3 — Parámetros de referencia de las plazas de asiento

Anexo 7 — Procedimiento de ensayo con carro

 Apéndice — Curva de equivalencia. Banda de tolerancia para la curva $\Delta V = f(t)$

Anexo 8 — Técnica de medición en los ensayos de medidas: instrumentación

Anexo 9 — Definición de la barrera deformable

Anexo 10 — Procedimiento de certificación de la parte inferior de la pierna y del pie del maniquí

1. ÁMBITO DE APLICACIÓN

- 1.1. El presente Reglamento se aplicará a los vehículos de la categoría M_1 ⁽¹⁾ cuya masa total admisible no supere las 2,5 toneladas; podrán homologarse otros vehículos a petición del fabricante.
- 1.2. Se aplicará, a petición del fabricante, para la homologación de un tipo de vehículo en lo concerniente a la protección de los ocupantes de los asientos delanteros laterales en caso de colisión frontal.

2. DEFINICIONES

A efectos del presente Reglamento, se entenderá por:

- 2.1. «sistema de protección», los accesorios y dispositivos interiores destinados a sujetar a los ocupantes en sus asientos y a garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el apartado 5;
- 2.2. «tipo de sistema de protección», la categoría de dispositivos de protección que no difieran entre sí en aspectos esenciales como:
- la tecnología,
- la geometría, y
- los materiales constituyentes;
- 2.3. «anchura del vehículo», la distancia entre dos planos paralelos al plano longitudinal medio (del vehículo) que limiten con el vehículo a ambos lados de dicho plano, excluidos los espejos retrovisores, las luces laterales de posición, los indicadores de presión de los neumáticos, las luces indicadoras de dirección, las luces de posición, los guardabarros flexibles y la parte abombada de los laterales de los neumáticos situada justo por encima del punto de contacto con el suelo;
- 2.4. «coincidencia», el porcentaje de la anchura del vehículo alineado directamente con la cara de la barrera;
- 2.5. «cara deformable de la barrera», la sección deformable fijada a la superficie anterior de un bloque rígido;
- 2.6. «tipo de vehículo», los vehículos de motor que no difieran entre sí en aspectos esenciales como:
- 2.6.1. la longitud y la anchura del vehículo, en la medida en que repercutan negativamente en los resultados del ensayo de impacto exigido en el presente Reglamento,
- 2.6.2. la estructura, las dimensiones, las líneas y los materiales de la parte del vehículo situada por delante del plano transversal al punto «R» del asiento del conductor, en la medida en que repercutan negativamente en los resultados del ensayo de impacto exigido en el presente Reglamento,

⁽¹⁾ Según se definen en el anexo 7 de la Resolución consolidada sobre la construcción de vehículos (R.E.3) (documento TRANS/WP.29/78/Rev.1/Amend.2, modificado en último lugar por la enmienda 4).

- 2.6.3. las líneas y las dimensiones interiores del habitáculo y el tipo de sistema de protección, en la medida en que repercutan negativamente en los resultados del ensayo de impacto exigido en el presente Reglamento,
- 2.6.4. el emplazamiento (delantero, trasero o central) y la orientación (transversal o longitudinal) del motor,
- 2.6.5. la masa en vacío, en la medida en que repercuta negativamente en los resultados del ensayo de impacto exigido en el presente Reglamento,
- 2.6.6. los dispositivos o equipos opcionales ofrecidos por el fabricante, en la medida en que repercutan negativamente en los resultados del ensayo de impacto exigido en el presente Reglamento;
- 2.7. «habitáculo», el espacio destinado a acomodar a los ocupantes y delimitado por el techo, el suelo, los laterales, las puertas, el acristalamiento exterior, la mampara delantera y el plano de la mampara del compartimento trasero o el plano del soporte del respaldo del asiento trasero;
- 2.8. «punto "R"», el punto de referencia de cada asiento, establecido por el fabricante en función de la estructura del vehículo, según se indica en el anexo 6;
- 2.9. «punto "H"», el punto de referencia de cada asiento, establecido por el servicio técnico encargado de la realización de los ensayos de homologación, de acuerdo con el procedimiento descrito en el anexo 6;
- 2.10. «tara», la masa del vehículo en orden de marcha, sin ocupantes ni carga pero lleno de combustible, refrigerante y lubricante, y con herramientas y rueda de repuesto (si estas forman parte del equipo de serie suministrado por el fabricante del vehículo);
- 2.11. «airbag», el dispositivo instalado como complemento de los cinturones de seguridad y de los sistemas de retención en los vehículos de motor, es decir, aquellos sistemas que, en caso de colisión grave del vehículo, despliegan automáticamente una estructura flexible que, mediante la compresión del gas que contiene, limita la gravedad de los contactos de una o varias partes del cuerpo de un ocupante del vehículo con el interior del habitáculo;
- 2.12. «airbag para pasajeros», el sistema de airbag destinado a proteger a uno o más ocupantes de asientos distintos al del conductor en caso de colisión frontal;
- 2.13. «sistema de retención infantil», el conjunto de componentes que puede estar formado por una combinación de correas o componentes flexibles con una hebilla de cierre, dispositivos de regulación, enganches y, en algunos casos, una silla suplementaria o una pantalla antichoque, que pueden ser anclados a un vehículo de motor; el dispositivo está concebido para disminuir el riesgo de lesión a su portador, limitando la movilidad de su cuerpo, en caso de colisión o de desaceleración brusca del vehículo;
- 2.14. «orientado hacia atrás», en la dirección opuesta a la dirección normal de desplazamiento del vehículo.

