



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Evaluación de lesiones del maniquí híbrido III de 6 años durante impacto frontal del minibús escolar para verificar el cumplimiento de los criterios de aceptación según CEPE 94 y Euroncap

AGUSTÍN DANILO REMACHE GUTIÉRREZ

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN DISEÑO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

OCTUBRE – 2023

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Agustín Danilo Remache Gutiérrez, declaro que el proyecto de investigación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento provienen de otra fuente están citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica del contenido de este Trabajo de Titulación de Maestría.



Agustín Danilo Remache Gutiérrez

C.I.: 0503213001

© 2023, Agustín Danilo Remache Gutiérrez

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.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de titulación, modalidad Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado: **Evaluación de lesiones del maniquí híbrido III de 6 años durante impacto frontal del minibús escolar para verificar el cumplimiento de los criterios de aceptación según CEPE 94 y EURONCAP** de responsabilidad del señor Agustín Danilo Remache Gutiérrez, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes, Mgtr.
PRESIDENTE



Firmado electrónicamente por:
**JORGE ISAIAS
CAICEDO REYES**

Ing. César Hernán Arroba Arroba, Mg
DIRECTOR



Firmado electrónicamente por:
**CESAR HERNAN ARROBA
ARROBA**

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz, Mg
MIEMBRO



Firmado electrónicamente por:
**SANTIAGO ALEJANDRO
LOPEZ ORTIZ**

Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba, Mg
MIEMBRO



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

Riobamba, octubre 2023

DEDICATORIA

“La persistencia y el esfuerzo te ayudarán a alcanzar tus sueños”

Mi proyecto de investigación lo dedico con todo mi amor y cariño

A Dios, por ser quien siempre ha guiado mi vida y mi destino, el mejor apoyo en tiempos difíciles con tu bondad y amor me has inspirado a cumplir mis sueños.

Con mucho afecto y cariño a mis padres Antonio Remache y Fanny Gutiérrez por darme la vida, educación y apoyo en cada paso de mi vida, gracias por ser la motivación constante de esfuerzo y valentía para superar las adversidades de la vida.

A mis hermanos Francisco, Melania, Santiago, José y Kerly, por su cariño y apoyo incondicional durante el proceso de esta investigación. A toda mi familia gracias por sus consejos y palabras de aliento incondicional para culminar este sueño.

Finalmente, dedico a todos mis amigos por extenderme su apoyo durante el desarrollo de esta investigación de verdad mil gracias.

Agustín

AGRADECIMIENTO

Quiero manifestar mi agradecimiento a Dios por su bendición para mí y toda mi familia.

A mis padres gracias por ser los promotores de mis sueños y desearme siempre lo mejor para mi vida.

A mi tutor Ing. César Hernán Arroba Mg. Gracias por sus conocimientos y apoyo constante durante todo este tiempo su experiencia ha sido la base para el desarrollo y finalización del proyecto de investigación.

A los ingenieros, Miguel, Aquino y Santiago López que han compartido sus conocimientos y me han aconsejado y guiado durante el tiempo que duro la investigación planteada.

A las autoridades y docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y Facultad de Ingeniería Mecánica que formaron parte de este proceso porque con su experiencia y enseñanza aportaron en mi crecimiento profesional, gracias a cada uno de ustedes por su dedicación, apoyo, paciencia y amistad.

Mi profundo agradecimiento a la carrocería por su confianza y apoyo para el desarrollo de este proyecto, gracias por formar parte de este proceso de investigación.

Agustín

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY	xxii
CAPÍTULO I	
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.1 Situación problemática.....	2
1.1.2 Formulación del problema	3
1.2 Preguntas directrices o específicas de la investigación	3
1.3 Justificación de la investigación.....	4
1.3.1 Justificación teórica	4
1.3.2 Justificación metodológica.....	4
1.3.3 Justificación práctica.....	5
1.3.4 Justificación social	5
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Hipótesis.....	6
1.5.1 Hipótesis general.....	6
1.5.2 Hipótesis específicas	6
CAPÍTULO II	
2 MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes del problema	7
2.2 Bases teóricas.....	9
2.2.1 Minibús escolar.....	9
2.2.2 Dimensiones externas del autobús	10

2.2.2.1	Carrocería del autobús	11
2.2.3	Elementos que conforman las carrocerías.....	12
2.2.4	Material utilizado en la fabricación de carrocería.....	12
2.2.5	Normas de resistencia estructural de la carrocería.....	13
2.2.6	Asiento escolar.....	14
2.2.6.1	Estructura del asiento escolar	14
2.2.7	Material estructura del asiento escolar.....	15
2.2.8	Dimensiones de la estructura del asiento escolar.....	16
2.2.9	Norma de resistencia estructural del asiento.....	16
2.3	Marco conceptual.....	16
2.3.1	Seguridad pasiva	16
2.3.2	Cinturón de seguridad	16
2.3.2.1	Tipos de cinturones de seguridad.....	17
2.3.2.2	Cinturón de dos puntos	17
2.3.2.3	Cinturón de tres puntos	18
2.3.2.4	Cinturón de 4 puntos.....	18
2.3.2.5	Chasis minibús	18
2.3.3	Impacto frontal.....	18
2.3.4	Simulación de impacto frontal del autobús.....	19
2.3.5	Simulación de resistencia de asientos de autobuses.....	20
2.3.6	Principales lesiones del pasajero en impacto frontal.....	24
2.3.7	Criterios de aceptación.....	25
2.3.7.1	Criterio de rendimiento de la Cabeza R94.....	25
2.3.7.2	Criterio de compresión del tórax R94.....	25
2.3.7.3	Criterio de fuerza del fémur R94	25
2.3.7.4	Análisis de criterios de aceptación EURO NCAP niños	25
2.3.8	Maniquí para impacto frontal.....	26
2.3.8.1	SID (Maniquí de impacto lateral)	27
2.3.8.2	Biorid (Maniquí de impacto trasero).....	28

2.3.8.3	CRABI	29
2.3.8.4	Thor.....	29
2.3.8.5	Maniquí Híbrido III 6 años	30
2.3.9	Modelo FE maniquí híbrido III de 6 años.....	30
2.3.9.1	Características del maniquí híbrido de 6 años.....	31
2.3.9.2	Unidades del modelo del maniquí.....	32
2.3.9.3	Calibración del maniquí híbrido III de 6 años.....	32
2.3.9.4	Calibración de la cabeza.....	33
2.3.9.5	Calibración del cuello y procedimiento de prueba.....	33
2.3.9.6	Calibración de prueba y ensamble del tórax	34
2.3.9.7	Prueba de impacto de rodilla.....	35
2.3.10	Trineo de impacto	35
2.3.11	Mercado de plataformas para simulación	36
2.3.11.1	Trineo modelo Messering (Movilidad más segura)	36
2.3.11.2	Trineo modelo Aries	36
2.3.11.3	Trineo modelo Seattle Safety	37
2.3.12	Curva de desaceleración para pruebas de trineo	37
2.4	Identificación de variables	38
2.5	Operacionalización de variables.....	38

CAPÍTULO III

3	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	41
3.1	Tipo y diseño de la investigación.....	41
3.1.1	Descriptiva	41
3.1.2	Explicativo	41
3.2	Método de la investigación	41
3.2.1	Bibliográfico	41
3.2.2	Experimental.....	41
3.3	Enfoque de la investigación	42

3.4	Alcance de la investigación.....	42
3.5	Población de estudio	42
3.6	Unidad de análisis	43
3.7	Selección de la muestra.....	43
3.8	Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios	43
3.8.1	Modelado tridimensional del autobús escolar.....	44
3.8.2	Lista de materiales utilizados	44
3.8.3	Diseño tridimensional del asiento escolar.....	45
3.8.4	Distribución de asientos de servicio escolar en la carrocería.....	45
3.9	Evaluación mediante impacto frontal contra una pared	46
3.9.1	Ensamble del autobús escolar y asientos	46
3.9.2	Mallado del autobús y asiento.....	47
3.9.2.1	Masa del minibús escolar	48
3.9.2.2	Análisis de Calidad de malla de la carrocería, asiento escolar, pared rígida.....	50
3.9.3	Malla del maniquí híbrido III de 6 años.....	52
3.9.4	Ensayo de verificación del maniquí	53
3.10	Ensayo de verificación de la cabeza.....	54
3.10.1	Ingreso del maniquí híbrido III de 6 años en el microbús.....	57
3.10.2	Instalación del cinturón de seguridad.....	57
3.10.2.1	Material para la simulación	58
3.10.2.2	Material para el cinturón de seguridad.....	59
3.10.3	Condiciones de frontera	59
3.10.3.1	Tipos de contacto	60
3.10.3.2	Contacto del maniquí con la estructura del asiento.....	61
3.10.3.3	Contacto maniquí cinturón de seguridad.....	62
3.10.3.4	Apoyos fijos	62
3.10.3.5	Velocidades de impacto	63
3.10.3.6	Gravedad	63

CAPÍTULO IV

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
4.1	Resultados simulación de impacto frontal del autobús	64
4.2	Impacto frontal maniquí no utiliza cinturón de seguridad a 48 km/h	64
4.3	Criterios de lesiones del maniquí a 48 km/h sin cinturón de seguridad	66
4.3.1	Criterio de lesiones en la cabeza EURO NCAP.....	66
4.3.2	Criterio de compresión EURO NCAP	67
4.4	Impacto frontal del maniquí con cinturón de seguridad a 48 km/h.....	68
4.4.1	Análisis del criterio de lesiones en la cabeza a 48 km/h	70
4.4.2	Criterio de compresión en el tórax con cinturón de seguridad a 48 km/h.....	71
4.5	Impacto frontal a 56 km/h maniquí sin cinturón de seguridad.....	72
4.5.1	Criterio de lesiones en la cabeza CEPE R94 sin cinturón de seguridad	73
4.5.2	Criterio de lesiones en el tórax sin cinturón de seguridad a 56 km/h.....	74
4.5.2.1	Criterio de lesión del Fémur izquierdo maniquí 1.....	75
4.5.2.2	Fémur derecho maniquí 1.....	75
4.5.2.3	Criterio de lesión del Fémur izquierdo maniquí 2.....	76
4.5.2.4	Fémur derecho maniquí 1.....	76
4.6	Criterios de lesiones del maniquí a 56 km/h con cinturón de seguridad	77
4.6.1	Criterio de lesiones en la cabeza con cinturón de seguridad a 56 km/h.....	78
4.6.2	Criterio de lesiones en el tórax con cinturón de seguridad a 56 km/h	79
4.6.2.1	Criterio de lesión del Fémur izquierdo maniquí 1.....	80
4.6.2.2	Fémur derecho maniquí 1.....	80
4.6.2.3	Criterio de lesión del Fémur izquierdo maniquí 2.....	81
4.6.2.4	Fémur derecho maniquí 2.....	81
4.7	Evaluación mediante prueba de trineo	82
4.8	Modelo CAD sección estructura de la carrocería.....	83
4.8.1	Centro de gravedad de la sección del minibús escolar.....	84
4.8.2	Modelo CAD de la plataforma para colisión frontal.....	84
4.8.3	Rieles para el desplazamiento de la plataforma	85

4.9	Ensamble de trineo carrocería y asientos	85
4.9.1	Mallado del modelo para simulación	86
4.9.2	Análisis de calidad de malla del trineo	87
4.9.2.1	Ingreso de maniquís en la sección de la estructura	89
4.9.2.2	Instalación del cinturón de seguridad en el trineo.....	89
4.9.3	Condiciones de frontera	90
4.9.4	Resistencia al choque según reglamento europeo.....	90
4.10	Criterios de aceptación de acuerdo con el reglamento CEPE R80.....	91
4.10.1	Criterio de aceptabilidad de la cabeza (CAC).....	91
4.10.2	Criterio de aceptabilidad del tórax (CAT)	91
4.10.3	Criterio de aceptabilidad del fémur (CAF)	91
4.11	Resultados de la prueba de impacto con trineo sin cinturón.....	92
4.11.1	Criterio de lesiones en la cabeza.....	93
4.11.2	Criterio de lesiones en el tórax.....	94
4.11.3	Criterio de lesiones en el fémur izquierdo maniquí 1	95
4.11.4	Criterio de lesiones en el fémur derecho maniquí 1.....	95
4.11.5	Criterio de lesiones en el fémur izquierdo maniquí 2	96
4.11.6	Criterio de lesiones en el fémur derecho maniquí 2.....	96
4.11.7	Análisis de prueba de impacto de trineo con cinturón	97
4.11.8	Análisis de lesiones en la cabeza	98
4.11.9	Análisis de lesiones en el tórax.....	99
4.11.9.1	Criterio de lesión del Fémur izquierdo maniquí 1.....	100
4.11.9.2	Criterio de lesión fémur derecho maniquí 1.....	100
4.11.9.3	Criterio de lesión del Fémur izquierdo maniquí 2.....	101
4.11.9.4	Criterio de lesión fémur derecho maniquí 2.....	101
4.12	Resumen de resultados obtenidos del impacto frontal	102
4.12.1	Prueba de impacto a 16 km/h y cambio de distancia entre asientos	104
4.13	Impacto frontal maniquí no utiliza cinturón de seguridad a 16 km/h	105
4.13.1	Criterio de lesiones en la cabeza a 16 km/h sin cinturón	106

4.13.2	Criterio de lesiones en el tórax sin cinturón de seguridad a 16 km/h.....	107
4.14	Impacto frontal maniquí utiliza cinturón de seguridad a 16 km/h	108
4.14.1	Criterio de lesiones en la cabeza a 16 km/h con cinturón	109
4.14.2	Criterio de lesiones en el tórax sin cinturón de seguridad a 16 km/h.....	110
4.14.3	Resumen cambio de distancia entre asientos y velocidad a 16 km/h.....	111
4.14.4	Discusión de resultados.....	112
4.14.5	Análisis de superficie de respuesta	118
4.15	Verificación de hipótesis.....	120
	CONCLUSIONES	124
	RECOMENDACIONES	126
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Tipo de autobús escolar y número de pasajeros	10
Tabla 2-2:	Longitud máxima del autobús	11
Tabla 3-2:	Altura máxima del autobús.....	11
Tabla 4-2:	Lista de materiales utilizados en la construcción de la carrocería.....	13
Tabla 5-2:	Materiales utilizados en el asiento.....	15
Tabla 6-2:	Material para el anclaje del asiento con el autobús.....	15
Tabla 7-2:	Criterios de impacto frontal para niño de 6 años	26
Tabla 8-2:	Características del maniquí híbrido de 6 años	31
Tabla 9-2:	Unidades para el proceso de simulación.....	32
Tabla 10-2:	Masa de los componentes del maniquí.....	32
Tabla 11-2:	Resumen de simulación de caída de cabeza	33
Tabla 12-2:	Resumen de calibración de flexión del cuello	34
Tabla 13-2:	Resumen de calibración de impacto en el tórax	34
Tabla 14-2:	Resumen de calibración de impacto de rodilla.....	35
Tabla 15-2:	Configuraciones de varias normas para pruebas de trineo	38
Tabla 16-2:	Operacionalización de las variables	39
Tabla 17-2:	Operacionalización de las variables	40
Tabla 1-3:	Lista de perfiles estructurales para la fabricación de la carrocería.....	44
Tabla 2-3:	Masa total del minibús escolar	49
Tabla 3-3:	Definición del material ASTM A 500 grado A, para la simulación	58
Tabla 4-3:	Propiedades del material para cinturón de seguridad	59
Tabla 5-3:	Velocidad recomendada por normativas para la simulación de impacto.....	63
Tabla 1-4:	Evaluación de resultados obtenidos reglamento EURO NCAP	102
Tabla 2-4:	Evaluación de resultados obtenidos reglamento CEPE R94	103
Tabla 3-4:	Evaluación de resultados obtenidos reglamento CEPE R80	104
Tabla 4-4:	Evaluación de resultados obtenidos a 16 km/h sin cinturón de seguridad.....	111
Tabla 5-4:	Evaluación de resultados obtenidos a 16 km/h con cinturón de seguridad	112
Tabla 6-4:	Análisis de la regresión lineal múltiple para el comportamiento de la cabeza ..	118
Tabla 7-4:	Análisis de la regresión lineal múltiple para el comportamiento de la cabeza ..	119
Tabla 8-4:	Muestra de valores del comportamiento de la cabeza	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Accidente de tránsito Autobús de servicio escolar.....	2
Figura 2-2.	Autobús de servicio escolar.....	10
Figura 3-2.	Carrocería de autobús.....	12
Figura 4-2.	Elementos principales de la carrocería.....	12
Figura 5-2.	Asiento de servicio escolar.....	14
Figura 6-2.	Estructura asiento para autobús.....	15
Figura 7-2.	Dimensiones estándar del asiento escolar.....	16
Figura 8-2.	a) Sin cinturón b) Cinturón dos puntos c) Cinturón de tres puntos.....	17
Figura 9-2.	Esquema de diferentes tipos de cinturones de seguridad.....	17
Figura 10-2.	LO 915 Chasis para minibús escolar.....	18
Figura 11-2.	Modelo de prueba de impacto frontal según la prueba EURO NCAP.....	19
Figura 12-2.	Esquema de ensayos dinámicos de resistencia de anclajes de asientos.....	20
Figura 13-2.	Esquema modelo elementos finitos para prueba dinámica.....	21
Figura 14-2.	Esquema del aparato de ensayo estático.....	22
Figura 15-2.	Esquema ensayo estático de anclajes de asiento.....	22
Figura 16-2.	Modelo de elementos finitos de la estructura del asiento.....	23
Figura 17-2.	Esquema de ensayos de anclajes de cinturones de seguridad.....	23
Figura 18-2.	Modelo de elementos finitos del asiento y cinturón de seguridad.....	24
Figura 19-2.	Desplazamiento de los ocupantes.....	25
Figura 20-2.	Hybrid III masculino, percentil 50%.....	26
Figura 21-2.	a) Híbrido femenino III 5%. b) Híbrido III masculino, 95%. c) Híbrido III 10 años.....	27
Figura 22-2.	a) SID-IIs D Fast. b) Detallado SID-IIs c) Detallado Euro SID-2re.....	28
Figura 23-2.	Maniquí de impacto trasero.....	28
Figura 24-2.	Maniquí de impacto trasero.....	29
Figura 25-2.	Versión 2.7 del modelo NHTSA THOR FE en posición sentada.....	29
Figura 26-2.	Maniquí híbrido de 6 años.....	30
Figura 27-2.	Modelo FEM maniquí híbrido de 6 años.....	31
Figura 28-2.	Configuración de prueba de trineo frontal.....	35
Figura 29-2.	Trineo de impacto modelo CIS.....	36
Figura 30-2.	Trineo de impacto modelo Aries.....	37
Figura 31-2.	Trineo de impacto modelo Seattle Safety.....	37
Figura 32-2.	Curva de desaceleración bajo normativa ECE R80.....	38
Figura 1-3.	Plano comercial minibús escolar.....	43

Figura 2-3.	Modelo CAD carrocería minibús escolar	44
Figura 3-3.	Asiento tridimensional para servicio escolar.....	45
Figura 4-3.	Distribución de asientos en el autobús escolar	46
Figura 5-3.	Ensamble carrocería minibús, asiento escolar, pared dirigida.....	46
Figura 6-3.	Vista lateral de instalación del asiento escolar	47
Figura 7-3.	Mallado del autobús, asiento escolar y pared rígida.....	47
Figura 8-3.	Sección de malla en uniones con nodo compartido.....	48
Figura 9-3.	Ubicación del centro de gravedad del minibús.	49
Figura 10-3.	Criterio de Jacobiano para calidad de mallado.....	50
Figura 11-3.	Calidad de malla estructura del autobús según criterio Jacobiano.	50
Figura 12-3.	Calidad de malla estructura del asiento según criterio Jacobiano.	51
Figura 13-3.	Calidad de malla del espaldar y cojín según criterio Jacobiano.	51
Figura 14-3.	Calidad de malla del piso y pared según criterio Jacobiano.....	52
Figura 15-3.	Mallado del maniquí híbrido de 6 años	52
Figura 16-3.	Fuerza de impacto en el tórax frente a desviación del tórax	53
Figura 17-3.	Configuración de la simulación de impacto en el tórax	53
Figura 18-3.	Desviación máxima de la costilla impacto del tórax	54
Figura 19-3.	Impacto desviación tórax	54
Figura 20-3.	Configuración de prueba de caída de cabeza	55
Figura 21-3.	Configuración de simulación para impacto frontal.	55
Figura 22-3.	Simulación de prueba de impacto frontal de la cabeza	56
Figura 23-3.	Aceleración resultante del impacto frontal de la cabeza	56
Figura 24-3.	Vista sección para ingresar el maniquí híbrido de 6 años	57
Figura 25-3.	Instalación del cinturón de seguridad en el maniquí híbrido de 6 años.....	58
Figura 26-3.	Curva esfuerzo deformación del acero	59
Figura 27-3.	Contacto tipo simple superficie.....	60
Figura 28-3.	Contacto tipo superficie-superficie	61
Figura 29-3.	Contacto superficie-superficie maniquí, estructura de asientos y carrocería	62
Figura 30-3.	Contacto tipo superficie-superficie maniquí con cinturón de seguridad	62
Figura 31-3.	Pared y piso con apoyos fijos.....	63
Figura 1-4.	Secuencia del impacto frontal del autobús escolar a 48 km/h.....	65
Figura 2-4.	HIC en la cabeza maniquí 1, sin cinturón de seguridad a 48 km/h	66
Figura 3-4.	HIC en la cabeza maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 48 km/h	67
Figura 4-4.	ThCC en el tórax del maniquí 1, sin cinturón de seguridad a 48 km/h	67
Figura 5-4.	ThCC en el tórax del maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 48 km/h	68
Figura 6-4.	Secuencia del impacto frontal del minibús escolar a 48 km/h	69
Figura 7-4.	HIC, en la cabeza maniquí 1, con cinturón de seguridad a 48 km/h	70

Figura 8-4.	HPC, en la cabeza maniquí 2, con cinturón de seguridad a 48 km/h	70
Figura 9-4.	ThCC en el tórax del maniquí 1, con cinturón de seguridad a 48 km/h	71
Figura 10-4.	ThCC en el tórax del maniquí 2, con cinturón de seguridad a 48 km/h	71
Figura 11-4.	Secuencia del impacto frontal a 56 km/h sin cinturón de seguridad	72
Figura 12-4.	HPC, en la cabeza maniquí 1, sin cinturón de seguridad 56 km/h	73
Figura 13-4.	HPC, en la cabeza maniquí 2, sin cinturón de seguridad 56 km/h	73
Figura 14-4.	ThCC, en el tórax, maniquí 1, sin cinturón de seguridad 56 km/h.....	74
Figura 15-4.	ThCC en el tórax, maniquí 2, sin cinturón de seguridad 56 km/h.....	74
Figura 16-4.	FFC, Fémur izquierdo maniquí 1, sin cinturón de seguridad 56 km/h.....	75
Figura 17-4.	FCC, Fémur derecho maniquí 1, sin cinturón de seguridad 56 km/h.....	75
Figura 18-4.	FCC, Fémur izquierdo maniquí 2, sin cinturón de seguridad 56 km/h	76
Figura 19-4.	FCC, Fémur derecho maniquí 2, sin cinturón de seguridad 56 km/h.....	76
Figura 20-4.	Secuencia del impacto frontal a 56 km/h con cinturón de seguridad	77
Figura 21-4.	HPC en la cabeza maniquí 1, con cinturón de seguridad a 56 km/h	78
Figura 22-4.	HPC, en la cabeza maniquí 2, con cinturón de seguridad a 56 km/h	78
Figura 23-4.	ThCC en el tórax, maniquí 1, con cinturón de seguridad a 56 km/h.....	79
Figura 24-4.	ThCC en el tórax, maniquí 2, con cinturón de seguridad a 56 km/h.....	79
Figura 25-4.	FCC, Fémur izquierdo maniquí 1, con cinturón de seguridad a 56 km/h.....	80
Figura 26-4.	FCC, Fémur derecho maniquí 1, con cinturón de seguridad a 56/km.....	80
Figura 27-4.	FCC, Fémur izquierdo maniquí 1, con cinturón de seguridad a 56/km.....	81
Figura 28-4.	FCC, Fémur derecho maniquí 2, con cinturón de seguridad a 56/km.....	81
Figura 29-4.	Diagrama de diseño de la plataforma.	82
Figura 30-4.	División de secciones de la carrocería	83
Figura 31-4.	Sección carrocería para impacto.....	83
Figura 32-4.	Centro de gravedad de la sección carrocería	84
Figura 33-4.	Estructura plataforma de impacto.....	84
Figura 34-4.	Esquema plataforma de colisiones	85
Figura 35-4.	Ensamble sección y plataforma para el impacto frontal.....	86
Figura 36-4.	Mallado sección carrocería minibús escolar	86
Figura 37-4.	Mallado asiento escolar	87
Figura 38-4.	Mallado trineo para impacto frontal.....	87
Figura 39-4.	Calidad de malla sección minibús	88
Figura 40-4.	Calidad de malla trineo de impacto.....	88
Figura 41-4.	Relación de aspecto de asientos	89
Figura 42-4.	Ubicación de maniqués en el asiento escolar.....	89
Figura 43-4.	Instalación de los cinturones de seguridad en los maniqués	90
Figura 44-4.	Corredores de pulso de aceleración medido en ele bus, CEPE R80	91

Figura 45-4.	Secuencia de impacto frontal cuando el maniquí no usa cinturón de seguridad	92
Figura 46-4.	CAC en la cabeza maniquí 1 sin cinturón de seguridad a 32 km/h	93
Figura 47-4.	CAC en la cabeza maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 32 km/h	93
Figura 48-4.	CAT, tórax maniquí 1 sin cinturón de seguridad a 32 km/h	94
Figura 49-4.	CAT, tórax maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 32 km/h	94
Figura 50-4.	CAF, Fémur izquierdo maniquí 1, sin cinturón de seguridad a 32 km/h	95
Figura 51-4.	CAF, Fémur derecho maniquí 1, sin cinturón de seguridad a 32 km/h	95
Figura 52-4.	CAF, Fémur izquierdo maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 32 km/h	96
Figura 53-4.	CAF, Fémur derecho maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 32 km/h	96
Figura 54-4.	Secuencia de impacto frontal cuando el maniquí con cinturón de seguridad	97
Figura 55-4.	CAC en la cabeza maniquí 1 con cinturón de seguridad a 32 km/h	98
Figura 56-4.	CAC en la cabeza maniquí 2, con cinturón de seguridad a 32 km/h	98
Figura 57-4.	CAT, tórax maniquí 1, con cinturón de seguridad a 32 km/h	99
Figura 58-4.	CAT, tórax maniquí 2, con cinturón de seguridad a 32 km/h	99
Figura 59-4.	CAF, Fémur izquierdo maniquí 1, con cinturón de seguridad a 32 km/h	100
Figura 60-4.	CAF, Fémur derecho maniquí 1, con cinturón de seguridad a 32 km/h	100
Figura 61-4.	CAF, Fémur izquierdo maniquí 2, con cinturón de seguridad a 32 km/h	101
Figura 62-4.	CAF, Fémur derecho maniquí 2, con cinturón de seguridad a 32 km/h	101
Figura 63-4.	Distancia entre asientos	104
Figura 64-4.	Secuencia del impacto frontal del minibús escolar a 16 km/h	105
Figura 65-4.	HIC en la cabeza maniquí 1 sin cinturón de seguridad a 16 km/h	106
Figura 66-4.	CAC en la cabeza maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 32 km/h	106
Figura 67-4.	ThCC, en el tórax, maniquí 1, sin cinturón de seguridad 16 km/h	107
Figura 68-4.	ThCC en el tórax, maniquí 2, sin cinturón de seguridad 56 km/h	107
Figura 69-4.	Secuencia del impacto frontal del minibús escolar a 16 km/h	108
Figura 70-4.	HIC en la cabeza maniquí 2 sin cinturón de seguridad a 16 km/h	109
Figura 71-4.	CAC en la cabeza maniquí 2, con cinturón de seguridad a 32 km/h	109
Figura 72-4.	ThCC, en el tórax, maniquí 1, con cinturón de seguridad a 16 km/h	110
Figura 73-4.	ThCC en el tórax, maniquí 2, sin cinturón de seguridad 56 km/h	110
Figura 74-4.	a) Cadáver niño en sistema de cinturón de 3 puntos, b) híbrido III 6 años en sistema de cinturón de 3 puntos	112
Figura 75-4.	Comparación entre el PMHS y el ATD en impacto frontal.	113
Figura 76-4.	Comparación entre el PMHS y el ATD en diferentes momentos del impacto.	114
Figura 77-4.	Resultados de la cinemática del maniquí: (a) VSB y (b) LBB.	115
Figura 78-4.	Secuencia de imágenes del impacto frontal pared rígida.	115
Figura 79-4.	Secuencia de imágenes del impacto frontal con cinturón.	116
Figura 80-4.	Secuencia de imágenes del impacto frontal del minibús escolar.	117

Figura 81-4.	Superficie de respuesta del comportamiento de la cabeza	119
Figura 82-4.	Superficie de respuesta del comportamiento de la cabeza	120
Figura 83-4.	Distribución T Student dos colas.....	121

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Ensayo de tracción del material
- ANEXO B:** Simulación ensayo de tracción
- ANEXO C:** Validación del material para la simulación
- ANEXO D:** Curva material esponja
- ANEXO E:** Niveles de conmoción cerebral
- ANEXO F:** Desplazamiento máximo del asiento escolar
- ANEXO G:** Esfuerzo Von Misses carrocería minibús escolar
- ANEXO H:** Distribución T de Student
- ANEXO I:** Convenio de uso de Software
- ANEXO J:** Planos

RESUMEN

El objetivo fue evaluar las lesiones del maniquí híbrido III de 6 años durante el impacto frontal del minibús escolar para verificar el cumplimiento de los criterios de aceptación según CEPE R94 y EURO NCAP empleando el método de elementos finitos para lo cual se modeló la carrocería del minibús escolar, estructura de asientos y esponjas. En el desarrollo de la investigación se utilizaron métodos bibliográficos, experimentales, descriptivos y explicativos para diagnosticar la situación actual de la carrocería, materiales utilizados en la fabricación, normas de diseño y todas las características necesarias para verificar el comportamiento del maniquí y las lesiones que se presentan en el impacto frontal del minibús a diferentes velocidades y cuando el maniquí no utiliza el cinturón de seguridad y cuando utiliza el mismo, luego de la simulación se comprobó, que la cabeza del maniquí 1, con cinturón de seguridad y a velocidad de 56 km/h tiene un criterio de lesión en la cabeza (HIC) de 7215 G's, esto debido al latigazo cervical, el índice de severidad torácica tiene un Csi de 98.72 G's, lo que evidencia que existe conmoción cerebral y daños de costillas o de órganos internos de la caja torácica. Finalmente, el índice de lesiones del fémur del maniquí es inferior a 7,5 KN, demostrando que las lesiones son leves y no causan daños severos. Se comprobó la hipótesis porque mediante el método de elementos finitos se evaluó cada una de las lesiones presentes en el maniquí. Finalmente, en base a los resultados obtenidos se recomienda para trabajos futuros realizar pruebas de impacto frontal con el cinturón de 5 puntos, y emplear un pretensor como el que se utiliza en vehículo para los cinturones de 3 puntos.

Palabras clave: < LESIONES >, <IMPACTO FRONTAL>, < CARROCEÍA >, <ASIENTO>
< VELOCIDAD>, <TORÁX DEL MANIQUÍ >, <FÉMUR DEL MANIQUÍ >,
<PRETENSOR>



Dirigido electrónicamente por:
LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS



0114-DBRA-UPT-IPEC-2023

26-09-2023

SAMMARY

The objective was to evaluate the injuries of the 6-year-old hybrid III dummy during the frontal impact of the school minibus to verify compliance with the acceptance criteria according to CEPE R94 and EURO NCAP using the finite element method for which the body of the school minibus, seat structure and sponges were modeled. In the development of the research, bibliographic, experimental, descriptive and explanatory methods were used to diagnose the current situation of the bodywork, materials used in the manufacture, design standards and all the necessary characteristics to verify the behavior of the dummy and the injuries that occur in the frontal impact of the minibus at different speeds and when the dummy does not use the seat belt and when it uses it, after the simulation it was verified, that the head of dummy 1, with seat belt and at a speed of 56 km/h has a head injury criterion (HIC) of 7215 G's, this due to cervical whiplash, the thoracic severity index has a Csi of 98. 72 G's, which is evidence of concussion and damage to ribs or internal organs of the rib cage. Finally, the injury index of the dummy's femur is less than 7.5 KN, demonstrating that the injuries are mild and do not cause severe damage. The hypothesis was tested because the finite element method was used to evaluate each of the injuries present on the dummy. Finally, based on the results obtained, it is recommended for future work to perform frontal impact tests with the 5-point belt, and to use a pretensioner like the one used in vehicles for 3-point belts.

Keywords: < INJURIES >, <FRONTAL IMPACT>, < BODYWORK >, <SEAT>
< SPEED>, <DUMMY THORAX>, <DUMMY FEMUR>, <TENSIONER>

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de Evaluación de lesiones registradas en el maniquí híbrido III de 6 años durante el impacto frontal del minibús escolar para verificar el cumplimiento de los criterios de aceptación según CEPE R94 y EURO NCAP mediante el método de elementos finitos.

Actualmente, en el país no existe normativa nacional para prevenir los riesgos existentes en el impacto frontal del minibús escolar, por lo que se hace un análisis de normas internacionales como el reglamento R94, de la Comisión Económica para Europa (CEPE), donde determina la velocidad de impacto del minibús, resistencia de la estructura de los asientos y requisitos mínimos en lesiones de pasajeros. Además, para este estudio se utiliza el maniquí híbrido III de seis años, para pruebas de impacto frontal, siendo el más utilizado en pruebas de seguridad, este maniquí es una réplica a escala 1:1 de un ser humano, por lo que posee características físicas iguales al cuerpo humano como: el peso, movilidad, masa y articulaciones, también posee sensores distribuidos en el cuerpo para recopilar información de variables como velocidad, fuerza y desaceleraciones sufridas durante la prueba de impacto frontal permitiendo, medir el índice de lesiones y el comportamiento del ser humano en caso de sufrir un accidente. Por lo tanto, surge la necesidad de utilizar el método de los elementos finitos para definir la resistencia de la estructura del minibús escolar y asientos. Finalmente, se analiza que sucede con el pasajero cuando utiliza o no el cinturón de seguridad, de esta manera se verifica la seguridad pasiva del ocupante y que tipo de lesiones sufre en caso de sufrir un siniestro, por lo que es de gran importancia para la industria dedicada a la fabricación de minibuses escolares conocer el comportamiento de la estructura del minibús, asientos para reducir los riesgos de lesiones del pasajero. Por lo tanto, se propone un proceso de evaluación de los requisitos de los reglamentos R94 CEPE y EURO NCAP adaptado a las condiciones de fabricación nacional. Adicionalmente, se busca aportar en el desarrollo de la industria carrocería, enfocados en ser más competitivos en el mercado nacional e internacional.

1.1 Planteamiento del problema

El diseño y fabricación de carrocerías para autobuses, interprovinciales, urbanos, escolares y turismo es un proceso que abarca varias fases para su construcción o para crear un nuevo modelo de autobús, que debe cumplir con todos los requisitos de la Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador (ANT).

En el Ecuador los accidentes de autobuses generan lesiones graves, pérdidas humanas y económicas, durante el año 2020, se registró 835 accidentes de tránsito, de los cuales 769 pasajeros sufrieron lesiones graves, 118 fallecieron. Mientras que, en el año 2021, la tasa de mortalidad aumentó según los datos de la ANT. Ocurrieron 1657 accidentes de impacto frontal de autobuses resultando, 1412 heridos y 261 pasajeros que perdieron la vida. (ANT, 2021).

1.1.1 Situación problemática

El exceso de velocidad y la distracción de los conductores son la principal causa de accidentes de tránsito, entre los más comunes esta, el impacto frontal y vuelco de los minibuses escolares, en lo que va del año 2022, se han registrado 30 siniestros de tránsito, resultandos heridos los estudiantes con lesiones como: laceraciones, golpes, heridas, fracturas o incluso la muerte (UNIVERSO, 2022).



Figura 1-1. Accidente de tránsito Autobús de servicio escolar

Fuente: (UNIVERSO, 2022)

Según los datos proporcionados por el Ministerio de Educación, aproximadamente 2 millones de estudiantes estarán matriculados en el régimen educativo público, fiscomisional y privado en el ciclo escolar 2022-2023. La seguridad completa de los estudiantes es una prioridad principal para los padres, y las autoridades educativas. El transporte debe ser seguro hacia y desde la escuela siendo responsabilidad de las empresas y agencias verificar el estado de las unidades, antecedentes del conductor y hacer cumplir los reglamentos y normas para el funcionamiento normal de los autobuses escolar (Teojama, 2022).

Actualmente, la normativa vigente no impone a los fabricantes de carrocerías la obligación de utilizar cinturones de seguridad de tres puntos, para todos los asientos en los minibuses escolares. Esto debido al descuido sobre los riesgos de lesiones que pueden sufrir los ocupantes sin cinturón de seguridad durante los accidentes de tránsito: de tipo frontal, lateral o trasero pudiendo salir heridos debido a múltiples factores como la deformación que presenta el asiento, o el

comportamiento de la carrocería. Por lo tanto, es importante conocer el nivel de seguridad de los pasajeros durante este tipo de colisiones. La aplicación de normativas inició con el ensayo de vuelco de bus de forma física en 1977, pero los costos económicos del ensayo eran elevados, lo que limitaba la cantidad de ensayos físicos. El laboratorio europeo IDIADA certifica vehículos de todo tipo de transporte; este laboratorio realiza ensayos mediante pruebas físicas, y también de simulación computacional a través de software de elementos finitos (Arroba, 2013).

En los Estados Unidos realizan simulaciones mediante programas especializados que son preprocesados a lenguajes de simulación como Ls-Dyna, además el mayor interés de los ensayos es los impactos frontales de los autobuses de servicio escolar. Varios centros de ingeniería como General Motors de Estados Unidos utilizan el programa de simulación Ls-Dyna por su alta confiabilidad en resultados. En América del sur Brasil, adopta los ensayos de simulaciones con el programa Ansys Ls-Dyna. Sin embargo, no es de cumplimiento obligatorio para todos los fabricantes de autobuses (Arroba, 2013).

En Ecuador se realiza este tipo de pruebas en laboratorios como: Coinav, Ceding y el centro carrocerero de Tungurahua designados por el Ministerio de Industria y Productividad del Ecuador, y se ejecutan con simulaciones de elementos finitos y mediante la norma NTE INEN 1323:2009 pero no se realiza un análisis de impacto frontal mediante el reglamento R94. Debido a la gran cantidad de accidentes de tránsito en el país, en este trabajo se realizará el análisis numérico del impacto frontal del minibús escolar. Esto con el propósito de obtener datos sobre la eficiencia de la estructura de la carrocería y asientos, así como los riesgos de lesiones que sufrirá el maniquí de 6 años al ser sometidos a los efectos de un choque frontal del minibús.

1.1.2 Formulación del problema

¿Qué lesiones presentarán los ocupantes del minibús escolar durante el impacto frontal, evaluadas mediante simulación en el maniquí híbrido III de 6 años con el propósito de verificar el cumplimiento de los criterios de aceptación según CEPE R94 y EURO NCAP?

1.2 Preguntas directrices o específicas de la investigación

¿Cómo se evaluará las lesiones en maniquí híbrido III de 6 años durante el impacto frontal del minibús escolar para verificar el cumplimiento de los criterios de aceptación según CEPE R 94 y EURO NCAP?

¿Cuáles son las características de fabricación nacional que permitan determinar la resistencia estructural del minibús escolar, asiento y anclajes sometidos a impacto frontal en condiciones indicadas el reglamento CEPE R 94?

¿Cuáles son los parámetros necesarios para instalar el modelo FEM del maniquí híbrido III de 6 años en la carrocería del minibús escolar para simular efectos de impacto frontal?

¿Cuáles son las lesiones en el maniquí híbrido III de 6 años obtenidas mediante simulación en software de elementos finitos con los criterios de aceptación del reglamento CEPE R 94 y EURO NCAP?

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación teórica

Para el estudio de este proyecto se cuenta con la normativa o reglamento R94, de la Comisión Económica para Europa (CEPE), donde especifica los requerimientos para realizar las pruebas de impacto frontal en los autobuses. Además, existen estudios como tesis de maestría, revistas y artículos científicos que utilizan el método de los elementos finitos, para verificar el comportamiento de la estructura del asiento y minibús escolar. De esta manera se busca comprobar las lesiones o muerte en los pasajeros en caso de sufrir un impacto frontal. Finalmente, se hace un gran aporte teórico a instituciones académicas, Universidades, Institutos tecnológicos e industria carrocera que mediante este tipo de análisis computacional se busca mejorar, la seguridad y el diseño de autobuses. Además, el maniquí Híbrido III de seis años, es un modelo de elemento finito validado para pruebas de impacto frontal y permite medir los criterios de aceptación de la cabeza, tórax y fémur descritas en normas y reglamentos de la CEPE R94 y EURO NCAP.

1.3.2 Justificación metodológica

Este proyecto de investigación es viable porque se cuenta con variables para el análisis como uso de software especializado para modelar la estructura del asiento y minibús escolar, y para el análisis dinámico, se utilizó software especializado en el método de elementos finitos, de esta manera, se obtendrá información necesaria para describir el comportamiento del asiento y estructura del minibús escolar, de igual manera, se cuenta con el modelo del maniquí híbrido III de seis años, que esta validado y listo para ser ingresado en la carrocería del minibús escolar, de tal forma que mediante simulación del impacto frontal se puede comprobar las lesiones de los pasajeros cuando no utilizan el cinturón de seguridad y cuando utilizan el mismo.

Finalmente, servirá como guía metodológica para que otros investigadores puedan desarrollar proyectos similares donde, impliquen simulaciones de colisiones de autobuses, buscando siempre garantizar la seguridad pasiva de los pasajeros al sufrir un accidente de tránsito.

1.3.3 Justificación práctica

En el Ecuador no existe laboratorios para ensayos reales de impacto frontal del minibús escolar, por lo que mediante programas especializados CAD, se modelará la estructura de la carrocería del minibús escolar y asientos en base a reglamentos y normas nacionales, para posteriormente mediante simulación por elementos finitos comprobar la resistencia del minibús durante el impacto frontal, de acuerdo con las recomendaciones del reglamento R94, CEPE y EURO NCAP, para ensayos dinámicos.

Finalmente, se ingresa el maniquí híbrido III de 6 años, en la carrocería y asiento escolar para evaluar las lesiones de la cabeza, compresión del tórax y del fémur durante el tiempo de simulación del impacto frontal del minibús escolar.

1.3.4 Justificación social

Este proyecto de investigación tiene gran relevancia social, porque plantea la aplicación de normas nacionales e internacionales, con miras a mejorar la calidad de los diseños y productos que actualmente fabrican las carrocerías del país. El principal propósito de esta investigación es conocer las lesiones presentes en el pasajero en un impacto frontal del minibús escolar, para verificar el cumplimiento de los requisitos del reglamento CEPE R94 y EURO NCAP, por lo tanto, se busca reducir el número de lesiones y mejorar la seguridad pasiva de los pasajeros.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar las lesiones del maniquí híbrido III de 6 años durante impacto frontal del minibús escolar para verificar el cumplimiento de los criterios de aceptación según CEPE R94 y EURO NCAP utilizando el método de elementos finitos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar las características de fabricación nacional para determinar la resistencia estructural en un impacto frontal del minibús escolar y asiento mediante simulación en software de elementos finitos.

- Realizar el modelo CAD en 3D, de la estructura de la carrocería del minibús escolar y asiento de acuerdo con las normas de diseño y construcción actual, para simular eventos de impacto frontal según requisitos establecidos en el reglamento R94 CEPE y EURO NCAP.
- Preparar el modelo FEM del maniquí híbrido III de 6 años para ingresar en la carrocería y asiento mediante herramientas computacionales y simular diferentes eventos de impacto frontal, aplicando requisitos establecidos en el reglamento R94 CEPE y EURO NCAP.
- Comparar las lesiones en el maniquí híbrido III de 6 años obtenidas mediante simulación en software de elementos finitos con los criterios de aceptación del reglamento CEPE R94 y EURO NCAP.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La carrocería del minibús escolar analizada en el impacto frontal cumple los criterios de aceptación según Normativa CEPE R94 y EURO NCAP, siendo evaluado el maniquí híbrido III de 6 años mediante simulación numérica en software especializado.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Analizar las características de fabricación nacional permitirá determinar la resistencia estructural en un impacto frontal del minibús escolar, asiento y anclajes mediante simulación en software de elementos finitos.
- Realizar el modelo CAD en 3D, de la estructura de la carrocería del minibús escolar y asiento de acuerdo con las normas de diseño y construcción actual, permite simular eventos de impacto frontal según requisitos establecidos en el reglamento R94 CEPE y EURO NCAP.
- Preparar el modelo FEM del maniquí híbrido III de 6 años para ingresar en la carrocería y asiento mediante herramientas computacionales servirá para simular diferentes eventos de impacto frontal, aplicando requisitos establecidos en el reglamento R94 CEPE y EURO NCAP.
- Comparar las lesiones en el maniquí híbrido III de 6 años obtenidas mediante simulación en software de elementos finitos permitirá comparar con los criterios de aceptación del reglamento CEPE R 94 y EURO NCAP.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

Las investigaciones previas sobre pruebas de impacto frontal de autobuses utilizando el método de elementos finitos, sirven para comprobar la resistencia estructural y el cumplimiento de varios requisitos que exigen las normas de fabricación nacional e internacional. La simulación computacional de autobuses ha ido creciendo en el país, por lo tanto, entre los estudios más relevantes se detallan los siguientes:

En el estudio sobre los factores que afectan a la seguridad de los pasajeros en colisiones frontales se evidenció, problemas como: la disposición de los asientos, la sujeción, la rigidez del asiento y la forma del impulso de aceleración aplicado. El estudio se realizó utilizando un modelo numérico de prueba de trineo de autocar, basado en principios dinámicos de cuerpo rígido y juntas de rigidez finita, junto con modelos de elementos finitos deformables. Por lo tanto, se evaluó los valores de índice de lesión encefálica (HCI), que son inferior al límite permitido por la norma UNECE 80, se encontró también que la rigidez del respaldo del asiento tiene un efecto significativo en la seguridad del pasajero y se demostró la influencia de la carga trasera que afecta al pasajero cuando utiliza el cinturón de seguridad, y cuando no utiliza el cinturón. Los valores HIC para el pasajero con cinturón se pueden aumentar con un factor de dos como resultado de la carga trasera. Por tal motivo, estos hallazgos permitieron comprender mejor el comportamiento de los ocupantes en diferentes escenarios y ayudan a estimar la influencia de las propiedades del asiento y la sujeción en la seguridad pasiva de los pasajeros en los autobuses (Kuznetcov et al., 2017, p. 218).

En la investigación “simulación por el método de los elementos finitos del impacto frontal de un autobús interprovincial de fabricación nacional”, se propone la modificación de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1323:2009, se utilizó el programa computacional Ls Dyna, porque es un programa especializado para estudios de impacto y eventos de dinámica explícita no lineal, permitiendo determinar grandes deformaciones y absorción de energía en muy cortos espacios de tiempo. Además, se estableció condiciones de borde como: el tamaño de malla con valor de 30 mm, para toda la estructura, el material seleccionado fue, el Piece Wise Linear Plasticity, que permite ingresar las propiedades del material con el que se fabrica la carrocería y se obtiene de ensayos físicos reales. De esta manera se obtuvo un valor de 0.3916 % como error, mientras que Hourglass es de apenas el 3,87 %, comparado con el análisis físico estos rangos son inferiores al 5% de error aceptado en los estudios de impactos. Posteriormente se observó que las carrocerías

del país no cuentan con sistemas de protección para salvaguardar la vida de los pasajeros, esto debido a que los elementos estructurales no disipan toda la energía cinética del autobús (Santos, 2017, p. 87).

Con base en el estudio análisis de la seguridad en butacas de autobuses para medir el índice de lesiones en el tórax (CSI), al que está sometido un pasajero sentado en una butaca de autobús urbano, el estudio es realizado mediante el método de modelos numéricos con un maniquí Hybrid III 50 percentil, y velocidad de 35 km/h, al momento de colisionar el autobús. Los resultados demostraron que los daños a nivel de HIC en el cráneo es clasificado como sin fractura porque la cabeza no sufre ningún tipo de colisión, en cambio en el tórax tiene un criterio de aceptación de 61 G's, superando lo que recomienda la normativa que es de 30 G's, de esta forma se considera que el asiento es inseguro cuando surge un impacto frontal. Finalmente, el estudio demostró datos fiables que permiten evaluar la seguridad que brinda el asiento a los pasajeros en caso de sufrir un impacto frontal, y se puede analizar criterios de daños en el asiento y lesiones en el maniquí de acuerdo a la norma R80 de la UNECE, que permite estudiar el comportamiento del maniquí y el asiento al realizar la simulación por método de elementos finitos (Rivero et al., 2019, p. 131).