3. SOLICITUD DE HOMOLOGACIÓN

- 3.1. Será el fabricante del vehículo o su representante debidamente acreditado quien presente la solicitud de homologación de un tipo de vehículo en lo que se refiere a la protección de los ocupantes de los asientos frontales en caso de colisión frontal.
- 3.2. La solicitud irá acompañada de los documentos que se mencionan a continuación, por triplicado, y de los datos siguientes:
 - 3.2.1. una descripción detallada del tipo de vehículo en cuanto a su estructura, dimensiones, líneas y materiales constituyentes;

- 3.2.2. fotografías, o diagramas y dibujos, que muestren el tipo de vehículo en elevación frontal, lateral y posterior, así como detalles del diseño de la parte frontal de la estructura;
- 3.2.3. datos concretos sobre la tara del vehículo;
- 3.2.4. las líneas y dimensiones interiores del habitáculo;
- 3.2.5. una descripción del equipamiento interior y de los sistemas de protección instalados en el vehículo.
- 3.3. El solicitante de la homologación tendrá derecho a presentar cualesquiera datos y resultados de los ensayos realizados que permitan verificar el cumplimiento de los requisitos con un grado suficiente de fiabilidad.
- 3.4. Se presentará al servicio técnico encargado de realizar los ensayos de homologación un vehículo que sea representativo del tipo cuya homologación se solicita.
- 3.4.1. Podrá aceptarse para el ensayo un vehículo que no incluya todos los componentes propios del tipo, a condición de que pueda demostrarse que la ausencia de los componentes omitidos no tiene ninguna incidencia negativa sobre los resultados del ensayo en lo que concierne a los requisitos del presente Reglamento.
- 3.4.2. El solicitante de la homologación será el responsable de demostrar que la aplicación del subpartado 3.4.1 es compatible con el cumplimiento de los requisitos del presente Reglamento.
4. HOMOLOGACIÓN
- 4.1. Si el tipo de vehículo presentado para su homologación con arreglo al presente Reglamento satisface los requisitos del mismo, deberá concederse su homologación.
- 4.1.1. El servicio técnico nombrado conforme al apartado 10 comprobará si se reúnen las condiciones requeridas.
- 4.1.2. En caso de duda, al verificar la conformidad del vehículo con los requisitos del presente Reglamento se tendrá en cuenta todo dato o resultado de ensayos que suministre el fabricante y que pueda tomarse en consideración para validar el ensayo de homologación realizado por el servicio técnico.
- 4.2. A cada tipo homologado se le asignará un número de homologación cuyos dos primeros dígitos (actualmente 01, que corresponden a la serie 01 de enmiendas) indicarán la serie de enmiendas en la que se incorporen las enmiendas técnicas importantes más recientes introducidas en el Reglamento en el momento en que se expidió la homologación. La misma Parte contratante no podrá asignar el mismo número de homologación a otro tipo de vehículo.
- 4.3. La comunicación de la homologación de un tipo de vehículo o de la denegación de la misma con arreglo al presente Reglamento a las Partes del Acuerdo que lo apliquen deberá realizarse por medio de un impreso que se ajuste al modelo que figura en el anexo 1 del presente Reglamento y de fotografías, o diagramas y dibujos, facilitados por el solicitante de la homologación, en un formato no superior a A4 (210 × 297 mm) o plegados en dicho formato, y a una escala adecuada.
- 4.4. En todo vehículo que se ajuste a un tipo de vehículo homologado con arreglo al presente Reglamento se colocará, de manera visible y en un lugar fácilmente accesible especificado en el impreso de homologación, una marca de homologación internacional consistente en:

- 4.4.1. la letra «E» dentro de un círculo, seguida del número distintivo del país que haya concedido la homologación⁽¹⁾;
- 4.4.2. el número del presente Reglamento, seguido de la letra «R», un guión y el número de homologación a la derecha del círculo que se establece en el subapartado 4.4.1.
- 4.5. Si el vehículo se ajusta a un tipo de vehículo homologado de acuerdo con otro u otros reglamentos adjuntos al Acuerdo en el país que haya concedido la homologación con arreglo al presente Reglamento, no será necesario repetir el símbolo que se establece en el subapartado 4.4.1. En ese caso, el Reglamento, los números de homologación y los símbolos adicionales de todos los Reglamentos según los cuales se haya concedido la homologación en el país que la haya concedido de conformidad con el presente Reglamento se colocarán en columnas verticales a la derecha del símbolo exigido en el subapartado 4.4.1.
- 4.6. La marca de homologación aparecerá claramente legible y será indeleble.
- 4.7. La marca de homologación se situará en la placa de datos del vehículo colocada por el fabricante, o cerca de la misma.
- 4.8. En el anexo 2 del presente Reglamento figuran algunos ejemplos de marcas de homologación.
5. ESPECIFICACIONES
- 5.1. Especificaciones generales aplicables a todos los ensayos
- 5.1.1. El punto «H» de cada asiento se establecerá de acuerdo con el procedimiento descrito en el anexo 6.
- 5.1.2. Si el sistema de protección de las plazas de asiento delanteras incluye cinturones, los componentes de estos deberán cumplir los requisitos del Reglamento nº 16.
- 5.1.3. Las plazas de asiento donde se instale un maniquí y cuyo sistema de protección incluya cinturones deberán estar provistas de puntos de anclaje conforme al Reglamento nº 14.
- 5.2. Especificaciones
- Se considerará que el vehículo ha superado el ensayo efectuado de acuerdo con el método descrito en el anexo 3 si se cumplen simultáneamente todas las condiciones establecidas en los subapartados 5.2.1 a 5.2.6.
- 5.2.1. Los criterios de comportamiento registrados, de conformidad con el anexo 8, en los maniqués situados en los asientos delanteros laterales deberán ajustarse a los valores que se exponen a continuación:
- 5.2.1.1. El criterio de comportamiento de la cabeza (HPC, *head performance criterion*) no será superior a 1 000, y la aceleración resultante de la cabeza no superará los 80 g durante más de 3 ms; esta última corresponderá a un cálculo acumulativo que excluirá el movimiento de retroceso de la cabeza.

(¹) 1 para Alemania, 2 para Francia, 3 para Italia, 4 para los Países Bajos, 5 para Suecia, 6 para Bélgica, 7 para Hungría, 8 para la República Checa, 9 para España, 10 para Yugoslavia, 11 para el Reino Unido, 12 para Austria, 13 para Luxemburgo, 14 para Suiza, 15 (sin asignar), 16 para Noruega, 17 para Finlandia, 18 para Dinamarca, 19 para Rumanía, 20 para Polonia, 21 para Portugal, 22 para la Federación de Rusia, 23 para Grecia, 24 para Irlanda, 25 para Croacia, 26 para Eslovenia, 27 para Eslovaquia, 28 para Belarús, 29 para Estonia, 30 (sin asignar), 31 para Bosnia y Herzegovina, 32 para Letonia, 33 (sin asignar), 34 para Bulgaria, 35 (sin asignar), 36 para Lituania, 37 para Turquía, 38 (sin asignar), 39 para Azerbaiyán, 40 para la Antigua República Yugoslava de Macedonia, 41 (sin asignar), 42 para la Comunidad Europea (sus Estados miembros conceden las homologaciones utilizando su símbolo CEPE respectivo), 43 para Japón, 44 (sin asignar), 45 para Australia, 46 para Ucrania, 47 para Sudáfrica y 48 para Nueva Zelanda. Los números posteriores serán atribuidos a otros países según el orden cronológico en el que ratifiquen el Acuerdo relativo a la adopción de condiciones uniformes de homologación y reconocimiento recíproco de equipos y piezas de vehículos de motor, o bien se adhieran a dicho Acuerdo, y el número atribuido de este modo será comunicado por la Secretaría General de las Naciones Unidas a las Partes contratantes del Acuerdo.

- 5.2.1.2. Los criterios de lesión del cuello (NIC, *neck injury criteria*) no superarán los valores que se muestran en las figuras 1 y 2.

Figura 1

Criterio de tracción del cuello

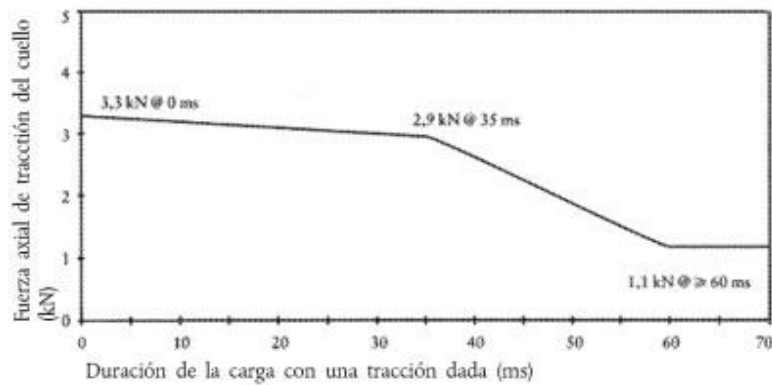
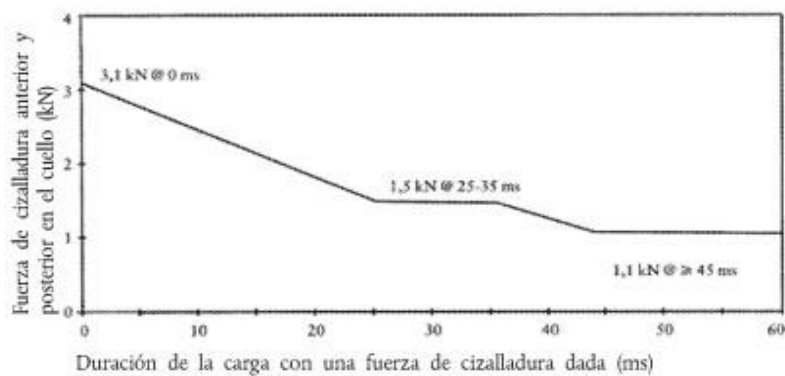


Figura 2

Criterio de cizalladura del cuello

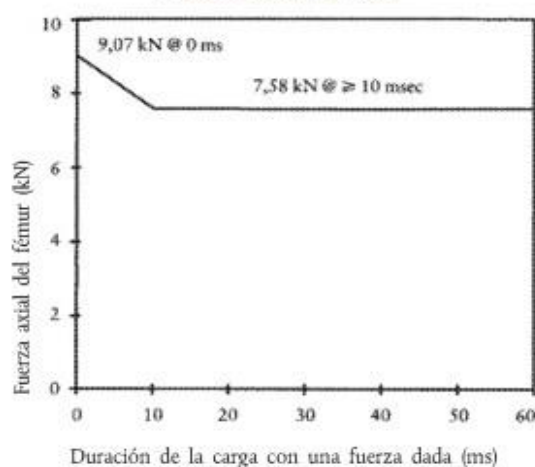


- 5.2.1.3. El movimiento de flexión del cuello alrededor del eje «y» no superará los 57 Nm en extensión ⁽¹⁾.
- 5.2.1.4. El criterio de compresión del tórax (ThCC, *thorax compression criterion*) no será superior a 50 mm.
- 5.2.1.5. El criterio de viscosidad ($V * C$) para el tórax no será superior a 1,0 m/s.
- 5.2.1.6. El criterio de fuerza del fémur (FFC, *femur force criterion*) no será superior al criterio de comportamiento fuerza-tiempo que muestra la figura 3.