De acuerdo con el tema: “Análisis de lesiones producidas en el vuelco de autobuses interprovinciales evaluadas según los criterios del reglamento R95 de la comisión económica para Europa (CEPE), de las Naciones Unidas”, se realizó un modelo CAD de una sección estructural del autobús interprovincial que posteriormente fue simulado por el método de elementos finitos, de esta manera, se comprobó el comportamiento del maniquí ES-2 cuando no utiliza cinturón de seguridad, pues son expulsados de sus asientos mientras que el cinturón de seguridad, impide que salgan expulsados reteniéndolos en sus asientos. Además, permitió comprobar el índice de lesiones en la cabeza demostrando que sin cinturón de seguridad existe trastornos graves generando coma cerebral a todos los pasajeros, porque se impactan contra el techo y el suelo, mientras que en las costillas las deformaciones son leves porque no superan el valor permitido en la norma R95 UNECE. En la pelvis el maniquí que no utiliza cinturón de seguridad supera el valor permitido porque se impacta con la estructura y con los otros maniqués o pasajeros, para terminar en el abdomen los valores obtenidos mediante simulación son inferiores al recomendado por lo que son aceptados de tal forma que se demuestra que el uso del cinturón de seguridad de dos y tres puntos es de vital importancia para reducir daños severos o graves en los pasajeros (Niachimba, 2021, p. 15).

En la investigación titulada: “Análisis de la implementación de un Sistema de Airbag en autobuses en la seguridad del conductor durante un impacto frontal”, se determinaron parámetros para la simulación de impacto frontal del autobús establecidos de acuerdo la reglamentación técnica para

la implementación del airbag. Este estudio demostró, que el valor del HIC del maniquí en caso de sufrir impactos a 90 km/h sin airbag, es de 1253.75 G's, mientras que con el airbag se obtiene un valor de 850 G's, reduciendo en un 32,20%, es muy importante analizar la deformación del autobús producida por el impacto frontal, porque puede quedar atrapado el conductor por la deformación excesiva a grandes velocidades, la simulación del impacto frontal mediante el método de los elementos finitos permite conocer los beneficios, de la implementación de sistemas de seguridad pasiva del conductor y pasajeros en caso de sufrir este tipo de siniestros (Ayala y Tacuri, 2021, p. 38).

El estudio bajo el tema: simulación del impacto frontal para una carrocería de autobús para determinar los niveles de seguridad fue realizado a través del programa ANSYS, donde se han estudiado los diferentes criterios y normativas vigentes que se utilizan en el Ecuador, tanto para la fabricación de la carrocería como las condiciones de frontera necesarias para la simulación. De este modo, se analizó el espacio de supervivencia del pasajero, la velocidad de colisión y diversas recomendaciones para el desempeño de la simulación. Varias investigaciones recomiendan, trabajar con elementos tipo SHELL, porque son la mejor opción para simular estructuras metálicas. Por tal razón se demuestra la importancia y necesidad de tomar medidas que se centren en la aplicación de normativa nacional que armonice con la normativa internacional, porque se busca garantizar la seguridad pasiva de los pasajeros en este caso, el uso de software especializado a través de la simulación nos permite obtener datos confiables que contribuyen a la construcción y diseño de la carrocería, aumentando el nivel de seguridad de los pasajeros cuando sufren este tipo de accidentes (Freire et al., 2022, p. 1282).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Minibús escolar

Según la norma NTE INEN 1323:2009, “Carrocerías de buses requisitos”, donde se informa los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de las carrocerías de buses para todos los servicios de transporte público de pasajeros como son: autobuses interprovinciales, urbanos, turismo y escolares. La norma (NTE INEN ISO 3833), especifica lo siguiente: Los autobuses interprovinciales, urbanos, turismo y escolares son vehículos de motor, por su diseño y denominación, son medios de transporte de personas y equipajes para largas y cortas distancias (NTE INEN 1323, 2009, p. 6).



Figura 2-2. Autobús de servicio escolar

Fuente: (Colectibondi, 2020)

La condición para la operación de este vehículo es asegurar la comodidad de los pasajeros sentados y no es permitido llevar pasajeros de pie. Además, el autobús debe tener más de 9 asientos, incluido el asiento del conductor, finalmente debe contar con cinturón de tres puntos en los asientos principales y de dos puntos en los demás asientos del minibús escolar (Verdezoto, 2015, p. 22).

El autobús escolar pequeño o mediano, generalmente de color amarillo o naranja, está equipado con asientos dobles de menor tamaño. Además, el servicio de transporte escolar se prestará en furgonetas, microbuses, minibuses o autobuses, en la tabla 1-2, se presenta el número de pasajeros incluido el conductor según el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN 041), primera revisión.

Tabla 1-2: Tipo de autobús escolar y número de pasajeros

Denominación	Número de asientos (incluido el conductor)
Furgoneta	Desde 12 a 18 pasajeros
Microbús	Desde 19 a 26 pasajeros
Minibús	Desde 27 a 37 pasajeros
Bus	A partir de 36 pasajeros

Fuente:(RTE INEN 041, 2013)

2.2.2 Dimensiones externas del autobús

Las dimensiones del autobús van a depender del tipo de servicio que prestará el vehículo y debe cumplir los requisitos establecidos en la normativa ecuatoriana y se muestra en la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Longitud máxima del autobús

Clase de vehículo	Número de ejes	Largo total máximo (mm)
Autobús (M3)	De dos ejes	13300
Autobús (M3)	De tres ejes o más	15000
Autobús (M3)	De dos ejes	10000
Microbús (M2 o M3)	De dos ejes	9000
Furgoneta (M2)	De dos ejes	7000

Fuente:(NTE INEN 2902, 2017)

El ancho y alto del autobús debe cumplir lo establecido en NTE INEN 1668, mientras que la altura total máxima de autobús se muestra en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Altura máxima del autobús

Clase de vehículo	Altura total máxima
Autobús (M3)	3800 mm
Minibús ancho superior a 2500 mm (M3)	3600 mm
Minibús ancho inferior a 2500 mm (M3)	3300 mm
Microbús (M2 o M3)	3000 mm
Furgoneta	-

Fuente:(NTE INEN 2902, 2017)

2.2.2.1 Carrocería del autobús

La carrocería del autobús es la parte principal del vehículo y se considera como el esqueleto del mismo conformado por varias estructuras metálicas que se entrelazan entre sí, con la finalidad de soportar y absorber diferentes cargas externas e internas, los componentes principales que componen la carrocería son los anclajes, laterales, piso, el techo, frente, respaldo y posterior, estos elementos sirven como soporte para la colocación de otros elementos como asientos, canastillas, parabrisas, ventanas, aire acondicionado y demás acabados de un autobús. Además, “Las uniones entre el chasis y la carrocería se realizan siguiendo exclusivamente las recomendaciones del fabricante del chasis para autobús de transporte de pasajeros, indicadas en su manual de fabricación y montaje de carrocerías de buses”(NTE INEN 1323, 2009).

Existen dos tipos de chasis utilizados en carrocerías de autobuses y se denominan

- Chasis independiente o portante
- Chasis autoportante

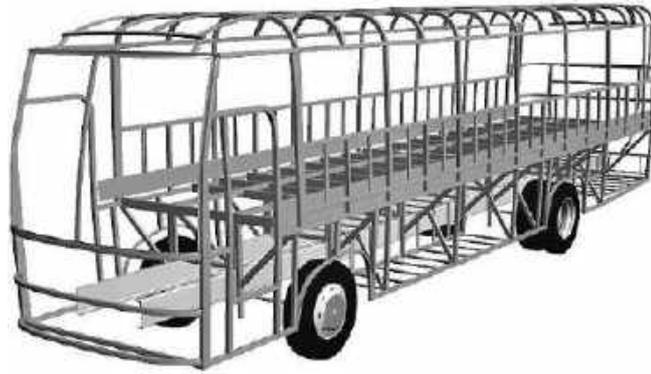


Figura 3-2. Carrocería de autobús

Fuente: (Llanes, 2020)

2.2.3 Elementos que conforman las carrocerías

Los elementos principales que conforman la carrocería de un autobús son los siguientes:

- Frontal del autobús
- Posterior del autobús
- Lateral izquierdo y derecho
- Piso del autobús
- Techo del autobús

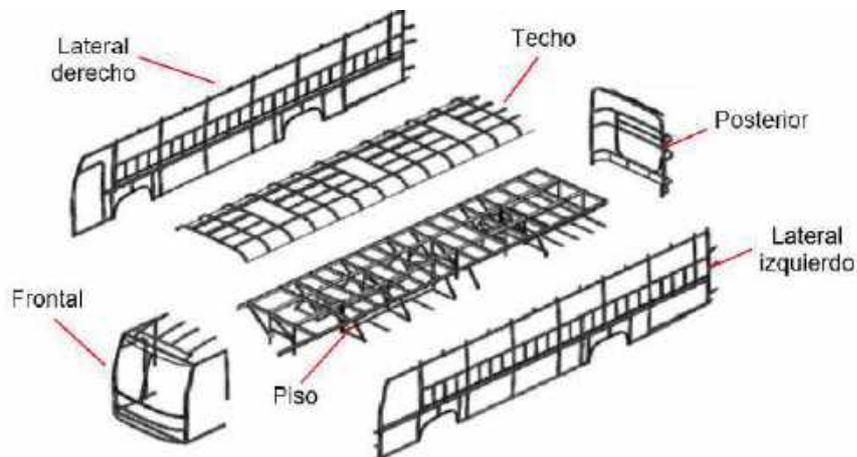


Figura 4-2. Elementos principales de la carrocería

Fuente: (Llanes, 2020)

2.2.4 Material utilizado en la fabricación de carrocería

La estructura metálica es conformada en frío y debe cumplir con la normativa de fabricación de materiales, siendo las propiedades mecánicas y químicas dadas por el fabricante, y los materiales más comunes son el Acero ASTM A36 -A 500, estos materiales son verificados por organismos

de control acreditados por la (ANT), en la tabla 4-2 se detalla los materiales utilizados en los diferentes componentes de la carrocería.

Tabla 4-2: Lista de materiales utilizados en la construcción de la carrocería

Perfil estructural	Descripción	Norma de fabricación
TC 40x20x2	Faldones, puerta, rompevientos, respaldo, frente, concha	ASTM A-500 grado A
TC 40x40x2	Tejido piso, laterales	ASTM A-500 grado A
TC 40x40x3	Estructura principal piso	ASTM A-36
TR 80x40x3	Travesaños principales	ASTM A-500 grado A
TC 50x50x2	Estructura techo	ASTM A-500 grado A
TR 50x25x1,5	Tejido piso claraboya	ASTM A-500 grado A
Canal U 80x40x3	Largueros piso	ASTM A-36
Canal U 50x25x2	Tejido cajuelas arcos guardafango	ASTM A-36
Ángulo 40x40x3	Largueros faldones	ASTM A-36
Perfil zócalo 20x50x260x60x2	Larguero lateral apoyo de asientos	ASTM A-36

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

2.2.5 Normas de resistencia estructural de la carrocería

El reglamento de seguridad pasiva en autobuses y autocares han sido establecidos principalmente por la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas. Los requisitos de esta norma aplican a todos los vehículos M1, permitiendo evaluar la estructura y sistema de retención para garantizar la seguridad de los pasajeros.

“El reglamento R94 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” permite verificar cómo se comporta toda la carrocería del autobús. Por lo tanto, se evalúa el riesgo de lesiones que pueden sufrir los pasajeros en caso de un choque frontal, esta norma establece parámetros para realizar las pruebas estáticas y dinámicas (UNECE /CEPE, 2009, p. 9).

Sistema de retención infantil, el conjunto de componentes que puede estar formado por una combinación de correas o elementos 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 ocupante, limitando la movilidad de su cuerpo, en caso de colisión o de desaceleración brusca del vehículo (UNECE /CEPE, 2009, p. 3).

2.2.6 Asiento escolar

Este tipo de asiento está fabricado con estructura metálica, espuma de poliuretano, telas, plásticos y demás accesorios que garanticen la comodidad y seguridad de los pasajeros, se utiliza para recorridos cortos y largos como: turismo, escolar y transporte intracantonal, la diferencia es la distancia entre los asientos, ancho y largo del asiento, en comparación con los vehículos intercantonales e interprovinciales. La normativa, especifica el tipo de servicio que brinda el autobús. En la figura 5-2, se presenta el modelo actual de asiento que se instala en la carrocería de autobús escolar.



Figura 5-2. Asiento de servicio escolar

Fuente:(CONSEG, 2019)

2.2.6.1 Estructura del asiento escolar

En los últimos años, en el Ecuador se ha incrementado significativamente la fabricación de asientos de servicio interprovincial, turismo y escolar. Estos asientos tienen como base modelos del exterior como: Irizar, Yutong, Marcopolo, siendo el último diseño el más comercial y aceptado en el mercado nacional, los diseños y dimensiones se han establecido de acuerdo con la antropometría de la población. La estructura del asiento escolar, está compuesta de tubería redonda, platinas y perfiles de fabricación nacional, también cuenta con partes plásticas y esponjas para el espaldar y cojín diseñadas ergonómicamente para el confort de los pasajeros. El sistema de inclinación es de tres posiciones de acuerdo a la norma de fabricación nacional.



Figura 6-2. Estructura asiento para autobús

Fuente: (CEPESA, 2019)

2.2.7 Material estructura del asiento escolar

El asiento escolar para el minibús está constituido de varios elementos, destinados a soportar las fuerzas o cargas que actúan sobre el mismo, por lo tanto, se determinó los materiales más utilizados en la fabricación de asientos como se muestra en la tabla 5-2.

Tabla 5-2: Materiales utilizados en el asiento

Componente	Denominación	Material
Espaldar	Tubo redondo de 25,4 x 1,50 mm	Acero negro ASTM A 500gr A
Base	Tubo cuadrado de 25 x 25 x2 mm	Acero negro ASTM A 500gr A
Cojín	Perfil en C 25x20x2 mm	Acero negro galvanizado JIS G 3141
Anclaje ángulo	Perfil en L 30x30x3 mm	Acero negro ASTM A-36
Anclaje de pata	Platina de 36x4 mm	Acero negro ASTM A-36
Pata asiento	De acuerdo a plantilla	Acero galvanizado G60

Fuente: (Alcoser y Morales, 2017)

Los componentes que se utilizan para el ensamble del asiento son los siguientes:

Tabla 6-2. Material para el anclaje del asiento con el autobús

Componente	Descripción	Material
Anclaje de asiento	Platina de 30x3	Acero negro ASTM A-36
	Pernos 7/16 x1 pulgada	Grado 8
	Perfil zócalo	Acero galvanizado
	Angulo de 30x30x30x2	Acero negro ASTM A-36

Fuente: (Alcoser y Morales, 2017)

2.2.8 Dimensiones de la estructura del asiento escolar

En la norma RTE INEN 041 “Vehículos de transporte escolar segunda revisión se establece las dimensiones del asiento que va a ser ensamblado en la carrocería del minibús, ver figura 6-2 (RTE INEN 041, 2013, p. 24).

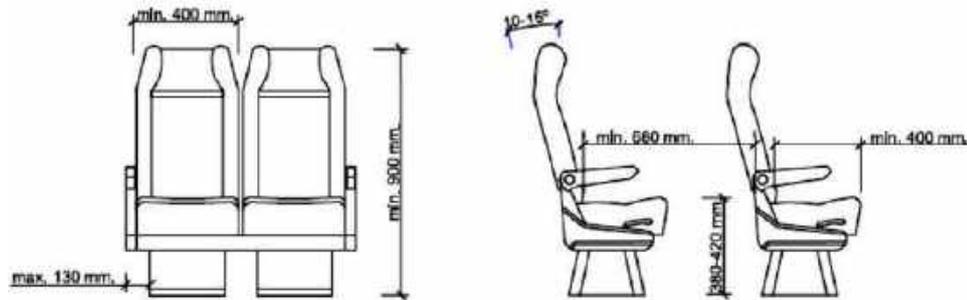


Figura 7-2. Dimensiones estándar del asiento escolar

Fuente: (RTE INEN 041, 2013)

2.2.9 Norma de resistencia estructural del asiento

El reglamento UNECE/CEPE R80, define los requisitos para la fijación del asiento y su conexión al vehículo para que sea capaz de proteger a los ocupantes que van adelante y en los asientos traseros durante una colisión frontal, por lo tanto, los criterios de lesiones no deben exceder un cierto límite (Corral et al., 2008, p. 4).

Los fabricantes pueden elegir entre pruebas dinámicas o pruebas estáticas "equivalentes". El objetivo principal es asegurar la ausencia de lesiones, así como la resistencia de sus anclajes y estructura, también, se pueden realizar pruebas a los asientos de forma independiente (sobre módulo rígido) y el anclaje (con asiento rígido) (Corral et al., 2008, p. 4).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Seguridad pasiva

Son los elementos que minimizan los daños y afectaciones de los pasajeros cuando se produce un accidente sea de tipo frontal, vuelco o impacto lateral.

2.3.2 Cinturón de seguridad

Un cinturón de seguridad es un dispositivo de seguridad pasivo en forma de arnés que está sujeto a un vehículo para mantener a los ocupantes del mismo, asegurados en sus asientos, evitando que

salgan expulsados o choquen con objetos fuertes u otras personas en caso de sufrir un accidente de tránsito, siendo los más comunes choques frontales y volcamientos. Por lo general, se fabrican en fibras poliméricas de alta resistencia como el poliéster o nylon (Martínez, 2017).

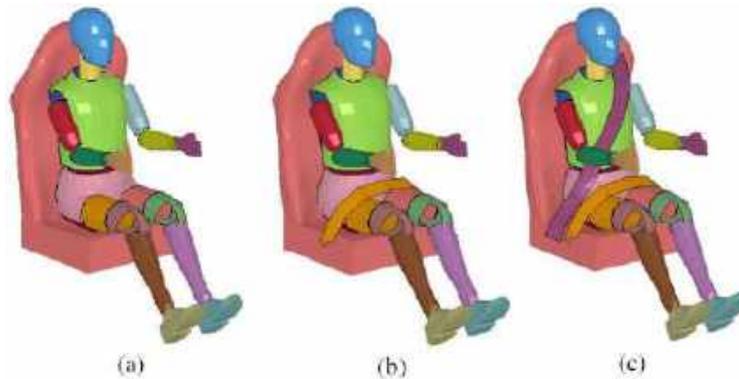


Figura 8-2. a) Sin cinturón b) Cinturón dos puntos c) Cinturón de tres puntos

Fuente: (Mehmet et al., 2009)

2.3.2.1 Tipos de cinturones de seguridad

Existen diferentes tipos de cinturones de seguridad, aunque el más famoso es el cinturón de seguridad de tres puntos. Antes de detallar cada uno, la Figura 9-2, muestra un diagrama muy simple que ilustra los diferentes tipos de cinturones de dos puntos, tres puntos y cuatro puntos.



Figura 9-2. Esquema de diferentes tipos de cinturones de seguridad

Fuente: (Martín, 2010)

2.3.2.2 Cinturón de dos puntos

El cinturón de dos puntos se apoya en la cadera del pasajero y todavía se usa principalmente en aviones y autobuses. Ha sido criticado por causar que la columna lumbar se separe, a veces provocando parálisis (conocido como síndrome del cinturón de seguridad) (Martín, 2010, p. 34).

2.3.2.3 *Cinturón de tres puntos*

La contribución más importante de Volvo a la seguridad del automóvil es el cinturón de seguridad de tres puntos desde su creación en 1959, no se ha inventado ningún otro mecanismo que pueda igualarlo en términos de eficiencia. El cinturón de seguridad de tres puntos consta de un cinturón de muslo que debe sujetar la pelvis debajo del abdomen y otro que va desde el primer punto de fijación hasta otro punto de manera que pasa por el pecho (Martín, 2010, p. 34).

2.3.2.4 *Cinturón de 4 puntos*

Las hebillas centrales, o cinturones de cuatro puntos, son similares a los que se usan hoy en día en los autos de carrera y en los asientos de seguridad para niños. Este arnés consta de 3 partes, siendo la primera una correa fija en forma de V con dos puntos de fijación en el asiento a la altura de los hombros del usuario. Esta V es retráctil y dispone de una hebilla en su parte central que permite sujetar las dos correas con lengüetas, montándose estas dos últimas de forma independiente a cada lado del conductor (Martín, 2010, p. 34).

2.3.2.5 *Chasis minibús*

Protege a los ocupantes del vehículo cuando ocurre un accidente absorbiendo la energía desprendida. El chasis del minibús LO 915 se desarrolla para cumplir con las necesidades urbanas, escolares y de turismo pudiendo carrozar entre 8,0 y 8,7 metros de largo.



Figura 10-2. LO 915 Chasis para minibús escolar

Fuente: (Mercedez Benz, 2022)

2.3.3 *Impacto frontal*

Las colisiones frontales son el tipo más común de accidente que resulta en innumerables muertes, sin embargo, se han logrado avances significativos en el área de protección frontal de vehículos, como los estudios realizados en pruebas de choque de la Administración Nacional de Seguridad

del Tráfico en las Carreteras (NHTSA) que comenzó a fines del año 70, y la evaluación de la resistencia a choques del Instituto de Seguridad en las Carreteras (IIHS), que comenzó en 1995 (Cháfuel, 2017, p. 58).

En el impacto frontal, se comprueba el comportamiento de la carrocería y la deformación resultante, también, evalúa la cantidad de energía que el vehículo puede absorber sin afectar el habitáculo. La prueba de choque frontal se realizó a velocidades indicadas en diferentes reglamentos donde el vehículo choca con una barrera rígida. Los requisitos de seguridad pasiva han evolucionado constantemente durante las últimas dos décadas, y los vehículos actuales se someten a una serie de pruebas legalmente requeridas y establecidas a nivel mundial (Cháfuel, 2017, p. 58).

Además, implementaron nuevos programas de evaluación automotriz (NCAP, como el Instituto de Seguros para la Seguridad en las Carreteras, IIHS) están diseñados para identificar pruebas que simulen situaciones de choque del mundo real, lo que permite realizar comparaciones entre diferentes vehículos. Los niveles mínimos de protección son establecidos por los programas de prueba del gobierno, mientras que EURO NCAP, CEPE/UNECE realizan o sugieren pruebas adicionales de protección del pasajero para determinar una mayor protección y seguridad en el vehículo (Cháfuel, 2017, p. 58).

2.3.4 Simulación de impacto frontal del autobús

Cada vez más institutos realizan pruebas de choque simuladas mediante programas especializados en elementos finitos, de esta manera se estudia el comportamiento de un vehículo en diversas situaciones y en diferentes condiciones. La ventaja de la simulación es que los modelos MEF se pueden reutilizar una y otra vez y también, el usuario tiene la libertad de cambiar cualquier parámetro de la prueba y el usuario puede variar las propiedades del material, así como la geometría de las piezas utilizadas (Ambati et al., 2012, p. 3).



Figura 11-2. Modelo de prueba de impacto frontal según la prueba EURO NCAP

Fuente: (Thoung, 2019)

2.3.5 Simulación de resistencia de asientos de autobuses

Para la simulación existen dos escenarios para probar la resistencia del anclaje y estructura del asiento para la simulación de impacto mediante el reglamento R80 CEPE, y describe los siguientes ensayos:

- Ensayo 1

El maniquí se sentará en un asiento adicional sin restricciones. La velocidad del vehículo que simula la colisión está en el rango de 30 y 32 km/h. La aceleración y su desaceleración entre 6,5 y 8,5 g.

- Ensayo 2

Se repete con un reemplazo, la persona es colocada en el soporte con el cinturón de seguridad de 3 puntos el esquema para el ensayo se muestra en la figura 11-2.



Figura 12-2. Esquema de ensayos dinámicos de resistencia de anclajes de asientos

Fuente: (Aparicio et al., 2004)

Para la simulación se desarrolla un modelo detallado de elementos finitos totalmente deformable para proporcionar un marco de simulación más fiable y preciso para los estudios paramétricos. La geometría detallada de los asientos de los autocares reales se utiliza para construir el modelo de elementos finitos deformables.

El modelo tipo trineo consta de paneles de suelo y laterales, rieles de suelo y paredes laterales y dos asientos de un pedestal montados en los rieles: el maniquí delantero está equipado con cinturones de seguridad, mientras que el trasero no tiene cinturones de seguridad. La figura 13-2, muestra la geometría de la estructura del asiento sin espumas y marcos para los cojines, la geometría de las piezas del asiento se basa en el modelo CAD proporcionado por el fabricante. Después de un preprocesamiento intensivo de la geometría para prepararla para el mallado eficiente, el modelo se compone de 142 piezas en total, 32 de las cuales son cuerpos sólidos, 108 son superficies y 2 cilindros se modelan utilizando líneas unidimensionales. Para ambos asientos, el cojín y las espumas del respaldo del asiento se modelan utilizando elementos de tetraedro sólido

y un modelo de material no lineal especializado (*MAT_057 en la especificación LS-DYNA) (Kuznetcov, 2017, p. 60).

Los rieles de montaje del asiento y la estructura del asiento frontal se modelan como totalmente deformables con el modelo de material de plasticidad lineal isotrópica por piezas (* MAT_024 en LS-DYNA). No se consideran efectos de deformación o fracaso. Las propiedades del material, incluidas las curvas de endurecimiento, se extraen de la literatura según las especificaciones del fabricante. Los marcos de plástico que unen la espuma del cojín a la estructura se modelan con material elástico lineal y se unen a los marcos de los asientos utilizando contactos pegados en las conexiones soldadas. El marco del asiento frontal es modelado como contactos soldados y cuerpos rígidos nodales, a excepción de las membranas del respaldo del asiento, que se unen al tubo del respaldo del asiento utilizando soldaduras rígidas con criterios de falla (Kuznetcov, 2017, p. 60).

Las conexiones de perno entre el marco del asiento y de la pata, y entre el asiento y los rieles de fijación están modelados con contactos de fricción que los conectan a la estructura. El respaldo del asiento está unido al marco mediante juntas revolutas sin fricción. La inclinación del respaldo del asiento se limita utilizando un elemento de haz que conecta el respaldo del asiento con el marco y representa el mecanismo de inclinación real.

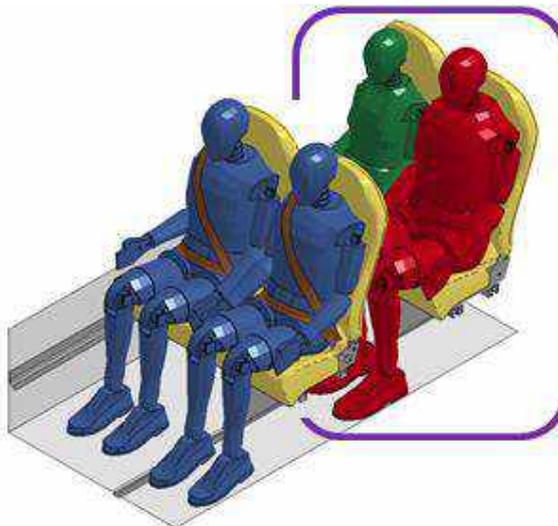


Figura 13-2. Esquema modelo elementos finitos para prueba dinámica

Fuente: (Kuznetcov, 2017)

- Ensayo estático

El componente para el ensayo lo recomienda el reglamento R80 CEPE, y tiene forma de cilindro con radio de curvatura $82 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ y ancho: al menos igual al ancho de la parte posterior de cada banco de prueba de arriba a abajo, 320 mm desde la parte inferior ver figura 14-2.

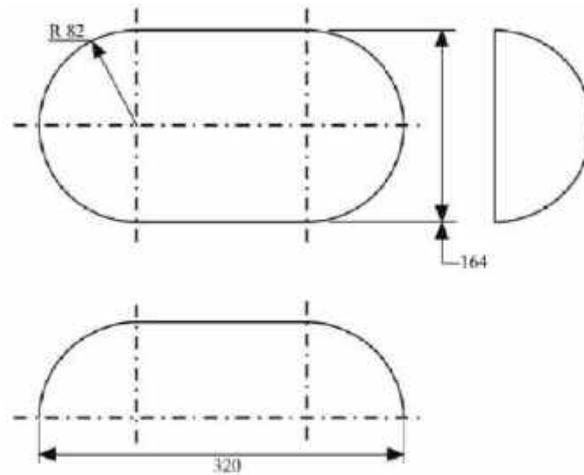


Figura 14-2. Esquema del aparato de ensayo estático

Fuente: (UNECE /CEPE, 2010)

La segunda opción es ejecutar una prueba de anclaje estática, que consiste en aplicar una fuerza $F= 5000\text{ N}$ a una altura de 750 mm sobre el suelo, el respaldo y frente representan el empuje del pasajero trasero inseguro) ver figura 15-2.

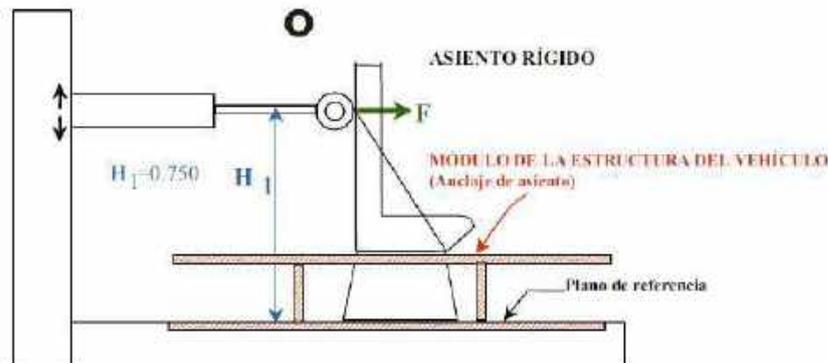


Figura 15-2. Esquema ensayo estático de anclajes de asiento

Fuente: (UNECE /CEPE, 2010)

Como ejemplo de aplicación de análisis estático de anclajes se toma en cuenta el diseño y Análisis de Asiento de Pasajero de autobús según AIS-023. Para el análisis de choques, normalmente se realiza una malla mixta 2D en la que el porcentaje de elemento tria se mantendrá bajo porque el modelo debe permanecer rígido. Se evitaron los quads giratorios para obtener la transferencia de energía lineal y no cause perturbación en la transferencia de energía.

La longitud mínima del elemento se mantuvo baja para reducir el tiempo computacional. El cuerpo sólido del mecanismo fue mallada con malla hex. El mallado de la estructura del asiento se llevó a cabo en Hypermesh y el archivo mallado se utilizaron en LS-DYNA explícito para la parte de procesamiento ver figura 15-2, con el modelo de malla del asiento y estructura (Jadhav y Thakare, 2019, p. 3).



Figura 16-2. Modelo de elementos finitos de la estructura del asiento

Fuente: (Jadhav y Thakare, 2019, p. 4)

Para asientos con cinturones de seguridad, ya sean de 2 o 3 puntos, los requisitos están marcados con la normativa sobre los parámetros para los cinturones de seguridad de colisión frontal. Se realiza ensayo de tracción en los anclajes. Para los cinturones se utilizan herramientas que simulan las caderas y el torso del pasajero, y la prueba se realiza en el asiento de autobús montado en un módulo de piso de vehículo representativo, por lo que, además, de la correa siempre va anclada al asiento en la figura 17-2, se evidencia la construcción del asiento para comprobar la resistencia del asiento y sus accesorios (Aparicio et al., 2004, p. 28).

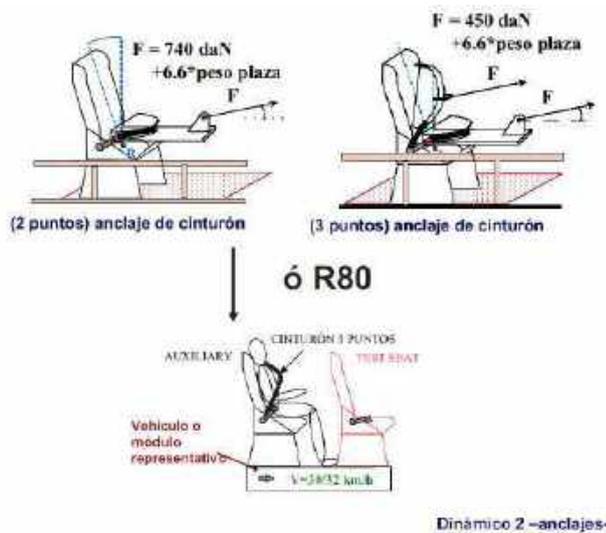


Figura 17-2. Esquema de ensayos de anclajes de cinturones de seguridad

Fuente: (Aparicio et al., 2004)

Otro ejemplo, donde se utiliza, la simulación computacional, para evaluar la resistencia de los anclajes de los cinturones, fue desarrollado en el 2017, donde primero se realizó el modelo del asiento y se utilizaron bloques pélvicos y torácicos estandarizados con una fuerza de arrastre de 6408,612 N, en los bloques de la pelvis y 4500 N, en el bloque torácico, el modelo de elementos

finitos tiene una malla de elementos cuadriláteros tipo shell, mientras que los bloques pélvico y torácico tienen elementos triangular tipo shell, esta simulación se realizó con un tiempo de análisis de 0,2 s, como recomienda el reglamento R80. Estas condiciones de prueba se aplican específicamente a los asientos de los autobuses (Martínez, 2017).

Al modelar la fuerza de unión de un cinturón de tres puntos con diseño original, se comprueba que los anclajes superiores si resisten, mientras que ningún anclaje inferior supera el límite de resistencia máxima, además, la deformación plástica efectiva es mínima y está dentro del rango permitido en la norma ecuatoriana INEN 2708 que toma los parámetros del reglamento CEPE, R80 (Arroba y Núñez, 2018).



Figura 18-2. Modelo de elementos finitos del asiento y cinturón de seguridad

Fuente: (Arroba y Núñez, 2018)

2.3.6 Principales lesiones del pasajero en impacto frontal

Cuando los pasajeros no usen el cinturón de seguridad, habrá movimiento desde el asiento en el que están sentados hasta el asiento que está frente a ellos provocando lesiones en la cara, el cuello, piernas, especialmente en las rodillas. Otra forma importante de lesiones son las colisiones con bordes afilados (marcos de TV) y objetos rígidos (como maletero, coderas abatibles, canastillas) Hay muchos casos de lesiones por intrusión y deformación estructural debido a la colisión con camiones (Cantor, 2016, p. 28).

En este tipo de problemas, la simple prevención se vuelve difícil debido al colapso de la estructura del autobús en el área de impacto debido a la enorme energía involucrada. Además, el asiento del conductor y el asiento del ayudante están sujetos a una colisión frontal, y se pueden producir varias fracturas para los ocupantes del vehículo al ser expulsados a través del parabrisas (desde el asiento del conductor, el asiento del ayudante tomando en cuenta la primera fila de asientos) (Cantor, 2016, p. 28).

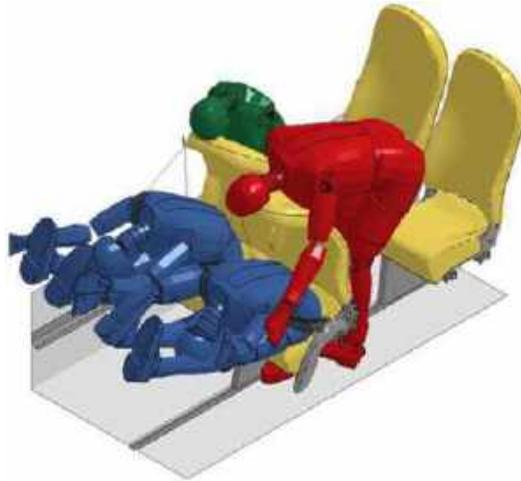


Figura 19-2. Desplazamiento de los ocupantes

Fuente: (Kuznetcov, 2017)

2.3.7 Criterios de aceptación

2.3.7.1 Criterio de rendimiento de la Cabeza R94

El criterio de rendimiento de la cabeza (HPC), no deberá superar 1000, y la aceleración resultante de la cabeza no superar los 80 G's. durante más de 3 ms. La aceleración será medida en el centro de gravedad y se calculará a partir de los componentes triaxiales de aceleración medidos con un CFC de 1000. El cálculo del valor HPC se medirá con la siguiente ecuación (UNECE /CEPE, 2009).

$$HPC = (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2,5}$$

Dónde a es la aceleración resultante en unidades de gravedad g (1 g = 9.81 m/s²).

2.3.7.2 Criterio de compresión del tórax R94

El criterio de compresión del tórax (ThCC) no debe ser superior a 50 mm. El hundimiento del pecho entre el externo comparado con la columna vertebral se medirá con un CFC de 180.

2.3.7.3 Criterio de fuerza del fémur R94

El criterio de fuerza (FFC) no deberá superar los 7,58 KN durante 10 msec. Las fuerzas de compresión axial y los momentos de flexión se medirán con una CFC de 600.

2.3.7.4 Análisis de criterios de aceptación EURO NCAP niños

Si no existe un contacto duro durante la simulación de impacto de alta velocidad. Se medirá únicamente en la aceleración resultante de 3 ms. Los criterios de aceptación de impacto frontal para niño de 6 años se presentan en la tabla 7-2.

Tabla 7-2: Criterios de impacto frontal para niño de 6 años

	Criterios	Límite de rendimiento		
		Bajo	medio	Alto
Puntuación de la cabeza	HIC15 contacto duro	500	700	800
Puntuación del tórax	Desviación	30 mm	42 mm	NA

Fuente: (EURO NCAP, 2021)

2.3.8 Maniquí para impacto frontal

En 1976, General Motors (GM) desarrollo un nuevo maniquí Híbrido III, que representa una familia entera con el fin de mejorar los estudios de pruebas de choque. En los maniquí se perfeccionó la capacidad de medición de la predicción de lesiones. Hoy en día, el maniquí Híbrido III 50 es ampliamente utilizado en el campo de las pruebas de choque automovilístico (Molina, 2017).



Figura 20-2. Hybrid III masculino, percentil 50%

Fuente: (Humanetics, 2021)

El Estándar Federal de Seguridad de Vehículos Motorizados (FMVSS 208) estipula claramente que el maniquí Híbrido III 50th está designado como maniquí de impacto frontal en las pruebas de choque de automóviles. A continuación, se presenta la familia del híbrido III:

- Híbrido III masculino, percentil 50%.
- Híbrido III masculino, percentil 95%.
- Híbrido III femenino, percentil 5%.

- Híbrido III infantil 3 años.
- Híbrido III infantil 6 años.
- Híbrido III infantil 10 años.

El modelo híbrido III está diseñado para pruebas de impacto frontal, no es útil para impactos laterales, vuelcos o impactos traseros. Por lo tanto, se han desarrollado nuevos modelos de maniqués adecuados para cada tipo de prueba (Molina, 2017).

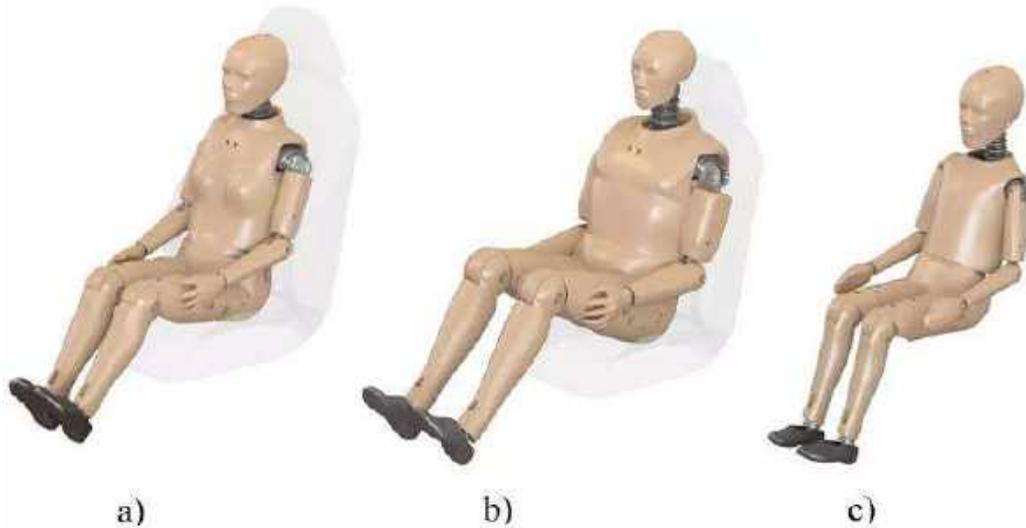


Figura 21-2. a) Híbrido femenino III 5%. b) Híbrido III masculino, 95%. c) Híbrido III 10 años.

Fuente: (Humanetics, 2021)

Finalmente, se han desarrollado otros modelos como:

2.3.8.1 SID (*Maniqué de impacto lateral*)

Por sus siglas en inglés significa maniqué de impacto lateral diseñado especialmente para medir las costillas, columna vertebral y choques entre órganos internos como la cavidad torácica en choques laterales, permitiendo obtener datos de aceleración en la columna y costillas, además, de medir la compresión en la caja torácica del maniqué. Este modelo fue desarrollado a finales de los años 70 por la empresa NHTSA (Maurath y Guha, 2012).

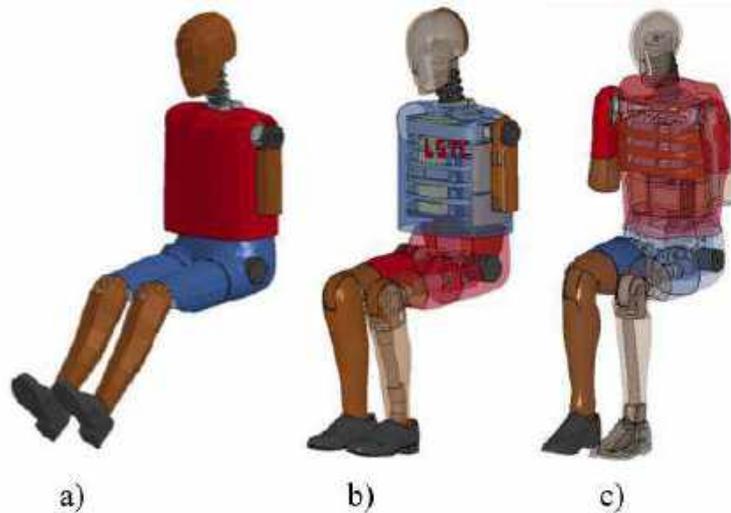


Figura 22-2. a) SID-IIs D Fast. b) Detallado SID-IIs revisión D. c) Detallado Euro SID-2re

Fuente: (Maurath y Guha, 2012)

2.3.8.2 Biorid (Maniquí de impacto trasero)

Maniquí de prueba de choque que permite evaluar el latigazo cervical cuando ocurre un impacto trasero. Es muy útil para el diseño de sistemas de retención de la cabeza y el cuello porque permite conocer el movimiento relativo del torso y cabeza. Fue construido a finales del año 90 por la empresa Volvo y Saab, su característica distintiva es la columna vertebral, que consta de 24 vértebras individuales: 5 lumbares, 12 torácicas y 7 cervicales.

La prueba a la que se sometieron los maniqués es a una velocidad de impacto trasero baja y los asientos son casi idénticos permitiendo recopilar mediciones de fuerzas de choque en la parte superior e inferior del cuello (Green Car, 2012).



Figura 23-2: Maniquí de impacto trasero

Fuente: (Green Car, 2012)

2.3.8.3 CRABI

Es la representación de un maniquí niño sirve para medir y mejorar la efectividad de los sistemas de retención infantil se clasifican en 3 modelos de 6 meses, 12 meses y 18 meses, además, tienen sensores en la cabeza, cuello, pecho y en la pelvis y se obtiene datos sobre la energía de aceleración G's, cuando sufren impactos (Engineer, 2011).

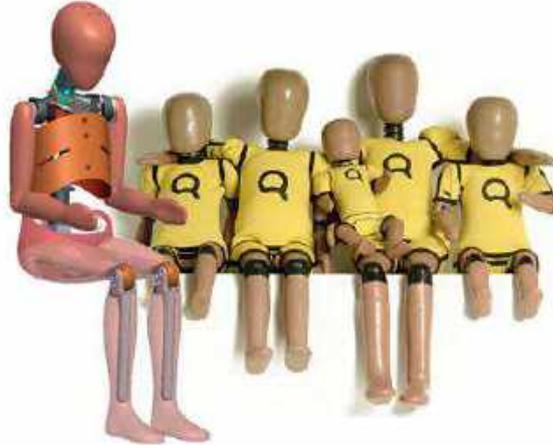


Figura 24-2. Maniquí de impacto trasero

Fuente: (Green Car, 2012)

2.3.8.4 Thor

Este modelo de maniquí percentil 50 masculino es avanzado y es el sucesor del modelo híbrido III. Se ha mejorado la estructura de la columna vertebral y pelvis es más real y parecido al ser humano, el diseño actual del THOR incorpora sensores e instrumentación avanzados que emiten más de 100 canales de datos que permiten la evaluación del riesgo de lesiones. En congruencia con el desarrollo del maniquí, se integró un modelo computacional de elementos finitos (FE) del percentil 50 de THOR masculino (Virginia, 2020).



Figura 25-2. Versión 2.7 del modelo NHTSA THOR FE en posición sentada

Fuente: (Green Car, 2012)

2.3.8.5 *Maniquí Híbrido III 6 años*

El maniquí de prueba de choque Híbrido III de 6 años se desarrolló originalmente en 1993 en colaboración con los Comités Biomecánicos de SAE y la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA).



Figura 26-2. Maniquí híbrido de 6 años

Fuente: (Humanetics, 2021)

Las medidas antropométricas de los maniqués se derivan de los estudios de la NHTSA, y los componentes biomecánicos se derivan de los escalamientos de los maniqués adultos. El maniquí se actualizó por completo en 1997, para permitirle evaluar la agresión de la bolsa de aire cuando el niño está cerca de una bolsa de aire inflada. La realización de la prueba OOP requiere una escala de precisión para medir la carga del cuello, la presión torácica y los parámetros de viscosidad, mientras sea robusta y repetible en las condiciones de pruebas severas (Humanetics, 2021).

2.3.9 *Modelo FE maniquí híbrido III de 6 años*

El maniquí de simulación es el Hybrid III de 6 años (H-III6C, versión Beta) ver Figura 27-2, es el maniquí de prueba de choque utilizado para evaluar sistemas de seguridad automotriz en pruebas de choque frontal, el modelo ha sido desarrollado conjuntamente por Livermore Software Technology Corporation (LSTC) y National Crash Analysis Center (NCAC), ha sido validado para las pruebas de certificación descritas en el Código de Regulaciones Federales (Mahadevaiah et al., 2013, p. 3).



Figura 27-2. Modelo FEM maniquí híbrido de 6 años

Fuente: (Mahadevaiah et al., 2013)

2.3.9.1 Características del maniquí híbrido de 6 años

A continuación, se presenta las características correspondientes a las dimensiones del maniquí

Tabla 8-2: Características del maniquí híbrido de 6 años

Descripción	Dimensión (mm)
Altura sentada	635
Estatura	1140,5
Circunferencia de la cabeza	520,7
Circunferencia del tórax	609,6
Circunferencia de la cintura	571,5
Profundidad del pecho	137,16
Altura de pivote del hombro	355,6
Altura del pivote de la cadera	68,58
Aclaramiento del muslo	96,52
Parte posterior del codo a muñeca	190,5
Longitud del hombro al codo	223,52
Longitud poplítea	330,2
Altura poplítea	279,4
Longitud de nalga a la rodilla	381
Ancho de pie	69,85

Fuente: (Humanetics, 2021)

2.3.9.2 Unidades del modelo del maniquí

El modelo de elementos finitos del maniquí híbrido III de seis años está publicado en las unidades de mm, ms, kg y kN. Una de las características de los programas de elementos finitos es que no entiende de unidades, solo de valores que el usuario establece y las unidades deben ser coherentes, por lo tanto, para evitar problemas en la tabla 9-2 se muestra las unidades utilizadas en esta investigación.

Tabla 9-2: Unidades para el proceso de simulación

Magnitud	Unidad de medida
Masa	Kilogramo (kg)
Tiempo	Milisegundo (ms)
Fuerza	Kilo Newton (KN)
Longitud	Milímetro (mm)

Fuente: (Martín, 2010)

El dummy masculino híbrido III de 6 años tiene una masa de 23,40 kg. En la tabla 10-2, se muestra por componente las masas del maniquí, además los materiales del maniquí son variados que incluyen gomas, espuma, plásticos, acero y aluminio para simular el comportamiento mecánico del ser humano y así poder medir los daños en caso de sufrir una colisión.