⁽¹⁾ Hasta el 1 de octubre de 1998, los valores obtenidos para el cuello no serán un criterio determinante para conceder la homologación. Los resultados obtenidos se harán constar en el acta de ensayo y serán registrados por la autoridad encargada de la homologación. Después de dicha fecha, los valores indicados en este subapartado serán criterios determinantes para la homologación, salvo que se adopten, o hasta que se adopten, otros valores.

Figura 3

Criterio de fuerza del fémur



- 5.2.1.7. El criterio de fuerza de compresión de la tibia (TCFC, *tibia compression force criterion*) no superará los 8 kN.
- 5.2.1.8. El índice de la tibia (TI, *tibia index*), medido en la parte superior e inferior de cada tibia, no será superior a 1,3 en ninguno de esos puntos.
- 5.2.1.9. El movimiento de las articulaciones deslizantes de la rodilla no será superior a 15 mm.
- 5.2.2. El desplazamiento residual del volante, medido en el centro de su cubo, no será superior a 80 mm hacia arriba en vertical ni a 100 mm hacia atrás en horizontal.
- 5.2.3. Durante el ensayo no deberá abrirse ninguna puerta.
- 5.2.4. Durante el ensayo no deberán activarse los sistemas de bloqueo de las puertas delanteras.
- 5.2.5. Después de la colisión deberá ser posible, sin utilizar herramientas, a excepción de las necesarias para aguantar el peso del maniquí:
- 5.2.5.1. abrir al menos una puerta por fila de asiento, de haberla, y, si no la hay, mover los asientos o inclinar sus respaldos como sea preciso para permitir la evacuación de todos los ocupantes; no obstante, esto solo será aplicable a los vehículos que posean un techo rígido;
- 5.2.5.2. liberar los maniqués del sistema de retención, el cual deberá poder abrirse, en caso de estar cerrado, aplicando una fuerza máxima de 60 N sobre el centro del dispositivo de apertura;
- 5.2.5.3. extraer los maniqués del vehículo sin ajustar los asientos.
- 5.2.6. En el caso de un vehículo propulsado por combustible líquido, la colisión solo provocará pequeñas fugas del circuito de alimentación.

- 5.2.7. Si se produjera una fuga continua de líquido del circuito de alimentación de combustible después de la colisión, el caudal de fuga no deberá superar los 30 g/min; si el líquido del circuito de alimentación de combustible se mezcla con líquidos de otros circuitos y no pueden separarse ni distinguirse fácilmente unos de otros, se tendrán en cuenta todos ellos al evaluar la fuga continua.
6. INSTRUCCIONES PARA LOS USUARIOS DE VEHÍCULOS EQUIPADOS CON AIRBAGS
- 6.1. En el vehículo deberá indicarse que está equipado con airbags para los asientos.
- 6.1.1. En el caso de un vehículo provisto de un módulo de airbag destinado a proteger al conductor, dicha indicación consistirá en la inscripción «AIRBAG» dentro de la circunferencia del volante, colocada de forma duradera y fácilmente visible.
- 6.1.2. En el caso de un vehículo provisto de airbag para pasajeros destinado a proteger a otros ocupantes distintos del conductor, dicha indicación consistirá en la etiqueta de advertencia descrita en el subapartado 6.2.
- 6.2. En un vehículo provisto de uno o más airbags de protección frontal para pasajeros deberá indicarse el extremo peligro que conlleva la utilización de sistemas de retención infantil orientados hacia atrás en asientos equipados con módulos de airbag.
- 6.2.1. Como mínimo, esa indicación deberá consistir en una etiqueta con el pictograma y el texto de advertencia que figuran a continuación.



El conjunto tendrá unas dimensiones de 120 × 60 mm o un área equivalente, como mínimo.

La etiqueta podrá adaptarse de manera que el formato difiera del ejemplo presentado; sin embargo, el texto deberá ajustarse a lo prescrito.

6.2.2. En el momento de la homologación del tipo, la etiqueta estará, como mínimo, en uno de los idiomas de la Parte contratante en la que se haya presentado la solicitud de homologación. El fabricante deberá declarar que es el responsable de que la advertencia esté, como mínimo, en uno de los idiomas del país donde vaya a venderse el vehículo.

6.2.3. En el caso de un airbag de protección frontal instalado en el asiento del acompañante, la advertencia se colocará de manera perdurable a cada lado del parasol frontal de dicho asiento, en una posición tal, que al menos una de las advertencias sea siempre visible cualquiera que sea la posición del parasol. Otra alternativa es que una de las advertencias se coloque en el lado visible del parasol subido y la otra en el techo, por detrás del parasol, de modo que siempre esté visible al menos una de ellas. El tamaño de la letra deberá permitir una fácil lectura por parte de un usuario con vista normal sentado en el asiento en cuestión.

En el caso de airbags de protección frontal para otros asientos del vehículo, la advertencia deberá estar directamente delante del asiento pertinente, de manera que sea siempre claramente visible para quien esté instalando en él un sistema de retención infantil orientado hacia atrás. El tamaño de la letra deberá permitir una fácil lectura por parte de un usuario con vista normal sentado en el asiento en cuestión.

Este requisito no se aplicará a aquellos asientos que estén equipados con un dispositivo que desactive automáticamente el módulo de airbag de protección frontal cuando se instale un sistema de retención infantil orientado hacia atrás.

6.2.4. El manual de instrucciones del vehículo deberá contener información detallada que haga referencia a la citada advertencia; deberá incluir, como mínimo, el siguiente texto en los idiomas oficiales del país donde vaya a matricularse el vehículo:

«No coloque nunca un sistema de retención infantil orientado hacia atrás en un asiento protegido por un airbag instalado frente al asiento»

Este texto deberá ir acompañado de una ilustración que muestre la advertencia colocada en el vehículo.

7. MODIFICACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN DEL TIPO DE VEHÍCULO

7.1. Toda modificación que afecte a la estructura, el número de asientos, la decoración o el acondicionamiento interior, o a la posición de los mandos del vehículo o de las partes mecánicas, y que pudiera repercutir en la capacidad de la parte frontal del vehículo para absorber energía, deberá ponerse en conocimiento del servicio administrativo que conceda la homologación. A continuación, dicho servicio podrá:

7.1.1. considerar que las modificaciones probablemente no tendrán consecuencias negativas apreciables y que, en cualquier caso, el vehículo sigue cumpliendo los requisitos, o

7.1.2. pedir al servicio responsable de efectuar los ensayos que lleve a cabo otro más de los ensayos descritos más adelante, de acuerdo con la naturaleza de las modificaciones.

7.1.2.1. Toda modificación del vehículo que afecte a la forma general de su estructura o suponga un aumento de su masa superior al 8 % y que, en opinión de la autoridad competente, vaya a tener una influencia marcada en los resultados de los ensayos, exigirá la repetición del ensayo descrito en el anexo 3.

- 7.1.2.2. Si solo se modifica el acondicionamiento interior, si la masa no varía más del 8 % y si el número de asientos delanteros inicialmente incluidos en el vehículo permanece invariable, se realizará uno de los siguientes ensayos, o ambos:
- 7.1.2.2.1. un ensayo simplificado, tal y como se especifica en el anexo 7;
- 7.1.2.2.2. un ensayo parcial determinado por el servicio técnico en relación con las modificaciones efectuadas.
- 7.2. La confirmación o denegación de la homologación se comunicará a las Partes contratantes del Acuerdo que apliquen el presente Reglamento mediante el procedimiento indicado en el subapartado 4.3, especificándose las modificaciones.
- 7.3. El organismo competente que expida la extensión de la homologación asignará un número de serie a dicha extensión e informará de ello a las demás Partes del Acuerdo de 1958 que apliquen el presente Reglamento, por medio de un impreso de comunicación conforme al modelo que figura en su anexo 1.
8. CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN
- Los procedimientos de conformidad de la producción se ajustarán a los establecidos en el Acuerdo, apéndice 2 (E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.2), con los requisitos siguientes:
- 8.1. Todo vehículo homologado con arreglo al presente Reglamento se ajustará al tipo de vehículo homologado por lo que respecta a las características que contribuyen a proteger a los ocupantes del vehículo en caso de colisión frontal.
- 8.2. El titular de la homologación garantizará que en cada tipo de vehículo se realizan, como mínimo, los ensayos de medición.
- 8.3. La autoridad que haya concedido la homologación de tipo podrá verificar en cualquier momento los métodos de control de la conformidad aplicados en cada instalación de producción. La frecuencia normal de estas verificaciones será cada dos años.
9. SANCIONES POR NO CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN
- 9.1. La homologación concedida a un tipo de vehículo con arreglo al presente Reglamento podrá retirarse si no se cumplen los requisitos establecidos en el subapartado 8.1 o si el vehículo o los vehículos seleccionados no superan los ensayos que se establecen en el subapartado 8.2.
- 9.2. Cuando una Parte contratante del Acuerdo que aplique el presente Reglamento retire una homologación que había concedido anteriormente, informará de ello inmediatamente a las demás Partes contratantes que apliquen el presente Reglamento mediante un impreso de comunicación conforme al modelo recogido en su anexo 1.
10. CESE DEFINITIVO DE LA PRODUCCIÓN
- Si el titular de una homologación cesa por completo de fabricar el tipo de vehículo homologado con arreglo al presente Reglamento, informará inmediatamente de ello a la autoridad que le haya concedido la homologación. Tras la recepción de la correspondiente comunicación, dicha autoridad informará a las demás Partes del Acuerdo de 1958 que apliquen el presente Reglamento mediante un impreso de comunicación conforme al modelo recogido en su anexo 1.
- DISPOSICIÓN TRANSITORIA
1. A partir de la fecha oficial de entrada en vigor del suplemento 1 de la serie 01 de enmiendas, ninguna Parte Contratante que aplique el presente Reglamento denegará la concesión de la homologación CEPE con arreglo a este Reglamento en su versión modificada por el suplemento 1 de la serie 01 de enmiendas.