Tabla 10-2: Masa de los componentes del maniquí

Componente/parte	Peso (Kg)	Modelo FE Peso, (kg)
Cabeza	3,47	3,47
Cuello	0,54	0,55
Conjunto de torso superior	5,56	5,42
Torso inferior	6,23	6,50
Brazos superior, izquierdo o derecho	0,47	0,46
Brazos inferior izquierdo o derecho	0,45	0,43
Manos izquierda o derecha	0,17	0,15
Muslos, izquierdo o derecho	1,45	1,46
Piernas izquierda o derecha	0,86	0,86
Pie izquierdo o derecho	0,38	0,37
Peso total	23,40	23,40

Fuente: (Calle y Luna, 2016)

2.3.9.3 Calibración del maniquí híbrido III de 6 años

Las pruebas de certificación del maniquí son la prueba de caída de cabeza, péndulo en el cuello, en el tórax y la prueba de impacto en la rodilla.

2.3.9.4 Calibración de la cabeza

El modelo de la cabeza se evaluará de acuerdo con las siguientes condiciones:

- El conjunto de la cabeza se deja caer desde una altura de $376,0 \pm 1,0$ mm ($14,8 \pm 0,04$ in).
- El punto más bajo de la frente debe estar a $376,0 \pm 1,0$ mm ($14,8 \pm 0,04$ pulgadas) de la superficie de impacto y la cabeza debe estar orientada con una inclinación de 62 ± 1 grado. entre el plano "D" y el plano de la superficie de impacto.
- La aceleración máxima resultante en el centro de gravedad de la cabeza no debe ser inferior a 245 G ni superior a 300 G.
- La aceleración resultante debe ser unimodal; las oscilaciones después del pico principal deben ser inferiores al 10 % de la aceleración resultante máxima.
- Las aceleraciones laterales deben ser inferiores a 15 G.

Tabla 11-2: Resumen de simulación de caída de cabeza

Parámetros de prueba	Especificación	Resultados de la simulación
Aceleración pico resultante	245-300 g	260 g
Aceleración lateral máxima	± 15 g	-27 g
Curva de aceleración es unimodal	Dentro del 10% del pico	Si

Fuente: (Mahadevaiah et al., 2013)

2.3.9.5 Calibración del cuello y procedimiento de prueba

Para calibrar el cuello del maniquí híbrido III de 6 años es necesario seguir el siguiente procedimiento:

- Montar el conjunto cabeza-cuello en el péndulo para la prueba de flexión del cuello
- Suelte el péndulo y déjelo caer libremente desde una altura para lograr una velocidad de impacto de $4,95 \pm 0,12$ m/s ($16,2 \pm 0,4$ pies/s)
- El plano "D" deberá girar en la dirección del vuelo previo al impacto con respecto a la línea central longitudinal del péndulo entre 74 grados y 92 grados.
- Dentro del corredor de rotación, el momento máximo sobre los cóndilos occipitales no debe ser inferior a 27 N-m (19,9 ft-lbf) ni superior a 33 N-m (24,3 ft-lbf)
- El momento positivo decaerá por primera vez a 5 N-m (3,7 ft-lbf) entre 103 ms y 23 ms
- El momento se calculará mediante la fórmula Momento (N-m) = $My - (0.01778m) \times (Fx)$

Tabla 12-2: Resumen de calibración de flexión del cuello

Parámetro de prueba		Especificación	Resultado de la simulación
Velocidad del péndulo		4,83 - 5,07	5,01 m/s
Desaceleración del péndulo	10 ms	1,2 – 1,6 m/s	1,57 m/s
	20 ms	2,4 - 3,4 m/s	3,04 m/s
	30 ms	3,8 – 5,0 m/s	4,32 m/s
Rotación del plano D	Máx.	74, 92 grados	75 grados
Momento sobre occipital cóndilo en deflexión corredor	Máx.	27 – 33 Nm	36,5 Nm
Caída de la curva de tiempo de momento positivo a 5 Nm		103 – 123 ms desde tiempo cero	102 ms

Fuente: (Mahadevaiah et al., 2013)

2.3.9.6 Calibración de prueba y ensamble del tórax

La prueba de calibración del tórax debe cumplir el siguiente proceso:

- El maniquí completamente ensamblado recibe el impacto de una sonda de prueba de $101,6 \pm 0,25$ mm ($4,00 \pm 0,01$ in) de diámetro y $2,86 \pm 0,02$ kg ($6,3 \pm 0,05$ lb) a $6,71 \pm 0,12$ m/s.
- Durante el impacto, la línea central de la sonda coincide con el plano sagital medio del maniquí y está $12,7 \pm 1,1$ mm ($0,5 \pm 0,04$ in) por debajo de la línea central periférica horizontal de la costilla n. 3
- El desplazamiento máximo del esternón en relación con la columna no debe ser inferior a 38,0 mm (1,5 in) ni superior a 46 mm (1,8 in).
- Dentro del corredor de compresión especificado, la fuerza máxima no debe ser inferior a 1150 N (259lbf) ni superior a 1380 (310 lbf). La fuerza máxima después de 12,5 mm (0,5 in) de desplazamiento del esternón no debe exceder los 1500 N (337,2 lbf)
- La histéresis interna no debe ser inferior al 65 por ciento ni superior al 85 por ciento.

Tabla 13-2: Resumen de calibración de impacto en el tórax

Parámetros de prueba	Especificación	Resultados de la simulación
Velocidad de la sonda	6,59 – 6,83 m/s	6,71 m/s
Deflexión máxima	38 – 46 mm	45,5 mm
Fuerza resistiva máxima dentro del corredor de deflexión	1150 – 1380 norte	1387 norte
Histéresis interna	65 - 85%	62,7%
Fuerza máxima 12,5-38 mm	1500 N	1653 N

Fuente: (Mahadevaiah et al., 2013)

2.3.9.7 Prueba de impacto de rodilla

Para determinar el comportamiento de la rodilla del maniquí se aplica los siguientes pasos:

- El conjunto de rodilla recibe el impacto de una sonda de prueba de $76,2 \pm 0,2$ mm ($3 \pm 0,01$ in) de diámetro y $0,82 \pm 0,02$ kg ($1,8 \pm 0,05$ lb) a una velocidad de $2,1 \pm 0,03$ m/s ($6,9 \pm 0,1$ ft/s).
- La fuerza de resistencia máxima no debe ser inferior a 2,0 kN ni superior a 3,0 kN (625 lbf).

Tabla 14-2: Resumen de calibración de impacto de rodilla

Parámetros de prueba	Especificación	Resultados de la simulación
Velocidad de la sonda	2,07 -2,13 m/s	2,10 m/s
Fuerza máxima	2,0 – 3,0 KN	2,44 KN

Fuente: (Mahadevaiah et al., 2013)

2.3.10 Trineo de impacto

Los sistemas de prueba de trineo han sido utilizados por las industrias automotriz y aeroespacial durante décadas como una herramienta para desarrollar sistemas de seguridad. Las pruebas de trineo permiten a los ingenieros reproducir las condiciones dinámicas de un evento de choque a gran escala en un entorno controlado y por una fracción del costo de una prueba de choque (Exponente, 2022).

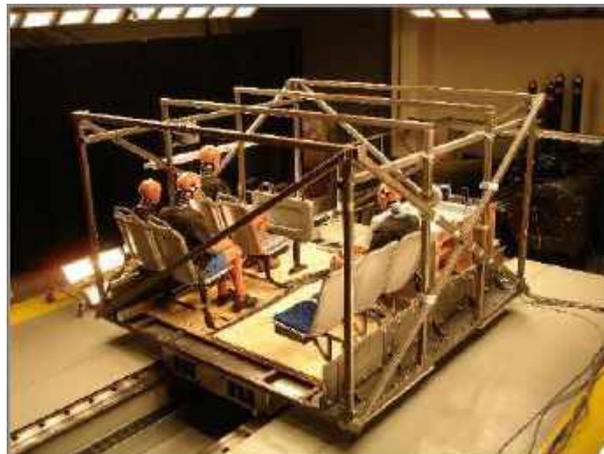


Figura 28-2. Configuración de prueba de trineo frontal.

Fuente: (Olivares y Yadav, 2015)

Los sistemas de trineo brindan condiciones de impacto repetibles y confiables en torno a las cuales se pueden desarrollar asientos, cinturones de seguridad y sistemas de sujeción complementarios para automóviles. Por lo general, tales pruebas se realizan para representar una colisión frontal simple. Sin embargo, incluso los eventos de choque muy complejos, como los creados por

impactos que involucran a dos vehículos en movimiento, pueden modelarse mediante un sistema de trineo. Exponent ha desarrollado un proceso para determinar la forma del pulso, la magnitud y la dirección principal de la fuerza (PDOF) de un pulso de trineo cuando se le presentan dichos datos de prueba de choque (Exponente, 2022).

2.3.11 Mercado de plataformas para simulación

En el mercado internacional existen varios fabricantes que ofertan los sistemas de colisión frontal entre los que se destacan los siguientes.

2.3.11.1 Trineo modelo Messering (Movilidad más segura)

El trineo de impactos CIS es un sistema de pruebas diseñado para comprobar componentes de vehículos de forma no destructiva. Los asientos, cinturones de seguridad, bolsas de aire y más se pueden probar con precisión de acuerdo con los reglamentos establecidos. El trineo se puede instalar con un espacio mínimo y no requiere cimentaciones adicionales para una prueba completa de choque, entre la aplicación está CEPE 80, CEPE 14, FAR 25.562, EURO NCAP, ANCAP, CNCAP, JNCAP, FMVSS 220a y IHS RCAR-IIWPG.

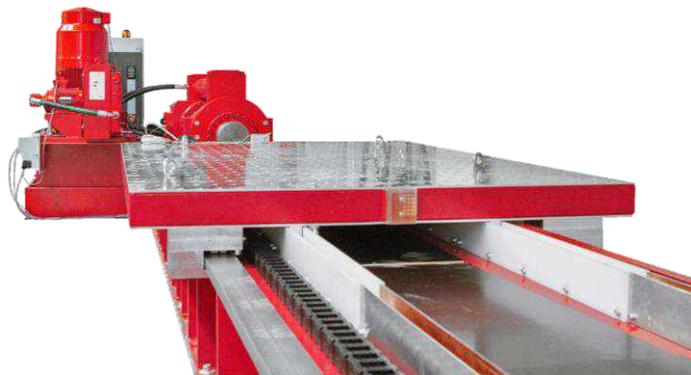


Figura 29-2. Trineo de impacto modelo CIS

Fuente: (Messring, 2022)

2.3.11.2 Trineo modelo Aries

Las instalaciones de trineos de ARIES están diseñadas para realizar simulaciones de choques sobre asientos, sistemas de sujeción y otros componentes, como sistemas ISOFIX o pruebas de baterías, para investigación, desarrollo, certificación o conformidad de producción, ya sea sobre vehículos completos o componentes automotrices, bajo reglamentos ECE R14, ECE R16, ECE R17, ECE R44, ECE R80, ECE R100, ECE R126, ECE R129, FMVSS 202a, FMVSS 213 GB 11550-2009 GB 14166-2013, ENCAP/ANCAP (Aries, 2022).



Figura 30-2. Trineo de impacto modelo Aries

Fuente: (Aries, 2022)

2.3.11.3 *Trineo modelo Seattle Safety*

El trineo tiene un sistema de prueba de colisión de vehículos destructivos y no destructivos con tecnología avanzada y una gama completa de productos y servicios. Con sede en Auburn, Washington, la empresa comenzó a diseñar y suministrar equipos de pruebas de choque en 1996, principalmente a las industrias automotriz y aeroespacial. Desde el lanzamiento del ServoSled en 2002, Seattle Safety ha estado mejorando el rendimiento de los laboratorios de seguridad de pruebas de choque en todo el mundo en una amplia gama de aplicaciones que incluyen sistemas de seguridad de los ocupantes, investigación biomecánica y pruebas de estructuras de vehículos (Seattle, 2022).

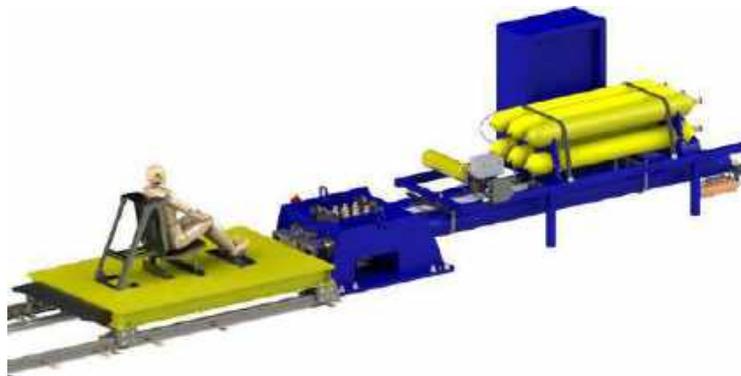


Figura 31-2. Trineo de impacto modelo Seattle Safety

Fuente: (Seattle, 2022)

2.3.12 *Curva de desaceleración para pruebas de trineo*

Los reglamentos de las Naciones Unidas contienen disposiciones relativas a vehículos, sistemas, componentes y equipos relacionados con la seguridad de los vehículos. Incluye requisitos de prueba basados en procesos administrativos para homologaciones de los vehículos. Para desarrollar este trabajo se tienen en cuenta los reglamentos y la curva de aceleración necesarios para la evaluación que describen para la realización de las pruebas de impacto (Molina, 2017, p. 35).

Tabla 15-2: Configuraciones de varias normas para pruebas de trineo

Regulaciones	Especificaciones de las pruebas de trineo	
	Velocidad (km/h)	Distancia de frenado (mm)
FMVSS 213	35 ± 2	400 ± 20
ECE R16	50 ± 1	400 ± 20
ECE R17	50 ± 2	440 ± 20
ECE R44	$50 + 2/30 + 2$	$650 \pm 30 / 275 \pm 20$
ECE R80	$30 + 2$	250 ± 20

Fuente: (Molina, 2017)

Un ejemplo de la curva de desaceleración utilizada para pruebas de evaluación dinámica y sistemas de seguridad se muestra en la figura 32-2 donde se detalla la curva según la norma ECE R80.

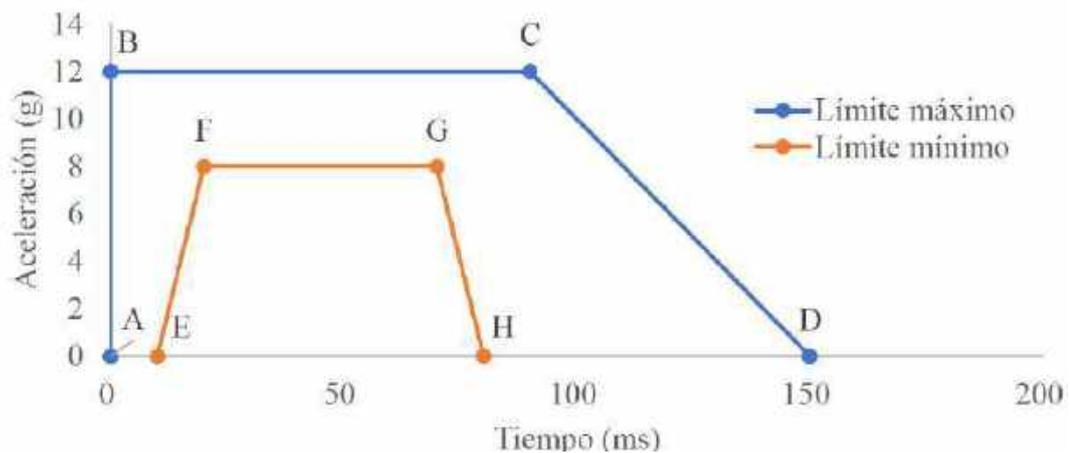


Figura 32-2. Curva de desaceleración bajo normativa ECE R80

Fuente: (UNECE /CEPE, 2010)

2.4 Identificación de variables

Variable independiente: Impacto frontal.

Variable dependiente: Maniquí híbrido III de 6 años / Lesiones

2.5 Operacionalización de variables

Tabla 16-2: Operacionalización de las variables

Variable	Tipo de variable	Concepto	Indicador	Técnica	Instrumento
Impacto frontal	Independiente	El impacto frontal presenta una mayor incidencia tanto de lesiones como de muertes en pasajeros. En el caso de una colisión frontal	Estructura minibús Estructura asiento Perfiles comerciales Propiedades de los materiales	Observación Experimental Toma de datos	Fichas de datos Norma NTE INEN 041 Software de diseño CAD
Maniquí híbrido III de 6 años / Lesiones	Dependiente	Modelo basado en el maniquí de prueba de choque para niños de seis años para pruebas de impacto frontal.	Utiliza cinturón de seguridad No utiliza cinturón de seguridad	Observación Experimental Toma de datos	Software de simulación por método de elementos finitos
Criterios de aceptación	Dependiente	Lesiones que se presentan en el ocupante del minibús cuando ocurre un impacto frontal.	Cabeza Compresión tórax Fémur	CEPE R 94 EURO NCAP CEPE R 80	Software de simulación por método de elementos finitos

Tabla 17-2: Operacionalización de las variables

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Con la evaluación de lesiones en maniquí híbrido III de 6 años durante el impacto frontal del minibús escolar, se podrá verificar el cumplimiento de los criterios de aceptación según CEPE R 94 y EURO NCAP utilizando el método de elementos finitos.	Evaluación de lesiones en maniquí híbrido III de 6 años durante el impacto frontal del minibús escolar para verificar el cumplimiento de los criterios de aceptación según CEPE R94 y EURO NCAP utilizando el método de elementos finitos.	Al evaluar las lesiones en el maniquí híbrido III de 6 años durante el impacto frontal del minibús escolar, si se verificará el cumplimiento de los criterios de aceptación según Normativa CEPE R94 y EURO NCAP mediante el método de elementos finitos.	Variable ind. Impacto frontal	Velocidad de impacto	Experimental	Simulación computacional
			Variable dep. Criterios de aceptación	Cabeza, compresión tórax, Fémur	Experimental Toma de datos Observación	Simulación computacional CEPE R94 y EURO NCAP
Como analizar características de fabricación nacional para determinar la resistencia estructural en un impacto frontal del minibús escolar y asiento mediante simulación en software de elementos finitos	Analizar las características de fabricación nacional para determinar la resistencia estructural en un impacto frontal del minibús escolar, asiento y anclajes mediante simulación en software de elementos finitos.	Al Analizar las características de fabricación nacional si se determinará la resistencia estructural en un impacto frontal del minibús escolar, asiento y anclajes mediante simulación en software de elementos finitos.	Variable interviniente	Formas de medir	Como se mide	Que utilizaron para medir
			Características de fabricación a nivel nacional Resistencia estructural minibús escolar, asiento	Estructura de minibús, asiento Perfiles comerciales Propiedades del material Esfuerzos máximos desplazamientos máximos	Dimensión estándar Ensayos Experimental Observación	Provedores Máquina universal Ficha de datos INEN 1668, 041, 1323 Software CAD Simulación computacional

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo y diseño de la investigación

3.1.1 Descriptiva

La investigación es de tipo descriptiva porque se evaluó el comportamiento del maniquí híbrido III de 6 años y se analizó, cuáles son las lesiones leves o severas que aparecen en el impacto frontal, también, se observó el comportamiento mecánico de la carrocería y asientos, por último, se comprobó como influyen en los pasajeros, cuando sufren este tipo de accidente.

3.1.2 Explicativo

El presente trabajo es explicativo porque, se conoce el proceso de fabricación del minibús escolar, y mediante los planos estructurales se desarrolló el modelo CAD de la carrocería en 3D, así mismo, con el método de elementos finitos se evaluó, el comportamiento estructural de la carrocería durante el impacto frontal, y cómo influye en el pasajero representado en un maniquí certificado para comprobar que tipo de lesiones aparecen en este siniestro, también, permitirá mejorar el diseño de la carrocería y asientos, de esta manera se busca mejorar la seguridad pasiva de los ocupantes del minibús escolar.

3.2 Método de la investigación

3.2.1 Bibliográfico

Este proyecto de investigación se sustenta en referentes bibliográficos para las variables de estudio mediante documentos escritos como: tesis de doctorado, tesis de maestría, libros, artículos científicos, normas estandarizadas para ensayos de impacto, biblioteca virtual de la ESPOCH, y manuales técnicos que permitan el desarrollo del estudio.

3.2.2 Experimental

Esta investigación es experimental porque se manipulan las variables en estudio y se verificará la incidencia de la variable independiente en la dependiente, además, se controlan variables que intervienen pero que no son tomadas en cuenta en este estudio, por ejemplo, el mallado y

soldadura para la fabricación de la carrocería y asiento. Para el ensayo de impacto frontal se realizará la simulación por el método de elementos finitos y mediante varias simulaciones se busca establecer un procedimiento adecuado y obtener resultados cercanos a la realidad.

3.3 Enfoque de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo porque se obtendrán valores para las variables planteadas en este estudio. En el primer análisis por elementos finitos se comprobará los desplazamientos, y fallas de los elementos estructurales de la carrocería y del asiento escolar, que afectan directamente en la seguridad pasiva del pasajero. Luego, con el ingreso de los maniqués se realizará la simulación por elementos finitos, para verificar las lesiones de la cabeza, tórax y fémur de los pasajeros durante el impacto frontal. Finalmente, se compararán los valores obtenidos en la simulación con los rangos de velocidades permitidas por las normativas CEPE R80, R94 y EURO NCAP, con el propósito de demostrar la hipótesis antes descrita, mediante gráficas y tablas que evidencian el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación.

3.4 Alcance de la investigación

Actualmente en el país las industrias carroceras vienen fabricando minibuses escolares sin evaluar el comportamiento de la estructura de la carrocería y asiento durante el impacto frontal, tampoco se evalúa las posibles lesiones del pasajero durante este tipo de accidentes. Por lo tanto, la presente investigación tiene como alcance simular mediante el método de elementos finitos la resistencia estructural de la carrocería del minibús escolar de 34 pasajeros sentados. Después se incluye el maniquí híbrido III de 6 años en el modelo de la carrocería y asiento, para evaluar las posibles lesiones de la cabeza, compresión del tórax y fémur, cuando el pasajero no utiliza el cinturón de seguridad y cuando utiliza el mismo. Para de esta manera, comprobar si cumple con los criterios de aceptación de los reglamentos CEPE R94 y EURO NCAP. También, se realizó la prueba de trineo de impacto, con el método de elementos finitos de una sección de la carrocería, para mediante la normativa CEPE R80, verificar y comparar las lesiones de la cabeza, tórax y fémur del maniquí utilizado en la simulación de impacto frontal. Finalmente, se comparó los resultados obtenidos del análisis computacional.

3.5 Población de estudio

La población se ha determinado por el modelo de autobús de servicio escolar más comercial que está homologado, chasis y marca, por lo tanto, en este estudio el modelo seleccionado es el minibús escolar de chasis mercedes.

3.6 Unidad de análisis

La unidad de análisis para la presente investigación estuvo representada en las lesiones que sufren los pasajeros durante el impacto frontal de minibús escolar a diferentes velocidades de impacto.

3.7 Selección de la muestra

La muestra se estableció en el minibús escolar y en base a los reglamentos R94 y EURO NCAP para lograr verificar el cumplimiento de los requisitos en cuanto a lesiones en el pasajero durante el impacto frontal, buscando, así, reducir la tasa de mortalidad o fracturas graves.

3.8 Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios

Con el fin de evaluar las posibles lesiones del pasajero representado en el maniquí híbrido III de 6 años es necesario conocer las características generales del minibús escolar que actualmente se fabrica, por lo tanto, se obtiene los planos en 2D de fabricación de la carrocería, posteriormente, se realizó la geometría de la estructura total del minibús en 3D, de esta manera se modela el techo, piso, laterales, anclajes, frente y respaldo. Luego se exportó el ensamble a un software especializado en elementos finitos, para configurar el espacio de trabajo, material, sección de perfiles estructurales, espacio entre asientos, mallado y se aplicó las condiciones de frontera y tiempo de análisis, para finalmente, ingresar el maniquí híbrido III de seis años, con todos estos parámetros, se realizó la simulación del impacto frontal. Por otra parte, es importante modelar la geometría en superficie (Shell) esto ayudó a reducir el gasto computacional que es elevado en este tipo de investigaciones, en la figura 1-3 se evidencia el plano comercial del minibús escolar.

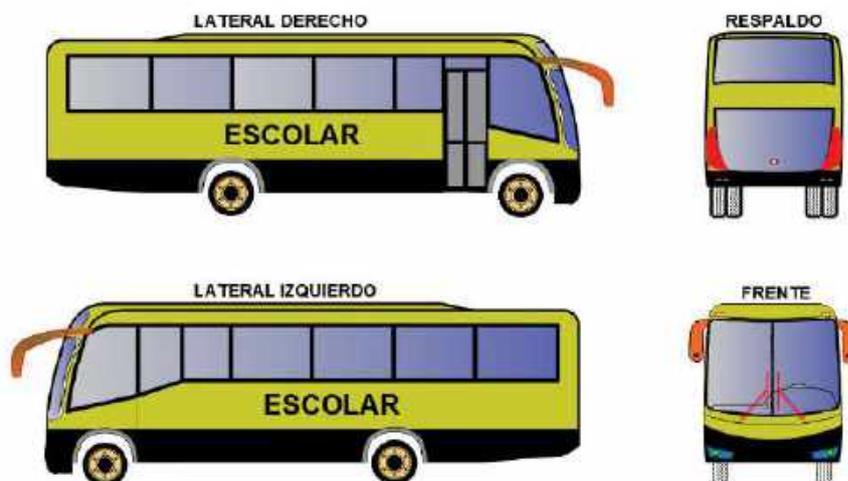


Figura 1-3. Plano comercial minibús escolar

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.8.1 Modelado tridimensional del autobús escolar

Para modelar la carrocería se toma en cuenta los planos de construcción y se comprueba las dimensiones generales de la carrocería, y se considera toda la estructura para la simulación incluido el chasis, en esta etapa se debe poner atención en todos los detalles de diseño para que sea igual al modelo real y así evitar fallas en el modelo CAD. Para dar inicio al modelo CAD 3D se inicia con el corte transversal de la estructura e incluye tubería de los apoyos, cerchas y techo, es importante visitar el área de producción de cada componente del minibús escolar para aplicar, los métodos y técnicas de construcción ver figura 2-3.

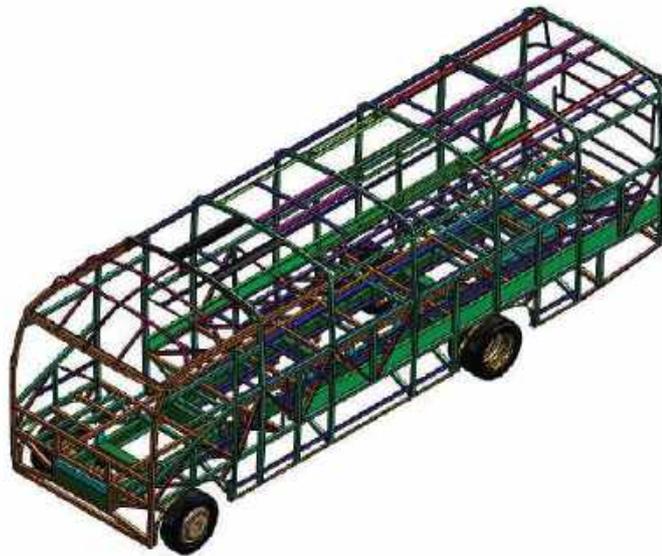


Figura 2-3. Modelo CAD carrocería minibús escolar

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.8.2 Lista de materiales utilizados

La tabla 1-3 presenta los materiales utilizados en la fabricación de la carrocería del minibús escolar que son de fácil adquisición en el mercado local y nacional.

Tabla 1-3: Lista de perfiles estructurales para la fabricación de la carrocería

N°	Denominación	Ubicación
1	TC 50x50x2mm	Laterales y techo
2	TC 50x50x3mm	Apoyos y frente
3	Omega 20x50x50x20x1,4 mm	Techo
4	TR 50x25x1,5mm	Techo claraboya
5	CU 80x40x2mm	Piso
6	TR 100x50x3mm	Apoyos
7	TR 50x25x2mm	Laterales

8	CU 50x20x2mm	Arco llantas
9	ANG 30x30x3mm	Laterales soporte
10	TR 40x20x2mm	Concha frente
11	TC 30x30x2mm	Respaldo
12	TC 40x40x2mm	Puerta y respaldo
13	TC 25x25x2mm	Respaldo
14	Perfil Z 50x50x2mm	Techo

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.8.3 *Diseño tridimensional del asiento escolar*

La fabricación del asiento se realizó con las dimensiones estandarizadas en la norma RTE INEN 041:2013 el asiento es diseñado para soportar al pasajero y las cargas que aparecen cuando el vehículo está en movimiento. Por lo tanto, se modeló la estructura, esponjas (espaldar y cojín) en software de diseño 3D, el asiento también es modelado en tipo superficie que es lo más recomendado para los estudios dinámicos explícitos.



Figura 3-3. Asiento tridimensional para servicio escolar

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.8.4 *Distribución de asientos de servicio escolar en la carrocería*

De acuerdo con el reglamento técnico ecuatoriano (RTE INEN 041:2013), para la distribución de asientos escolares en el interior del autobús, recomienda colocar en dos hileras con una distancia mínima de 680 mm, medido desde la parte posterior del asiento, y la parte anterior del siguiente. En este modelo se instalan 34 asientos sin incluir el asiento del conductor, ver la figura 4-3.

DISTRIBUCIÓN DE ASIENTOS

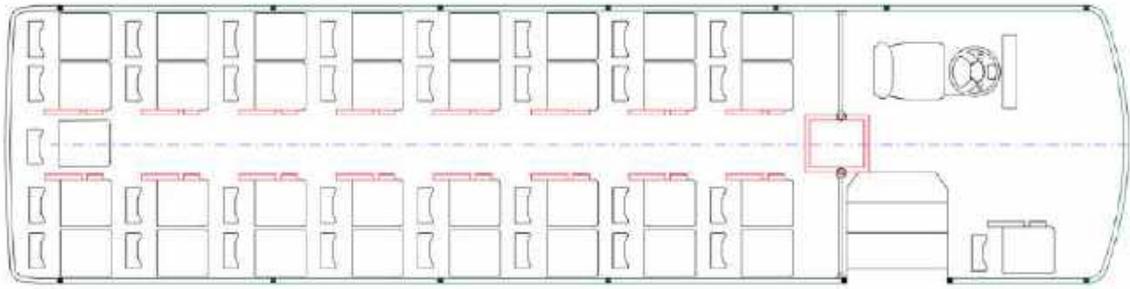


Figura 4-3. Distribución de asientos en el autobús escolar

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.9 Evaluación mediante impacto frontal contra una pared

3.9.1 *Ensamble del autobús escolar y asientos*

Los modelos obtenidos de la carrocería y asiento escolar deben ser ensamblados para eliminar algunos detalles que pueden causar problemas al momento de preparar la geometría para la simulación del impacto frontal, además, se crea una pared que soporta el impacto frontal, y el piso sobre el cual se desplaza el minibús escolar como se muestra en la figura 5-3.

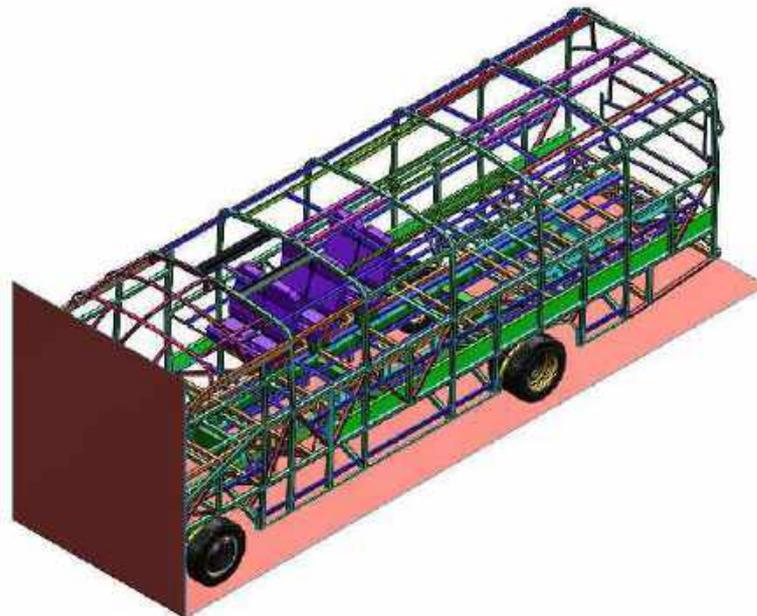


Figura 5-3. Ensamble carrocería minibús, asiento escolar, pared rígida

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

La conexión del asiento se realiza por medio de la pata del asiento que va unido al piso del minibús escolar, mientras que el otro extremo del asiento se conecta a la pared del autobús por intermedio de un ángulo que conecta el asiento con el perfil zócalo, en la figura 6-3 se evidencia la distribución de asientos que son parte de este estudio.

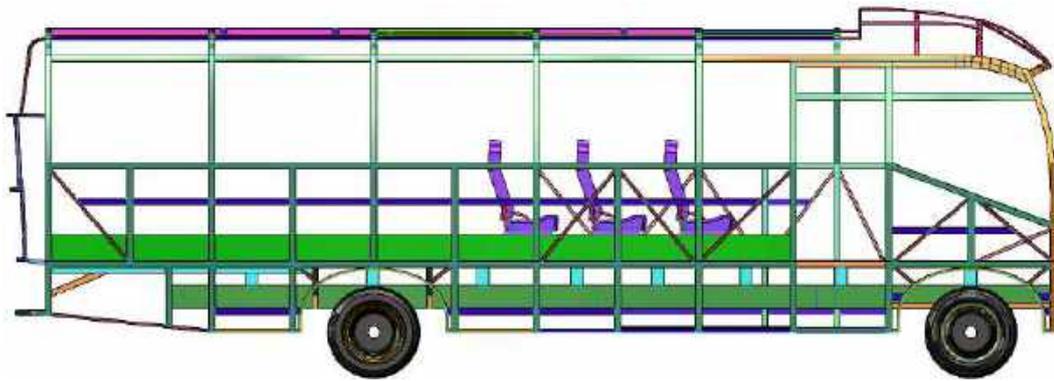


Figura 6-3. Vista lateral de instalación del asiento escolar

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.9.2 *Mallado del autobús y asiento*

Con la geometría ensamblada se exporta al software especializado en elementos finitos, y como primer paso se realizará el mallado de la carrocería ver figura 7-3, que tiene un tamaño de 25 mm. Según Atacusí (2020) el tamaño de malla es adecuado, uniforme y genera resultados confiables que sirven como base para futuras investigaciones a realizarse sobre esta temática, después se realiza, la malla de la estructura del asiento escolar con un tamaño de 15 mm. Tomando en cuenta a Córdova, (2020), el tamaño de malla es idóneo para la simulación por elementos finitos permitiendo obtener elementos cuadriláteros y triangulares tipo shell que se adaptan a varias geometrías irregulares de la estructura del asiento.

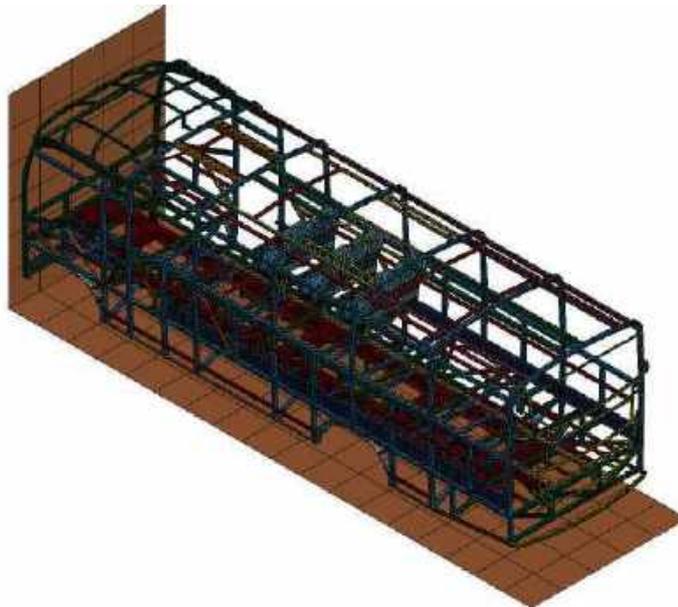


Figura 7-3. Mallado del autobús, asiento escolar y pared rígida.

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Las esponjas (espaldar y cojín) tienen un tamaño de 30 mm, de acuerdo con Guananga (2022), este tamaño de malla es adecuado porque se adapta al modelo de la geometría generando elementos cuadriláteros y triangulares tipo shell con una métrica de calidad de mallado de jacobiano de 0.6 esto permite obtener buenos resultados en la simulación. Finalmente, la pared y el piso tienen un tamaño de malla de 500 mm, con el objetivo de reducir recursos computacionales en el tiempo de análisis de la simulación y porque la pared y piso son rígidas sin movimiento (Thoung, 2019).

El mallado de la carrocería, asiento, esponjas, pared y piso se creó usando una combinación manual/automática lo que asegura una representación de los miembros estructurales en tres dimensiones con elementos tipo shell y en las uniones de los tubos (soldadura) se considera los nodos compartidos (ver figura 8-3) y la precisión depende de la cantidad de nodos y elementos, el tamaño de la malla y el tipo de elemento. Por lo tanto, mientras más uniforme y ordenada sea el mallado de la estructura, más precisos serán los resultados del análisis.

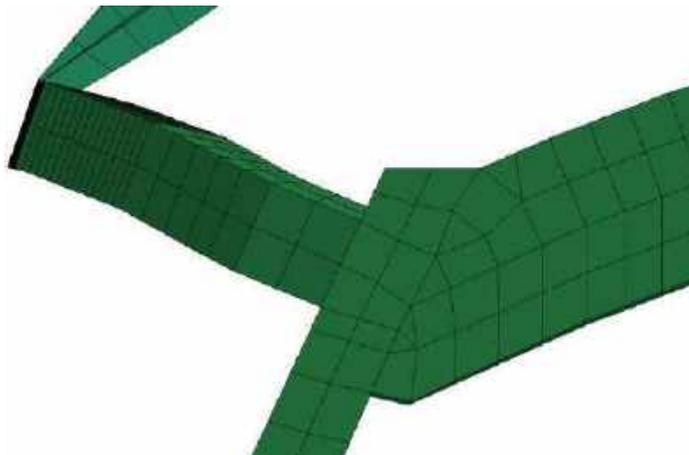


Figura 8-3. Sección de malla en uniones con nodo compartido.

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.9.2.1 Masa del minibús escolar

Es necesario determinar el centro de gravedad del minibús escolar, mediante el uso del software CAD se realizó el modelo completo con cada uno de los miembros estructurales que conforman su geometría, espesores y material lo que permite obtener la masa y ubicar el centro de gravedad como se muestra en la figura 9-3.

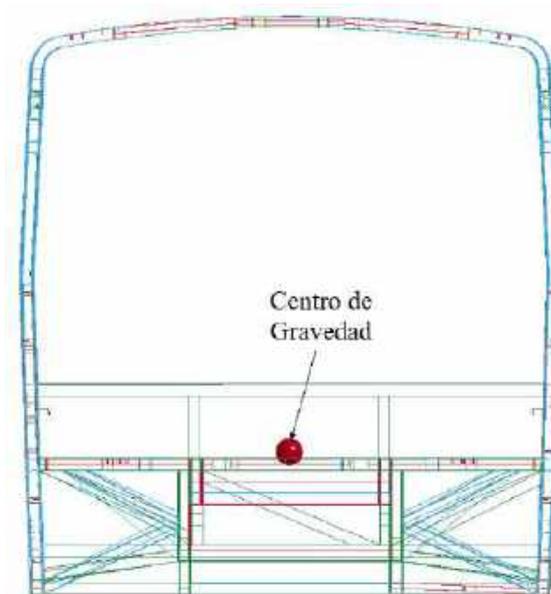


Figura 9-3. Ubicación del centro de gravedad del minibús.

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

La masa total del minibús tiene una masa de 6500 kilogramos, por lo tanto, la masa del chasis se obtiene del catálogo de especificaciones de Mercedes Benz, (2022), para la masa del asiento se toma los datos reales obtenidos del pesaje del asiento escolar realizado en la investigación de Córdova, (2020), la masa del conductor se consideran de acuerdo al reglamento R66 que recomienda la masa de una persona adulta en 75 Kg, y el maniquí tiene una masa de 23,4 kg, en la tabla se evidencia el peso total del minibús escolar.

Tabla 2-3: Masa total del minibús escolar

Componente	Cantidad	Masa (kg)	Masa Total (kg)
Chasis	1	2670	2670
Carrocería	1	2476,32	2476,32
Asiento escolar mancuerna	17	26,74	454,58
Pasajero (niño 6 años)	34	23,4	795,6
siento conductor	1	28,5	28,5
Conductor	1	75	75
Total			6500

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Además, se realizó una comparación de la masa de la carrocería modelada con un valor de 2450,58 kg, y el peso del minibús escolar real es de 6500 kg. Para no alterar o modificar el centro de

gravedad en el minibús escolar modelado, se coloca en el centro de gravedad un elemento masa que compensa la masa total del mismo.

3.9.2.2 Análisis de Calidad de malla de la carrocería, asiento escolar, pared rígida

Para el análisis y verificación de la calidad de malla obtenida, es necesario comprobar por varios criterios recomendados cuando se utiliza el método de elementos finitos, para este estudio se utilizó el criterio Jacobiano que define varios parámetros para el control de mallado permitiendo evaluar valores recomendados para ser aceptados o rechazados, la figura 10-3, presenta el rango de valores para determinar la calidad de malla obtenido en el modelo.

El cuadrilátero en el criterio de relación del jacobiano está dentro del rango -1.0 hasta 1.0, donde el 1.0 representa la calidad de malla perfecta, es decir mientras más cercano a 1 se encuentre el elemento finito tiene mejor confiabilidad para el análisis e interpretación de los resultados a obtener.

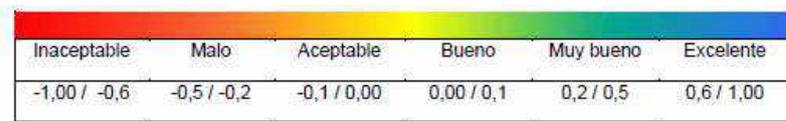


Figura 10-3. Criterio de Jacobiano para calidad de mallado

Fuente: (Ardila et al., 2016)

Para comprobar la calidad de malla se evaluó el modelo FEM de la carrocería obteniendo un valor mínimo de 0.6 y un máximo de 1, que está en el rango de muy bueno a bueno tomando en cuenta que son pocos los elementos con rango mínimo ver figura 11-3 de calidad de malla del minibús.

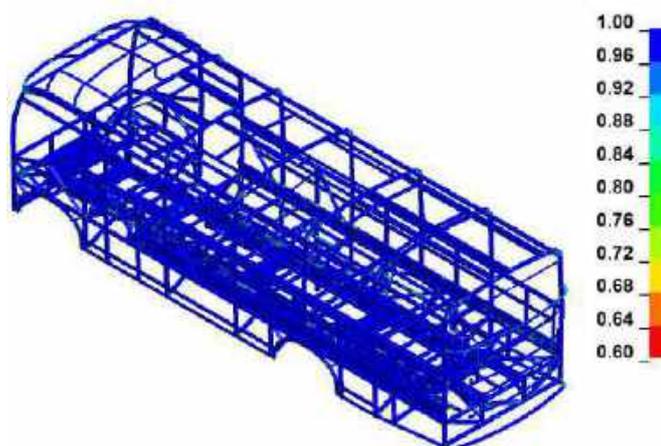


Figura 11-3. Calidad de malla estructura del autobús según criterio Jacobiano.

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

También, se verificó la calidad de malla del asiento escolar, donde se obtiene un jacobiano mínimo de 0.6 que está dentro del rango de muy bueno, además, el criterio recomendado como

aceptable es 0.3, y se comprueba que el modelo de elemento finito cumple con una buena calidad de malla. Los elementos que tienen un valor de 0.31 son los remaches que unen el espaldar con el perfil U de la base del cojín como se muestra en la figura 12-3.



Figura 12-3. Calidad de malla estructura del asiento según criterio Jacobiano.

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Posteriormente, se evaluó la calidad de malla del espaldar y cojín del asiento escolar con un valor mínimo de 0.60 predominando una buena calidad de malla como se evidencia en la figura 13-3, todos los elementos de malla de los asientos escolares están dentro del rango de aceptación de calidad de malla.

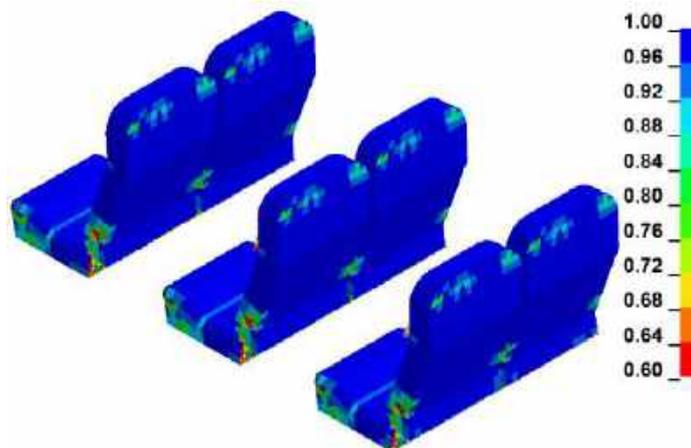


Figura 13-3. Calidad de malla del espaldar y cojín según criterio Jacobiano.

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Para terminar, se verificó la calidad de malla del piso y pared estos elementos son considerados rígidos para ahorro computacional y optimización de tiempo de solución de la simulación, como ya se indicó la pared y piso tiene un tamaño de malla de 500 mm que cubren todo el frente del autobús y el piso cubre toda el área de la carrocería, como es una superficie plana la calidad de la malla es igual a 1 como se muestra en la figura 14-3.

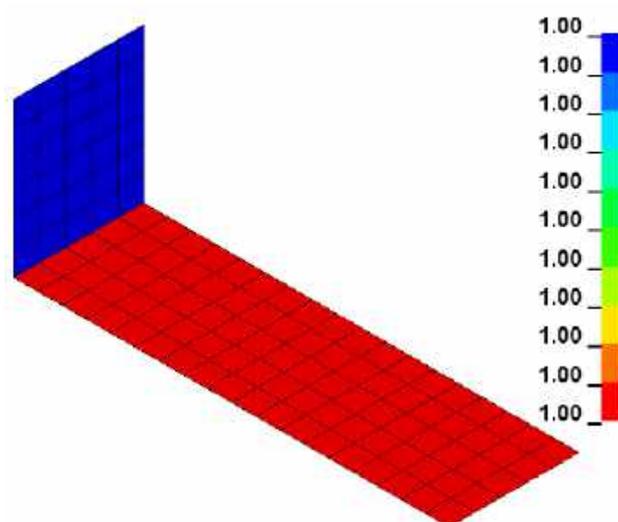


Figura 14-3. Calidad de malla del piso y pared según criterio Jacobiano.

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.9.3 *Malla del maniquí híbrido III de 6 años*

La malla del modelo de elementos finitos del híbrido III de seis años fue desarrollado por la empresa Livermore Software Technology Corporation (LSTC). La geometría del maniquí está basada en datos escaneados de un maniquí real que tiene las mismas medidas de un niño de seis años, por lo tanto, no se ha modificado ningún parámetro del modelo, finalmente, el maniquí híbrido III de 6 años está listo para ser instalado en el asiento escolar y continuar con la configuración de la simulación planteada para esta investigación en la figura 15-3, se muestra el modelo FEM.

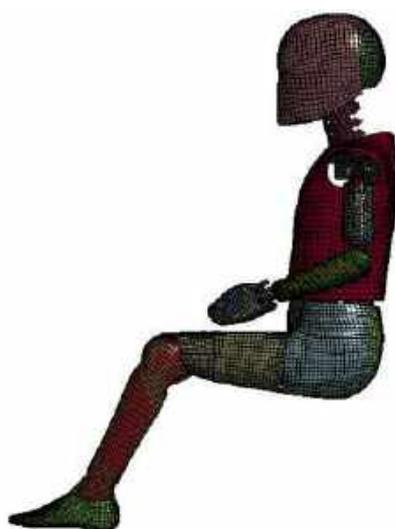


Figura 15-3. Mallado del maniquí híbrido de 6 años

Fuente: (Mahadevaiah et al., 2013)

3.9.4 Ensayo de verificación del maniquí

El objetivo principal es verificar el comportamiento del modelo computacional del maniquí híbrido III de seis años en la simulación por elementos finitos de la cabeza del maniquí y el tórax, de tal manera que se analizó los requisitos establecidos por el Departamento de Transporte de EE. UU: procedimiento de prueba de calibración parte 572 HIII para niños de seis años muñeco de prueba para niños. Finalmente se verificó los resultados obtenidos con los indicados en el informe del maniquí.

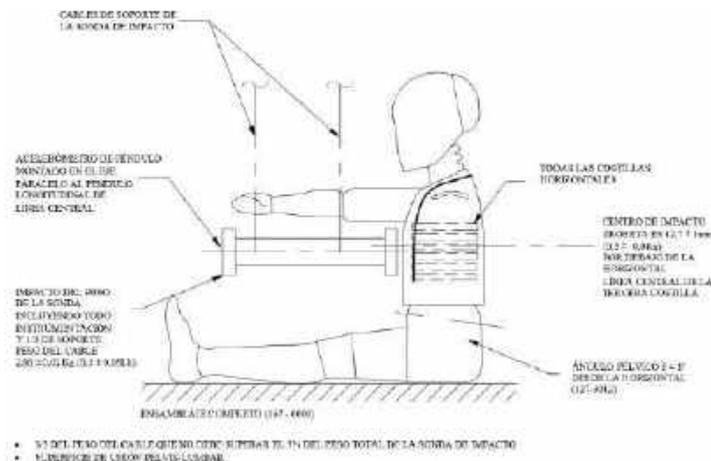


Figura 16-3. Fuerza de impacto en el tórax frente a desviación del tórax

Fuente: (CFR, 2014)

El ensayo de calibración consiste en impactar el péndulo en la caja torácica del maniquí con velocidades de 6,59 hasta 6,83 m/s, terminado el análisis se determina la deformación de la caja torácica, fuerza de impacto estos resultados se comparan con las curvas características del maniquí, de esta manera se comprueba la compresión del tórax del maniquí, que posteriormente será instalado en el minibús escolar, para la simulación del impacto frontal del mismo, en la figura 17-3 se evidencia el modelo de elemento finito utilizado para validar y calibrar el maniquí.

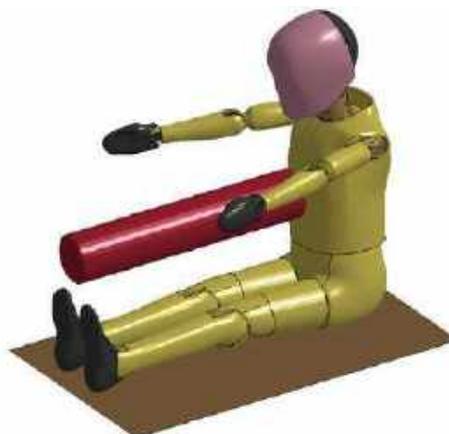


Figura 17-3. Configuración de la simulación de impacto en el tórax

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

En la figura 18-3 se evidencia la compresión máxima del tórax después de aplicar la caída del péndulo de impacto.

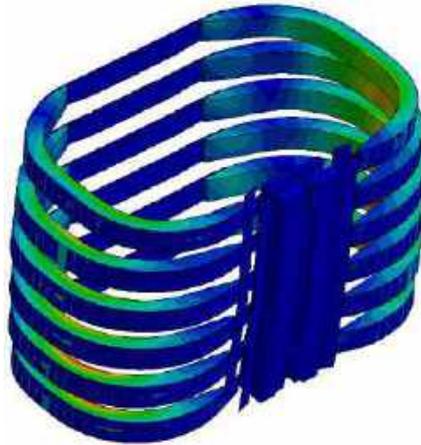


Figura 18-3. Desviación máxima de la costilla impacto del tórax

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Una vez realizada la simulación es necesario verificar la curva de impacto en el tórax frente a desviación del tórax, y se presenta en la figura 19-3. Por último, se comparará el comportamiento del maniquí simulado con el informe del maniquí del modelo FEM.

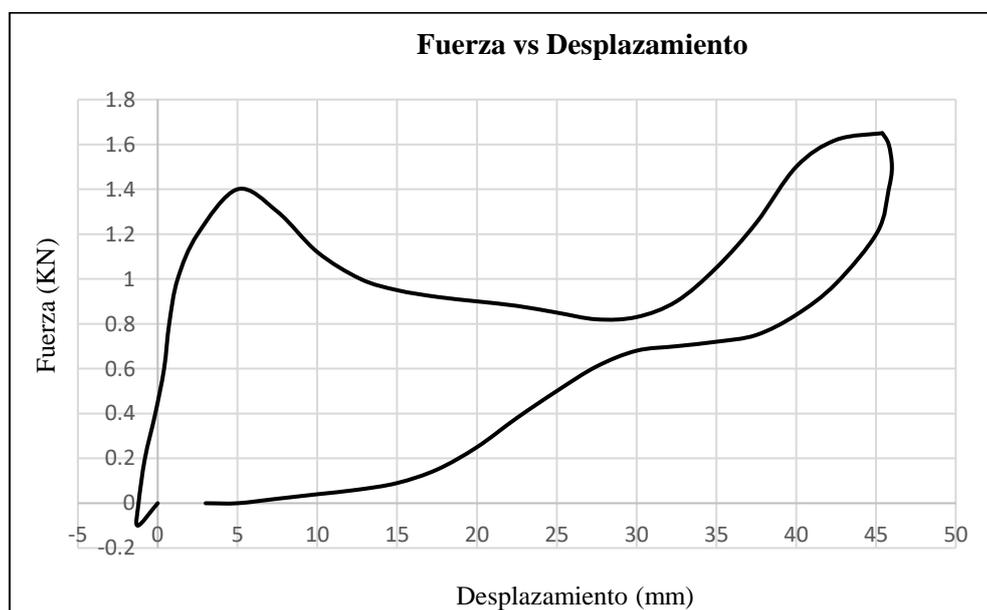


Figura 19-3. Impacto desviación tórax

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.10 Ensayo de verificación de la cabeza

La superficie de impacto es una placa de acero horizontal plana rígidamente soportada que tiene un grosor de 50,8 mm y un cuadrado de 610 mm. La cabeza se deja caer desde una altura de 376,0

$\pm 1,0$ mm, la aceleración máxima resultante en el centro de gravedad de la cabeza no puede ser inferior a 245 G ni superior a 300 G.

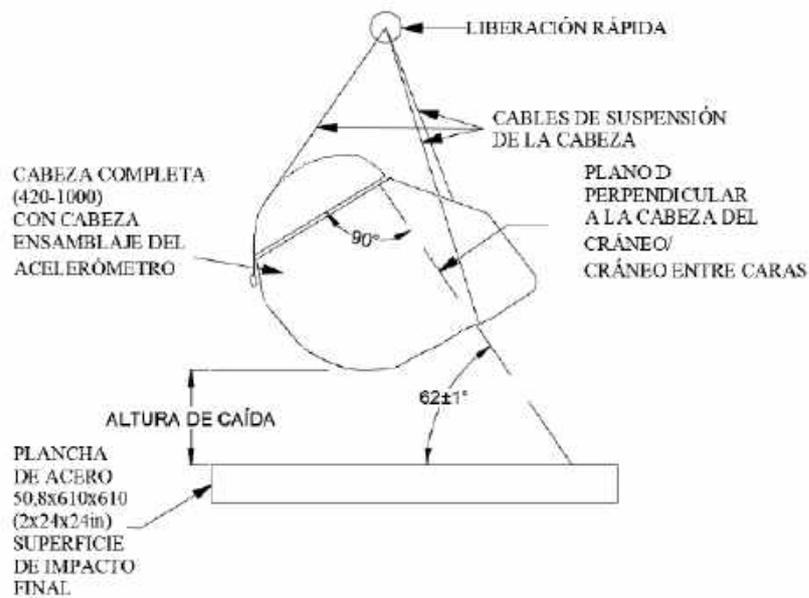


Figura 20-3. Configuración de prueba de caída de cabeza

Fuente: (CFR, 2014)

La aceleración máxima resultante es un indicador que se utiliza para cuantificar el nivel de lesión en la cabeza al momento del impacto frontal. Los criterios de lesión en la cabeza (HIC), permiten evaluar el riesgo de lesión y estimar cuándo puede ocurrir una conmoción cerebral o una fractura de cráneo. Por lo tanto, se realizó la simulación de impacto de la cabeza del maniquí para comparar los resultados obtenidos con el informe técnico del maniquí.

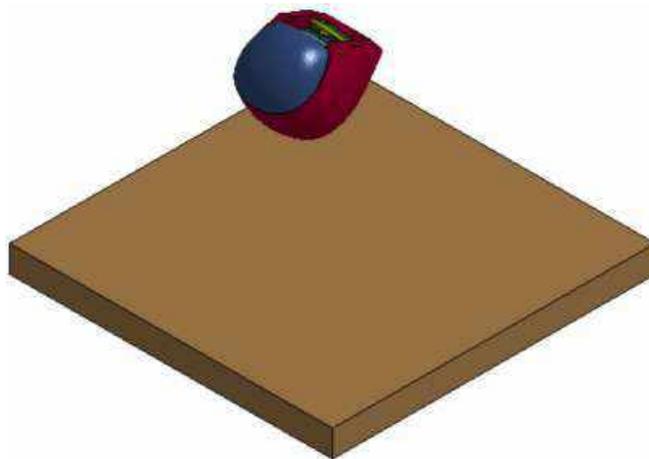


Figura 21-3. Configuración de simulación para impacto frontal.

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

La aceleración máxima resultante es un indicador que se utiliza para cuantificar el nivel de lesión en la cabeza al momento del impacto frontal. Los criterios de lesión en la cabeza (HIC), permiten evaluar el riesgo de lesión y estimar cuándo puede ocurrir una conmoción cerebral o una fractura de cráneo. Por lo tanto, se realiza la simulación de impacto de la cabeza del maniquí para comparar los resultados obtenidos con el informe técnico del modelo FEM del maniquí.

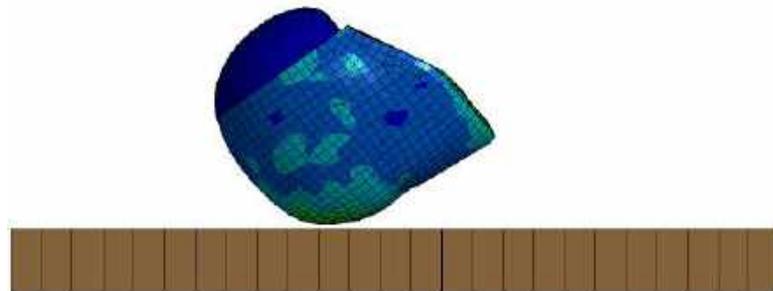


Figura 22-3. Simulación de prueba de impacto frontal de la cabeza

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

En el impacto frontal la respuesta de la cabeza presenta una buena concordancia con los datos experimentales de calibración de la cabeza del maniquí. Se aplicó un valor de 2,65 m/seg, como velocidad al modelo de la cabeza, el contacto que se aplicó para la cabeza y la placa es una superficie con superficie, la placa está totalmente restringida. El tiempo de simulación es de 80 milisegundos. Los resultados de la aceleración resultante (G's) se procesaron con un filtro de SAE 1000 Hz. El acelerómetro está colocado en el modelo de la cabeza según el sistema de coordenadas especificado en las recomendaciones de la normativa. La aceleración máxima obtenida se muestra en la figura 23-3 y tiene un valor de 265,92 G's, que está dentro del rango permitido para este tipo de estudios.

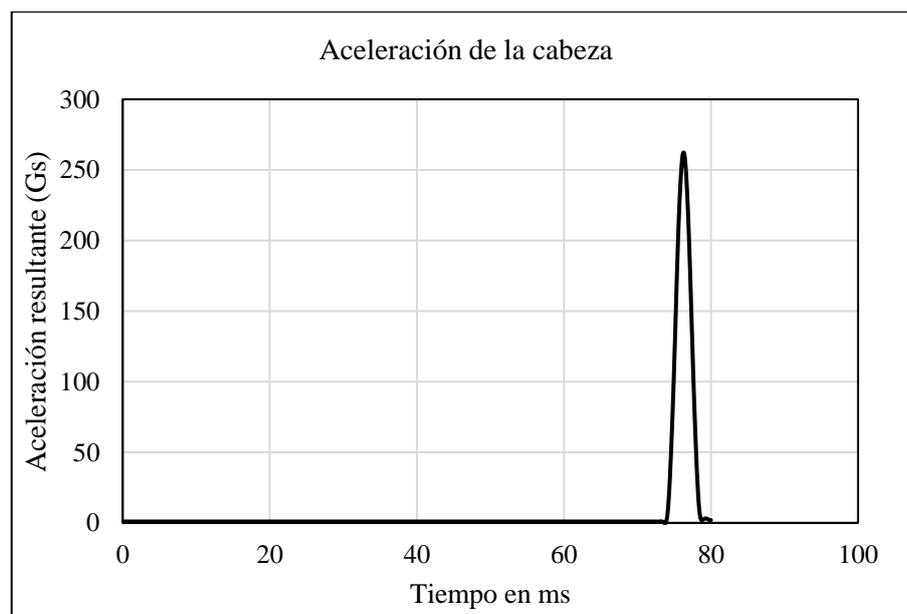


Figura 23-3. Aceleración resultante del impacto frontal de la cabeza

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.10.1 Ingreso del maniquí híbrido III de 6 años en el microbús

Para colocar el maniquí en los asientos del microbús se utiliza la herramienta de posición del programa especializado en elementos finitos, y permite trasladar y rotar el maniquí en los ejes, x, y, z, se debe evitar interferencias con la estructura del minibús o el asiento escolar. Por lo tanto, se lo coloca en el centro del asiento modificando la posición de los brazos, piernas y cabeza para que adopte una postura similar o real de los pasajeros. Por lo tanto, para este análisis, se colocan dos maniqués en los asientos que van al lado del pasillo del minibús como se muestra en la figura 24-3.



Figura 24-3. Vista sección para ingresar el maniquí híbrido de 6 años

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.10.2 Instalación del cinturón de seguridad

Luego de instalar el maniquí en el asiento se coloca, el cinturón de seguridad en los maniqués con el objetivo de comprobar el comportamiento de los maniqués en el impacto frontal cuando utilizan el cinturón de seguridad. Además, se comprueba que los ocupantes no salgan expulsados hacia adelante e impacten contra el asiento delantero, por lo que el cinturón se coloca en la parte superior del hombro izquierdo pasa por el tórax hacia la cintura del maniquí, mientras que el cinturón de dos puntos pasa por toda la parte frontal de la cintura de esta forma se establece los parámetros de sujeción o retención de los pasajeros durante el impacto frontal ver figura 25-3.



Figura 25-3. Instalación del cinturón de seguridad en el maniquí híbrido de 6 años
Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.10.2.1 *Material para la simulación*

El modelo del material utilizado para la estructura de la carrocería y asiento es el ASTM A 500 grado A, es un material elastoplástico con una curva de tensión frente a la deformación por lo tanto la tensión se comporta de forma lineal, y depende de la deformación cuando pasa el límite elástico entra en plasticidad desapareciendo la linealidad en la tensión - deformación por lo que el material experimenta elevadas concentraciones de energía cinética que aparecen cuando existen este tipo de impactos.

Tabla 3-3: Definición del material ASTM A 500 grado A, para la simulación

PARÁMETROS DEL MATERIAL ACERO ASTM A 500			
Módulo de Young	E	210	GPA
Coefficiente de Poisson	PR	0.30	-
Densidad	RO	7.830 e-06	Kg/mm ³
Límite de fluencia	SIGY	0.356	MPa
Módulo tangencial	ETAN	0	-
Falla	FAIL	0.28	-

Fuente: (Remache, 2015)

Mediante el ensayo de tracción se determina las características del material empleado para la construcción de la carrocería del minibús escolar. Además, deben cumplir con parámetros establecidos en las normas nacionales e internacionales que permiten determinar el límite de fluencia a la tracción, alargamiento a la rotura, entre otros valores ya indicados en la tabla 2-3,

finalmente, se obtiene la curva esfuerzo deformación mediante los ensayos de tracción que son los más utilizados en este tipo de materiales. En el software de elementos finito se ingresa la curva obtenida de esfuerzo deformación de ensayos de tracción real y simulado del material ver figura 26-3.

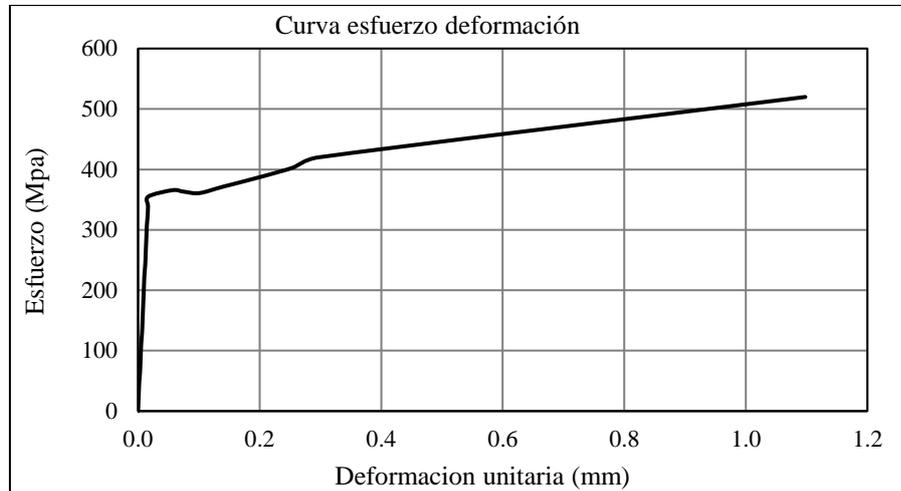


Figura 26-3. Curva esfuerzo deformación del acero

Fuente: (Remache, 2015)

3.10.2.2 Material para el cinturón de seguridad

Para el cinturón de seguridad de 3 puntos se trabaja con un material elastoplástico con una tensión lineal que depende de su deformación hasta superar el límite de elasticidad del material y entre en plasticidad las propiedades que describen el comportamiento del material se evidencian en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Propiedades del material para cinturón de seguridad

PARÁMETROS DEL MATERIAL ELÁSTICO			
Módulo de Young	E	200	GPa
Coefficiente de Poisson	PR	0.30	-
Densidad	RO	7.830 e-06	Kg/mm ³
Límite elástico	SIGY	0.15	GPa
Módulo cortante	G	2	GPa

Fuente: (Cruz et al., 2015)

3.10.3 Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera conocidas también como condiciones de contorno se deben aplicar de acuerdo con las condiciones establecidas en las normativas y reglamentos utilizados para este

estudio. Por lo que, para garantizar la solución del mismo, se establecen parámetros del material, tipos de contacto, apoyos fijos, velocidades de impacto, gravedad, tiempo de análisis, control de energía entre las principales, porque existen más condiciones que se explican en el desarrollo de la investigación.

3.10.3.1 Tipos de contacto

Debido a las grandes deformaciones que suele producirse durante un análisis dinámico explícito, es importante determinar los contactos entre los componentes como son: la estructura de carrocería, asientos, maniquí y cinturón de seguridad. Por esta razón, se ha evaluado las características especiales que definen los contactos presentes en una simulación de elementos finitos, en este estudio se han utilizado varios contactos que permiten tener buena precisión en los resultados de la simulación de impacto frontal.

- Contacto automático simple de superficie

El contacto se establece cuando una superficie de un cuerpo entra en contacto consigo misma o con la superficie de otro cuerpo. Este tipo de contacto, es fácil de utilizar porque no es necesario definir el contacto o la superficie de destino. Además, es eficaz para los problemas de auto contacto o de grandes deformaciones en los que no se conocen de antemano las zonas generales de contacto ver figura 27-3 donde se establece el contacto en toda la estructura del minibús y la pared rígida (Hyperworks, 2012).

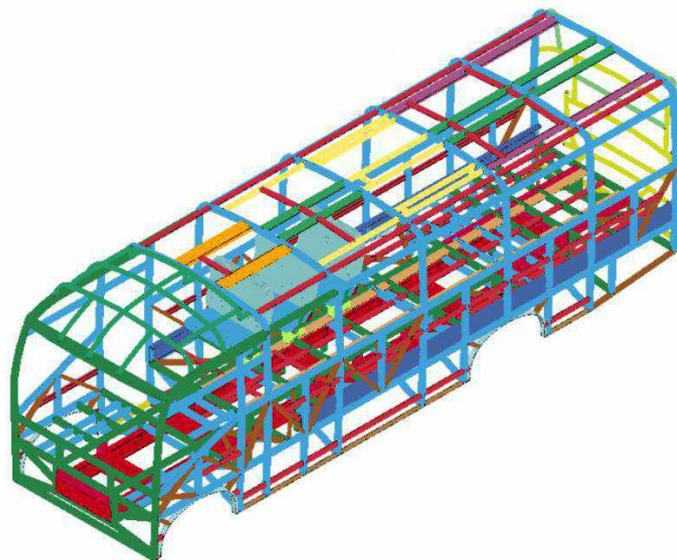


Figura 27-3. Contacto tipo simple superficie

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

- Contacto automático superficie-superficie

El contacto se establece cuando una superficie de un cuerpo penetra en la superficie de otro cuerpo. Este tipo se suele utilizar para cuerpos arbitrarios que tienen grandes áreas de contacto y es muy eficaz para cuerpos que experimentan grandes cantidades de deslizamiento relativo con fricción, como un bloque que se desliza sobre un plano. Finalmente, este contacto no permite la penetración de los componentes de la carrocería, asientos, maniquí, pared rígida lo que permite definir el coeficiente de rozamiento dinámico y estático. Además, el contacto entre la carrocería y la pared rígida permite la deformación de la parte frontal durante el tiempo de análisis (Hyperworks, 2012, p. 369).

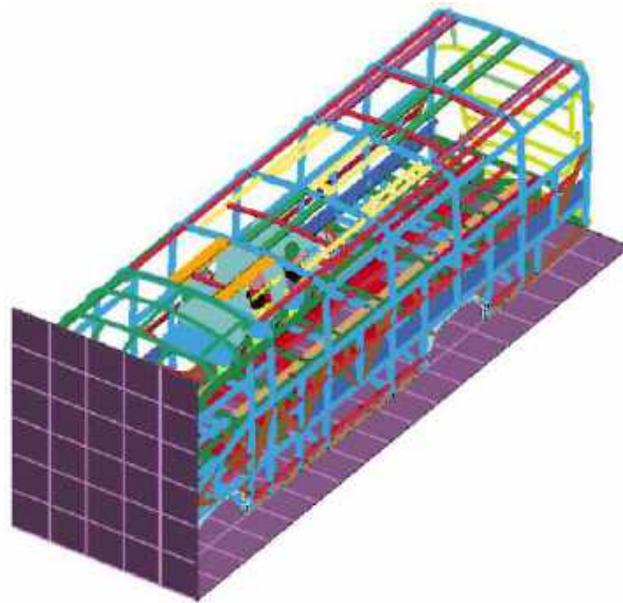


Figura 28-3. Contacto tipo superficie-superficie

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.10.3.2 *Contacto del maniquí con la estructura del asiento*

Para una simulación correcta es importante definir el tipo de contacto para el modelo lo que permite las interacciones entre las diferentes partes de los maniqués con la carrocería y asientos del minibús escolar. Es importante definir los contactos en el caso de colisiones debido a que estas producen grandes deformaciones los coeficientes de rozamiento dinámicos y estáticos han sido introducidos en base a valores establecidos en literatura que ha sido investigada para el desarrollo de este proyecto.

Por lo tanto, se define el tipo de contacto utilizado en este modelo siendo de tipo automático superficie con superficie y el valor del coeficiente estático se ha establecido en 0.3 y el dinámico en 0.2. En la figura 29-3, se presenta el contacto establecido entre el minibús escolar, asientos y los maniqués.

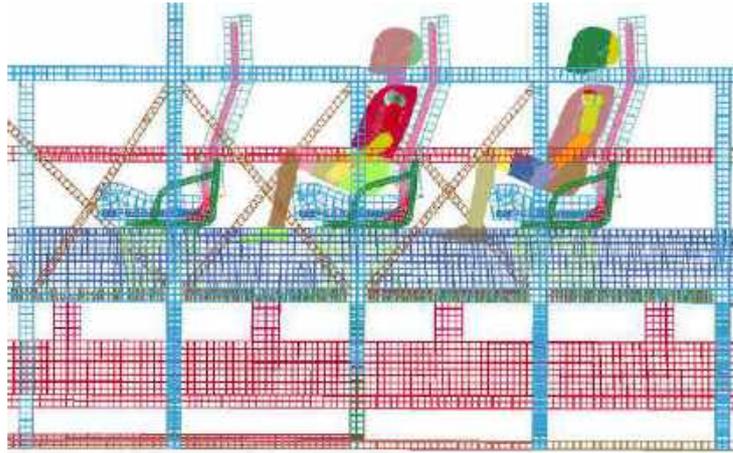


Figura 29-3. Contacto superficie-superficie maniquí, estructura de asientos y carrocería

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.10.3.3 Contacto maniquí cinturón de seguridad

El contacto entre los maniqués con los cinturones de seguridad esta simulado con un contacto automático superficie con superficie sin permitir penetración entre las partes, los esfuerzos resultantes son debidos al rozamiento estático y dinámico establecidos para este tipo de contacto en 0,3 para el estático y 0,2 para el dinámico en la figura 30-3 se muestra el contacto aplicado.

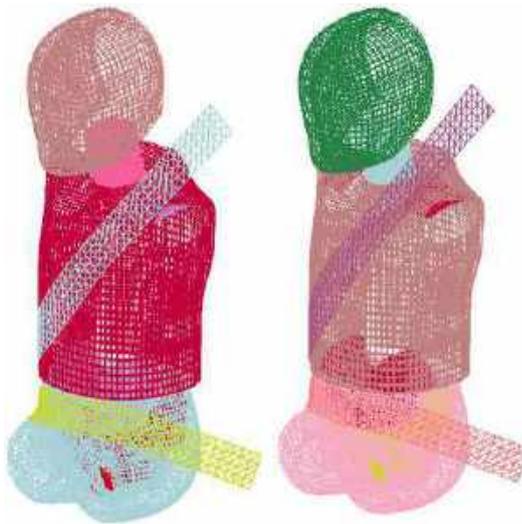


Figura 30-3. Contacto tipo superficie-superficie maniquí con cinturón de seguridad

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.10.3.4 Apoyos fijos

En la simulación es necesario definir la pared y el piso como superficie rígida esto significa que la pared queda restringida en todos los grados de libertad eliminando los desplazamientos que no están programados en los elementos de la carrocería como evidencia la figura 31-3.

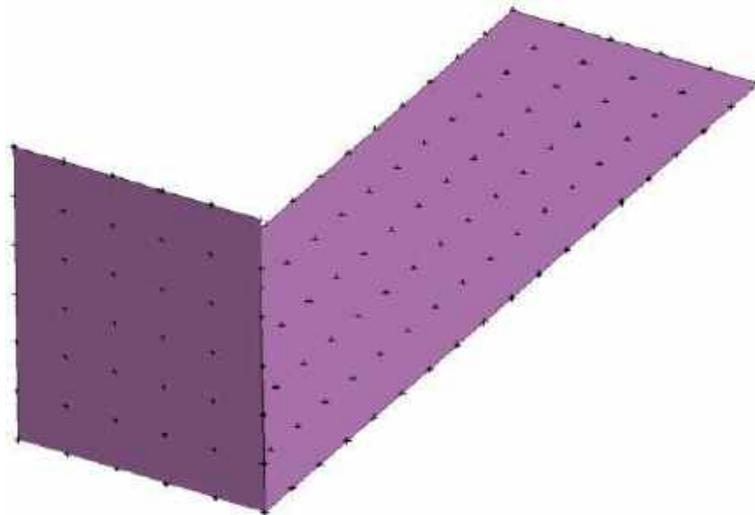


Figura 31-3. Pared y piso con apoyos fijos

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.10.3.5 Velocidades de impacto

La velocidad de impacto frontal en la carrocería se define mediante los requisitos de las normas y reglamentos utilizadas en esta investigación, por lo tanto, se realiza la simulación a velocidad de 56 km/h según el reglamento CEPE R94, y a 48 km/h según el reglamento EURO NCAP. Los rangos de velocidad se presentan en la tabla 5-3.

Tabla 5-3. Velocidad recomendada por normativas para la simulación de impacto

Componentes	Velocidad para la simulación			
	CEPE R94	EURO NCAP	CEPE R94	EURO NCAP
Estructura carrocería	56 km/h	48 km/h	15.55 m/s	13.33 m/s
Estructura asientos	56 km/h	48 km/h	15.55 m/s	13.33 m/s
Maniquí híbrido de 6 años	56 km/h	48 km/h	15.55 m/s	13.33 m/s

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

3.10.3.6 Gravedad

La gravedad es muy importante en la simulación porque está presente en todos los componentes de la carrocería, asiento, maniquís, cinturón de seguridad permitiendo tener datos reales, de esta manera la gravedad se aplica para todos los elementos que intervienen en la simulación y se establece el valor de la gravedad en 9.81 m/s^2 .

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados simulación de impacto frontal del autobús

En este capítulo se realizó el análisis computacional del impacto frontal de la carrocería del autobús, asientos y maniquí híbrido III de 6 años con cinturones de seguridad de 3 puntos para obtener valores de aceleraciones en la cabeza, tórax y fémur. Se aplicó la técnica numérica de aproximación para la resolución de problemas de ecuaciones diferenciales y utilizando el método explícito se debe tener en cuenta que está limitado por el tiempo de integración explícito, porque es muy eficiente para grandes deformaciones y problemas no lineales con la ventaja que evita el almacenamiento de matrices de coeficientes globales. Por lo tanto, para tener una solución explícita se debe limitar el paso del tiempo por el tamaño que tiene el elemento con la velocidad de sonido (propagación de onda acústica) por medio del material, la onda del esfuerzo se propaga como un elemento por el paso de tiempo y está determinado por la ecuación.

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Dónde:

C: velocidad del sonido en sólidos

E: Módulo de elasticidad del material

P: Densidad del material

El paso de tiempo explícito debe ser menor que el tiempo necesario para que la onda física cruce el elemento, el paso numérico está determinado en 0,9 o inferior del paso teórico real. Así mismo el incremento del paso del tiempo para la integración está recomendado por la ecuación.

$$\Delta_{TS} = \frac{L}{C}$$

Dónde:

Δ_{TS} : Incremento del paso en tiempo de integración

C: velocidad del sonido en sólidos

L: Tamaño del elemento

Finalmente, para este estudio se estableció el paso de integración de 0.6 en el programa con el cual se realizaron los análisis de impacto frontal del minibús escolar.

4.2 Impacto frontal maniquí no utiliza cinturón de seguridad a 48 km/h

Para medir el nivel de lesiones del maniquí híbrido III de 6 años se realizó la simulación del impacto a velocidad de 48 km/h, según los requisitos de la EURO NCAP. Los autobuses en

Ecuador circulan a velocidades más altas y en caso de sufrir un accidente de tránsito a estas velocidades las lesiones son graves permanentes y en muchos casos generan la muerte de los pasajeros y del conductor.

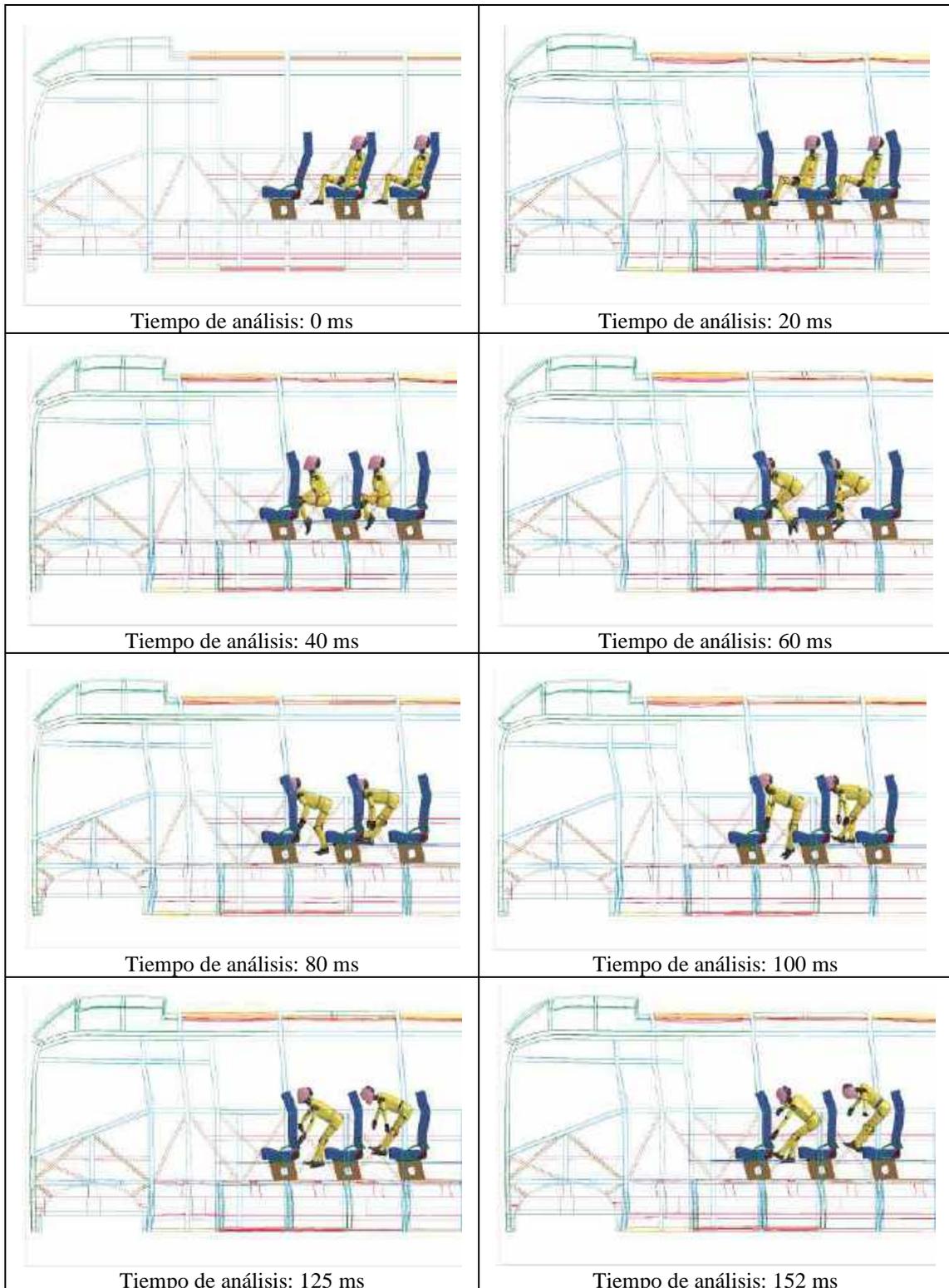


Figura 1-4. Secuencia del impacto frontal del autobús escolar a 48 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.3 Criterios de lesiones del maniquí a 48 km/h sin cinturón de seguridad

Se analiza los criterios de lesiones establecidos en las normas que establecen un rango para medir el índice de lesiones, por lo tanto, se describe y compara los datos obtenidos con los reglamentos CEPE, R94 y EURO NCAP.

4.3.1 Criterio de lesiones en la cabeza EURO NCAP

Las aceleraciones de la cabeza se obtienen por medio del HIC_{15} en un intervalo de 15 ms y el umbral de lesiones es cuando alcanza el valor máximo permitido de 800. Los traumas en el cráneo a causa de un impacto frontal son lesiones que tiene mayor probabilidad de fatalidad porque los mecanismos de daños en la cabeza son complejos. En la simulación cuando entra en contacto la cabeza con la superficie de la esponja y espaldar del asiento escolar se evalúa el HIC, del maniquí 1, que alcanza un valor de 1576 G's. demostrando que supera el valor permitido por la norma EURO NCAP.

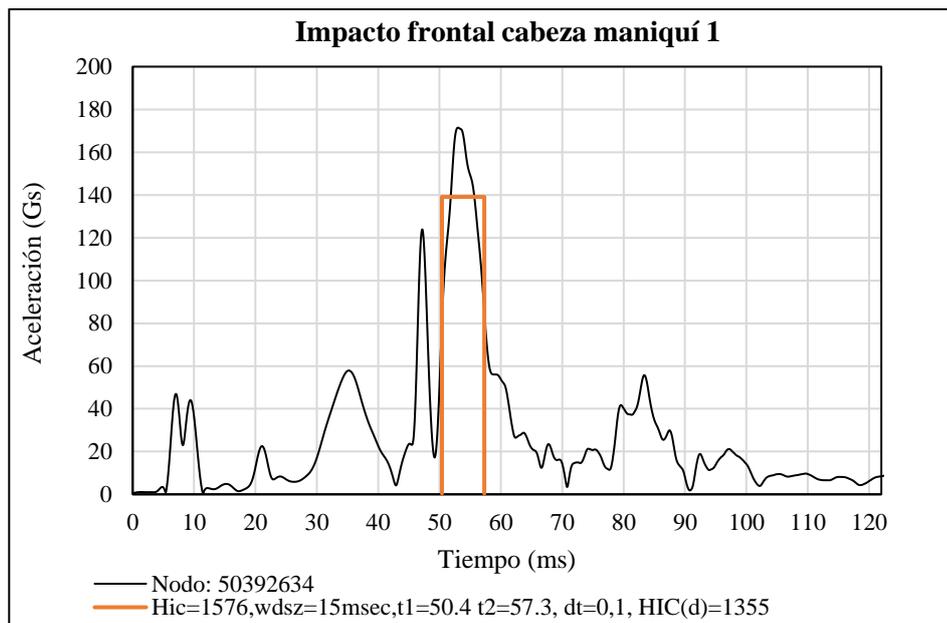


Figura 2-4. HIC en la cabeza maniquí 1, sin cinturón de seguridad a 48 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

También la cabeza del maniquí 2, y presenta un HIC de 2864 G's, siendo superior al permitido en la normativa, lo que provocaría una lesión grave o incluso la muerte del pasajero del minibus escolar, como indica la figura 3-4.

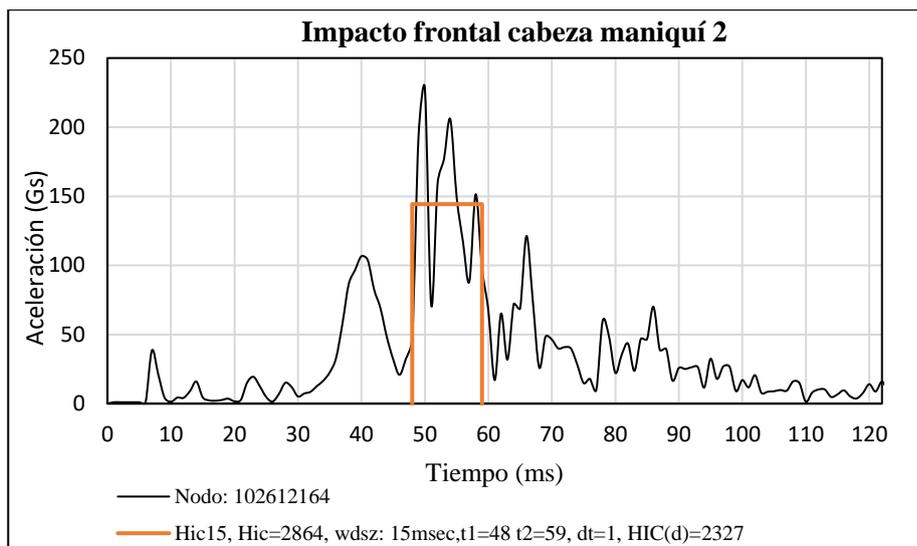


Figura 3-4. HIC en la cabeza maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 48 km/h
Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.3.2 Criterio de compresión EURO NCAP

La simulación del impacto frontal del minibús a 48 km/h, permite medir el nivel de lesiones en los maniqués sin cinturón de seguridad, y se evalúa la deformación de las costillas al momento de impactar con el asiento delantero del autobús. Por lo tanto, el criterio de compresión del tórax (ThCC) se toma en cuenta las longitudes máximas y mínimas de las costillas del maniquí 1, el valor máximo del desplazamiento es de 146,88 y mínimo de 132,54 ver figura 4-4, dando como resultado una compresión del tórax de 14.34 mm medido en los nodos de la tercera costilla como recomienda la normativa (CFR, 2014).

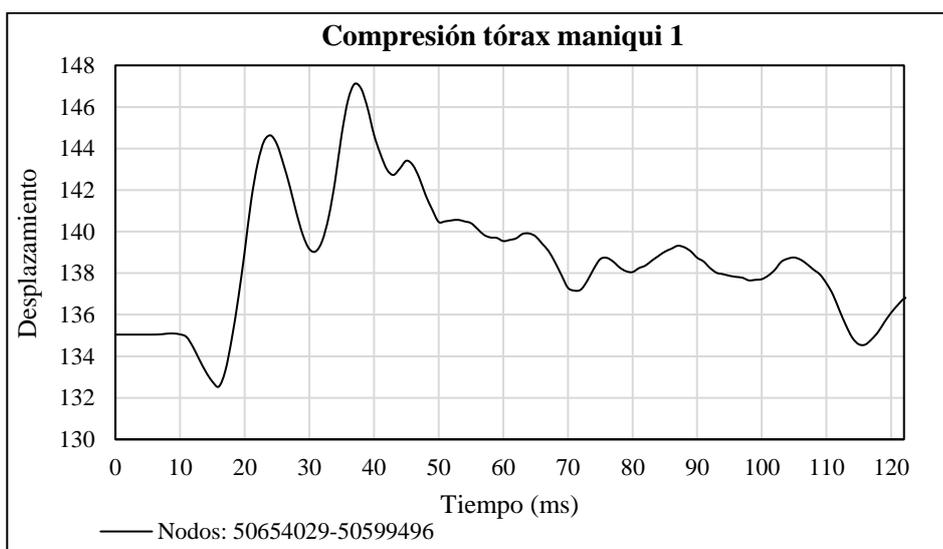


Figura 4-4. ThCC en el tórax del maniquí 1, sin cinturón de seguridad a 48 km/h
Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Para el maniquí 2, la compresión del tórax es de 23,28 mm siendo inferior al valor de 30 mm que es el valor mínimo recomendado por el reglamento EURO NCAP, los desplazamientos máximos y mínimos se evidencia en la figura 5.4.

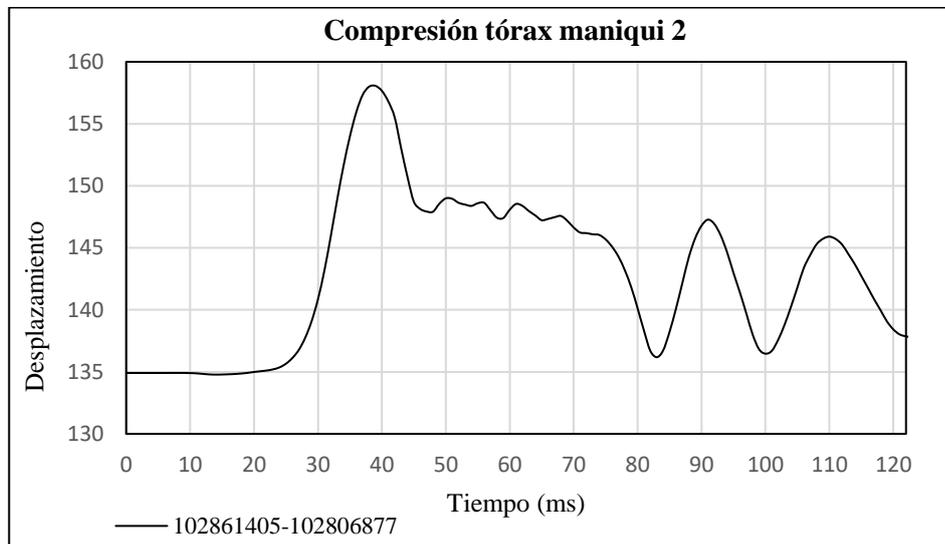


Figura 5-4. ThCC en el tórax del maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 48 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.4 Impacto frontal del maniquí con cinturón de seguridad a 48 km/h

La simulación del impacto frontal se realizó agregando el cinturón de tres puntos para observar el comportamiento del maniquí cuando el pasajero utiliza el mismo. Se conserva la velocidad de impacto y todos los parámetros establecidos en la simulación de impacto sin cinturón de seguridad en la figura 6-4 se evidencia una secuencia de figuras a diferentes tiempos de análisis del comportamiento del pasajero durante el impacto frontal.

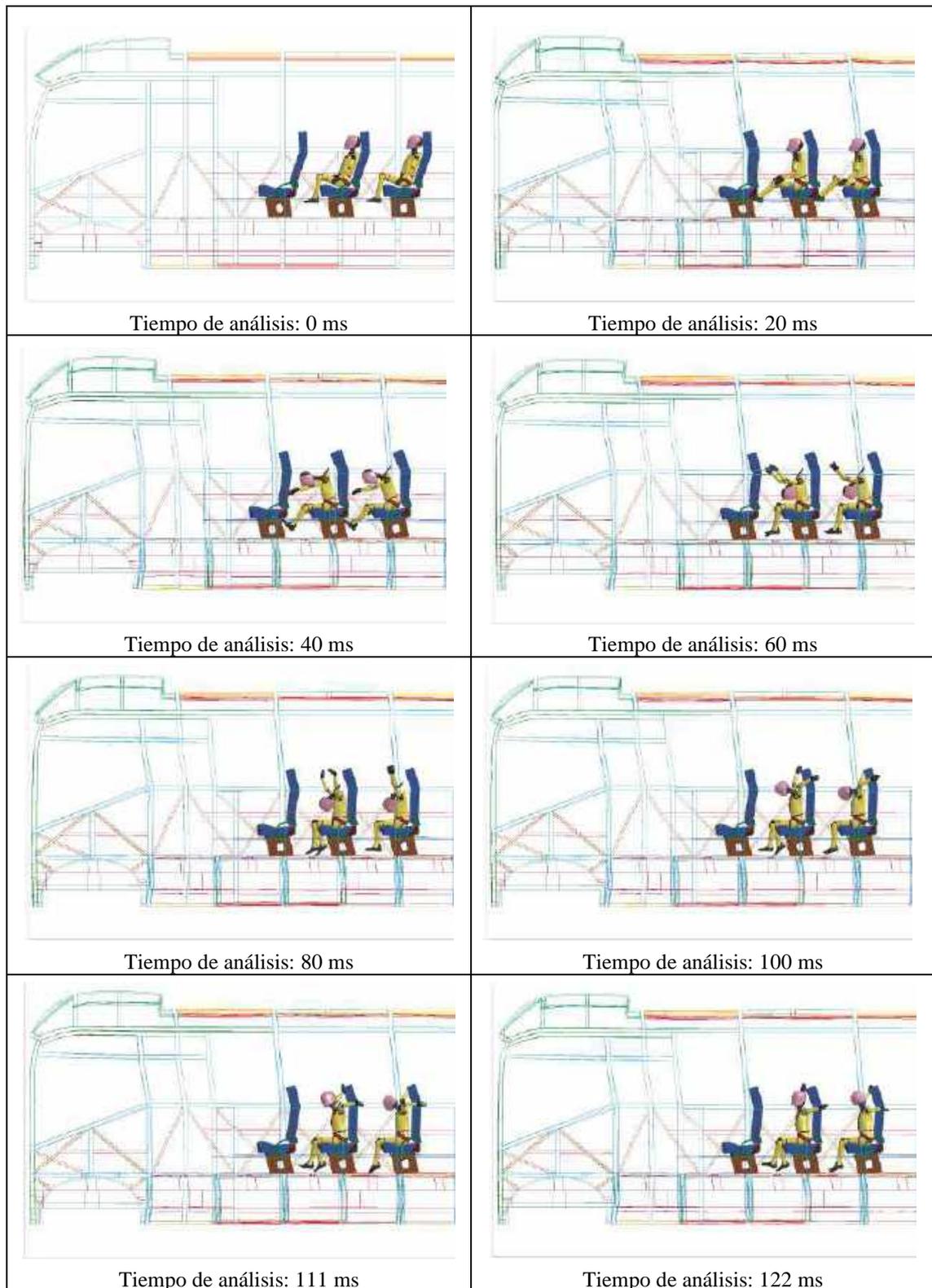


Figura 6-4. Secuencia del impacto frontal del minibús escolar a 48 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.4.1 Análisis del criterio de lesiones en la cabeza a 48 km/h

La lesión, presente en la cabeza del maniquí 1, cuando utiliza el cinturón de seguridad de tres puntos se presentan en la figura 7-4, con un valor de HIC de 3405 G's Mientras que la aceleración es 202,92 G's.

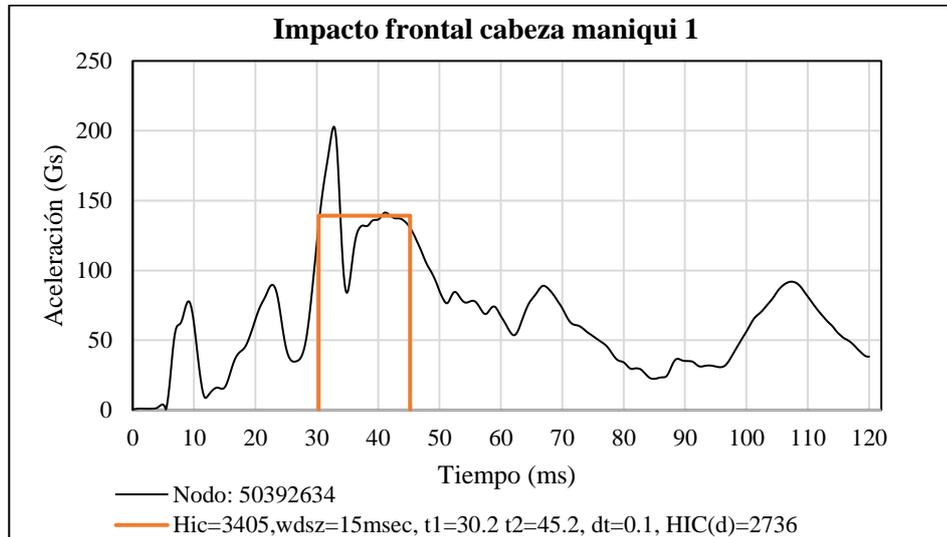


Figura 7-4. HIC, en la cabeza maniquí 1, con cinturón de seguridad a 48 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

En la figura 8-4, se presenta el valor del HIC de la cabeza del maniquí 2, donde se evidencia el valor de 2995 G's, siendo superior al permitido en la normativa, sin embargo, el valor de la aceleración de la cabeza es de 212,91 G's, que está por debajo del rango de 300 G's, lo que demuestra que existe lesiones graves o severas en la cabeza.

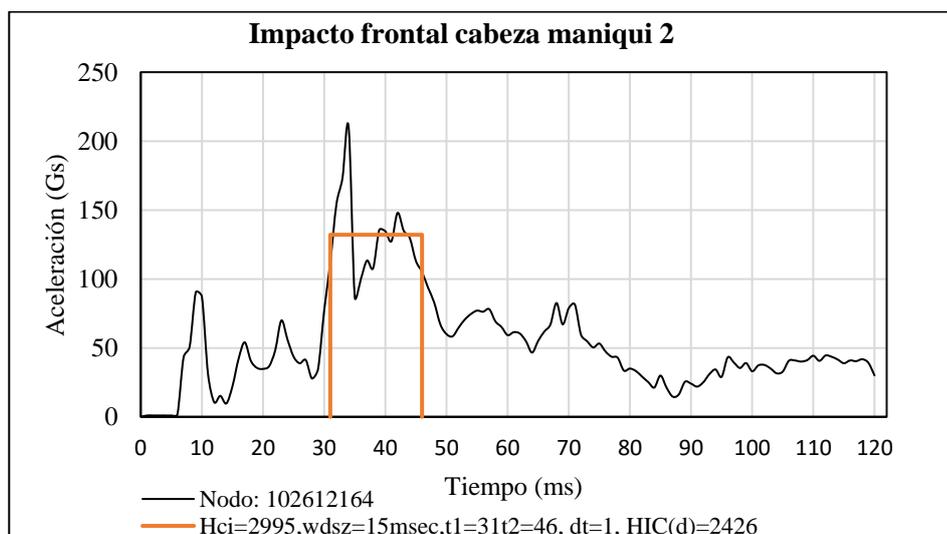


Figura 8-4. HPC, en la cabeza maniquí 2, con cinturón de seguridad a 48 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.4.2 Criterio de compresión en el tórax con cinturón de seguridad a 48 km/h

El criterio de compresión del tórax (ThCC) del maniquí 1, es de 42, 22 mm este valor de compresión está en el límite medio permitido por el reglamento EURO NCAP, en la figura 9-4, se presenta el comportamiento del tórax durante el tiempo de análisis del impacto frontal.

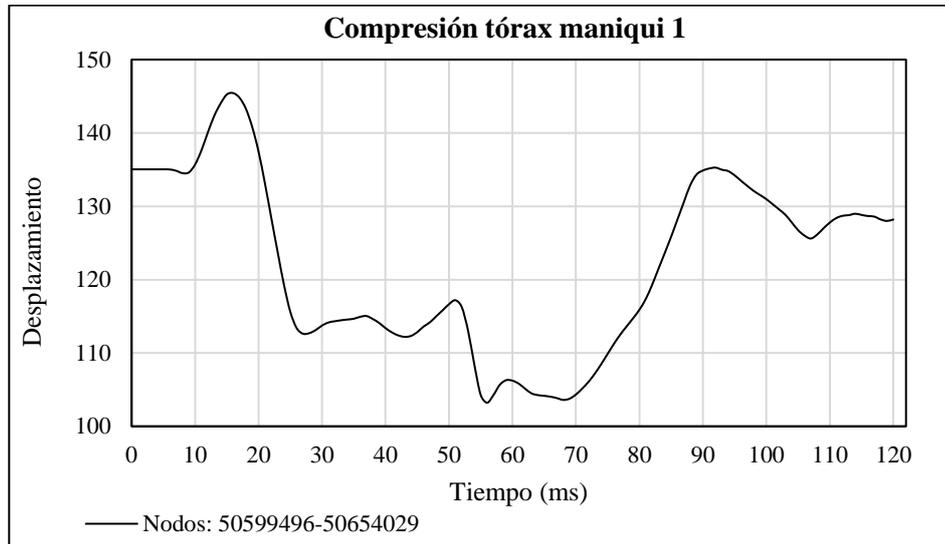


Figura 9-4. ThCC en el tórax del maniquí 1, con cinturón de seguridad a 48 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

En la figura 10-4, se muestra el comportamiento de la compresión del tórax del maniquí siendo el valor máximo 55,09 mm. Además, se evidencia que el valor es superior al permitido en el reglamento EURO NCAP por lo que se considera que existe una grave afectación en el pasajero.

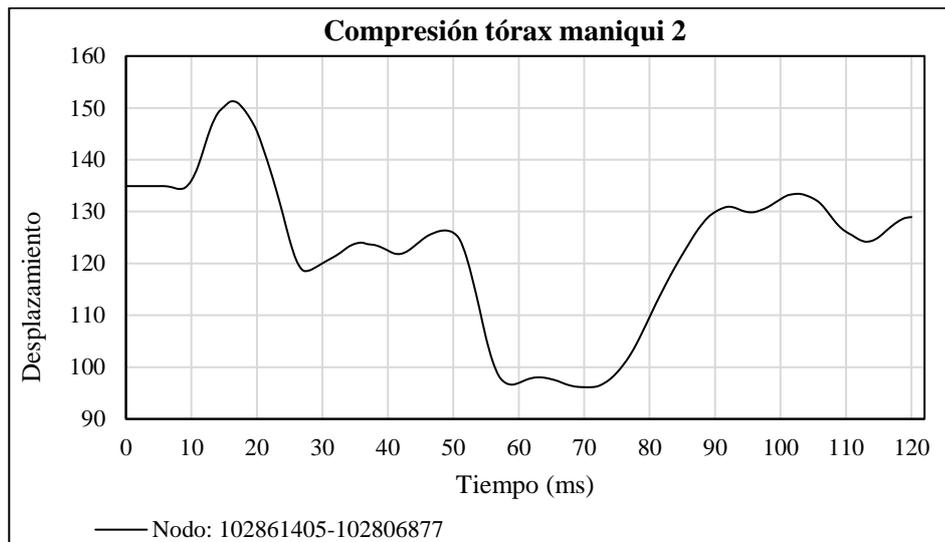


Figura 10-4. ThCC en el tórax del maniquí 2, con cinturón de seguridad a 48 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.5 Impacto frontal a 56 km/h maniquí sin cinturón de seguridad

Para medir el nivel de lesiones del maniquí híbrido III de 6 años se realizó la simulación del impacto a velocidad de 56 km/h, según los requisitos del reglamento CEPE R94 y cuando el pasajero no utiliza cinturón de seguridad.

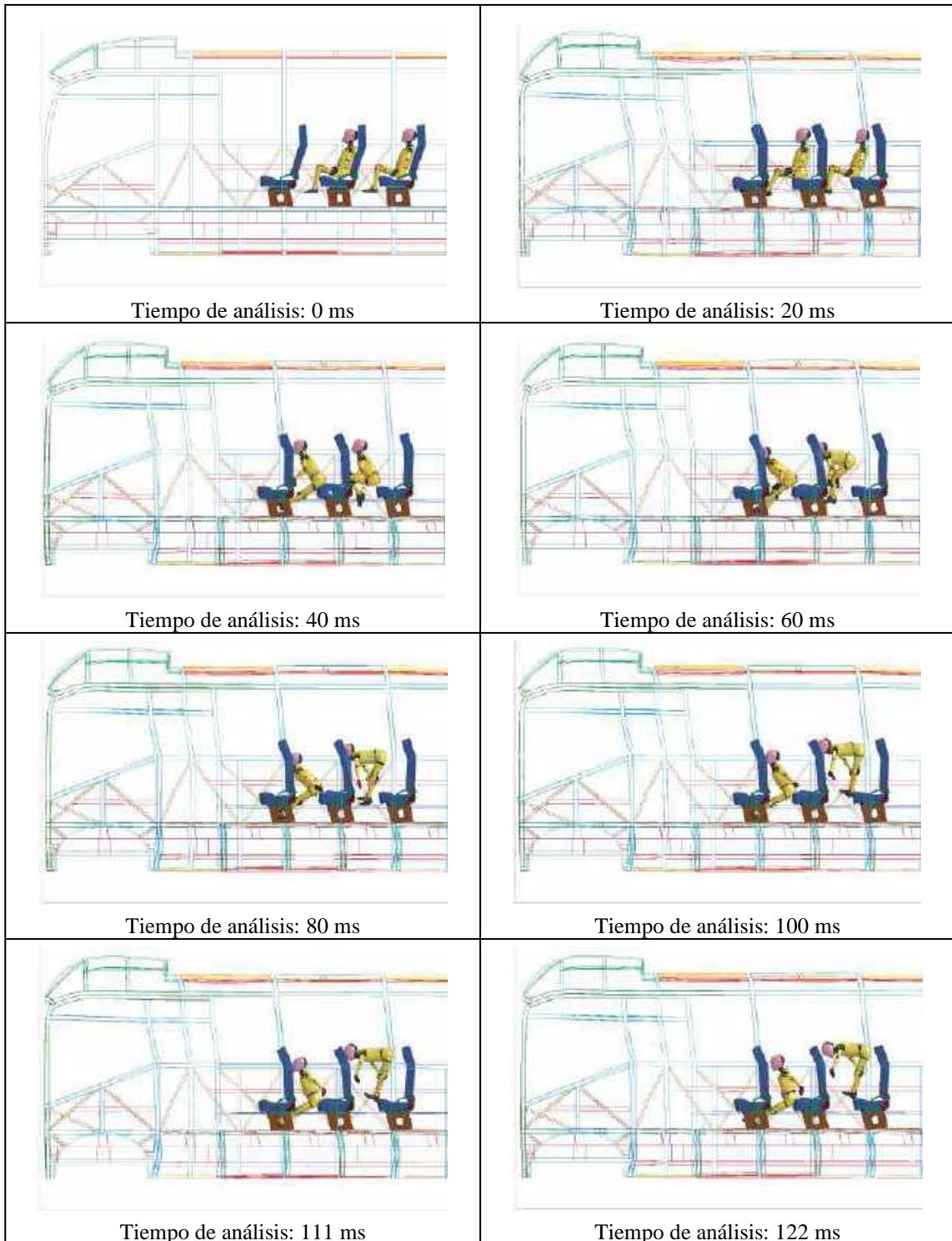


Figura 11-4. Secuencia del impacto frontal a 56 km/h sin cinturón de seguridad

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.5.1 Criterio de lesiones en la cabeza CEPE R94 sin cinturón de seguridad

La figura 12-4, presenta el valor del HPC de 2075 G's, en la cabeza del maniquí 1, cuando no utiliza cinturón de seguridad. En cambio, la aceleración máxima en la cabeza es de 172,91 G's, siendo inferior al valor de 300 G's que es permitido en el reglamento CEPE R94.

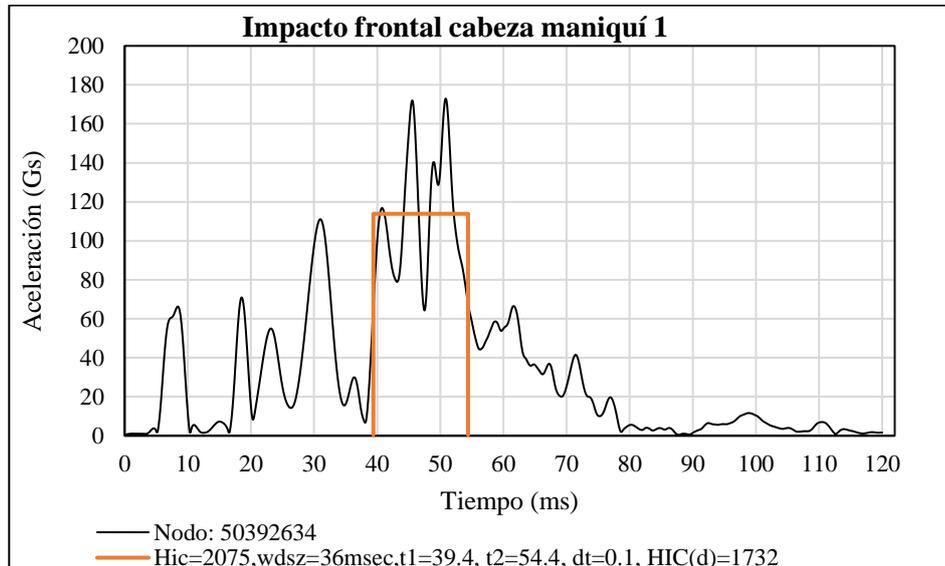


Figura 12-4. HPC, en la cabeza maniquí 1, sin cinturón de seguridad 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

En la figura 13-4 se evidencia el HIC de la cabeza del maniquí 2, con valor obtenido de 4522 G's, este valor sobrepasa el valor de 1000 G's, permitido por el reglamento CEPE R94.

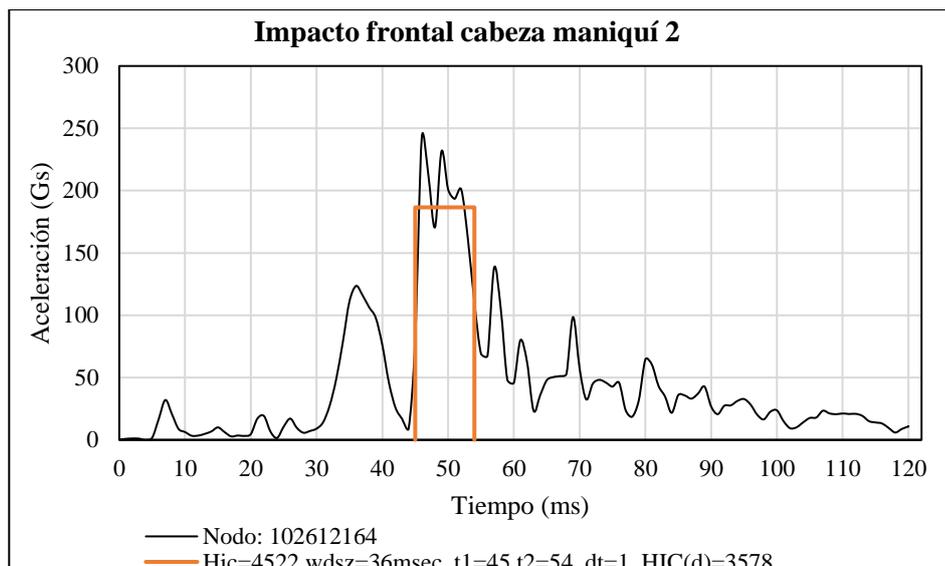


Figura 13-4. HPC, en la cabeza maniquí 2, sin cinturón de seguridad 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.5.2 Criterio de lesiones en el tórax sin cinturón de seguridad a 56 km/h

En la figura 14-4, se evidencia el criterio de compresión del tórax (ThCC) del maniquí 1, con un valor de 22,03 mm, obtenido del valor máximo de 152,53 y mínimo de 130,5. Además, se comprueba que el valor del ThCC es inferior al recomendado en la norma R94, que tiene un rango de aceptación mínimo de 50 mm.

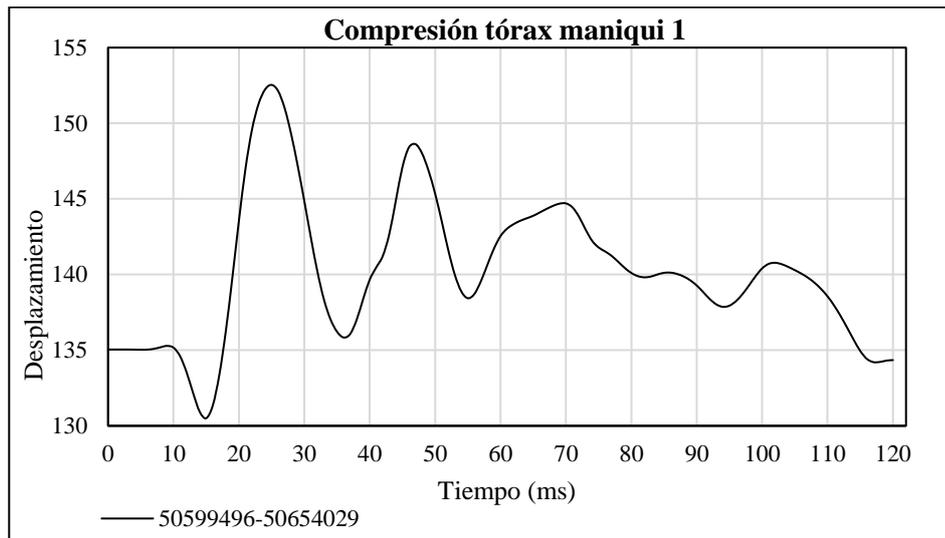


Figura 14-4. ThCC, en el tórax, maniquí 1, sin cinturón de seguridad 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

El (ThCC) en el impacto frontal sin cinturón de seguridad es de 25,15 ver figura 15-4, también, se verifica que no supera el valor recomendado por la normativa, esto evidencia que no existe lesión grave en el tórax, tampoco daño de órganos interno del pasajero.

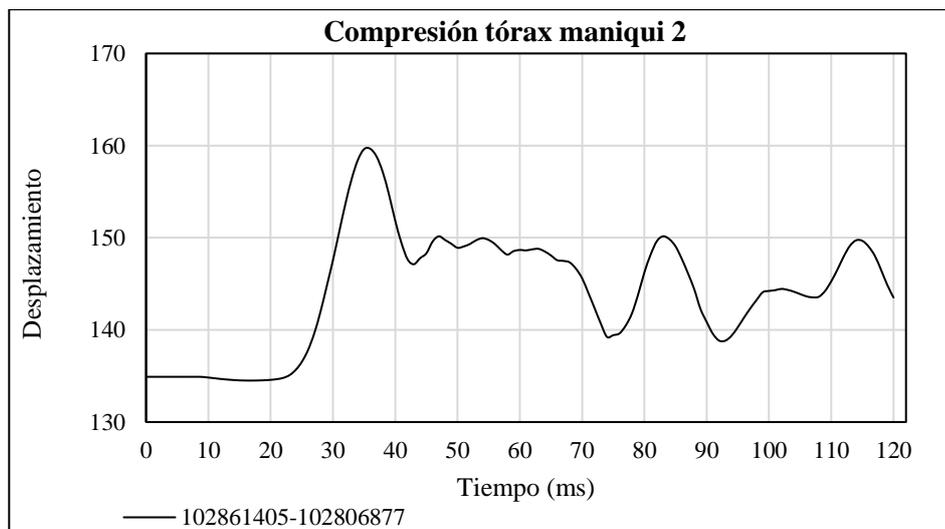


Figura 15-4. ThCC en el tórax, maniquí 2, sin cinturón de seguridad 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.5.2.1 Criterio de lesión del Fémur izquierdo maniquí 1

En la figura 16-4 se presenta el resultado del criterio de aceptación del fémur izquierdo del maniquí 1, que es de 3,61 KN, este valor es inferior al criterio de fuerza (FFC) recomendado en el reglamento R94 que es de 7,58 KN, esto indica que los ocupantes tendrán lesiones leves.

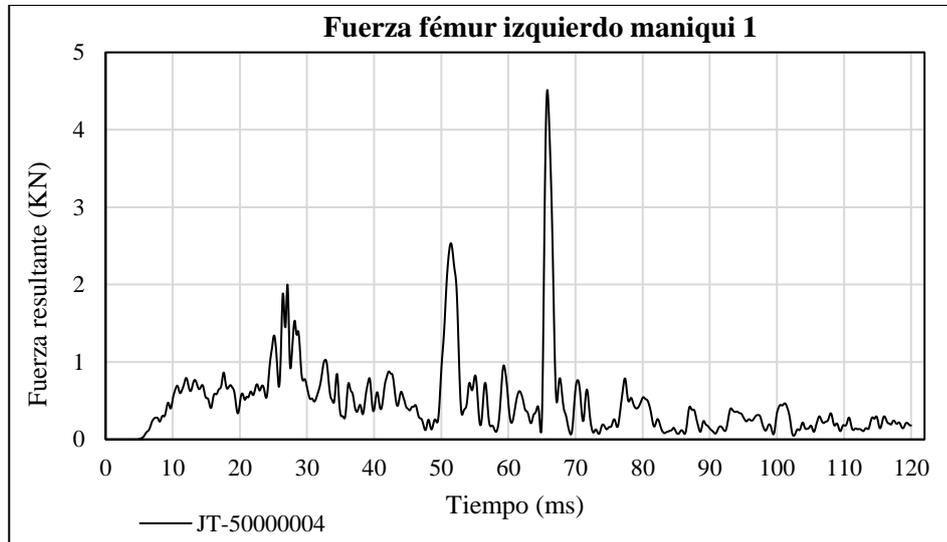


Figura 16-4. FFC, Fémur izquierdo maniquí 1, sin cinturón de seguridad 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.5.2.2 Fémur derecho maniquí 1

La figura 17-4 evidencia el resultado del criterio de aceptación de lesión del fémur derecho del maniquí 1, cuando no utiliza el cinturón de seguridad, con un valor de 7.39 KN.

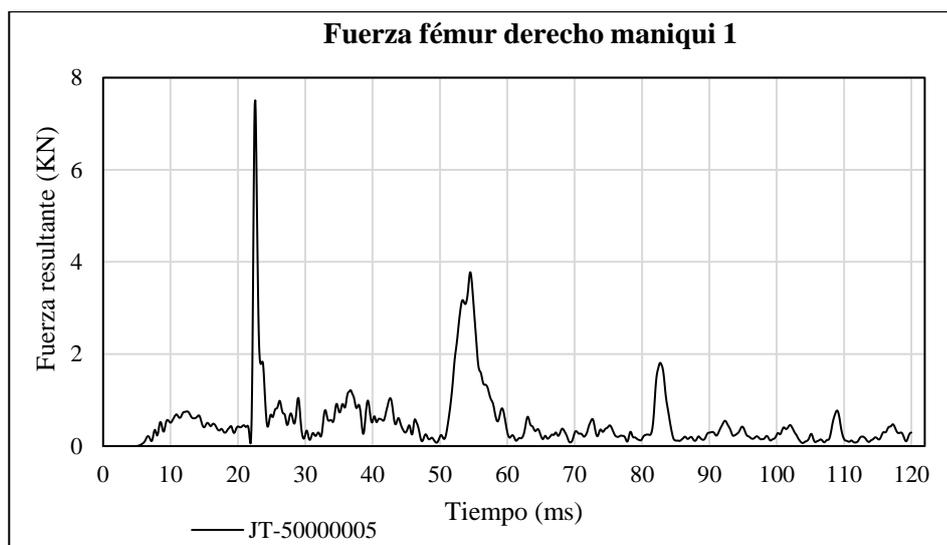


Figura 17-4. FCC, Fémur derecho maniquí 1, sin cinturón de seguridad 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.5.2.3 Criterio de lesión del Fémur izquierdo maniquí 2

En la figura 18-4 se presenta el resultado del criterio de aceptación del fémur izquierdo del maniquí 1, que es de 4,216 KN, este valor es inferior al criterio de fuerza (FFC) recomendado en la norma R94 que es de 7,58 KN, esto indica que los ocupantes tendrán lesiones leves.

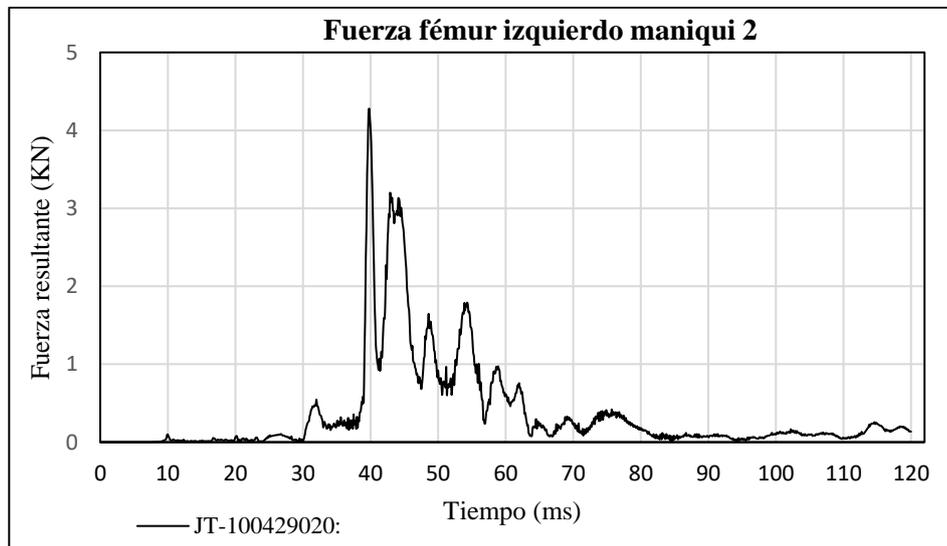


Figura 18-4. FCC, Fémur izquierdo maniquí 2, sin cinturón de seguridad 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.5.2.4 Fémur derecho maniquí 1

La figura 19-4 evidencia el resultado del criterio de aceptación de lesión del fémur derecho del maniquí 1, cuando no utiliza el cinturón de seguridad, con un valor de 7.2 KN.

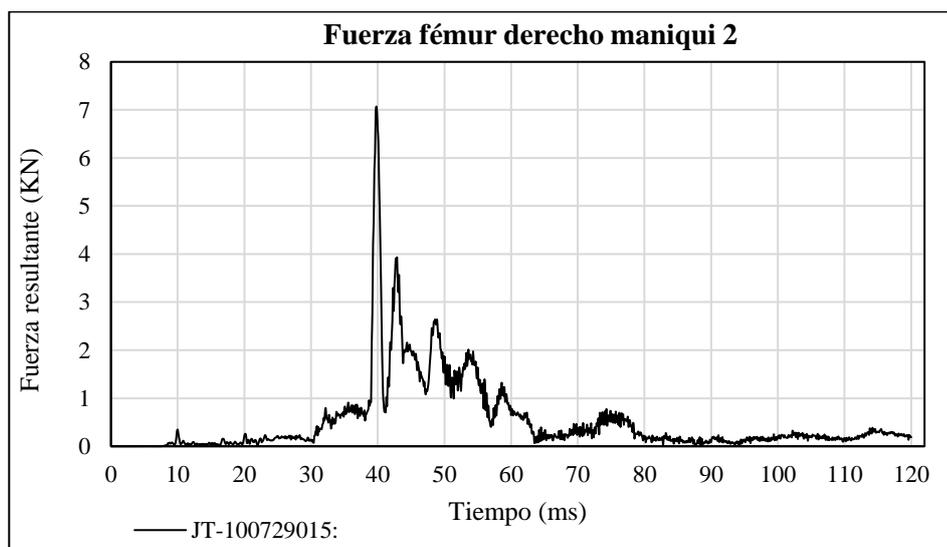


Figura 19-4. FCC, Fémur derecho maniquí 2, sin cinturón de seguridad 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.6 Criterios de lesiones del maniquí a 56 km/h con cinturón de seguridad

En esta simulación se utiliza el cinturón de 3 puntos para retener al pasajero en el asiento del minibús escolar durante el tiempo que dura el impacto frontal a continuación se detalla la secuencia de figuras que representa el comportamiento del maniquí.

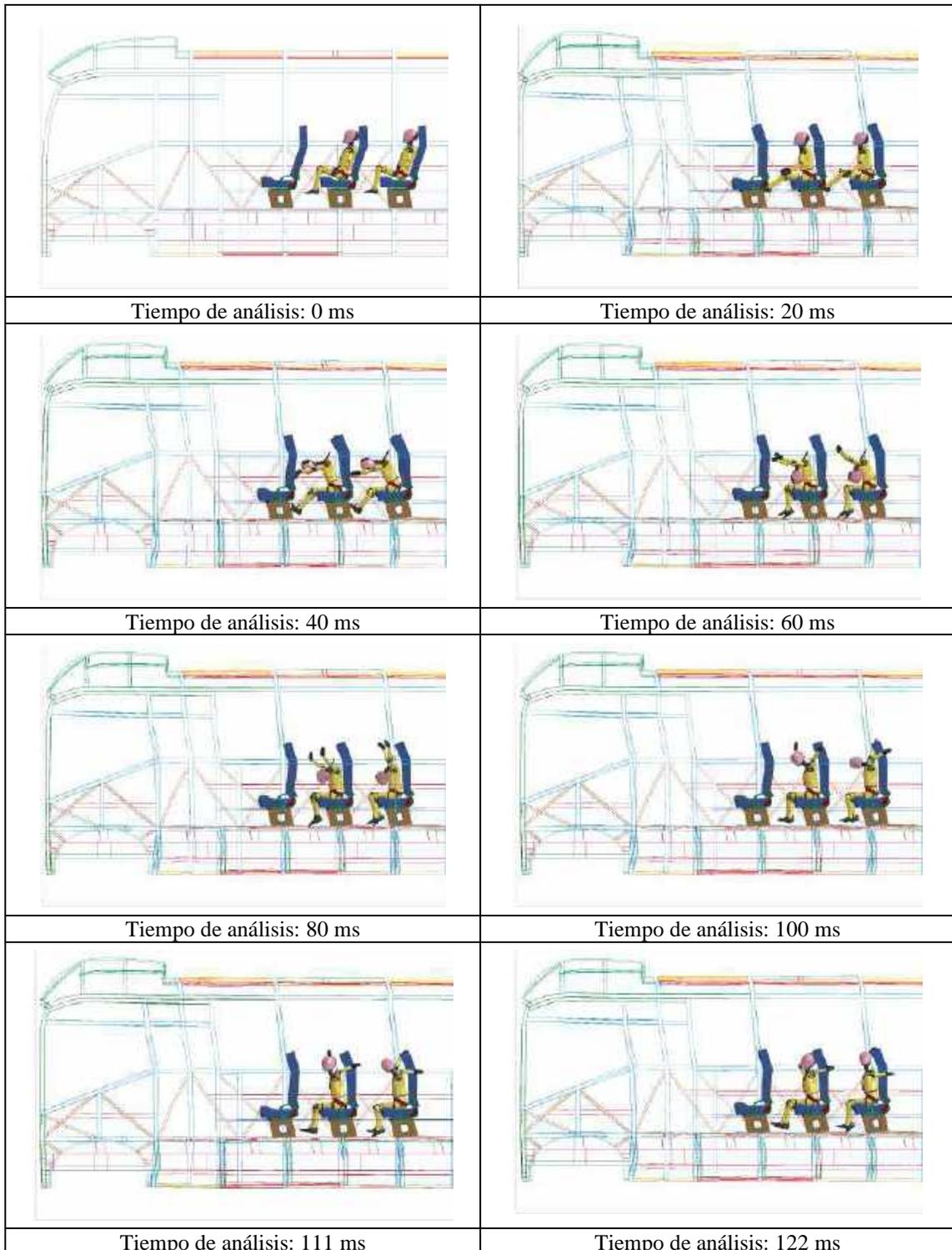


Figura 20-4. Secuencia del impacto frontal a 56 km/h con cinturón de seguridad

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.6.1 Criterio de lesiones en la cabeza con cinturón de seguridad a 56 km/h

Posteriormente, se evalúa la lesión en la cabeza del maniquí 1, obteniendo un valor del HIC de 7215 G's, siendo superior al valor permitido por el reglamento R94, por lo tanto, se confirma que el pasajero sufre lesiones graves o incluso la muerte ver figura 21-4.

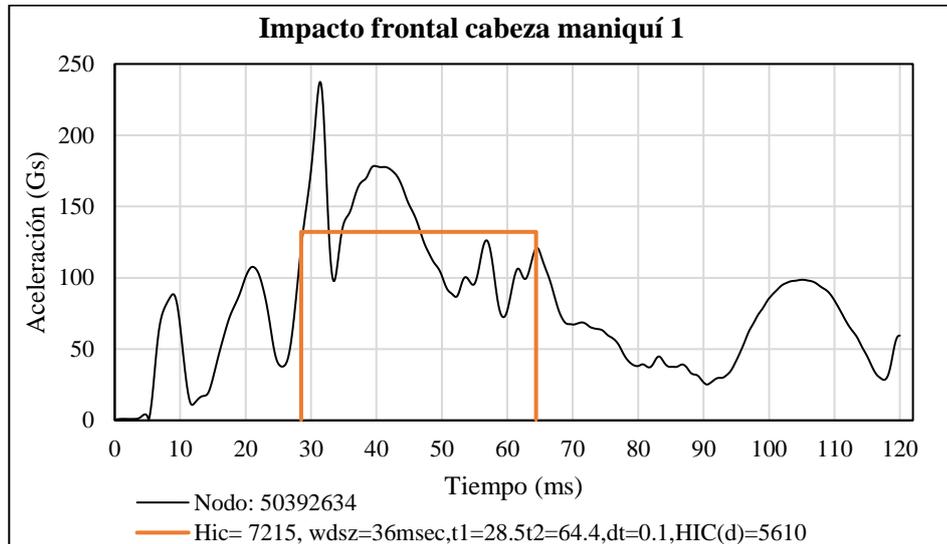


Figura 21-4. HPC en la cabeza maniquí 1, con cinturón de seguridad a 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

La figura 22-4 presenta la aceleración en la cabeza del maniquí dos, que alcanza un valor de 225, 08 G's mientras que el HCP es de 5534, de esta forma se demuestra que está por encima del umbral de lesión (700) provocando una conmoción severa y fractura en el cráneo.

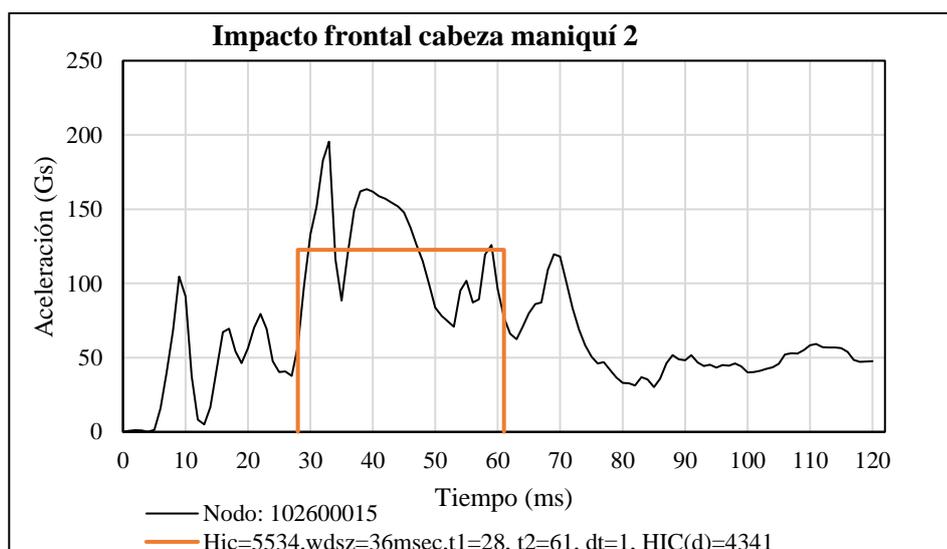


Figura 22-4. HPC, en la cabeza maniquí 2, con cinturón de seguridad a 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.6.2 Criterio de lesiones en el tórax con cinturón de seguridad a 56 km/h

En la figura 23-4, se evidencia el criterio de compresión del tórax (ThCC) del maniquí 1, con un valor de 50.741 mm, obtenido del valor máximo de 149.37 y mínimo de 98.629. Además, se comprueba que el valor del ThCC es igual al recomendado en el reglamento R94, que tiene un rango de aceptación mínimo de 50 mm.

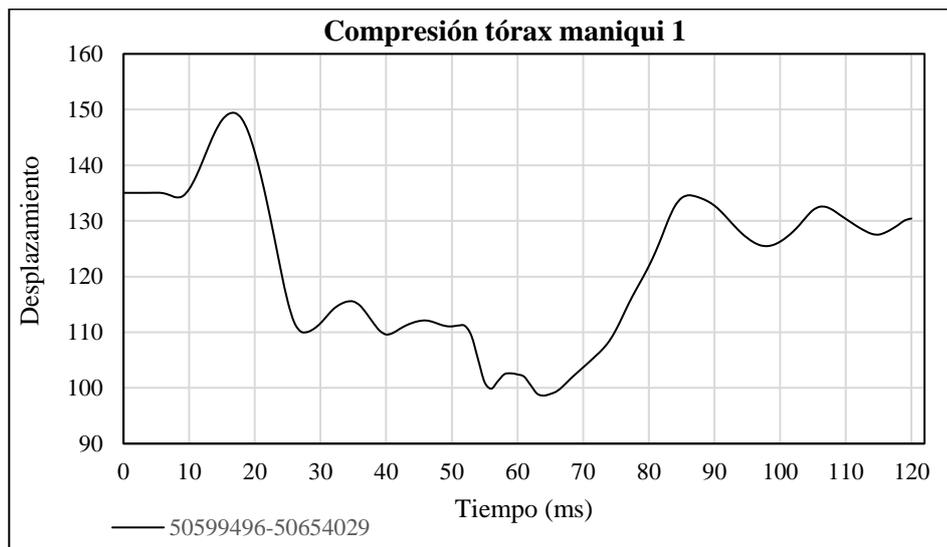


Figura 23-4. ThCC en el tórax, maniquí 1, con cinturón de seguridad a 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

La compresión del tórax ThCC, del maniquí 2, se muestra en la figura 24-4, cuando utiliza cinturón de seguridad tiene un valor de 59,678 mm, siendo superior al recomendado en el reglamento R94, por lo que el riesgo de lesiones del tórax en el maniquí 2 es elevado.

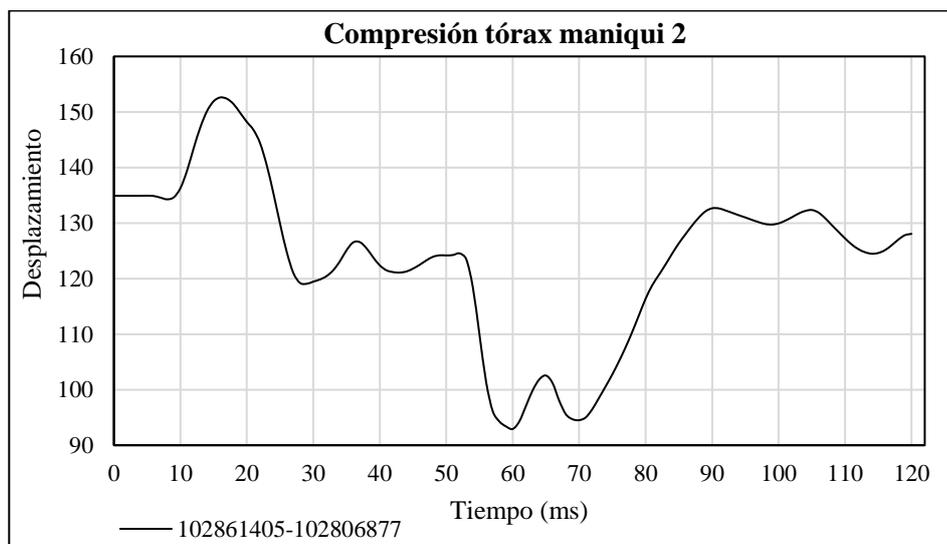


Figura 24-4. ThCC en el tórax, maniquí 2, con cinturón de seguridad a 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.6.2.1 Criterio de lesión del Fémur izquierdo maniquí 1

En la figura 25-4 se presenta el resultado del criterio de aceptación del fémur izquierdo del maniquí 1, que es de 3,22 KN, este valor es inferior al criterio de fuerza (FFC) recomendado en el reglamento R94 que es de 7,58 KN, esto indica que los ocupantes tendrán lesiones leves.

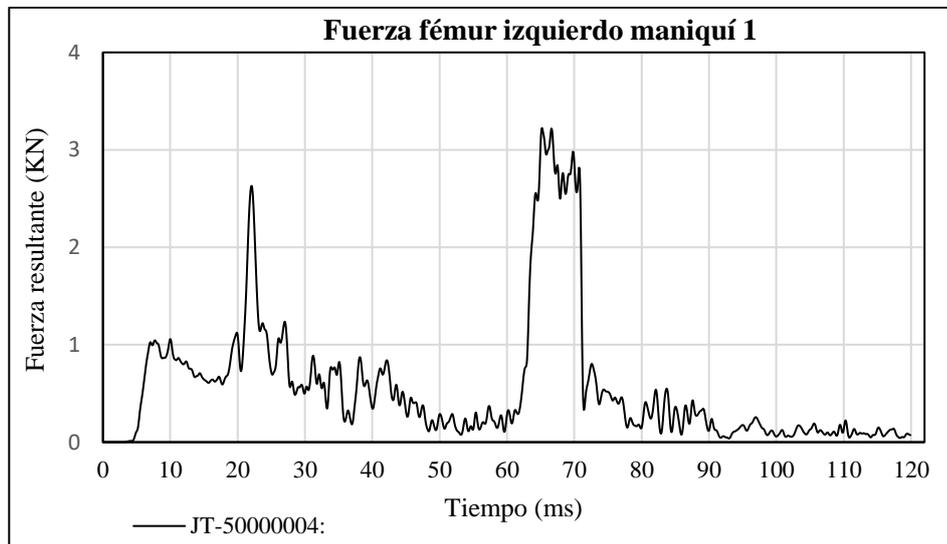


Figura 25-4. FCC, Fémur izquierdo maniquí 1, con cinturón de seguridad a 56 km/h
Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.6.2.2 Fémur derecho maniquí 1

La figura 26-4 evidencia el resultado del criterio de aceptación de lesión del fémur derecho del maniquí 1, con un valor de 4,82 KN, también es inferior al recomendado por el reglamento R94.

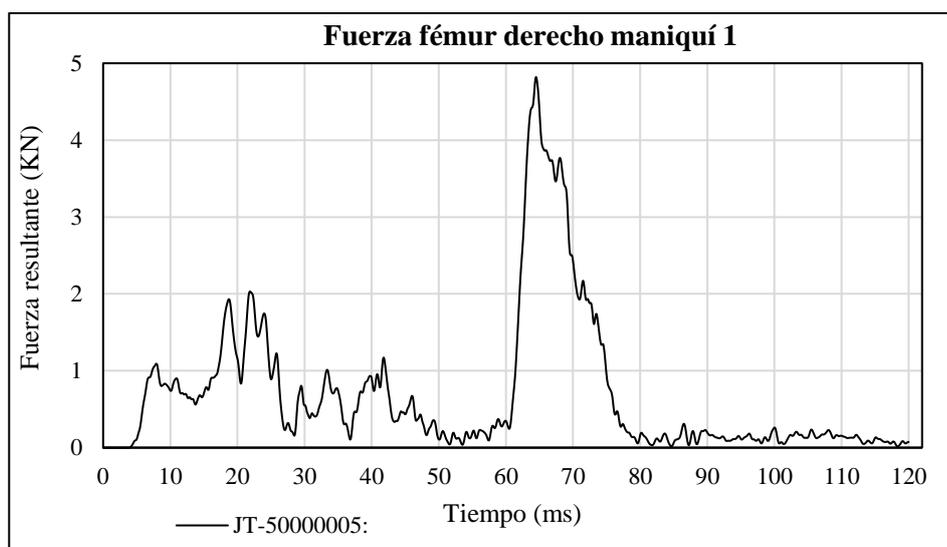


Figura 26-4. FCC, Fémur derecho maniquí 1, con cinturón de seguridad a 56/km
Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.6.2.3 Criterio de lesión del Fémur izquierdo maniquí 2

En la figura 27-4 se presenta el resultado del criterio de aceptación del fémur izquierdo del maniquí 1, que es de 1,68 KN, este valor es inferior al criterio de fuerza (FFC) recomendado en el reglamento R94 que es de 7,58 KN, esto indica que los ocupantes tendrán lesiones leves.

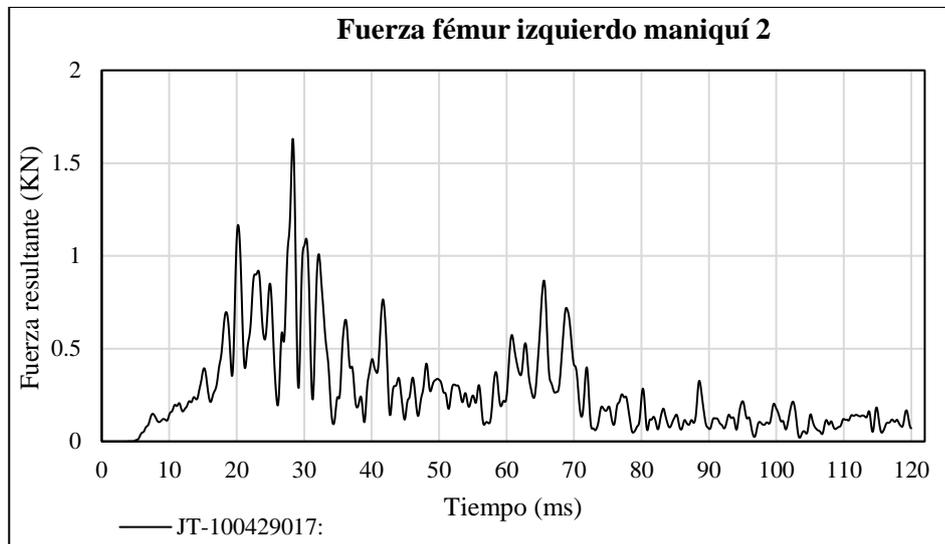


Figura 27-4. FCC, Fémur izquierdo maniquí 1, con cinturón de seguridad a 56/km

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.6.2.4 Fémur derecho maniquí 2

La figura 28-4 evidencia el resultado del criterio de aceptación de lesión del fémur derecho del maniquí 1, siendo el valor de 1.44 KN, también es inferior al recomendado por la norma R94.

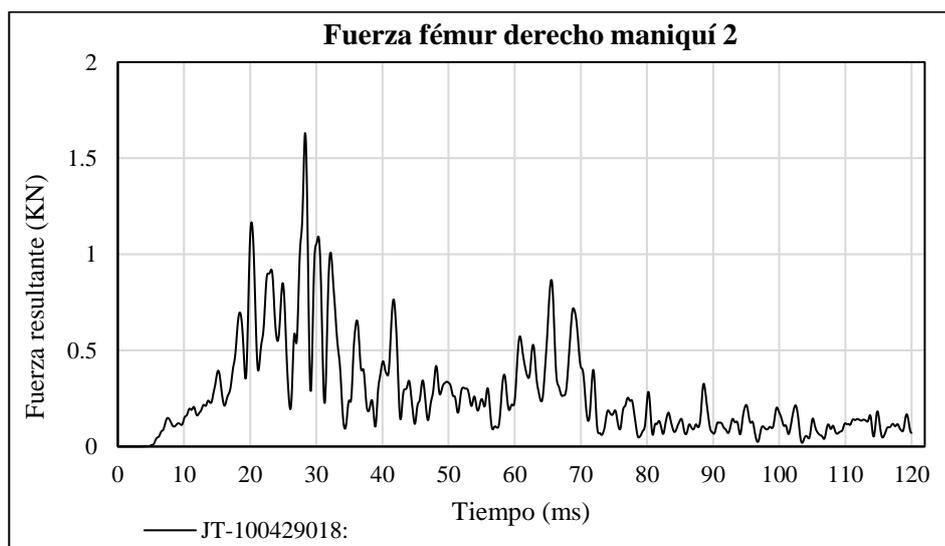


Figura 28-4. FCC, Fémur derecho maniquí 2, con cinturón de seguridad a 56/km

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.7 Evaluación mediante prueba de trineo

Después de evaluar los resultados obtenidos es necesario implementar cambios para prevenir las lesiones graves en los pasajeros del autobús escolar, entre los principales esta la modificación del ángulo de inclinación del espaldar del asiento, además se propone realizar el modelo CAD de la plataforma para pruebas de impacto y mediante la curva de impulso de aceleración validada por NTHA y realizada en el tema de investigación de (Guananga, 2022).

Además, se realiza el cambio de material de las esponjas y los resultados obtenidos anteriormente se comparan con la simulación con el trineo de impacto se toma varias consideraciones y criterios de diseño.

- Capacidad de carga
- Velocidad de aceleración máxima de 60 km/h
- Las dimensiones de la plataforma deben estar de acuerdo al ancho de los diferentes servicios de transporte público.
- Materiales para la construcción deben ser de fácil acceso
- La plataforma debe ser lo más cercano a lo real para reproducir pruebas según regulaciones ECE R16, ECE R17, ECE R44, ECE R80, ECE R94 y FMVSS 213.

Los conceptos de diseño que deben considerarse son los siguientes:

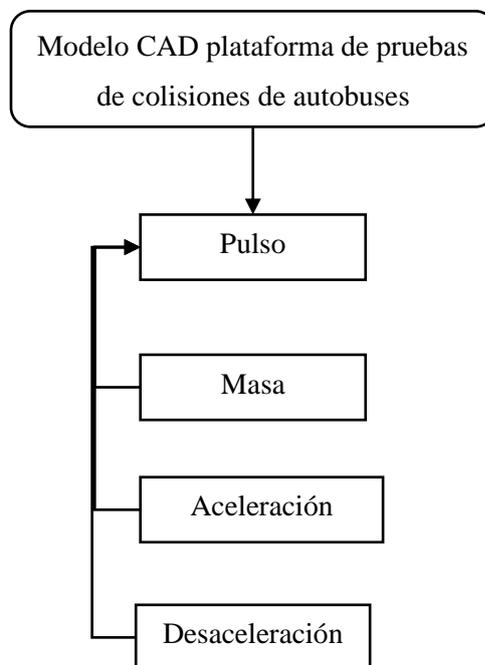


Figura 29-4. Diagrama de diseño de la plataforma.

Fuente: (Molina, 2017)

4.8 Modelo CAD sección estructura de la carrocería

Para realizar el modelo de la plataforma se toma como guía, la tesis de (Molina, 2017), además, esta plataforma va en función de las medidas de la sección del autobús cumpliendo con la norma para minibús de servicio escolar, por lo tanto, en la figura 30-4, se muestra la sección de la carrocería que va a ser implementada en la plataforma para pruebas de colisiones.



Figura 30-4 División de secciones de la carrocería

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Por lo tanto, se diseña la sección de la carrocería en base a los planos de fabricación del minibús escolar, se suprimen varios elementos estructurales como el frente respaldo, cajuelas, chasis, llantas y demás elementos que no forman parte de la sección que va a ser utilizada en la simulación de impacto frontal ver figura 31-4.

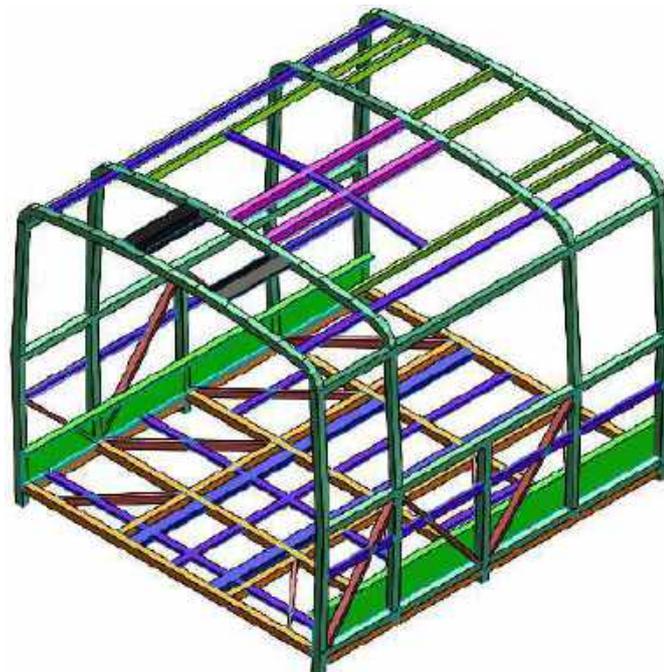


Figura 31-4. Sección carrocería para impacto

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.8.1 Centro de gravedad de la sección del minibús escolar

El centro de gravedad de la sección a simular debe ser igual a centro de gravedad el minibús completo, con la ayuda del software CAD se obtiene la sección completa con los miembros estructurales que conforman la geometría, espesor y materiales, de esta forma se obtiene la masa de la sección y es posible ubicar el centro de gravedad como se evidencia en la figura 32-4.



Figura 32-4. Centro de gravedad de la sección carrocería

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Se presenta la ubicación del centro de gravedad y la masa que se obtiene del modelado tiene un valor de 488.523 Kg, y la sección del autobús crítica para este análisis es de 2166.67 Kg, por lo tanto, para no alterar el centro de gravedad en la sección del minibús escolar se coloca el elemento masa con una proporción de 4.4352 en la sección modelada.

4.8.2 Modelo CAD de la plataforma para colisión frontal

La estructura de la plataforma está constituida por perfiles tipo C, con un perfil I central como refuerzo para evitar deformaciones de la estructura al ser sometido a las pruebas de impacto frontal para este estudio. Ver figura 33-4.

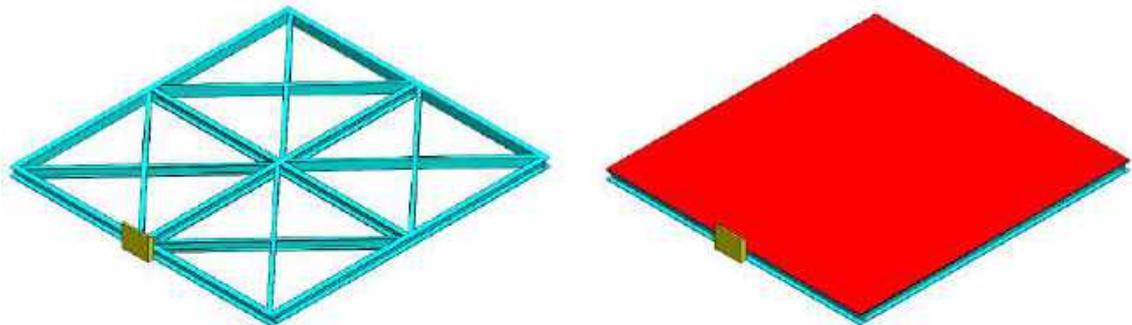


Figura 33-4. Estructura plataforma de impacto

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.8.3 Rieles para el desplazamiento de la plataforma

Para la simulación se modela la viga tipo W con una longitud de pista de 12,2 metros, pero para el trineo de pruebas y el carro auxiliar se establece una distancia total de 18 metros que es necesaria para las pruebas de impacto de aceleración y desaceleración conforme lo indican las normas de regulación. Posteriormente, se detalla el ensamble total de trineo de impacto para la simulación se han suprimido varios elementos como las uniones, rodillo, carro auxiliar y sistema de desaceleración.

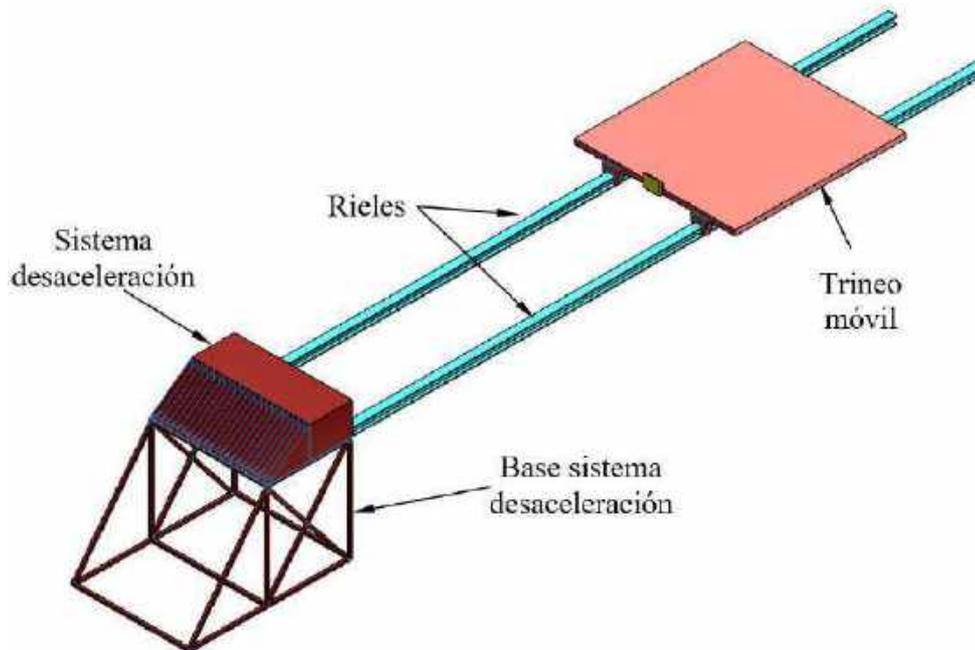


Figura 34-4. Esquema plataforma de colisiones

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.9 Ensamble de trineo carrocería y asientos

Para continuar con el proceso de simulación del impacto frontal del trineo en el programa de diseño CAD se ensamblan todos los componentes de la carrocería, trineo, asientos, rieles, sistema de desaceleración esto con el objetivo de simplificar y preparar la geometría para el post procesamiento ver figura 35-4.

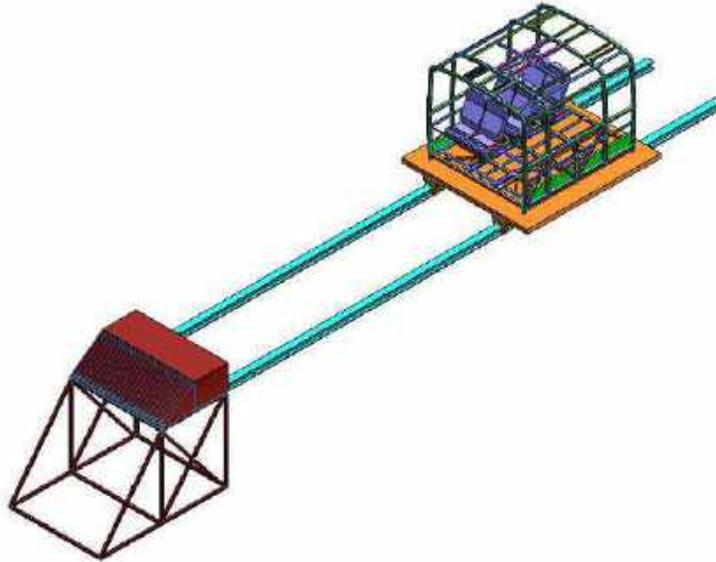


Figura 35-4. Ensamble sección y plataforma para el impacto frontal

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.9.1 *Mallado del modelo para simulación*

La sección de la estructura del minibús escolar mantiene el mismo tamaño de malla que es un tipo shell de 25 mm y del asiento escolar con el valor de 15 mm. Para las esponjas se considera un tipo sólido triangular esto por las características del material. Para el trineo móvil, rieles, sistema de desaceleración el tamaño fue de 50 mm.

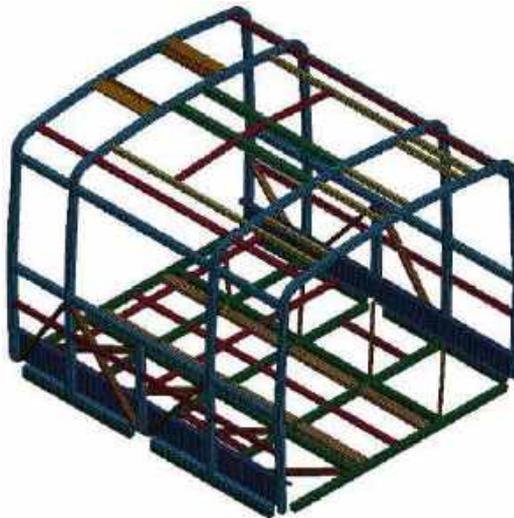


Figura 36-4. Mallado sección carrocería minibús escolar

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Como ya se explicó los asientos mantienen el tamaño y calidad de malla, sin embargo, se realiza el cambio del tipo de elemento shell por sólido tetra en las esponjas (espaldar y cojín) esto permite tener resultados más cercanos a la realidad, además el cojín se lo deforma de acuerdo a las medidas antropométricas del maniquí utilizado en la simulación del impacto frontal.



Figura 37-4. Mallado asiento escolar

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Finalmente, la figura 38-4 presenta el mallado del trineo de desaceleración de toda la estructura que conforma el trineo, para los perfiles I, se aplica un tamaño de malla de 50 mm, sin embargo, para la simulación se elimina el sistema de desaceleración.

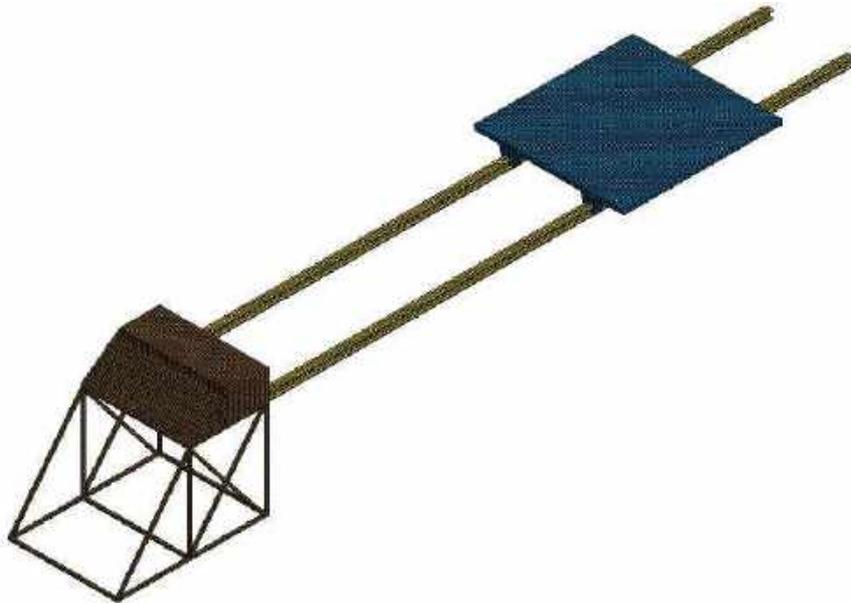


Figura 38-4. Mallado trineo para impacto frontal

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.9.2 *Análisis de calidad de malla del trineo*

La calidad de malla juega un papel importante en los resultados. El tamaño de malla depende de la geometría del modelo que lo divide en partes pequeñas conocidos como elementos que están conectados por medios de nodos. Una malla de buena calidad tiene un jacobiano de 1, pero en la

mayoría de los elementos con curvatura el aspecto de calidad es mayor a 1, en muchos casos es conveniente refinar la malla de forma local para reducir el aspecto del jacobiano y de esta manera mejorar los resultados. En la figura 39-4 se evidencia la calidad de malla de la sección del minibús.

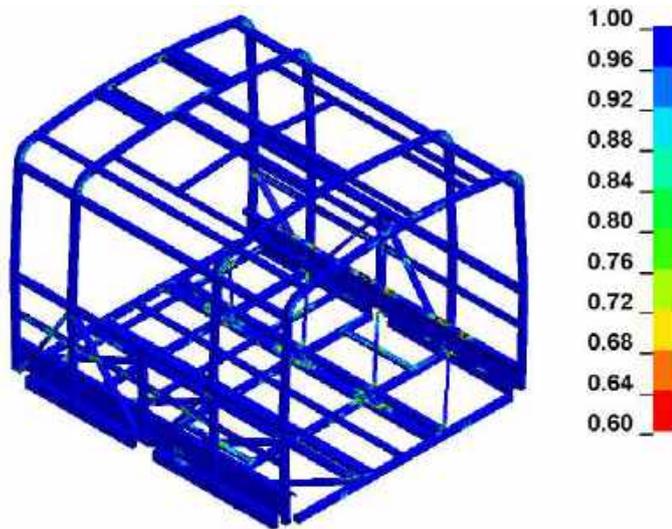


Figura 39-4. Calidad de malla sección minibús

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

- Calidad de malla del trineo: el tamaño de malla del trineo es de 50 mm, la métrica de la malla medida con el método del jacobiano está dentro del rango de 1 y el mínimo en 0,73, como muestra la figura 40-4, de esta forma se verifica que la calidad de malla es buena y se garantiza la calidad de los resultados a obtener.

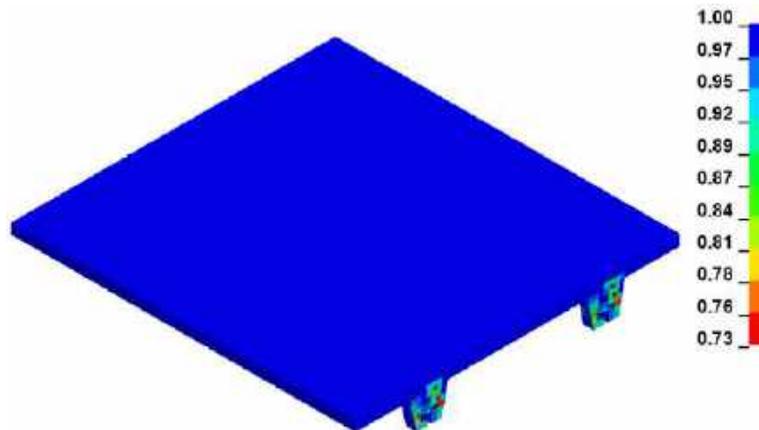


Figura 40-4. Calidad de malla trineo de impacto

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

- Calidad de malla de las esponjas del asiento escolar: La relación de aspecto para elementos tetraédricos es de 1, sin embargo, existen elementos con diferente, aspecto esto debido a la configuración geométrica de las esponjas, pero que no son punto de análisis de la investigación, en la figura 41-4 se evidencia la calidad de malla de las esponjas.

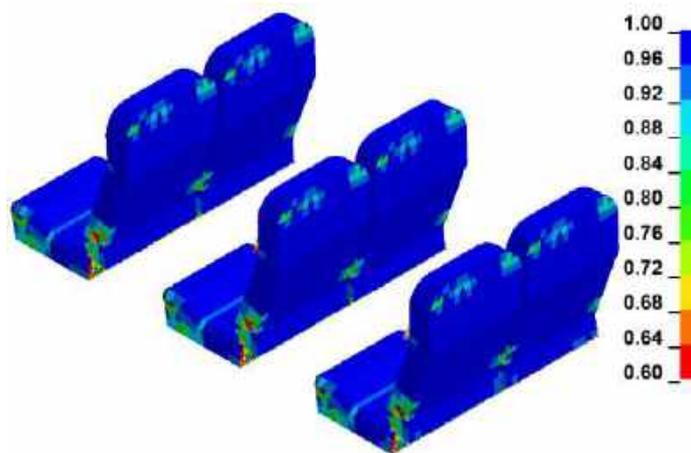


Figura 41-4. Relación de aspecto de asientos

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.9.2.1 Ingreso de maniqués en la sección de la estructura

Posteriormente, la figura 42-4, presenta la ubicación de los maniqués en la sección de la estructura del minibús escolar y se procede a ensamblar todos los componentes necesarios para asignar las condiciones de borde, materiales, velocidades y aceleraciones necesarios para la simulación.



Figura 42-4. Ubicación de maniqués en el asiento escolar

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.9.2.2 Instalación del cinturón de seguridad en el trineo

Con los maniqués instalados en los asientos del trineo es necesario modelar el cinturón de seguridad de tres puntos para verificar si retiene al individuo evitando que se golpee con el asiento delantero o contra el techo o salga desprendido del minibús escolar en la figura 43-4 se muestra la instalación del cinturón de seguridad en el pasajero.



Figura 43-4. Instalación de los cinturones de seguridad en los maniqués

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.9.3 *Condiciones de frontera*

Es necesario definir los parámetros para la simulación del impacto frontal, por lo tanto, los contactos son los mismos que se utilizó en la prueba de impacto de minibús escolar, para tener datos más reales en esta propuesta se cambia el material de las esponjas, que es utilizado en varios ejemplos de NHTSA. Además, las rieles (perfiles I) permanecen fijas sin movimiento

4.9.4 *Resistencia al choque según reglamento europeo*

La Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) implementa el reglamento ECE 80, que regula la resistencia a los choques de los grandes autobuses de pasajeros. ECE 80 requiere que las estructuras de los asientos resistan la carga generada por el impacto de un pasajero desde atrás durante las pruebas de trineo que utilizan un pulso de aceleración que cae dentro de los corredores especificados (Figura 44-4).

ECE 80 establece umbrales máximos para métricas de lesiones en la cabeza, el pecho y las extremidades inferiores en impactos frontales (HIC36 por debajo de 500, Criterios de aceptabilidad torácica (ThAC) por debajo de 30 g, Extremidad inferior (LE) por debajo de 10 kN). Por lo tanto, se toma como ejemplo el pulso de aceleración del estudio realizado por (Guananga, 2022). Se ha utilizado FEM del autobús para obtener el pulso de desaceleración y ha sido validado con prueba de choque con una velocidad de 32km/h y una desaceleración máxima de 10 g.

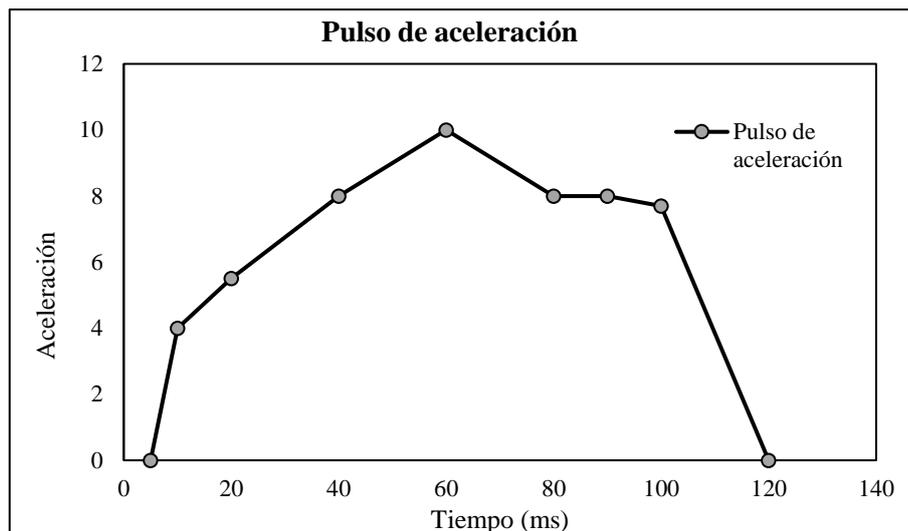


Figura 44-4. Corredores de pulso de aceleración medido en el bus, CEPE R80

Fuente: (Guananga, 2022)

4.10 Criterios de aceptación de acuerdo con el reglamento CEPE R80

Este reglamento describe los criterios de aceptabilidad de las posibles lesiones que presenta el pasajero al sufrir un impacto frontal, de acuerdo con el reglamento se explica los siguiente:

4.10.1 Criterio de aceptabilidad de la cabeza (CAC)

El valor permitido por el reglamento R80, en la cabeza del maniquí (CAC) es de 500 G's. y se mide con la aceleración triaxial en referencia al centro de gravedad y es medido con un CFC de 600, dentro de los tiempos: t_2 y t_1 son los valores del ensayo y CAC, valor máximo en el intervalo t_2 y de t_1 esto de acuerdo a la ecuación descrita en el capítulo II.

4.10.2 Criterio de aceptabilidad del tórax (CAT)

El criterio de aceptación del tórax debe ser inferior a 30g, excepto en periodos de menos de 3 ms, además, la aceleración medida en el centro de gravedad será con un CFC de 180, y la desviación de la caja torácica se medirá con un CFC de 180.

4.10.3 Criterio de aceptabilidad del fémur (CAF)

El criterio de aceptabilidad del fémur (CAF) debe ser inferior a 10 KN y no debe superar el valor de 8 KN dentro del periodo total que no sume 20 ms. La fuerza de compresión axial debe ser medida con un CFC de 600.

4.11 Resultados de la prueba de impacto con trineo sin cinturón

Finalmente, se procede a realizar la simulación de impacto para evaluar las lesiones que aparecen en este tipo de siniestros por lo cual se realiza el impacto cuando el pasajero no utiliza el cinturón de seguridad. Los resultados obtenidos mostrados en la secuencia de figuras 45-4. (NHTSA, 2022a).

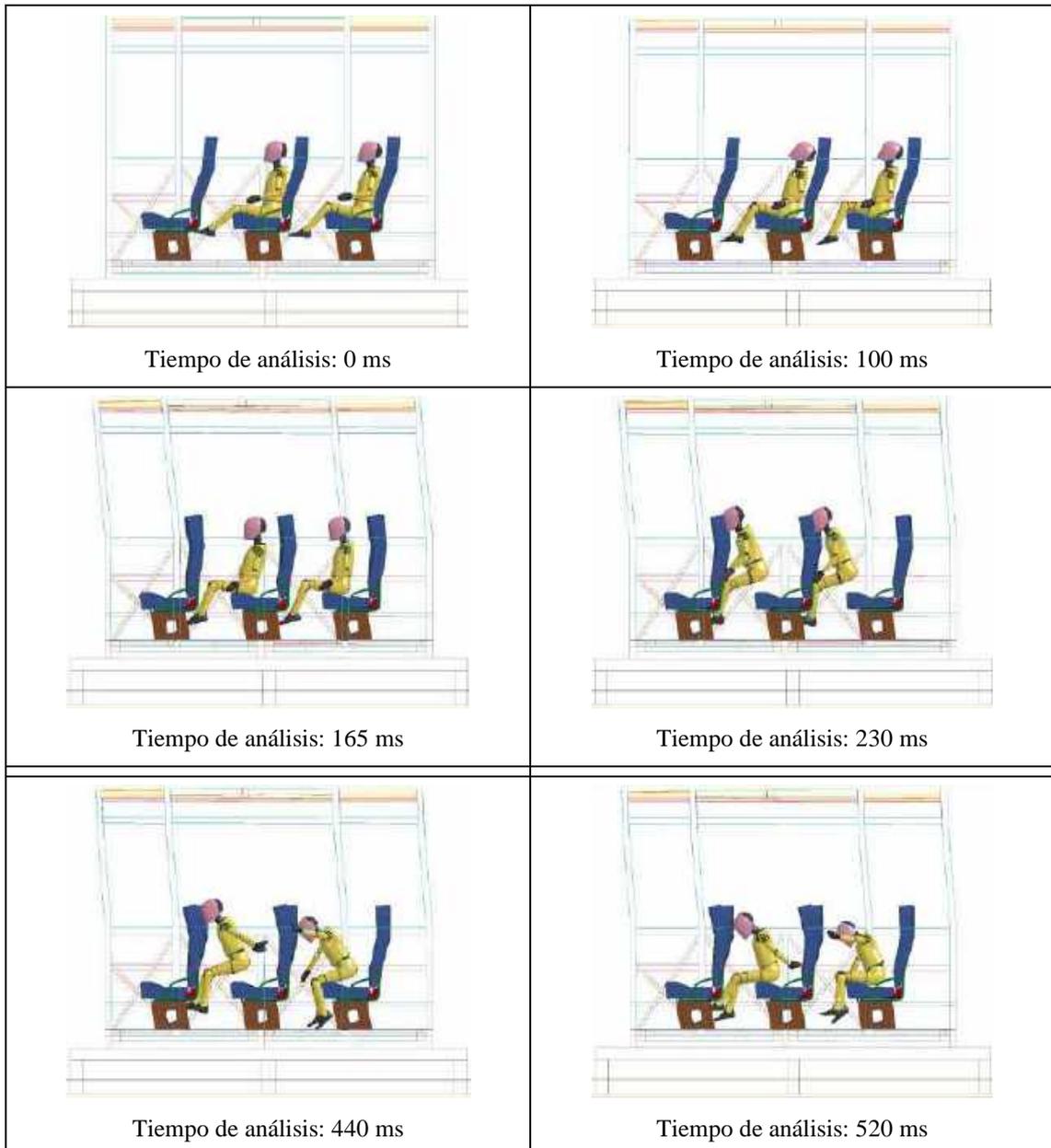


Figura 45-4. Secuencia de impacto frontal cuando el maniquí no usa cinturón de seguridad

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.11.1 Criterio de lesiones en la cabeza

El valor de HIC 36 para la cabeza del maniquí 1, es de 679,8 G's, y se muestra en la figura 46-4, siendo superior a 500 G's, que es el recomendado por el reglamento R80, de igual forma se comprueba que la aceleración es inferior a 300 G's, de esta manera se demuestra que el pasajero no sufre lesiones graves que pongan en riesgo la vida.

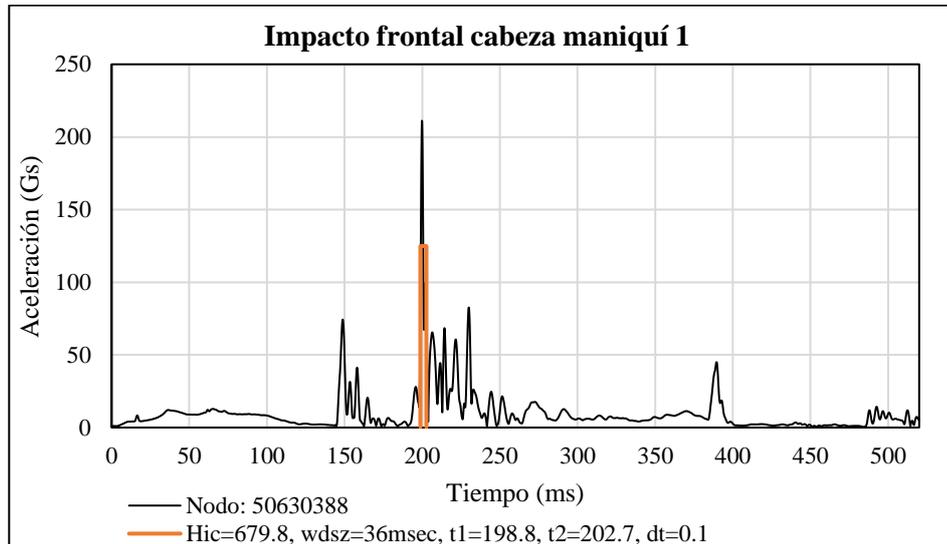


Figura 46-4. CAC en la cabeza maniquí 1 sin cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

En el maniquí dos también se evalúa bajo el mismo criterio y se obtiene un valor de HCI de 419,6 G's, siendo inferior al recomendado en el reglamento R80. Así mismo las fuerzas G's, son de 123, 21G's, y no supera el rango exigido, por lo que el pasajero no se ve afectado con lesiones severas ver figura 47-4.

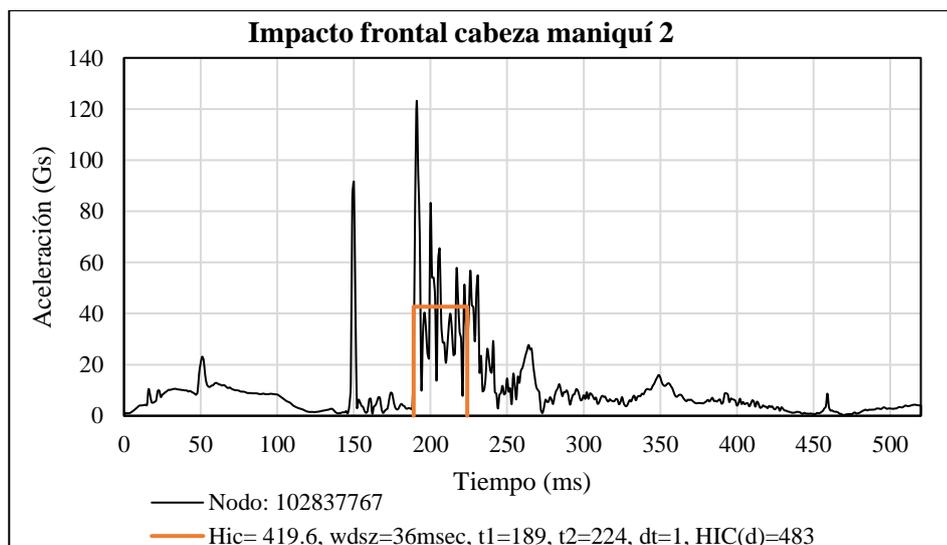


Figura 47-4. CAC en la cabeza maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.11.2 Criterio de lesiones en el tórax

La figura 48-4 presenta el comportamiento del tórax del maniquí 1, cuando el maniquí no utiliza el cinturón de seguridad, siendo el valor obtenido de 37,45 G's, y es superior a los 30 G's, establecido en el reglamento R80 por lo que se presume lesiones graves en el tórax.

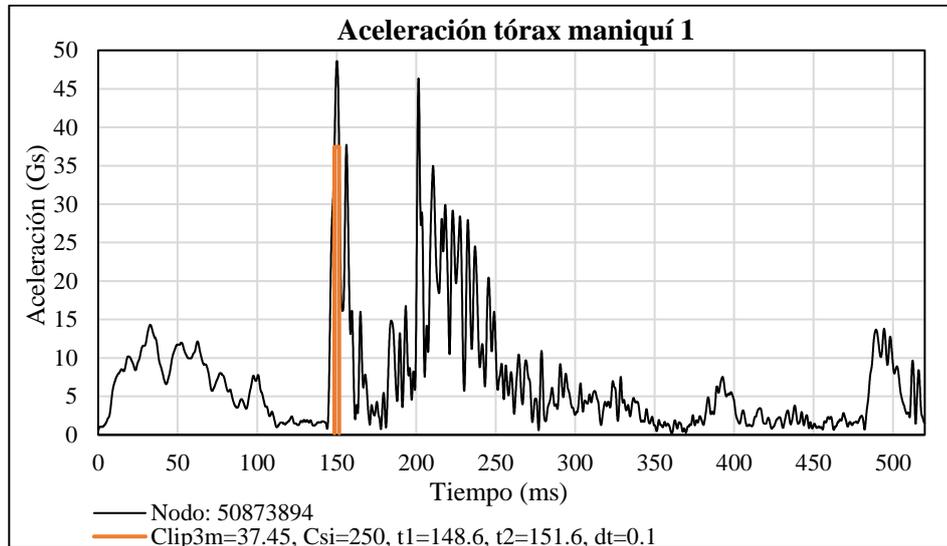


Figura 48-4. CAT, tórax maniquí 1 sin cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

El valor del tórax en el maniquí 2 tiene un valor de 47,06 siendo superior al recomendado por el reglamento R80, esto demuestra que el pasajero tendrá lesiones graves en el tórax, como daño de órganos internos o incrustaciones de las cotillas ver figura 49-4.

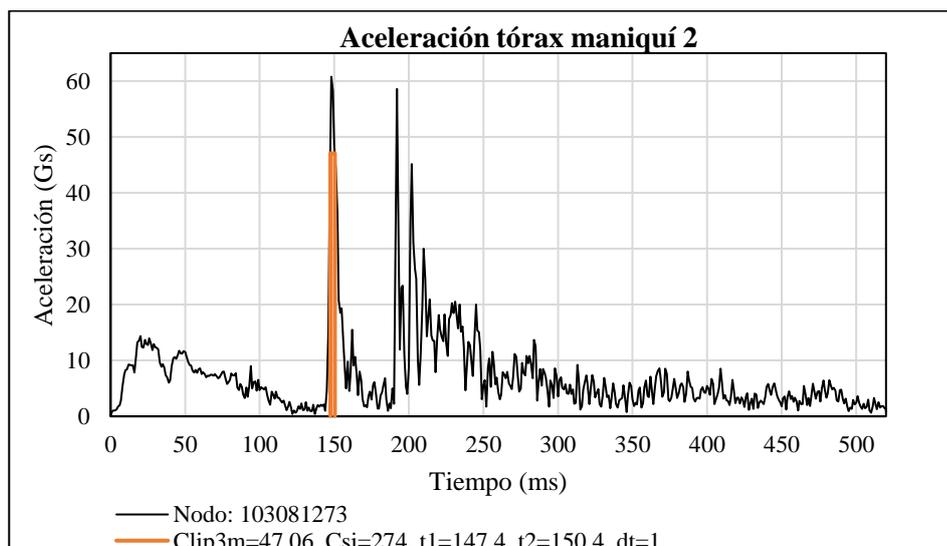


Figura 49-4. CAT, tórax maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.11.3 Criterio de lesiones en el fémur izquierdo maniquí 1

En la figura 50-4, se observa el resultado del criterio de aceptabilidad de lesión del fémur izquierdo del maniquí 1, con un valor de 1,18 KN, este valor es inferior al establecido en el reglamento R80, lo cual indica que el pasajero no tendrá lesiones graves.

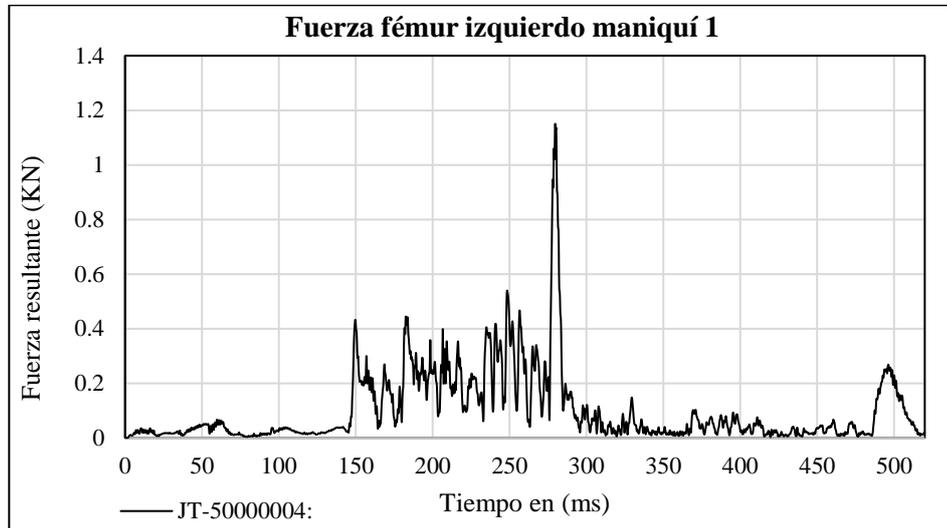


Figura 50-4. CAF, Fémur izquierdo maniquí 1, sin cinturón de seguridad a 32 km/h
Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.11.4 Criterio de lesiones en el fémur derecho maniquí 1

La figura 51-4 presenta el valor del criterio de aceptabilidad de lesión del fémur derecho con un valor de 1,1 KN, que es inferior al establecido en el reglamento R80, y la lesión en esta parte de cuerpo del pasajero es leve.

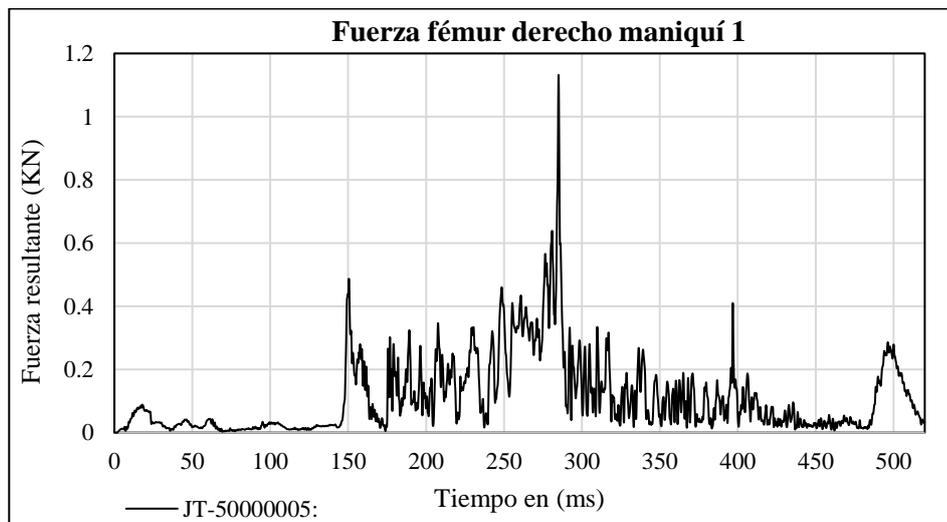


Figura 51-4. CAF, Fémur derecho maniquí 1, sin cinturón de seguridad a 32 km/h
Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.11.5 Criterio de lesiones en el fémur izquierdo maniquí 2

En la figura 52-4 se muestra el resultado del criterio de aceptabilidad de la lesión del fémur del izquierdo del maniquí 2, con un valor de 0.44 KN, el cual indica que no tiene afectación grave de lesión en el pasajero y cumplen con los requisitos del reglamento R80.

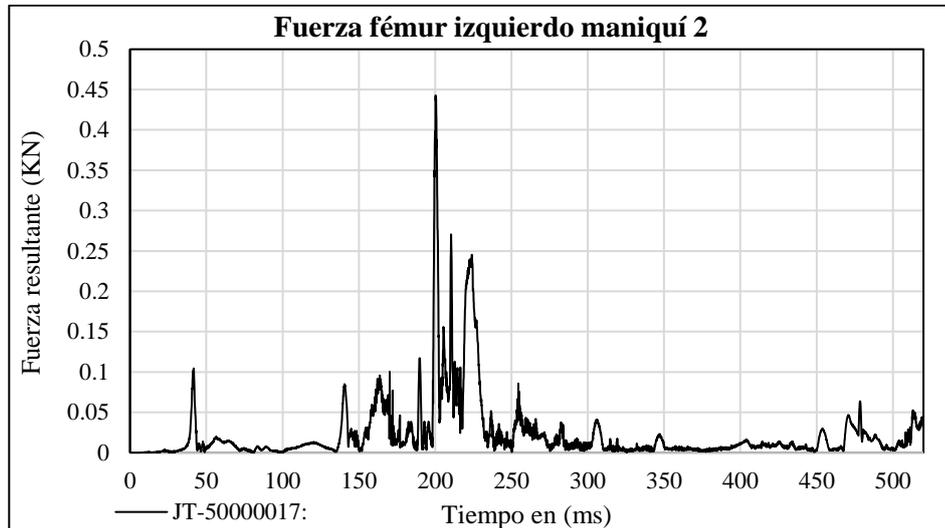


Figura 52-4. CAF, Fémur izquierdo maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 32 km/h
Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.11.6 Criterio de lesiones en el fémur derecho maniquí 2

El criterio de aceptabilidad de lesión del fémur derecho del maniquí 2, es de 0.49 KN, que también es un valor bajo y cumple con el rango exigido por el reglamento R80 ver figura 53-4.

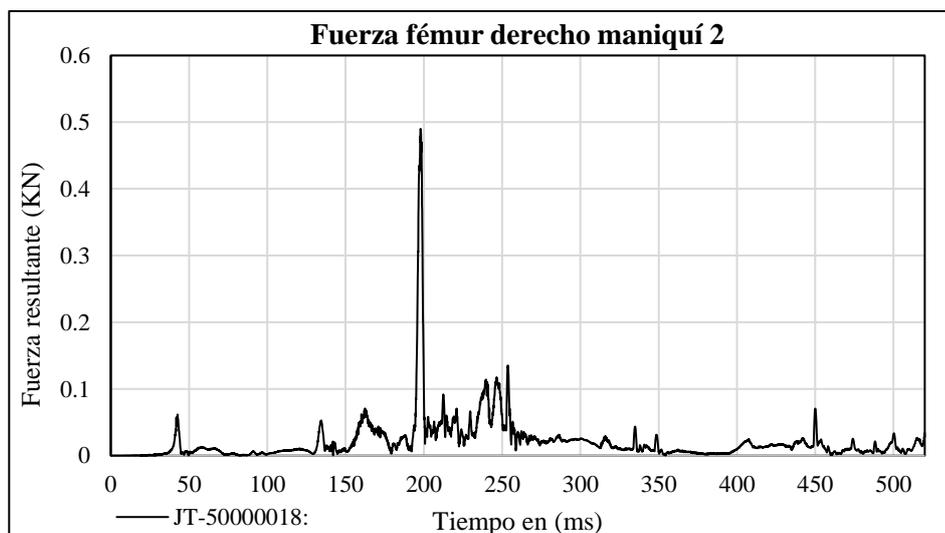


Figura 53-4. CAF, Fémur derecho maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 32 km/h
Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.11.7 Análisis de prueba de impacto de trineo con cinturón

En la simulación de impacto frontal se agrega el cinturón de seguridad de tres puntos y se procede a realizar la verificación del comportamiento de los maniqués.



Figura 54-4. Secuencia de impacto frontal cuando el maniqué con cinturón de seguridad

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.11.8 Análisis de lesiones en la cabeza

En la figura 55-4 se ilustra el valor máximo de lesión en la cabeza del maniquí 1, el cual está utilizando cinturón de seguridad de 3 puntos y se verifica que el HIC que es de 2038, y supera el valor permitido por la normativa sin embargo la aceleración de la cabeza medida en el acelerómetro es de 153,1 G's, por lo tanto, existe el riesgo de lesiones severas en el pasajero.

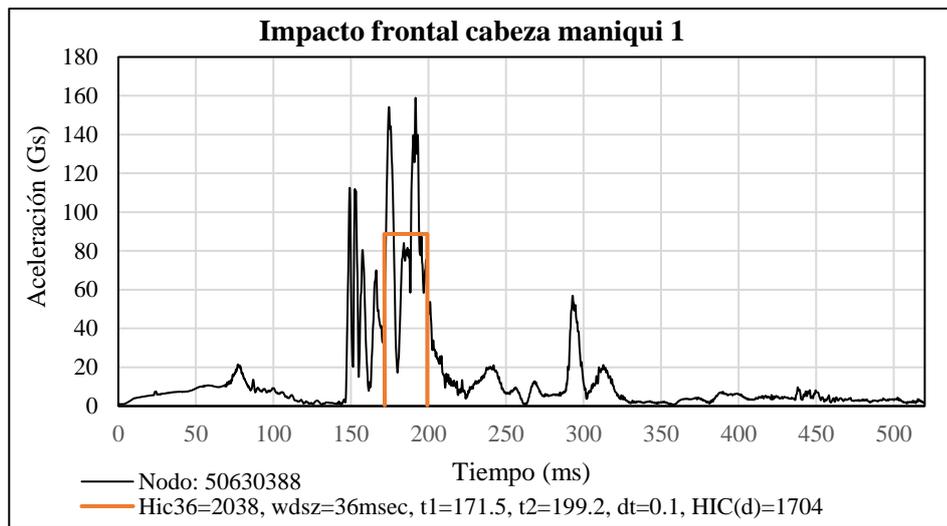


Figura 55-4. CAC en la cabeza maniquí 1 con cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

La figura 56-4 evidencia el comportamiento de la cabeza del maniquí 2, obteniendo un valor de 1588, que demuestra que supera el límite permitido por el reglamento R80, de igual manera la aceleración máxima es de 152.37 por lo tanto el riesgo de lesiones o conmoción cerebral es elevado.

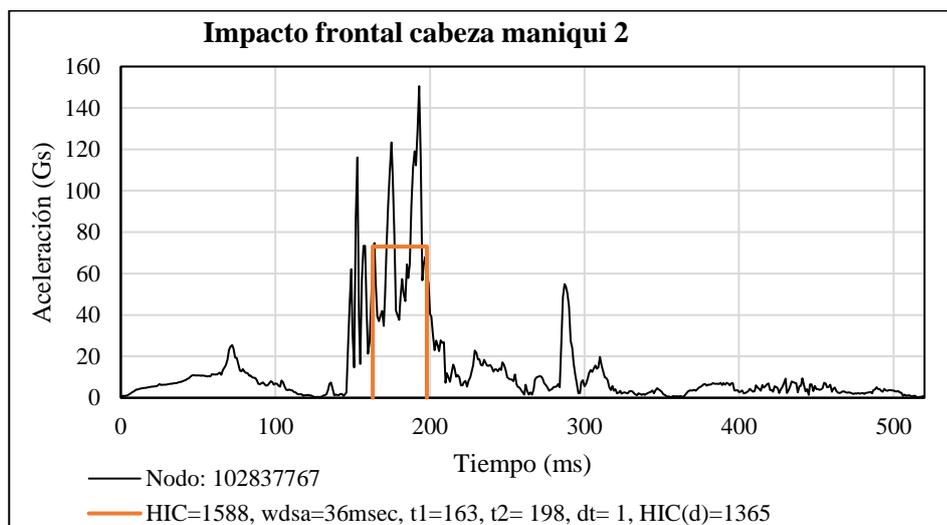


Figura 56-4. CAC en la cabeza maniquí 2, con cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.11.9 Análisis de lesiones en el tórax

El análisis de comportamiento del tórax evaluado en el maniquí 1 de la simulación de impacto frontal cuando utiliza el cinturón de 3 puntos evidencia el valor de 45,75 G's, superando el permitido por la norma que es de 30 G's, esto evidencia la figura 57-4.

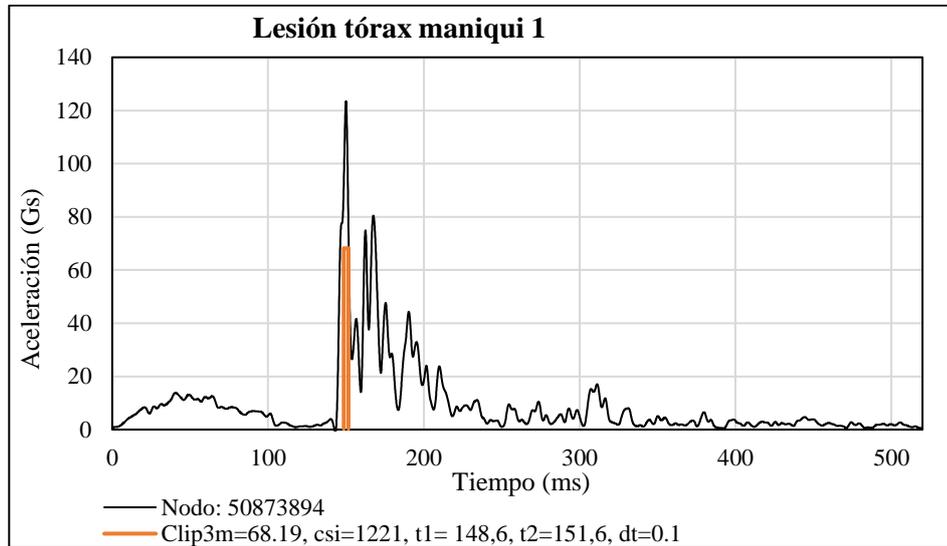


Figura 57-4. CAT, tórax maniquí 1, con cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

La figura 58-4 presenta el valor del criterio de aceptación del tórax evaluado en la simulación de impacto frontal que supera el límite EXITX permitido en el reglamento R 80 este valor es de Clip3m 70,59 G's.

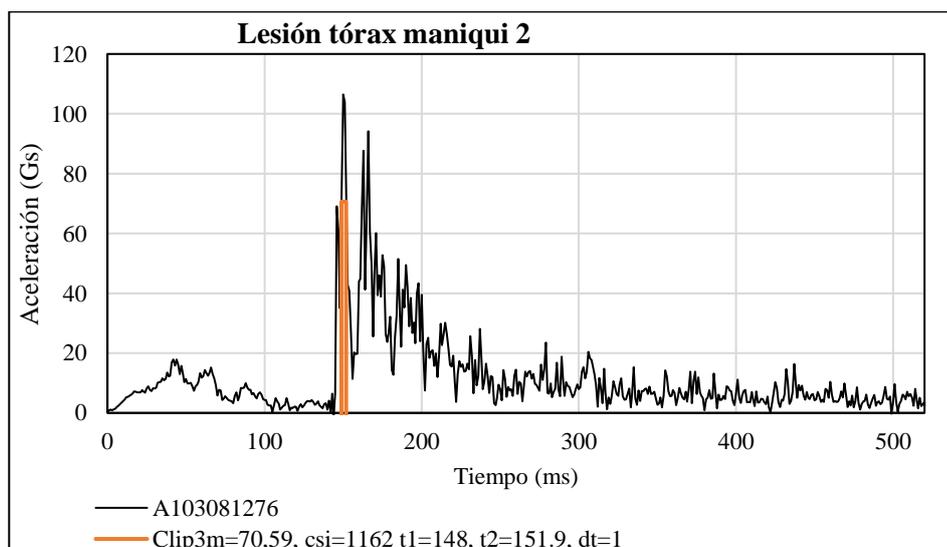


Figura 58-4. CAT, tórax maniquí 2, con cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.11.9.1 Criterio de lesión del Fémur izquierdo maniquí 1

En la figura 59-4 se presenta el resultado del criterio de aceptación del fémur izquierdo del maniquí 1, que es de 3,22 KN, este valor es inferior al criterio de fuerza (FFC) recomendado en el reglamento R80 que es de 7,58 KN, esto indica que los ocupantes tendrán lesiones leves.

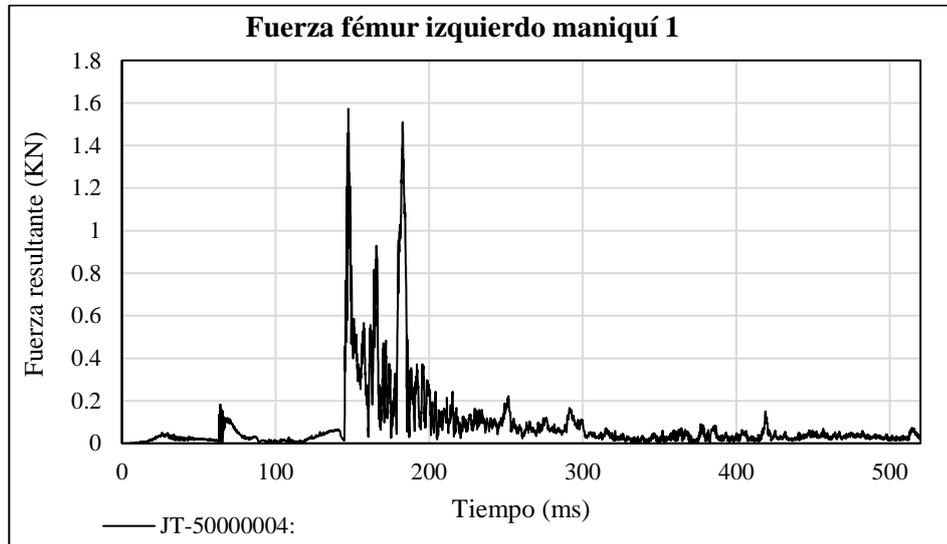


Figura 59-4. CAF, Fémur izquierdo maniquí 1, con cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.11.9.2 Criterio de lesión fémur derecho maniquí 1

La figura 60-4 evidencia el resultado del criterio de aceptación de lesión del fémur derecho del maniquí 1, siendo el valor de 1,392 KN, también es inferior al recomendado por la norma R80.

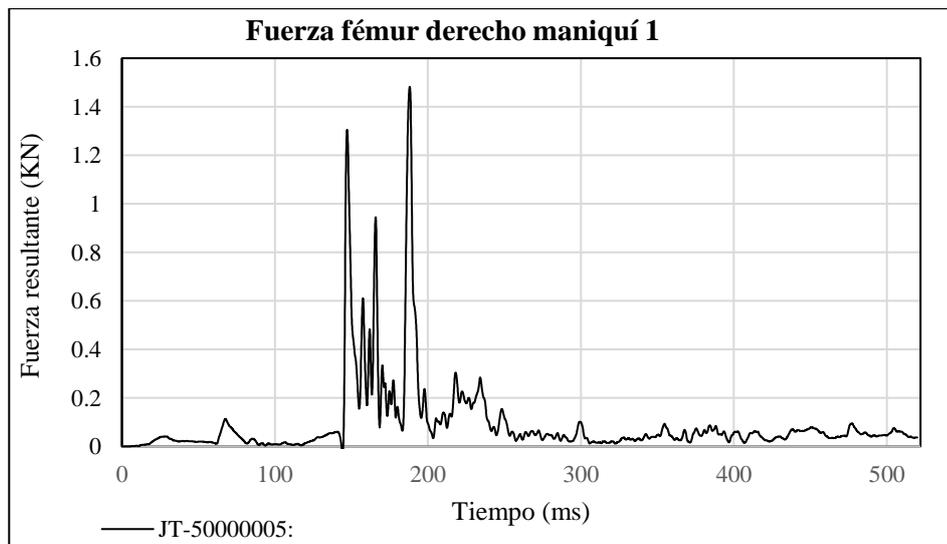


Figura 60-4. CAF, Fémur derecho maniquí 1, con cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.11.9.3 Criterio de lesión del Fémur izquierdo maniquí 2

En la figura 61-4 se presenta el resultado del criterio de aceptación del fémur izquierdo del maniquí 1, que es de 0,37 KN, este valor es inferior al criterio de fuerza (FFC) recomendado en la norma R94 que es de 7,58 KN, esto indica que los ocupantes tendrán lesiones leves.

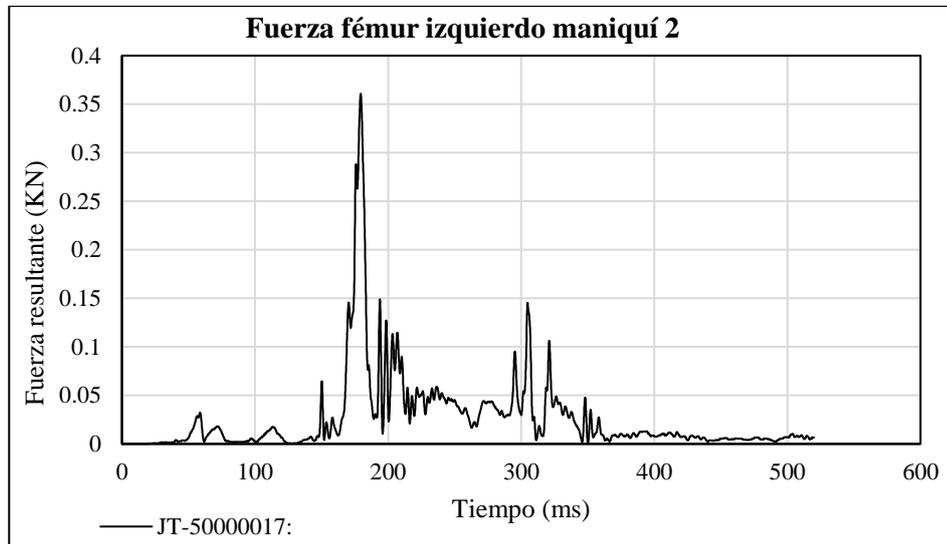


Figura 61-4. CAF, Fémur izquierdo maniquí 2, con cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.11.9.4 Criterio de lesión fémur derecho maniquí 2

La figura 62-4 evidencia el resultado del criterio de aceptación de lesión del fémur derecho del maniquí 1, siendo el valor de 0,36 KN, también es inferior al recomendado por la norma R94.

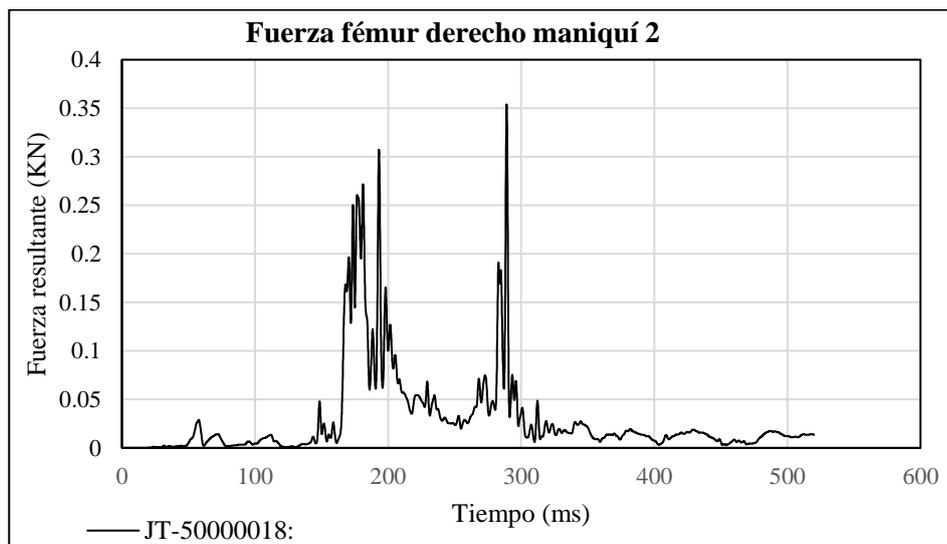


Figura 62-4. CAF, Fémur derecho maniquí 2, con cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.12 Resumen de resultados obtenidos del impacto frontal

En la tabla 1-4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en las simulaciones de impacto frontal, donde se evaluó los criterios de la cabeza y tórax de acuerdo con la norma EURO NCAP. En el caso del maniquí 1 el HCI es de 1776 que tiene un nivel de conmoción cerebral severo (ver anexo E), en cambio en el maniquí 2 el daño sobre pasa el valor de HCI = 1800 imposible sobrevivir ante este impacto de la cabeza con el tubo estructural del espaldar del asiento que esta recubierto por la esponja. En cambio, cuando se utiliza el cinturón de seguridad, es retenido en el asiento, pero existe una exagerada deformación del cuello causando un daño severo en la cabeza de los maniqués, no se considera valido este resultado porque la cabeza no impacta con ninguna parte dura del minibús, por lo que se producen daños en el ocupante del minibús escolar ver tabla 1-4.

Para el criterio de lesión del tórax en el caso de los maniqués 1 y 2 que no utilizan cinturón de seguridad el pecho no impacta con superficies duras por lo tanto la compresión del tórax es inferior al criterio de aceptación que tiene su valor máximo permitido de 42 mm. En cambio, cuando utilizan el cinturón de seguridad de tres puntos, el cual pasa diagonalmente por la zona del pecho del pasajero, ejerce presión sobre el tórax lo que provoca que se eleve la compresión en el maniquí 1 es de 42,2 mm y en el maniquí 2 el valor es de 55,09 siendo superior a los rangos permitidos por la normativa ver tabla 1-4.

Tabla 1-4: Evaluación de resultados obtenidos reglamento EURO NCAP

EURO NCAP (48 km/h) PARED RIGIDA												
Tipo de lesión	Sin cinturón		Cumple				Con cinturón		Cumple			
	M1	M2	M1		M2		M1	M2	M1		M2	
			Si	No	Si	No			Si	No	Si	No
	Cabeza	1576	2864		x		x	3413	2995		x	
Tórax compresión	14,3	23,28	x		x		42,2	55,09	x			x

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Las lesiones obtenidas en las simulaciones de impacto frontal, donde se evaluó los criterios de la cabeza, tórax y fémur de acuerdo con el reglamento CEPE R94, a velocidad de 56 km/h, de acuerdo con los resultados los daños en la cabeza del maniquí 1 y 2 son superiores a 1000 valor máximo que establece el reglamento R94, el valor del HIC del maniquí 1 es de 2075 y 4522 siendo el nivel de conmoción cerebral imposible sobrevivir y se comprueba que a mayor velocidad, más alto es el índice de sufrir graves lesiones, en la tabla 2-4 se evidencia los valores indicados. Para el análisis de impacto cuando utiliza el cinturón de seguridad, el cuello sufre una deformación

exagerada superior al análisis a 48 km/h, provocando que el maniquí 1 tenga un valor de HIC de 7215 y el HCI del maniquí 2 alcance un valor de 5534 lo que indica que el nivel de conmoción cerebral es severo causando la muerte del pasajero (ver anexo E).

El criterio de compresión del tórax, cuando no utiliza cinturón de seguridad el maniquí 1 y 2 está por debajo del límite permitido en el reglamento R94 que es de 50 mm en este caso no se saca conclusiones porque no existe una fuerza que presiona el tórax del maniquí. Para el análisis con cinturón de seguridad se evidencia que este valor aumenta hasta alcanzar el valor máximo de 50,74 mm para el maniquí 1 y 59,68 mm en el maniquí 2, el motivo es que el cinturón de seguridad ejerce una presión en el tórax del maniquí y los valores están en el límite o superior al permitido por el reglamento lo que evidencia lesiones leves en el pasajero ver tabla 2-4.

El análisis de lesiones en el fémur derecho e izquierdo del maniquí 1 y 2, se calcula por medio de la fuerza producida durante el tiempo de impacto, el desplazamiento del maniquí permite el impacto de las rodillas con el espaldar del asiento delantero, obteniendo valores que no superan los permitidos por el reglamento R94, la fuerza máxima permitida es de 7,58 KN, en la tabla 2-4 se evidencia los valores obtenidos en los maniqués. Para el análisis con el cinturón de seguridad al ser retenidos en sus asientos los maniqués, las lesiones en el fémur derecho e izquierdo son inferiores al rango permitido por la normativa, por lo tanto, no se generan lesiones graves en el pasajero ver tabla 2-4.

Tabla 2-4: Evaluación de resultados obtenidos reglamento CEPE R94

CEPE R94 (56 km/h) PARED RIGIDA												
Tipo de lesión	Sin cinturón		Cumple				Con cinturón		Cumple			
	M1	M2	M1		M2		M1	M2	M1		M2	
			Si	No	Si	No			Si	No	Si	No
Cabeza	2075	4522		x		x	7215	5534		x		x
Tórax compresión	22,03	25,15	x		x		50,74	59,68		x		x
Fémur Izquierdo	3,61	4,22	x		x		3,22	1,68	x		x	
Fémur Derecho	7,48	7,2	x		x		4,82	1,44	x		x	

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

En el caso del análisis con el trineo de impacto frontal a velocidad de 32 Km/h, los resultados obtenidos en el índice de lesiones de la cabeza en el maniquí 1, el valor del HCI es de 679,8 que es superior al permitido en el reglamento que es de 500, lo que provoca inconciencia por menos de un hora o fractura lineal (ver anexo E) pero en el maniquí 2 este valor HCI es de 419,6 ver tabla 3-4, siendo inferior y las lesiones son leves provocando en el pasajero dolor de cabeza o

mareo (ver anexo E). Para el análisis de la aceleración del tórax, cuando no utiliza cinturón de seguridad y cuando utiliza el mismo, el valor en los dos maniqués es superior al valor permitido por el reglamento R80, que es de 30, estos valores se muestran en la tabla 3-4. Finalmente, para el criterio de aceptabilidad del fémur derecho e izquierdo cuando no utiliza cinturón de seguridad y cuando utiliza el mismo los rangos son inferiores al establecido por el reglamento CEPE R80, y debe ser inferior a 10 kN, además, se comprueba que a menor velocidad el riesgo de sufrir lesiones severas disminuye, puesto que al comparar con la velocidad a 56 Km estos valores también son inferiores como lo evidencia la tabla 3-4.

Tabla 3-4: Evaluación de resultados obtenidos reglamento CEPE R80

CEPE R80 (32 km/h) Trineo de impacto												
Tipo de lesión	Sin cinturón		Cumple				Con cinturón		Cumple			
	M1	M2	M1		M2		M1	M2	M1		M2	
			Si	No	Si	No			Si	No	Si	No
Cabeza	679,8	419,6		x	x		2038	1588		x		x
Aceleración Tórax	37,45	47,1		x		x	68,2	70,59		x		x
Fémur Izquierdo	1,18	0,44	x		x		1,58	0,37	x		x	
Fémur Derecho	1,1	0,49	x		x		1,50	0,35	x		x	

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.12.1 Prueba de impacto a 16 km/h y cambio de distancia entre asientos

Para verificar la influencia de la distancia entre asientos en el minibús escolar ante impacto frontal se modifica este parámetro y se realiza las simulaciones a velocidad de 16 km/h. Por lo tanto, se cambia la distancia recomendada en la norma INEN 041 que tiene un valor mínimo de 680 mm, con fines de evaluar cómo afecta la seguridad en el pasajero se cambia la longitud a un valor de 585 mm, como se muestra en la figura 63-4.

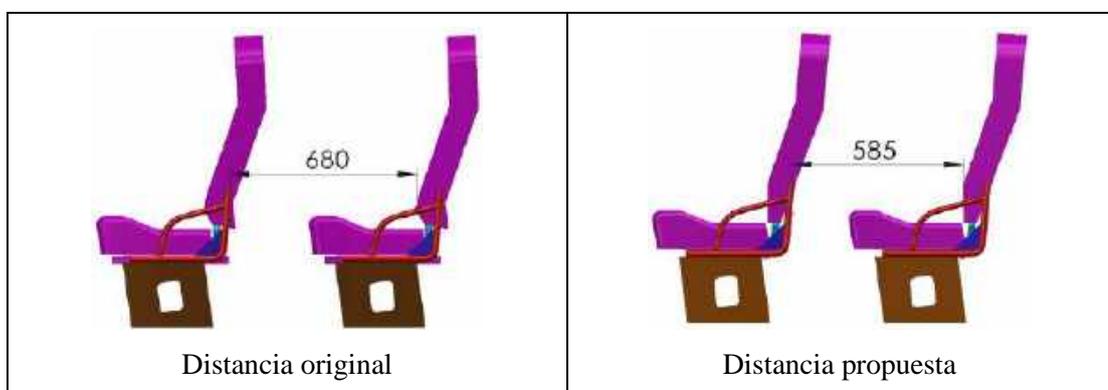


Figura 63-4. Distancia entre asientos

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.13 Impacto frontal maniquí no utiliza cinturón de seguridad a 16 km/h

Para medir el nivel de lesiones del maniquí híbrido III de 6 años se realizó la simulación del impacto a velocidad de 16 km/h, de tal manera, que se comprueba si dentro de este rango el pasajero no sufre lesiones graves, por lo tanto, se muestra los resultados obtenidos cuando el pasajero no utiliza el cinturón de seguridad.

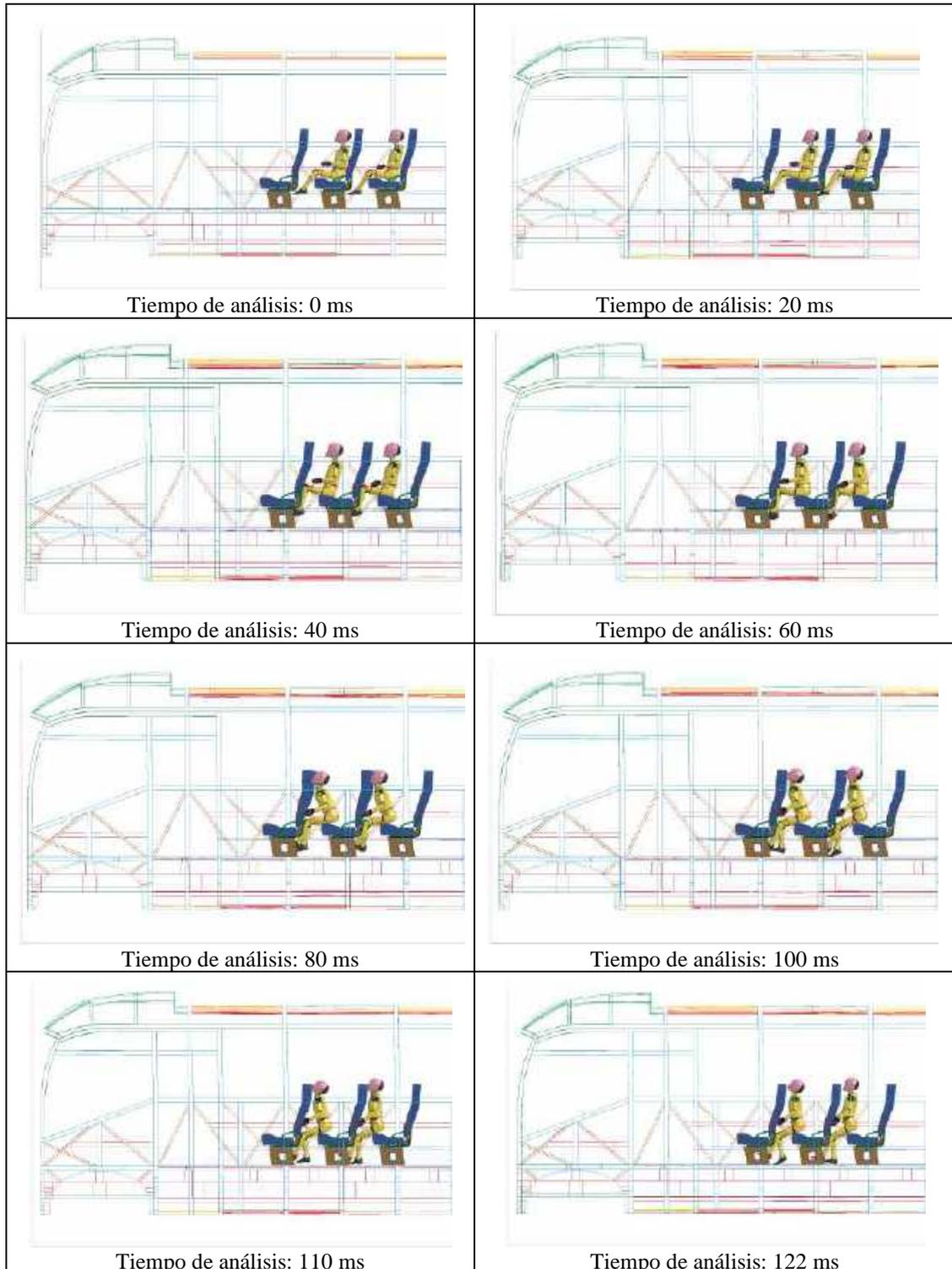


Figura 64-4. Secuencia del impacto frontal del minibús escolar a 16 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.13.1 Criterio de lesiones en la cabeza a 16 km/h sin cinturón

El valor de HIC 36 para la cabeza del maniquí 1, es de 995.9 G's, y se muestra en la figura 65-4, siendo inferior a 1000 G's, que es el recomendado por el reglamento R94, de igual forma se comprueba que la aceleración es inferior a 300 G's, de esta manera se demuestra que el pasajero no sufre lesiones graves que pongan en riesgo la vida.

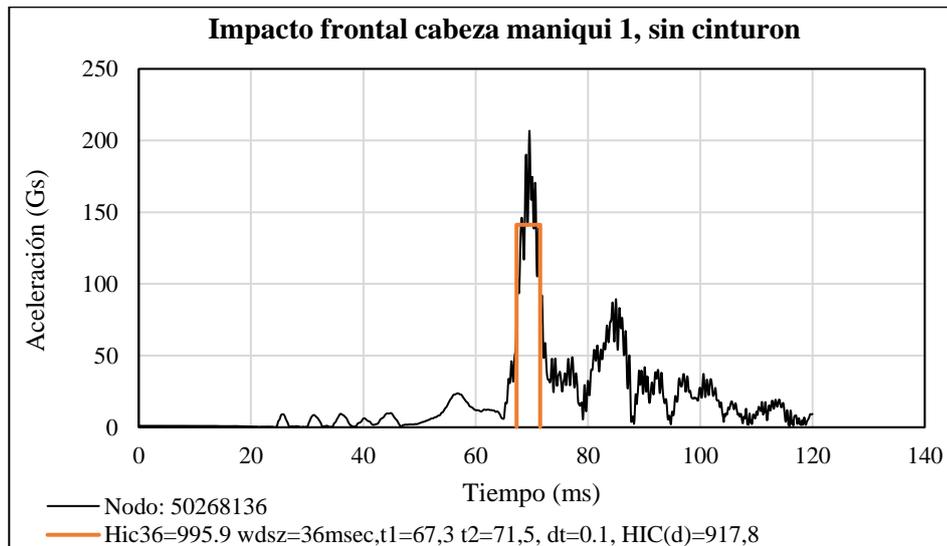


Figura 65-4. HIC en la cabeza maniquí 1 sin cinturón de seguridad a 16 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

En el maniquí 2, el valor de HCI es de 690.5 G's, siendo inferior al recomendado en el reglamento R94. Así mismo la aceleración G's, son de 155,6G's, y no supera el rango exigido, por lo que el pasajero no se ve afectado con lesiones severas ver figura 66-4.

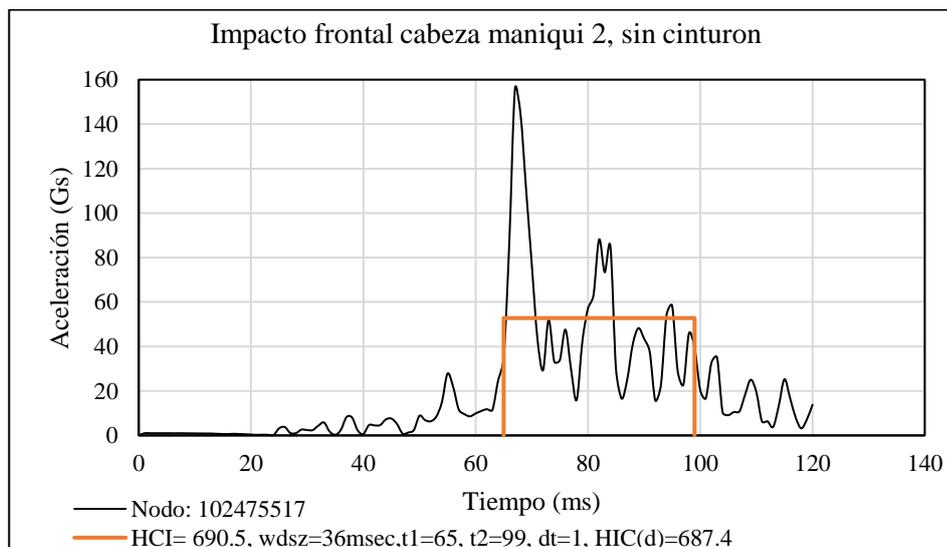


Figura 66-4. CAC en la cabeza maniquí 2, sin cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.13.2 Criterio de lesiones en el tórax sin cinturón de seguridad a 16 km/h

En la figura 67-4, se evidencia el criterio de compresión del tórax (ThCC) del maniquí 1, con un valor de 23.23 mm, obtenido del valor máximo de 146.67 y mínimo de 123.44. Además, se comprueba que el valor del ThCC es inferior a 50 mm que es recomendado por R94.

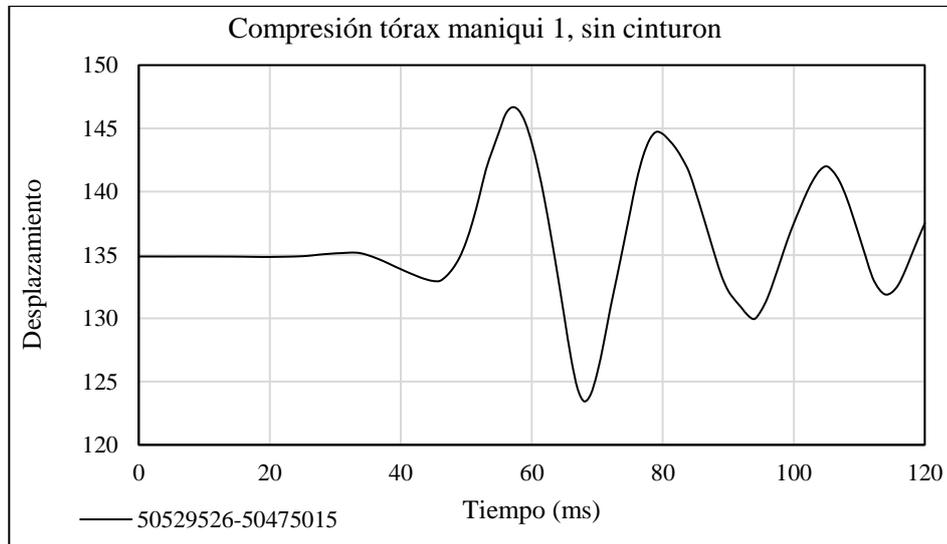


Figura 67-4. ThCC, en el tórax, maniquí 1, sin cinturón de seguridad 16 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

El (ThCC) en el impacto frontal del maniquí 2, sin cinturón de seguridad es de 21,97 ver figura 68-4, también, se verifica que no supera el valor recomendado por la normativa, esto evidencia que no existe lesiones graves en el tórax, tampoco genera daños internos en el pasajero.

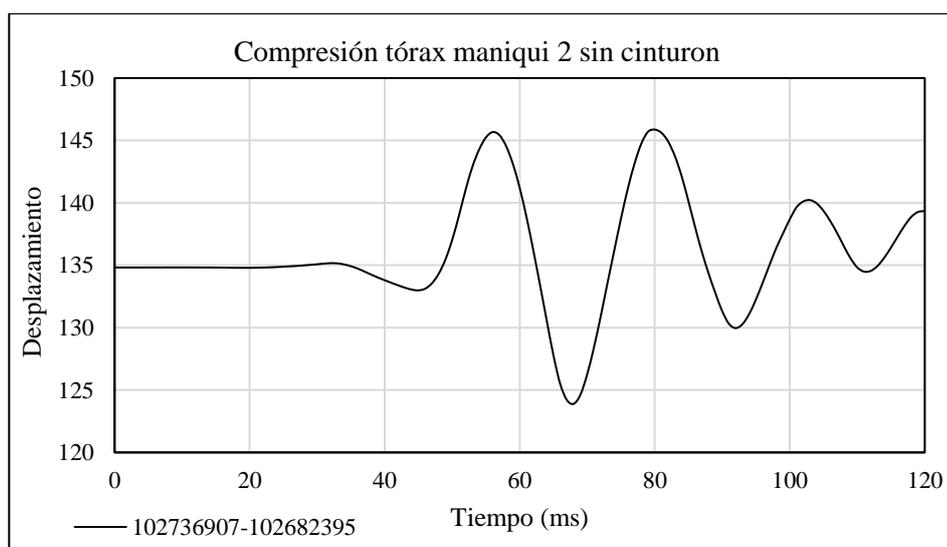


Figura 68-4. ThCC en el tórax, maniquí 2, sin cinturón de seguridad 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.14 Impacto frontal maniquí utiliza cinturón de seguridad a 16 km/h

Para medir el nivel de lesiones del maniquí híbrido III de 6 años se realizó la simulación del impacto a velocidad de 16 km/h, de tal manera que se comprueba si dentro de este rango el pasajero no sufre lesiones graves, y se muestra los resultados obtenidos cuando el pasajero si utiliza el cinturón de seguridad.

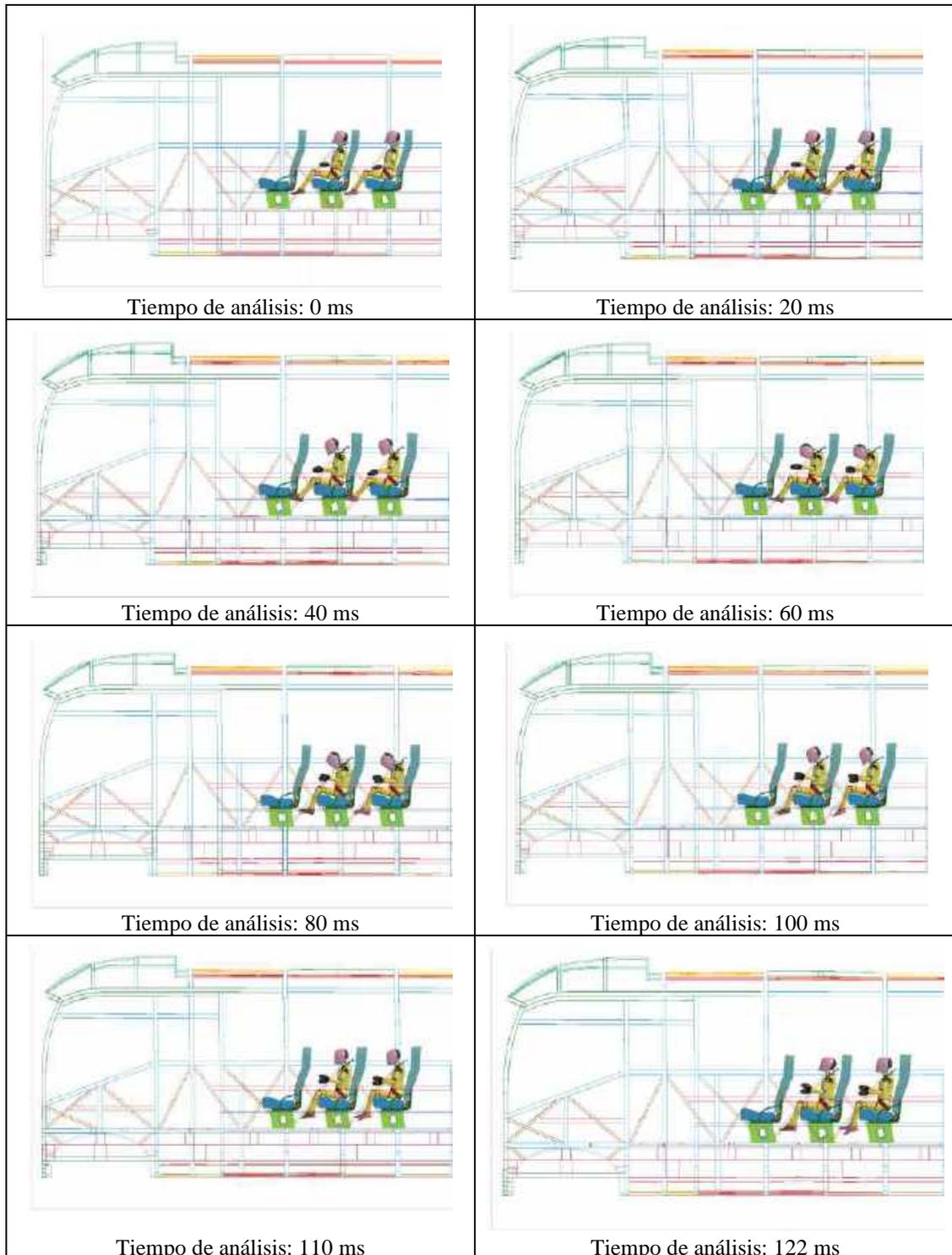


Figura 69-4. Secuencia del impacto frontal del minibús escolar a 16 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.14.1 Criterio de lesiones en la cabeza a 16 km/h con cinturón

El valor de HIC 36 para la cabeza del maniquí 1, es de 197.2 G's, y se muestra en la figura 70-4, siendo inferior a 1000, 500 y 700 G's, que es el recomendado por el reglamento R94 y EURO NCAP, de igual forma se comprueba que la aceleración es inferior a 300 G's, de esta manera se demuestra que el pasajero no sufre lesiones graves que pongan en riesgo la vida.

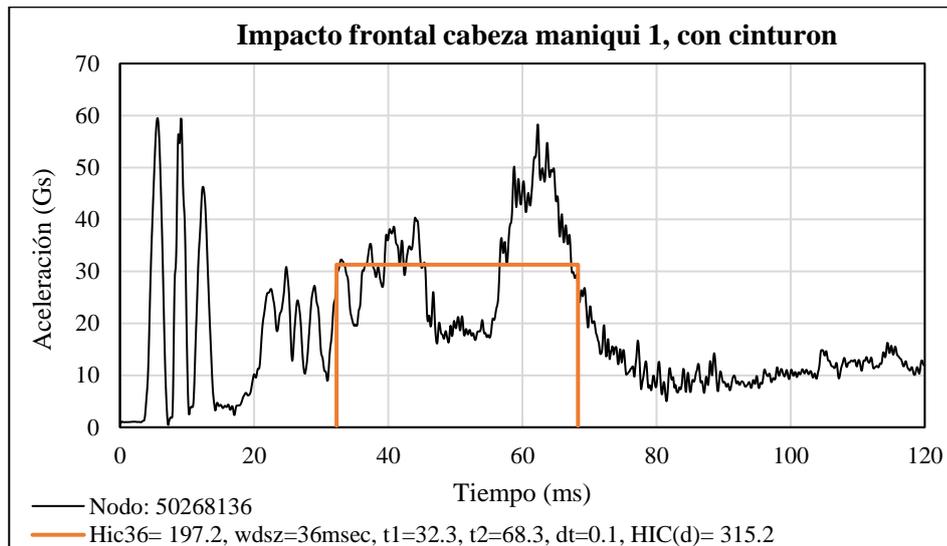


Figura 70-4. HIC en la cabeza maniquí 2 sin cinturón de seguridad a 16 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

En el maniquí 2, el valor de HCI es igual a 190.4 G's, siendo inferior al recomendado en el reglamento R94 y EURO NCAP. Así mismo, la aceleración G's, es de 54.5 G's, y no supera el rango exigido, por lo que el pasajero no se ve afectado con lesiones severas ver figura 71-4.

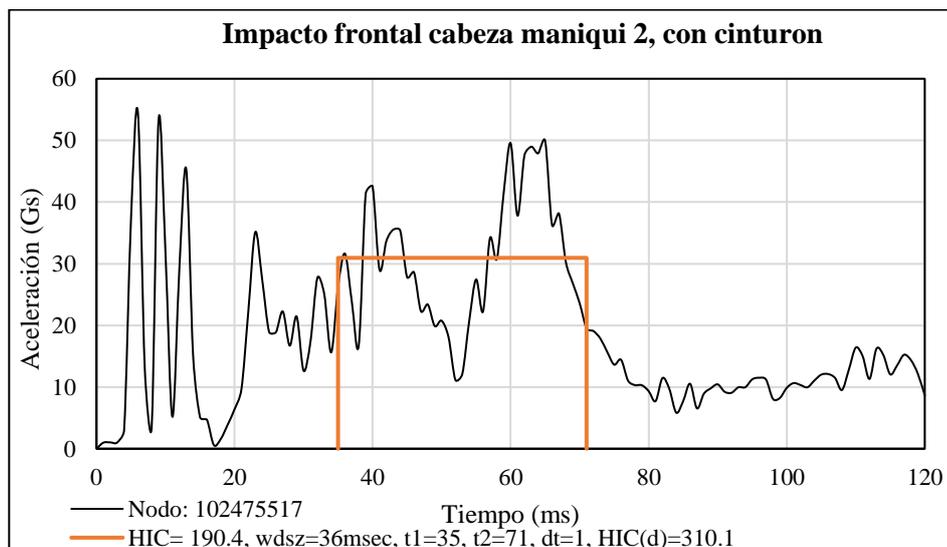


Figura 71-4. CAC en la cabeza maniquí 2, con cinturón de seguridad a 32 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.14.2 Criterio de lesiones en el tórax sin cinturón de seguridad a 16 km/h

En la figura 72-4, se evidencia el criterio de compresión del tórax (ThCC) del maniquí 1, con un valor de 16.95 mm, obtenido del valor máximo de 139.29 y mínimo de 122.34. Además, se comprueba que el valor del ThCC es inferior a 50 mm.

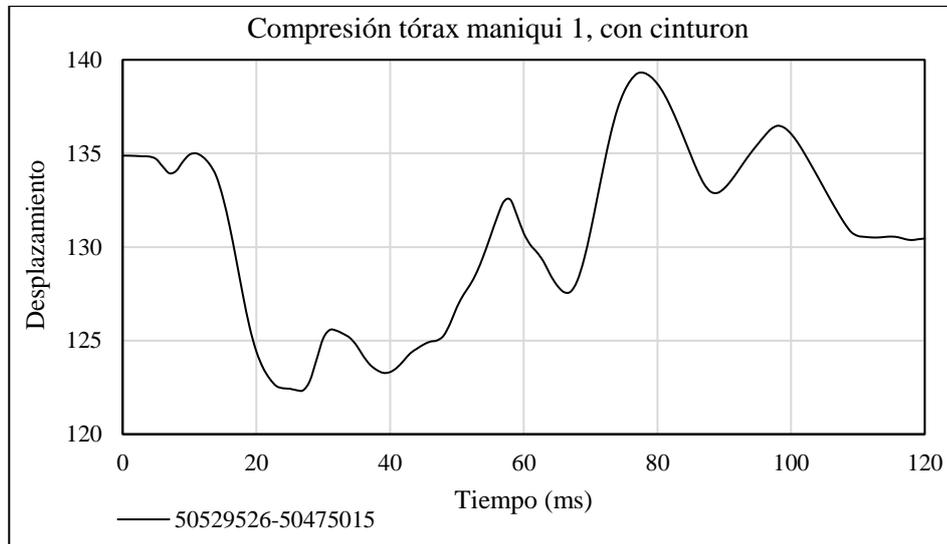


Figura 72-4. ThCC, en el tórax, maniquí 1, con cinturón de seguridad a 16 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

El (ThCC) en el impacto frontal del maniquí 2, con cinturón de seguridad es de 16.92 ver figura 73-4, también, se verifica que no supera el valor recomendado por la normativa, esto evidencia que no existe lesiones graves en el tórax, tampoco daño de órganos internos del pasajero.

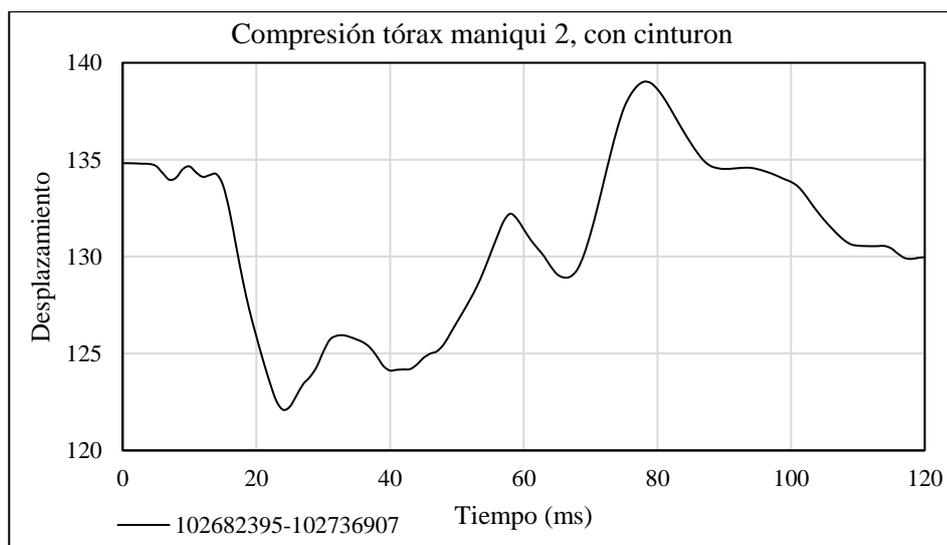


Figura 73-4. ThCC en el tórax, maniquí 2, sin cinturón de seguridad 56 km/h

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.14.3 Resumen cambio de distancia entre asientos y velocidad a 16 km/h

Utilizar el cinturón de tres puntos ha demostrado que ofrece un nivel de seguridad alto, al reducir la distancia entre asientos no se mejoran los niveles de seguridad del pasajero cuando no utiliza cinturón de seguridad, así lo evidencia la simulación de impacto realizada a 16 km/h, en la tabla 4-4 se presenta los valores obtenidos cuando el ocupante no utiliza el cinturón de tres puntos y sale desprendido hacia adelante e impacta con el espaldar del asiento delantero, el HCI tiene un valor de 995.6 del maniquí 1, y cumple con los requisitos del reglamento R94, pero no cumple con el reglamento R80 y con la norma EURO NCAP. En el caso del maniquí 2, el valor del HIC es de 690.5 cumple con los reglamentos R94 y EURO NCAP, sin embargo, no cumple con el rango máximo de 500 permitido por el reglamento R80. En cambio, en el análisis de lesiones de compresión del tórax para el maniquí 1 y maniquí 2 los valores están por debajo del nivel máximo permitido en los tres reglamentos que se han utilizado para medir las lesiones producidas en el ocupante durante el impacto frontal.

Tabla 4-4: Evaluación de resultados obtenidos a 16 km/h sin cinturón de seguridad

Distancia entre asientos y velocidad a 16 km/h							
Tipo de lesión	Sin cinturón	R80		R94		EURO NCAP	
	M1	Si	No	Si	No	Si	No
Cabeza	995.9		x	x			x
Tórax compresión	23.23	x		x		x	
	M2	Si	No	Si	No	Si	No
Cabeza	690.5		x	x		x	
Tórax compresión	21.97	x		x		x	

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Los resultados obtenidos cuando el pasajero utiliza cinturón de seguridad de tres puntos, con velocidad de 16 km/h y cambio de distancia entre asientos, demuestran que todos los criterios de lesiones evaluados están por debajo del nivel permitido por los reglamentos ver tabla 5-4, en el caso del HCI de la cabeza del maniquí 1, es de 197.2 y del maniquí 2, tiene un valor de 190.4, es evidente que al no existir una deformación exagerada en el cuello del pasajero no se genera una conmoción cerebral severa, como en los casos evaluados anteriormente. También, se demuestra que a mayor velocidad el riesgo de sufrir lesiones graves o la muerte es alto. De igual forma, en el análisis de compresión del tórax para el maniquí 1, el valor máximo es de 16.95 mm y del maniquí 2, es de 16.92 mm, de esta forma se evidencia que la presión que ejerce el cinturón en el

tórax del ocupante depende de la velocidad del impacto, finalmente, los pasajeros son retenidos en sus asientos reduciendo el riesgo de lesiones o de salir impulsados hacia adelante.

Tabla 5-4: Evaluación de resultados obtenidos a 16 km/h con cinturón de seguridad

Distancia entre asientos y velocidad a 16 km/h							
Tipo de lesión	Con cinturón	R80		R94		EURO NCAP	
	M1	Si	No	Si	No	Si	No
Cabeza	197.2	x		x		x	
Tórax compresión	16.95	x		x		x	
	M2	Si	No	Si	No	Si	No
Cabeza	190.4	x		x		x	
Tórax compresión	16.92	x		x		x	

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

4.14.4 Discusión de resultados

En el estudio de Sherwood et al. (2002, 2003), analizó el cadáver de un niño de 12 años con cinturón de tres puntos específicamente con respecto a la cinemática de la columna torácica y su influencia en el riesgo de lesiones cervicales. Estos autores identificaron diferencias significativas en la cinemática espinal del cadáver en comparación con un maniquí Híbrido III de 6 años en condiciones de prueba nominalmente coincidentes.

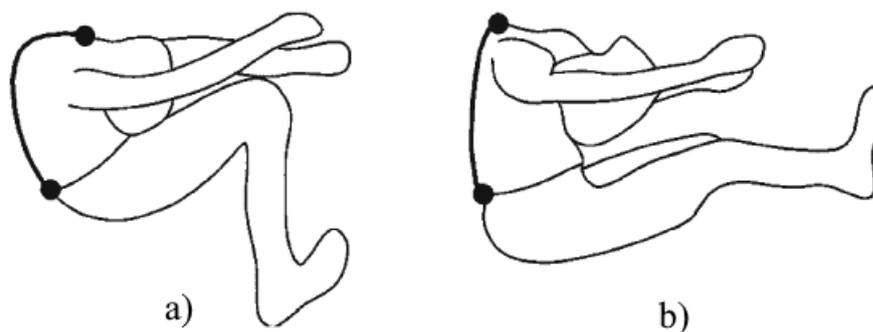


Figura 74-4. a) Cadáver niño en sistema de cinturón de 3 puntos, b) híbrido III 6 años en sistema de cinturón de 3 puntos

Fuente: (Crandall et al., 2013)

Concretamente, la columna torácica del cadáver experimentó una importante flexión hacia adelante durante el impacto y tuvo una curvatura cifótica significativa en la máxima excursión de la cabeza. Por el contrario, el maniquí la columna torácica, que es virtualmente rígida, no

presentaba curvatura. La diferencia resultante en la condición límite en T1 generó cargas en el cuello del maniquí que fueron considerado por los autores como irrealmente alto (218 Nm en la parte inferior del cuello) y para exagerar el riesgo de lesiones en el cuello ver figura 75-4 (Crandall et al., 2013).

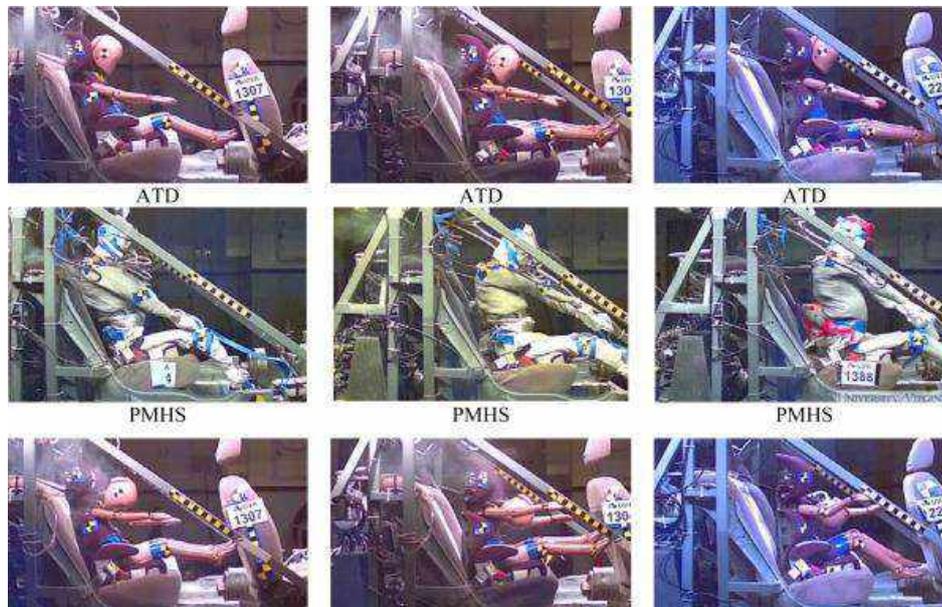


Figura 75-4. Comparación entre el PMHS y el ATD en impacto frontal.

Fuente: (Crandall et al., 2013)

El ensayo realizado para la cinemática de un cadáver de tamaño infantil sentado en un asiento elevado durante impactos frontales a 29 y 48 km/h con un cinturón de seguridad pretensado con limitador de fuerza y un cinturón de seguridad estándar en comparación con el maniquí Híbrido III de 6 años presenta en el tiempo de 80 ms la deformación de la columna torácica (Crandall et al., 2013).

En el estudio de simulación numérica del acoplamiento mecánico de un elevador de respaldo bajo con un niño de 6 años durante una prueba de choque frontal, los resultados de las simulaciones numéricas se obtuvieron en 120 ms y los datos se obtuvieron cada 1 ms. Se muestra la secuencia de análisis en vista lateral para el choque frontal. Comienza en $t = 0$ ms, y el final de la simulación es en $t = 120$ ms.

Esta investigación evaluó un acoplamiento mecánico para el Sistema de Retención Infantil ISOFIX utilizando el Método de Elementos Finitos (FEM) en una condición crítica (colisión frontal y lateral simultánea). El mecanismo fue diseñado de acuerdo a la norma R129, y consta de un conjunto de resortes y amortiguadores que permite desplazamientos en los tres ejes

cartesianos (x,y,z) para disipar una parte de la energía producida por un accidente de tránsito (Cruz et al., 2022).

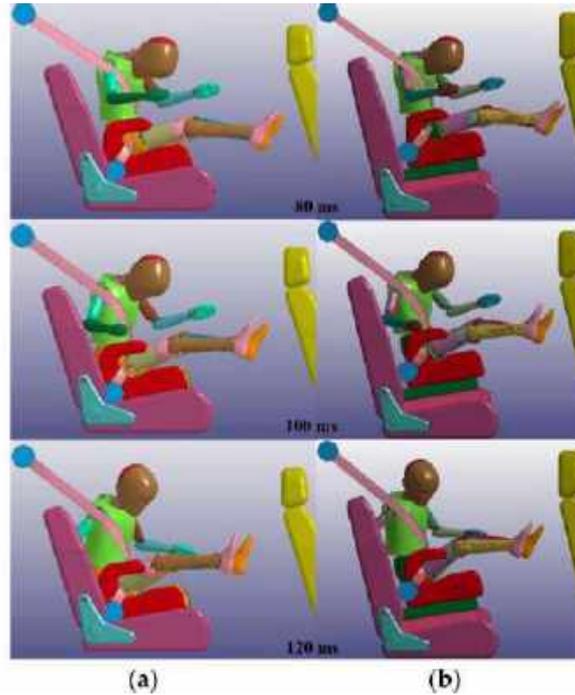


Figura 76-4. Comparación entre el PMHS y el ATD en diferentes momentos del impacto.

Fuente: (Cruz et al., 2022)

Los resultados muestran que ambos ejes alcanzan una desaceleración máxima de 23 G, y se mantiene de 17 G's, a 21 G's, en 30 ms. Después de 65 ms, disminuye de 17 a 0 G's. En general, se comparan las tasas de lesiones al usar acoplamiento mecánico con LBB y solo LBB para analizar la eficiencia del sistema, mostrando una reducción significativa de lesiones en la cabeza y el cuello, obteniendo una variación del 24 % en el HIC36, y reduciendo el rango de movimiento del cuello en 19,3° (Cruz et al., 2022).

De acuerdo con (Cruz et al., 2018) en la investigación con el tema: Análisis numérico de un asiento infantil bajo en un niño de 6 años durante una prueba de colisión frontal las simulaciones numéricas se realizaron en un rango de 120 ms, registrando los resultados cada 20 ms.

Obteniendo el valor más bajo de HIC36 se presenta para el sistema LBB con un valor de sólo 554,3 G's, y una aceleración máxima resultante de la cabeza de 62 G's, mientras que para el sistema VSB, el mismo incremento del criterio de lesión es de 730,4 y 65 G's. finalmente concluyen que, En este estudio, el mejor nivel de protección obtenido con el sistema LBB se basa en dos factores fundamentales: un buen comportamiento de anclaje al vehículo y la mejora del ajuste del cinturón de seguridad tanto en la zona pélvica como en los hombros del niño (Cruz et al., 2018).

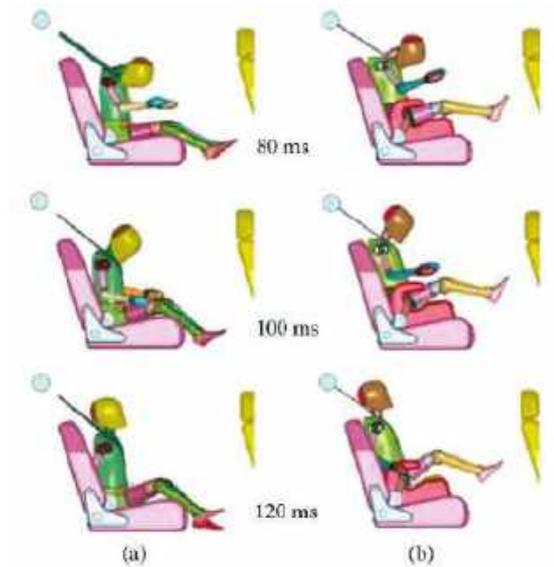


Figura 77-4. Resultados de la cinemática del maniquí: (a) VSB y (b) LBB.

Fuente: (Cruz et al., 2018)

Desde el punto de vista del estudio del análisis numérico de un sistema de retención para asiento porta infante determinaron que el impacto frontal sin cinturón de seguridad genera un severo impacto del cráneo contra el asiento delantero provocando la muerte del pasajero en este análisis obtuvieron un valor de HIC de 7258 G's, con una aceleración de 790 G's. En cuanto al tórax el Csi es de 1682 G's, con un Cip3m de 80,64 G's lo que produce la fractura de las costillas e inclusión en los órganos internos.

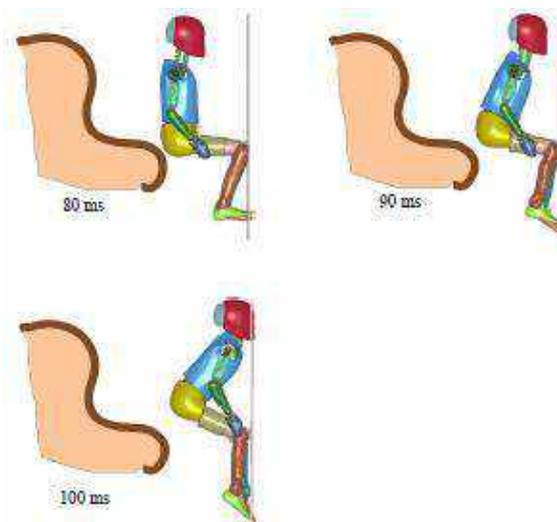


Figura 78-4. Secuencia de imágenes del impacto frontal pared rígida.

Fuente:(Cruz et al., 2015)

Finalmente, en el impacto frontal con cinturón de seguridad el pretensor es importante porque asegura al pasajero a disminuir el nivel de riesgo entre la vida y la muerte. Los criterios de lesiones en la cabeza el Hci es de 185,6 con una aceleración de 45G's, el Csi del tórax fue de 659,7 con

un Climp3m de 22,87 G's estos valores se obtuvieron al usar el cinturón de 5 puntos lo que reducen los daños o lesiones en el infante.

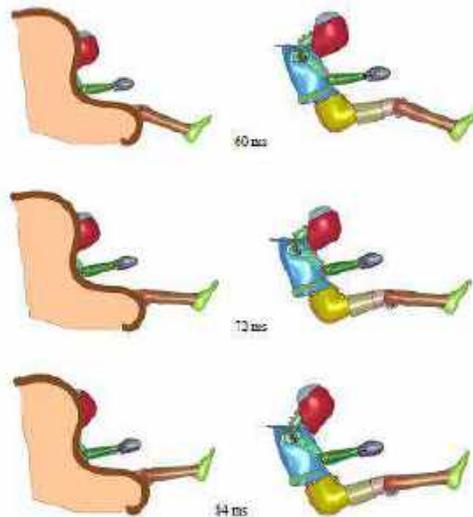


Figura 79-4. Secuencia de imágenes del impacto frontal con cinturón.

Fuente: (Cruz et al., 2015)

Con los resultados obtenidos de la simulación y la comparación con diferentes estudios realizados se evidenció que los pasajeros (maniqués de niño de 6 años) al no utilizar el cinturón de seguridad salen expulsados hacia el asiento delantero impactando la cabeza contra el asiento superando el umbral de lesión permitido por las normas CEPE R80, R94 y EURO NCAP, la velocidad es importante en este tipo de análisis, por ejemplo en el impacto a velocidad de 56 km/h genera un índice mayor de lesiones o la muerte del ocupante. Así mismo, el tórax de los maniqués sobrepasa el límite de aceptabilidad de las normativas o reglamentos esto se genera porque la presión que ejerce el cinturón de seguridad en el tórax de los pasajeros aumenta la compresión provocando lesiones leves o graves en el ocupante. En la simulación con el cinturón de 3 puntos el pasajero es retenido en el asiento escolar sin embargo la cabeza sufre un daño severo al impactar contra el torso del maniqué esto debido a la exagerada deformación del cuello para velocidades de 32, 48 y 56 Km/h.

Se realizó el análisis de impacto frontal reduciendo la distancia entre asientos y la velocidad para verificar el cumplimiento de los requisitos de las normativas utilizadas en esta investigación, de tal forma que se demuestra que disminuir la distancia entre asientos no se mejora los niveles de seguridad, también en el estudio realizado por FITSA e INSIA en el año 2007, sobre la influencia de la distancia entre asientos de vehículos en la seguridad y confort de sus ocupantes demostró que los niveles de seguridad mejoraron al aumentar la distancia entre asientos, además, se debe analizar la ergonomía y confort de los pasajeros. Para poder incrementar y garantizar la seguridad

de los ocupantes es necesario mejorar la capacidad de protección de la cabeza y cuello, en la figura 80-4 se muestra los momentos críticos del impacto.

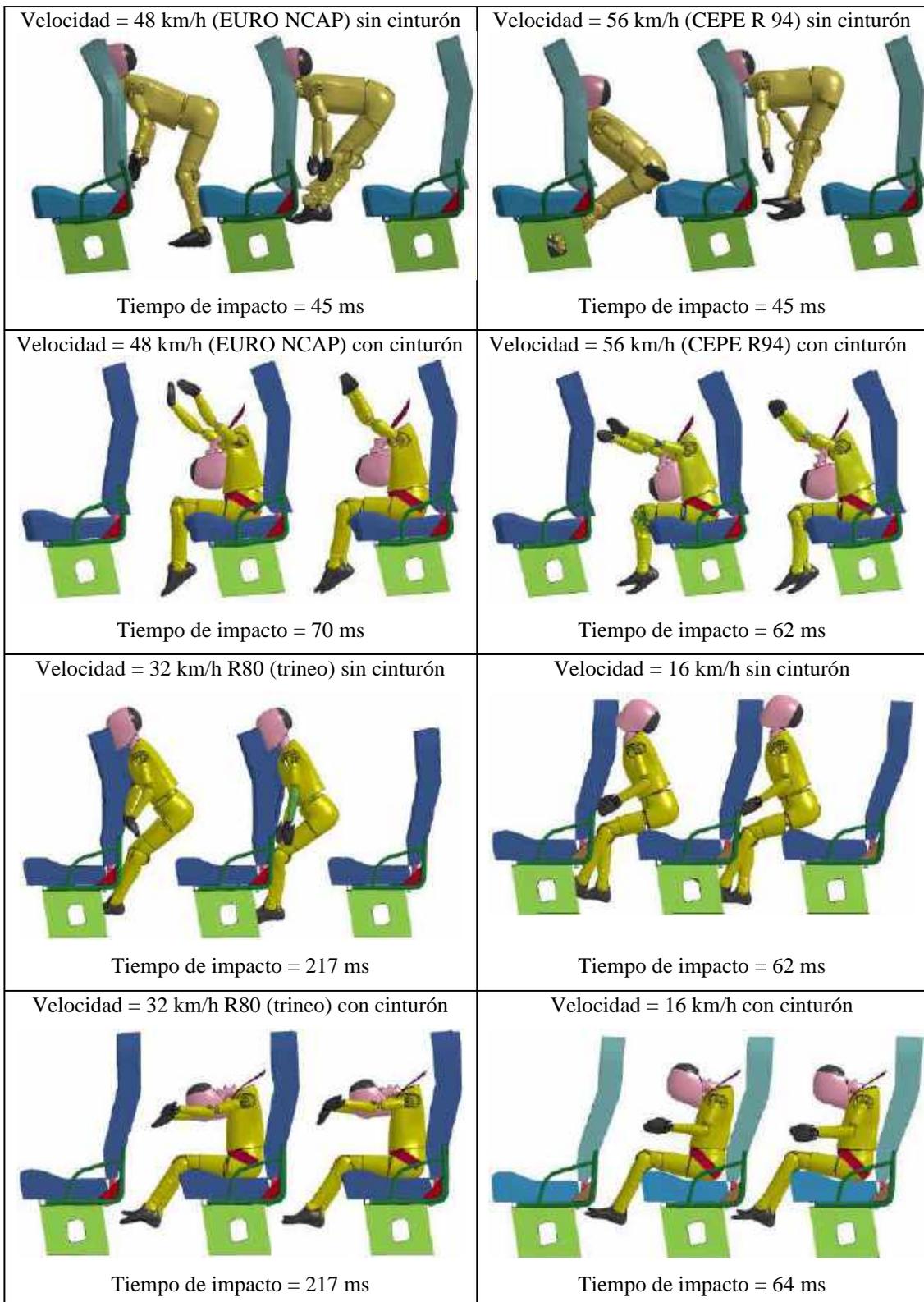


Figura 80-4. Secuencia de imágenes del impacto frontal del minibús escolar.

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

Finalmente, con los resultados obtenidos y con los estudios similares se realiza una comparación de resultados para verificar los resultados del impacto frontal del minibús escolar y se evalúa las lesiones en la cabeza y tórax que son las más críticas, y pueden causar la muerte del pasajero al sufrir un accidente de tránsito de tipo frontal.

En el impacto frontal sin cinturón de seguridad en los dos casos comparados se evidencia un índice alto de lesiones que puede sufrir el pasajero al no utilizar el cinturón de seguridad, en la cabeza del infante se observa una elevada aceleración G's, de 7258 G's, y en el estudio del minibús escolar es de 4522 G's, en cambio cuando utiliza el cinturón de seguridad para el estudio del sistema de retención el valor del HCI es de 185.6, y del impacto frontal del minibús es de 7215 G's, siendo muy elevado y debido al latigazo cervical, se presume la muerte del ocupante, cabe indicar que las condiciones del cinturón de seguridad se evaluó sin el pretensor y retractor del cinturón de seguridad esto debido a la situación actual de la instalación de cinturones de seguridad en el minibús escolar.

4.14.5 Análisis de superficie de respuesta

La metodología para el diseño de superficie de respuesta es una alternativa adecuada para experimentos que buscan la relación entre factores de la variable dependiente dentro de una región experimental, en este caso se investigó el efecto de dos factores, velocidad y distancia en el comportamiento de la cabeza del maniquí híbrido III de seis años. Los rangos establecidos para la velocidad están en 16 a 56 km/h y la distancia de 585 a 680 mm. Los valores se obtienen aplicando la ecuación de regresión lineal múltiple se muestran en la tabla 6-4.

Tabla 6-4: Análisis de la regresión lineal múltiple para el comportamiento de la cabeza

Velocidad (km/h) (x2)	Distancia (mm) (x1)					
	585	600	620	640	660	680
16	843,20	505,68	55,66	394,37	844,40	1294,42
16,5	899,74	562,22	112,20	337,83	787,85	1237,88
32	2652,56	2315,04	1865,01	1414,99	964,96	514,94
32,5	2709,10	2371,58	1921,55	1471,53	1021,50	571,48
48	4461,91	4124,40	3674,37	3224,34	2774,32	2324,29
48,5	4518,46	4180,94	3730,91	3280,89	2830,86	2380,84
56	5366,59	5029,07	4579,05	4129,02	3679,00	3228,97

Realizado por: Remache, Agustín, 2022.

En la figura 81-4, se presenta la superficie de respuesta obtenida, y se observa que para bajas velocidades y menor distancia el comportamiento de la cabeza del maniquí híbrido III de seis

años cuando no utiliza cinturón de seguridad esta sobre el rango de aceptabilidad de la normativa EURO NCAP, pero cumple la normativa CEPE R94, también se comprueba que a mayor distancia del asiento el riesgo de lesiones es inferior tal como lo demuestra el estudio realizado por (INSIA, 2007).

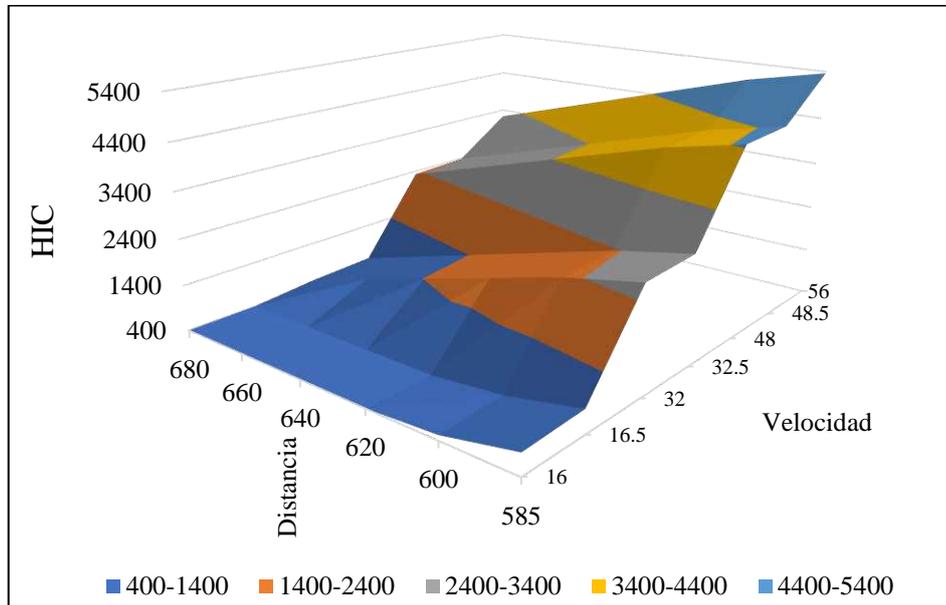


Figura 81-4. Superficie de respuesta del comportamiento de la cabeza

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

Para el análisis de superficie de respuesta cuando utiliza el cinturón de seguridad el ocupante se obtuvo los siguientes valores en base a los factores de velocidad y distancia establecidos en el análisis experimental del comportamiento de la cabeza del pasajero ve tabla 7-4.

Tabla 7-4: Análisis de la regresión lineal múltiple para el comportamiento de la cabeza

Velocidad (km/h) (x2)	Distancia (mm) (x1)					
	585	600	620	640	660	680
16	194,07	65,72	412,12	758,52	1104,92	1451,31
16,5	275,15	15,35	331,05	677,44	1023,84	1370,24
32	2788,45	2528,65	2182,25	1835,85	1489,45	1143,06
32,5	2869,52	2609,72	2263,32	1916,93	1570,53	1224,13
48	5382,82	5123,02	4776,62	4430,22	4083,83	3737,43
48,5	5463,89	5204,09	4857,70	4511,30	4164,90	3818,50
56	6680,00	6420,21	6073,81	5727,41	5381,01	5034,61

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

En la figura 82-4 se evidencia la superficie de respuesta obtenida y se verifica los datos que se ha venido mostrando en el desarrollo de esta investigación, el comportamiento de la cabeza es el resultado más crítico que se presenta durante el impacto frontal de la carrocería del minibús

evaluado a diferentes velocidades, demostrando que el factor principal para sufrir lesiones graves es la velocidad de impacto también influye la distancia entre los asientos.

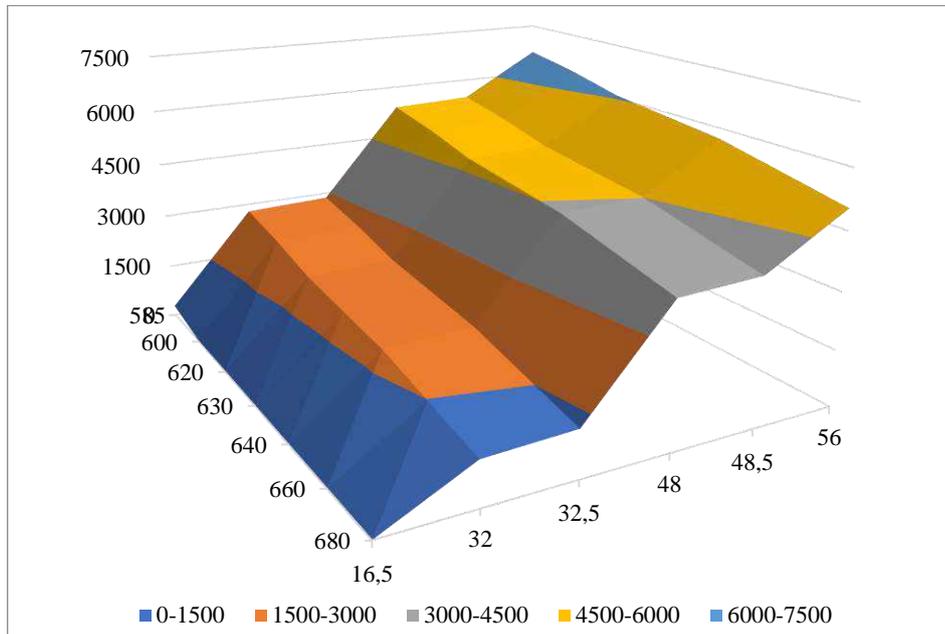


Figura 82-4. Superficie de respuesta del comportamiento de la cabeza

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

4.15 Verificación de hipótesis

Al finalizar el desarrollo de este estudio se determinó que la hipótesis planteada anteriormente, sobre la simulación del impacto frontal de la carrocería del minibús escolar de acuerdo con la tabla 1-4, 2-4, 3-4, 4-4 y 5-4, se comprobó, que las lesiones en la cabeza y tórax no cumplen con los criterios de aceptabilidad según el reglamento CEPE R80, R94 y EURO NCAP, sin embargo, en las lesiones del fémur se evidencia que no superan el rango de criterios de aceptabilidad, y no sufren lesiones graves en estas extremidades del cuerpo. Para demostrar la hipótesis planteada se aplicó el método T Student con el objetivo de aceptar o rechazar la hipótesis nula para la variable dependiente. La variable que se comprueba es la más crítica obtenida en el desarrollo de la tesis.

Hipótesis nula: La carrocería del minibús escolar analizada en el impacto frontal cumple los criterios de aceptación según Normativa CEPE R94 y EURO NCAP, y, si permitirá evaluar el maniquí híbrido III de 6 años mediante simulación numérica en software especializado.

Hipótesis alternativa: La carrocería del minibús escolar analizada en el impacto frontal cumple los criterios de aceptación según Normativa CEPE R94 y EURO NCAP, y, no permitirá evaluar el maniquí híbrido III de 6 años mediante simulación numérica en software especializado.

Se determina la hipótesis mediante la prueba bilateral de dos colas, con el nivel y confianza de 95% y nivel de significancia del 5%. Mediante la ecuación.

$$P = \frac{\alpha}{100}$$

Siendo:

P = probabilidad

α = nivel de significancia

$$P = \frac{5}{100}$$

$$P = 0,05$$

Como es prueba bilateral se divide por dos y se obtiene el valor de:

$$P = 0,025$$

Los grados de libertad se calcula el tamaño de la muestra de acuerdo al número de observación menos 1.

$$gl = (n - 1)$$

gl = grado de libertad

n = número de muestras

$$gl = (8 + 8 - 2)$$

$$gl = 14$$

Con los grados de libertad de 14 y la probabilidad de 0.025 respectivamente se encuentra el valor de t, tabulado tomado de la tabla de distribución con un valor de 2.1448 ver el anexo H.

$$t_{\text{tabla}} = 2.1448$$

Se acepta la Hipótesis nula, si el valor de t calculado se ubica en la región de aceptación dentro del rango de -2,1448 a 2,1448 caso contrario si el valor es mayor y está fuera del rango se acepta la hipótesis nula alternativa como se muestra la campana de Gauss donde se especifica los rangos para nuestro estudio. Ver figura 83-4.

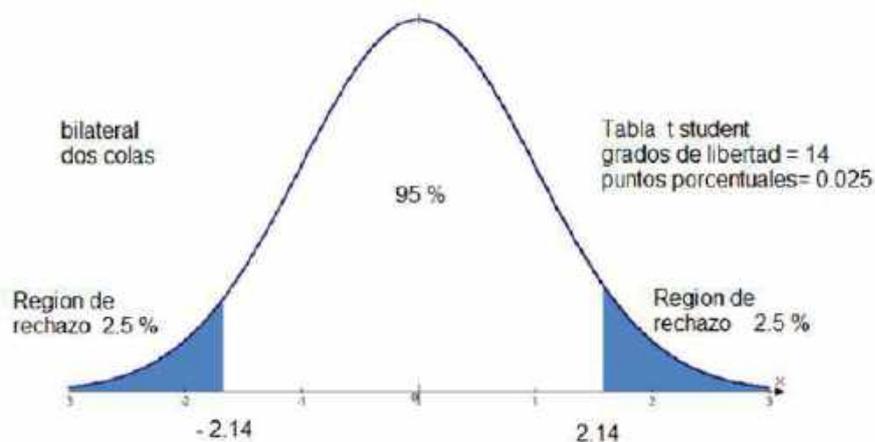


Figura 83-4. Distribución T Student dos colas

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

Para la verificación del comportamiento de la cabeza en el impacto frontal de la carrocería se toman en cuenta cuando utiliza el cinturón de seguridad y cuando no utiliza el mismo, en la tabla se presenta los valores obtenidos de este parámetro de evaluación.

Tabla 8-4: Muestra de valores del comportamiento de la cabeza

Lesiones	Sin cinturón	Con cinturón
Cabeza maniquí III de seis años	995,9	197,2
	679,8	190,95
	1576	2038
	2075	1588
	690,5	3413
	419,6	42,2
	2864	7215
4522	5534	
Promedio	1727,85	2527,29
Desviación estándar	1397,11	2672,19

Realizado por: Remache, Agustín, 2022

Es necesario calcular la varianza con la ecuación:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{Gl}}$$

Dónde:

S_p = varianza

Gl = grados de libertad

$s_{1,2}$ = desviación estándar

$n_{1,2}$ = grupo de muestras

$$S_p = \sqrt{\frac{(8 - 1)(1397,11)^2 + (8 - 1)(2672,19)^2}{14}}$$

$$S_p = 2132,20$$

Cálculo de la t calculada de la siguiente ecuación

$$t_{cal} = \frac{H}{sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Dónde:

t_{cal} = t calculada

H= diferencia de promedios

$$t_{\text{cal}} = \frac{799.44}{2132.20 \sqrt{\frac{1}{8} + \frac{1}{8}}}$$

$$t_{\text{cal}} = 0,7498$$

$$t_{\text{cal}} = 0,7498 < t_{\text{tabla}} = 2.1448$$

Por lo tanto, el valor calculado pertenece a la zona de aceptación, y con el nivel de significación del 95% se afirma que hay evidencia suficiente para aceptar la hipótesis nula que afirma que la carrocería analizada en el impacto frontal cumple con los criterios de aceptación según Normativa CEPE R94 y EURO NCAP, y permitió evaluar el maniquí híbrido III de 6 años mediante simulación numérica en software especializado.

CONCLUSIONES

Se considera que la carrocería cumple con su objetivo, la resistencia estructural de la carrocería no es excesiva por lo que no genera elementos estructurales deformados o con aristas que puedan causar daños o lesiones en los pasajeros. El esfuerzo máximo es de 0.359 GPa a velocidad máxima de 56 Km/h, y no colapsa el material, tampoco existe desprendimiento de la estructura que pueda causar daños severos en los ocupantes.

El asiento escolar soporta las cargas de impacto y cumple con los requisitos del reglamento CEPE R80, porque es capaz de retener al pasajero después de la simulación y no presenta elementos estructurales del asiento con fracturas o aristas vivas o bordes puntiagudos que pueden ocasionar lesiones graves en los pasajeros. Además, el desplazamiento máximo del espaldar del asiento no supera los 400 mm, cuando el pasajero impacta la parte posterior del asiento a 56 km/h.

La simulación del impacto frontal del minibús escolar permitió evaluar el comportamiento del maniquí híbrido III de 6 años cuando no utiliza cinturón de seguridad saliendo desprendidos hacia los asientos delanteros mientras que al utilizar el cinturón de seguridad de 3 puntos son sujetados en sus asientos. En cambio, para verificar el cumplimiento de los criterios de aceptación de acuerdo con las normas CEPE R80, R94 y EURO NCAP se evaluó la cabeza, tórax y fémur. En este análisis el valor máximo para el HIC fue de 7215 para la cabeza ocasionando la muerte del ocupante, mientras, el tórax alcanzó un valor máximo de 59.68 mm, ocasionando fracturas de costilla e inclusión en los órganos internos.

Se verificó el comportamiento de la cabeza y tórax del maniquí híbrido III de 6 años con referentes teóricos como artículos científicos y tesis validando el comportamiento que presentan durante el impacto frontal. Además, se verificó medidas, peso, tamaño de malla, materiales y todos los componentes del maniquí, que fue instalado en el asiento para la simulación de impacto, cabe señalar que es un maniquí escaneado de uno real por lo que posee las mismas características de un niño de seis años.

La comparación de lesiones calculados en HIC en esta investigación fue 7215 causada por el latigazo cervical y en la investigación de (Cruz et al., 2015) se obtuvo un valor de 7258 G's, esto debido a la exagerada deformación y alargamiento del cuello lo que provoca que el pasajero sufra lesiones superiores a 1800 consideradas como conmoción cerebral Servera e imposible de sobrevivir.

La simulación de impacto frontal con trineo corresponde a velocidad de impacto de 32km/h, se comprobó que a mayores velocidades de impacto podrían provocarse lesiones más graves en el pasajero. Martínez et al (2017). Descubrieron que los pasajeros infantiles corrían un alto riesgo de sufrir lesiones en la cabeza debido al tamaño relativo del asiento delantero. El tamaño relativo del asiento para un niño es lo suficientemente grande como para causar un impacto focal en la parte delantera de la cara, en este estudio se demostró lesiones graves en la cabeza porque impacta con el tubo redondo del espaldar o con la platina de soporte que tiene el espaldar del asiento del minibús escolar de tal manera que supera los rangos permitidos por las normativas de seguridad pasiva vigentes.

En esta investigación se utilizó un diseño de carrocería de minibús y asiento de servicio tipo escolar. Los diseños interiores varían entre fabricantes de autobuses, tipo de modelo y año. Los diferentes diseños de asiento y pasamanos utilizados en otros modelos de autobús podrían dar lugar a diferentes cinemáticas y lesiones potenciales para los pasajeros, sin embargo, la metodología utilizada permite determinar el nivel de lesiones que se presentan en el pasajero en el impacto frontal del minibús escolar.

RECOMENDACIONES

Por medio de este estudio es posible realizar varios trabajos que pueden mejorar los modelos y garantizar la seguridad pasiva de los pasajeros en caso de sufrir impacto frontal.

- En investigaciones futuras realizar pruebas de impacto lateral, posterior y de volcadura para comprobar el comportamiento del maniquí.
- Implementar en los cinturones de seguridad de 3 puntos el retractor y pretensor para que sea más cercano a la realidad.
- Realizar estudios incorporando una silla porta infantes para determinar el comportamiento del maniquí durante el impacto frontal.
- Realizar pruebas con el trineo utilizando curvas de pulso de aceleración según NHTSA recomendadas para este tipo de estudios.
- Realizar un rediseño del asiento escolar buscando mejorar en la ergonomía y confort del pasajero para garantizar la capacidad de protección de la cabeza y del cuello, y realizar simulaciones aumentando la distancia entre asientos para comprobar que se mejoran los niveles de seguridad pasiva en caso de colisiones frontales.
- Se puede realizar estudios con diferentes maniqués adultos y niños para verificar los diferentes efectos de cada sistema de seguridad.
- En el espaldar del asiento escolar modificar la configuración geometría y distancia de las platinas del respaldo porque se ha demostrado que el maniquí impacta con la platina o con el tubo redondo.

GLOSARIO

Lesiones: Los pasajeros del vehículo son vulnerables a lesiones graves en la cabeza y la cara en caso de colisión frontal, también aparecen lesiones de la pierna, fémur, tórax y cuello (Guss, 2018).

Impacto frontal: Una colisión frontal se define como la parte delantera de un vehículo que choca con la parte delantera de otro vehículo. Cualquier tipo de colisión frontal puede causar daños permanentes (YARIAN, 2023).

Carrocería: Es la estructura básica que le permite crear una cabina que alberga pasajeros y carga. Además, puede darle una estética y función especial, ya que hoy en día muchos modelos diferentes parten de un mismo chasis o plataforma (Plaza, 2022).

Asiento:

ANT: Agencia Nacional de Tránsito

CEPE: Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa son convenios para que los países establezcan su marco legal nacional para la prevención de lesiones causados por accidentes de tránsito (UNECE, 2008).

EURO NCAP: Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos. La asociación dio sus primeros pasos en 1996, analizando la seguridad de los coches nuevos, siendo su objetivo principal disminuir las muertes por accidentes de tránsito (YAMOVIL, 2023).

HIC: Head Injury Criterion (Criterio de lesión en la cabeza) El número HIC se calcula a partir de la aceleración dependiente del tiempo, de corta duración, pero extremadamente grande, experimentada por la cabeza de una persona durante un impacto frontal (Rablau, 2016).

CSI: Índice de lesiones en el tórax

Cinturón de seguridad: es la mejor protección contra conductores agresivos, ebrios o distraídos. Usar un cinturón de seguridad lo ayuda a mantenerse seguro en su vehículo en caso de accidente; la expulsión completa del vehículo es casi siempre fatal (NHTSA, 2022b).

FEM: desarrollado por ingenieros a mediados de la década de 1950, brinda soluciones numéricas a problemas complejos dentro de un cierto margen de error. Por lo general, se usa cuando las ecuaciones matemáticas son demasiado complejas para resolverlas de una manera típica (IEEE, 2020).

BIBLIOGRAFÍA

- Alcoser, L., y Morales, E. (2017). “*diseño y construcción de los anclajes de asientos de un autobús interprovincial bajo condiciones de impacto frontal y lateral en la empresa metálica Pillapa.*”
- Ambati, T., Srikanth, K., y Pendyala, V. (2012). Simulation of vehicular frontal Crash-Test. *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering (IJARME)*, 2(1), 2231–5950.
- ANT, E. (2021). *Estadísticas siniestros de tránsito – Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador – ANT*. https://www.ant.gob.ec/?page_id=2670
- Aparicio, F., García, A., Sánchez, M., Corral, T., Valles, B., Martínez, L., Páez, J., y Cazzola Gustavo. (2004). *Análisis de la influencia de la introducción de cinturones de seguridad en el vuelco de los autocares validez de las prescripciones del reglamento UN-ECE 66.*
- Ardila, J., Hincapié, D., y Sierra del Río, J. (2016). Independencia de malla en tubos torsionados para intercambio de calor: caso de estudio. *Revista de La Facultad de Ciencias*, 5(1), 124–140. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v5n1.54231>
- Aries. (2022, Autumn 8). *Sled facilities - Aries Engineering and Systems*. <https://www.aries.com.es/automotive/sled-facilities/>
- Arroba, C. (2013). *Estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante los programas Ansys Ls-Dyna y su incidencia en el espacio de supervivencia.*
- Arroba, C., y Núñez, D. (2018). Evaluación mediante software de la efectividad de los anclajes de cinturón de seguridad de un asiento comercial de autobús según la regulación ECE R14. *Enfoque UTE*, 9(2), 138–148. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.298>
- Atacúsí, B. (2020). *DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL AUTOBUS INTERPROVINCIAL MODELO IM9 SOBRE CHASIS MERCEDES BENZ 0500 RS 1836 DE MIRAL AUTOBUSES EN BASE A LA SEGURIDAD AL VUELCO.*
- Ayala, E., y Tacuri, L. (2021). *Análisis de la implementación de un sistema de airbag en autobuses en la seguridad del conductor durante un impacto frontal.*
- Calle, M., y Luna, R. (2016). “*Análisis del comportamiento de los cinturones de seguridad en base a la edad de los pasajeros de furgonetas de transporte escolar de la zona urbana del cantón Cuenca.*”
- Cantor, V. (2016). *Simulación numérica del impacto de butacas de un autobús urbano*. Instituto Politécnico Nacional.
- CEPESA. (2019, April 26). *Promoción Productiva de Tungurahua*. <https://rrnn.tungurahua.gob.ec/promocion/productos/view/586e7ef883ba88052172c918/586e814983ba88292172c931>

- CFR. (2014). *CALIBRATION TEST PROCEDURE for Part 572 Subpart N, 6-Year-Old HIII Child Test Dummy*.
- Cháfuel, V. (2017). *Análisis estructural por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial basado en simulación virtual de impacto frontal y posterior para verificar materiales y geometrías de construcción*.
- Colectibondi. (2020, July 7). (1) *Revista Colectibondi | Facebook*.
<https://www.facebook.com/RevistaColectibondi/>
- CONSEG. (2019, November 17). *Asiento escolar*.
<https://www.facebook.com/consegasientosparabuses/photos/933262270407876>
- Córdova, O. (2020). “*OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA DE UN ASIENTO DE AUTOBÚS INTERPROVINCIAL PARA EL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO ECE-R80*.”
- Corral, V., López, Á., Pastoril, R., y Izquierdo, F. (2008). *Nuevos requisitos y avances en seguridad pasiva en autobuses y autocares: situación actual y necesidades*. 1–23.
- Crandall, J., Myers, B., Meaney, D., y Zellers, S. (2013). *Pediatric Injury Biomechanics*. In *Pediatric Injury Biomechanics*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4154-0>
- Cruz, I., Martínez, L., y Torres, C. (2022). Numerical Simulation of Mechanical Coupling for Low-Back Booster with a 6-Year-Old Child during a Crash Test. *Applied Sciences*, 12(11), 5350. <https://doi.org/10.3390/app12115350>
- Cruz, I., Torres, C., Cortes, O., y Martínez, L. (2018). Numerical low-back booster analysis on a 6-year-old infant during a frontal crash test. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2359262>
- Cruz, I., Urriolagoitia, G., y Torres, C. (2015). *Análisis numérico de un sistema de retención para asiento porta infantes*.
- Engineer. (2011, August 15). *Ejecución ficticia: construcción del maniquí perfecto para pruebas de choque*. <https://www.theengineer.co.uk/content/in-depth/dummy-run-building-the-perfect-crash-test-dummy/>
- EURONCAP. (2021). *Protocolo de evaluación -protección de los ocupantes infantiles*.
- Exponente. (2022, August 22). *Desarrollo de pruebas de trineo*.
<https://www.exponent.com/experience/sled-test-development/?pageSize=NaNypageNum=0yloadAllByPageSize=true>
- Freire, Q., Aquino, S., y Yupanguí, S. (2022). *Simulación del impacto frontal para una carrocería de autobús para determinar los niveles de seguridad*. 66, 1277–1297. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i1.3542>
- Green Car. (2012, August 28). *GM lidera la evaluación actual de la industria de los maniqués de impacto trasero BioRID - Green Car Congress*.
<https://www.greencarcongress.com/2012/08/biorid-20120828.html>

- Guananga, L. (2022). *Análisis de los efectos de las cargas dinámicas durante el impacto frontal de autobuses sobre los pasajeros.*
- Guss, S. (2018, October 2). *Colisiones Frontales y Sus Peligros.*
<https://attorneyguss.com/colisiones-frontales-y-sus-peligros/>
- Humanetics. (2021). *Serie Infantil Hybrid III | humanética.* Maniquí Híbrido III de Seis Años.
<https://humanetics.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/child/hybrid-iii-children-series/weighted-6-year-old>
- Hyperworks. (2012). *Practical Aspects of Finite Element Simulation A Student Guide.*
- IEEE. (2020, June 2). *How the Finite Element Method (FEM) and Finite Element Analysis (FEA) Work Together - IEEE Innovation at Work.* <https://innovationatwork.ieee.org/how-the-finite-element-method-fem-and-finite-element-analysis-fea-work-together/>
- INSIA. (2007). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA DISTANCIA ENTRE ASIENTOS DE VEHÍCULOS AUTOCARES EN LA SEGURIDAD Y EL CONFORT DE SUS OCUPANTES.*
- Jadhav, T. A., y Thakare, G. S. (2019). Design and Analysis of Bus Passenger Seat as Per AIS-023. *International Journal of Engineering Research y Technology (IJERT)*, 8(08), 1–5.
www.ijert.org
- Kuznetcov, A. (2017). *Effect of Acceleration Time History in Motorcoach Frontal Collision on Passenger Safety under Uncertainty of Seating Posture.*
- Kuznetcov, A., Telichev, I., y Wu, C. Q. (2017). Numerical parametric study on factors affecting passenger safety in motorcoach frontal collision. *International Journal of Crashworthiness*, 22(2), 214–226. <https://doi.org/10.1080/13588265.2016.1245646>
- Llanes, E. (2020). Análisis estructural de un bus por el método de elementos finitos. *Polo Del Conocimiento*, 5, 799–837. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i01.1265>
- Mahadevaiah, U., Burger, M., y Maurath, C. (2013). *LSTC Hybrid III 6-year-old Finite Element Model.*
- Martín, J. (2010). *Modelado de diferentes tipos de cinturones de seguridad y estudio de su efecto en caso de colisión frontal mediante LS-DYNA.*
- Martínez, Luis. (2017). “Análisis por el método de elementos finitos de los anclajes de cinturones de seguridad en asientos de autobús interprovincial para verificar su resistencia según la norma nte inen 2704 en la empresa Miviltech Soluciones Industriales S.A.”
- Maurath, C., y Guha, S. (2012). *Anthropomorphic Models.*
- Mehmet, A., Atahan, O., y Bayram, B. (2009). *EFFECTIVENESS OF SEAT BELT USAGE ON THE ROLLOVER CRASHWORTHINESS OF AN INTERCITY COACH.*
- Mercedes Benz. (2022, September 6). *Mercedes-Benz LO 915 - Buses - Vehículos Comerciales | Autostar.* <https://www.autostar.com.pa/vehiculos-comerciales/buses/20150805224452/>

- Messring. (2022, August 23). *CIS Compact Impact Sled - MESSRING GmbH*.
<https://www.messring.de/en/products/passive-safety/compact-impact-sled-cis/>
- Molina, J. (2017). *Diseño de una plataforma móvil y un sistema de desaceleración para pruebas de seguridad pasiva*.
- NHTSA. (2022a, October 20). *Crash Simulation Vehicle Models | NHTSA*.
<https://www.nhtsa.gov/crash-simulation-vehicle-models>
- NHTSA. (2022b, December 14). *Cinturones de Seguridad | NHTSA*.
<https://www.nhtsa.gov/es/conducir-de-forma-riesgosa/cinturones-de-seguridad>
- Niachimba, J. (2021). *Análisis de lesiones producidas en el vuelco de autobuses interprovinciales evaluadas según los criterios del reglamento n 95 de la comisión económica para Europa (CEPE) de las naciones unidas utilizando el modelo computacional antropométrico del maniquí es-2 mediante el software Ansys Ls-Dyna Research*.
- NTE INEN 1323. (2009). *Vehículos automotores. carrocerías de buses. requisitos*.
- NTE INEN 2902. (2017). *Vehículos para transporte turístico. requisitos*.
- Olivares, G., y Yadav