- 11.2. A partir del 1 de octubre de 2002, las Partes Contratantes que apliquen el presente Reglamento concederán homologaciones CEPE únicamente a aquellos tipos de vehículo que cumplan los requisitos de este Reglamento modificado por el suplemento 1 de la serie 01 de enmiendas.
- 11.3. En la medida en que el presente Reglamento no establezca ningún requisito relativo a la protección de los ocupantes por medio de un ensayo completo de colisión frontal, las Partes Contratantes podrán seguir aplicando los requisitos que ya estuvieran vigentes a esos efectos en el momento en que se adhirieron al presente Reglamento.
12. NOMBRES Y DIRECCIONES DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS RESPONSABLES DE REALIZAR LOS ENSAYOS DE HOMOLOGACIÓN Y DE LOS SERVICIOS ADMINISTRATIVOS
- Las Partes del Acuerdo que apliquen el presente Reglamento comunicarán a la Secretaría de las Naciones Unidas los nombres y las direcciones de los servicios técnicos responsables de realizar los ensayos de homologación, de los fabricantes autorizados a efectuar los ensayos y de los servicios administrativos que concedan la homologación y a los cuales deban remitirse los impresos de certificación de la concesión, denegación o retirada de la homologación expedidos en otros países.
-

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. INSTALACIÓN Y PREPARACIÓN DEL VEHÍCULO
 - 1.1. Terreno de ensayo

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

La cara frontal de la barrera consistirá en una estructura deformable, según se define en el anexo 9 del presente Reglamento. La cara frontal de la estructura deformable será perpendicular, con una desviación de $\pm 1^\circ$, a la trayectoria del vehículo de ensayo. La barrera estará asegurada a una masa no inferior a 7×10^4 kg, cuya cara frontal será vertical con una desviación de $\pm 1^\circ$. Dicha masa estará anclada al terreno o colocada sobre él, si es necesario, con dispositivos de retención adicionales para limitar su movimiento.
 - 1.3. Orientación de la barrera

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

 - 1.3.1. Alineación del vehículo con respecto a la barrera

El vehículo deberá cubrir la cara de la barrera sobrepasándola en un $40\% \pm 20$ mm.
 - 1.4. Estado del vehículo
 - 1.4.1. Requisito general

El vehículo de ensayo será representativo de la producción en serie, incluirá todo el equipamiento normal y estará en orden normal de marcha. Podrán sustituirse algunos componentes con masas equivalentes, siempre que sea evidente que tal sustitución no influirá significativamente en los resultados medidos conforme al punto 6.
 - 1.4.2. Masa del vehículo:
 - 1.4.2.1. De cara al ensayo, la masa del vehículo presentado corresponderá a la tara del mismo.
 - 1.4.2.2. El depósito de combustible estará lleno de agua con una masa igual al 90 % de la del depósito lleno según las especificaciones del fabricante, con una tolerancia de $\pm 1\%$.
 - 1.4.2.3. Todos los demás sistemas (frenos, refrigeración, etc.) podrán estar vacíos, pero deberá compensarse cuidadosamente la masa de los respectivos líquidos.
 - 1.4.2.4. Si la masa de los aparatos de medición a bordo del vehículo excede de los 25 kg permitidos, podrá compensarse mediante reducciones de peso que no afecten significativamente a los resultados medidos conforme al punto 6.
 - 1.4.2.5. La masa de los aparatos de medición no modificará la carga de referencia de los ejes en más del 5 %, y ninguna variación será superior a 20 kg.
 - 1.4.2.6. En el acta de ensayo se indicará la masa del vehículo conforme al punto 1.4.2.1.
 - 1.4.3. Ajustes del habitáculo
 - 1.4.3.1. Posición del volante

El volante, si es regulable, se situará en la posición normal que indique el fabricante o, en su defecto, en una posición equidistante con respecto a sus topes de regulación. Al final del recorrido propulsado se dejará suelto el volante con los radios en la posición que corresponda, según el fabricante, a la marcha en línea recta del vehículo.

- 1.4.3.2. Acristalamiento
El acristalamiento móvil del vehículo estará en la posición de cerrado. Con vistas a las mediciones de los ensayos, y de mutuo acuerdo con el fabricante, las ventanillas podrán estar bajadas, a condición de que su mando de accionamiento se encuentre en la posición que corresponde a la ventanilla cerrada.
- 1.4.3.3. Palanca de cambios
La palanca de cambios estará en punto muerto.
- 1.4.3.4. Pedales
Los pedales estarán en su posición neutra normal. Si son regulables, estarán en la posición intermedia, salvo que el fabricante precise otra posición.
- 1.4.3.5. Puertas
Las puertas estarán cerradas, pero no bloqueadas.
- 1.4.3.6. Techo practicable
En caso de que hubiera un techo practicable o que se puede quitar, estará puesto y cerrado. Con vistas a las mediciones de los ensayos, y de mutuo acuerdo con el fabricante, podrá estar abierto.
- 1.4.3.7. Parasol
Los parasoles estarán subidos.
- 1.4.3.8. Retrovisor
El retrovisor interior estará en la posición normal de uso.
- 1.4.3.9. Apoyabrazos
Si son móviles, los apoyabrazos delanteros y traseros estarán bajados, salvo que lo impida la posición de los maniqués en los vehículos.
- 1.4.3.10. Reposacabezas
Los reposacabezas regulables en altura estarán en su posición más alta.
- 1.4.3.11. Asientos
- 1.4.3.11.1. Posición de los asientos delanteros
Los asientos regulables longitudinalmente estarán colocados de modo que su punto «H», determinado conforme al procedimiento establecido en el anexo 6, se encuentre en la posición intermedia de recorrido o en la posición de bloqueo más cercana a esta, y a la altura definida por el fabricante (si la regulación en altura es independiente). Si se trata de un asiento corrido, se tomará como referencia el punto «H» de la plaza del conductor.
- 1.4.3.11.2. Posición de los respaldos de los asientos delanteros
Si son regulables, los respaldos se ajustarán de manera que la inclinación del torso del maniquí se acerque lo más posible a la recomendada por el fabricante para un uso normal o, a falta de una recomendación particular del fabricante, a los 25° hacia atrás con respecto a la vertical.
- 1.4.3.11.3. Asientos traseros
Si son regulables, los asientos traseros o los asientos traseros corridos estarán colocados en su posición más retrasada.
2. MANIQUÍES
- 2.1. Asientos delanteros
- 2.1.1. En cada asiento delantero lateral se instalará, de acuerdo con las condiciones establecidas en el anexo 5, un maniquí que corresponda a las especificaciones del HYBRID III⁽¹⁾, esté provisto de un tobillo de 45° y sea conforme con las especificaciones de ajuste correspondientes. El tobillo del maniquí estará certificado de acuerdo con los procedimientos del anexo 10.

⁽¹⁾ Las especificaciones técnicas y los dibujos detallados del Hybrid III, que corresponde a las dimensiones principales de un hombre del percentil 50 de los Estados Unidos de América, así como las especificaciones de ajuste del maniquí para la realización de este ensayo, están depositados en la Secretaría General de las Naciones Unidas y pueden consultarse, previa petición, en la secretaría de la Comisión Económica para Europa, Palais des Nations, Ginebra, Suiza.

- 2.1.2. El coche será sometido a ensayo con los sistemas de retención proporcionados por el fabricante.
3. PROPULSIÓN Y TRAYECTORIA DEL VEHÍCULO
- 3.1. El vehículo será propulsado por su propio motor o por cualquier otro dispositivo de propulsión.
- 3.2. En el momento de la colisión, el vehículo no estará bajo la acción de ningún dispositivo adicional de guía o propulsión.
- 3.3. La trayectoria del vehículo deberá cumplir los requisitos de los puntos 1.2 y 1.3.1.
4. VELOCIDAD DE ENSAYO
- La velocidad del vehículo en el momento del impacto será de $56 - 0, + 1$ km/h. Sin embargo, si el ensayo se efectúa a mayor velocidad de impacto y el vehículo cumple los requisitos, el ensayo se considerará satisfactorio.
5. MEDICIONES QUE DEBEN EFECTUARSE EN LOS MANIQUÍES DE LOS ASIENTOS DELANTEROS
- 5.1. Todas las mediciones necesarias para verificar los criterios de comportamiento se llevarán a cabo con sistemas de medición que cumplan las especificaciones del anexo 8.
- 5.2. Los distintos parámetros se registrarán a través de canales de datos independientes de las siguientes clases de frecuencias del canal de datos (CFC):
- 5.2.1. Mediciones en la cabeza del maniquí
- La aceleración (a) referida al centro de gravedad se calculará a partir de las componentes triaxiales de la aceleración medidas con una CFC de 1 000.
- 5.2.2. Mediciones en el cuello del maniquí
- 5.2.2.1. La fuerza de tracción axial y la fuerza de cizalladura anterior y posterior en la zona de unión del cuello y la cabeza se medirán con una CFC de 1 000.
- 5.2.2.2. El momento de flexión en torno a un eje lateral en la zona de unión del cuello y la cabeza se medirá con una CFC de 600.
- 5.2.3. Mediciones en el tórax del maniquí
- El hundimiento del pecho entre el esternón y la columna vertebral se medirá con una CFC de 180.
- 5.2.4. Mediciones en el fémur y la tibia del maniquí
- 5.2.4.1. La fuerza de compresión axial y los momentos de flexión se medirán con una CFC de 600.
- 5.2.4.2. El desplazamiento de la tibia con respecto al fémur se medirá en la articulación deslizante de la rodilla con una CFC de 180.
6. MEDICIONES QUE DEBEN EFECTUARSE EN EL VEHÍCULO
- 6.1. Para permitir efectuar el ensayo simplificado descrito en el anexo 7, la curva de desaceleración de la estructura se determinará según los valores dados por los acelerómetros longitudinales situados en la base del pilar «B» del lado golpeado del vehículo, con una CFC de 180 y con la ayuda de canales de datos que correspondan a los requisitos del anexo 8.
- 6.2. La curva de velocidad que se utilizará en el procedimiento de ensayo descrito en el anexo 7 se obtendrá del acelerómetro longitudinal situado en el pilar «B» del lado golpeado.

DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE COMPORTAMIENTO

1. CRITERIO DE COMPORTAMIENTO DE LA CABEZA (HPC) Y ACELERACIÓN DE LA CABEZA DE 3 ms
 - 1.1. Se considera que se satisface el criterio de comportamiento de la cabeza (HPC) cuando, durante el ensayo, no se produce ningún contacto entre la cabeza y cualquier componente del vehículo.
 - 1.2. Si durante el ensayo la cabeza entra en contacto con algún componente del vehículo, se procederá al cálculo del valor del HPC sobre la base de la aceleración (a) medida conforme al punto 5.2.1 del anexo 3, por medio de la fórmula siguiente:

$$HPC = (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2.5}$$

donde:

- 1.2.1. «a» es la aceleración resultante medida conforme al punto 5.2.1 del anexo 3 en unidades de gravedad g (1 g = 9,81 m/s²);
 - 1.2.2. si el comienzo del contacto de la cabeza puede determinarse de manera satisfactoria, t₁ y t₂ constituyen los dos instantes, expresados en segundos, que definen el intervalo de tiempo entre el comienzo del contacto de la cabeza y el fin del registro en el que el valor del HPC es máximo;
 - 1.2.3. si el comienzo del contacto de la cabeza no puede determinarse de manera satisfactoria, t₁ y t₂ constituyen los dos instantes, expresados en segundos, que definen el intervalo de tiempo entre el comienzo y el fin del registro en el que el valor del HPC es máximo.
 - 1.2.4. Al calcular el valor máximo no se tendrán en cuenta los valores del HPC para los que el intervalo de tiempo (t₁ - t₂) sea mayor de 36 ms.
 - 1.3. El valor de la aceleración resultante de la cabeza durante el impacto hacia delante que se supere de forma acumulativa durante 3 ms se calculará a partir de la aceleración resultante de la cabeza medida conforme al punto 5.2.1 del anexo 3.
2. CRITERIOS DE LESIÓN DEL CUELLO (NIC)
 - 2.1. Estos criterios vendrán determinados por la fuerza de compresión axial, la fuerza de tracción axial y la fuerza de cizalladura anterior y posterior en la zona de unión de la cabeza y el cuello, expresadas en kN y medidas conforme al punto 5.2.2 del anexo 3, así como por la duración de dichas fuerzas expresada en ms.
 - 2.2. El criterio de momento de flexión del cuello vendrá determinado por el momento de flexión, expresado en Nm, en torno a un eje lateral en la zona de unión del cuello y la cabeza, y se medirá conforme al punto 5.2.2 del anexo 3.
 - 2.3. El momento de flexión del cuello, expresado en Nm, deberá quedar registrado.
 3. CRITERIO DE COMPRESIÓN DEL TÓRAX (ThCC) Y CRITERIO DE VISCOSIDAD (V * C)
 - 3.1. El criterio de compresión del tórax vendrá determinado por el valor absoluto de la deformación del tórax, expresado en mm y medido conforme al punto 5.2.3 del anexo 3.
 - 3.2. El criterio de viscosidad (V * C) se calculará como el producto instantáneo de la compresión y el índice de desviación del esternón, medido conforme al punto 6 y al punto 5.2.3 del anexo 3.
 4. CRITERIO DE FUERZA DEL FÉMUR (FFC)
 - 4.1. Este criterio vendrá determinado por la carga de compresión, expresada en kN, que se ejerce axialmente sobre cada fémur del maniquí, medida conforme al punto 5.2.4 del anexo 3, así como por la duración de la misma expresada en ms.
 5. CRITERIO DE FUERZA DE COMPRESIÓN DE LA TIBIA (TCFC) E ÍNDICE DE LA TIBIA (TI)
 - 5.1. El criterio de fuerza de compresión de la tibia vendrá determinado por la fuerza de compresión (F_z), expresada en kN, que se ejerce axialmente sobre cada tibia del maniquí, medida conforme al punto 5.2.4 del anexo 3.

- 5.2. El índice de la tibia se calculará tomando como base los momentos de flexión (M_x y M_y) medidos conforme al punto 5.1, mediante la siguiente fórmula:

$$TI = |M_R / (M_C)_R| + |F_z / (F_C)_z|$$

donde:

M_x = momento de flexión en torno al eje x

M_y = momento de flexión en torno al eje y

$(M_C)_R$ = momento crítico de flexión, para el que se tomará el valor de 225 Nm

F_z = fuerza de compresión axial en la dirección z

$(F_C)_z$ = fuerza crítica de compresión en la dirección z, para la que se tomará el valor de 35,9 kN y

$$M_R = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2}$$

El índice de la tibia se calculará con respecto a la parte superior e inferior de cada tibia; sin embargo, F_z podrá medirse en cualquiera de esos dos puntos. El valor obtenido se utilizará para calcular el TI de las partes superior e inferior. Los dos momentos M_x y M_y se medirán por separado en ambos puntos.

6. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL CRITERIO DE VISCOSIDAD ($V * C$) PARA EL MANIQUÍ HYBRID III

- 6.1. El criterio de viscosidad se calculará como el producto instantáneo de la compresión y el índice de desviación del esternón, ambos derivados de la medición de la desviación del esternón.
- 6.2. La respuesta de desviación del esternón se filtrará una vez con una CFC de 180. La compresión en el tiempo t se calculará a partir de esta señal filtrada como:

$$C_{(t)} = \frac{D_{(t)}}{0,229}$$

La velocidad de desviación del esternón en el tiempo t se calculará a partir de la desviación filtrada como:

$$V_{(t)} = \frac{8(D_{(t+1)} - D_{(t-1)}) - (D_{(t+2)} - D_{(t-2)})}{12\delta t}$$

donde $D_{(t)}$ es la desviación en el momento t en metros y δt es el intervalo de tiempo en segundos transcurrido entre las mediciones de la desviación. El valor máximo de δt será de $1,25 \times 10^{-4}$ segundos. A continuación se presenta en forma de diagrama el procedimiento de cálculo descrito:

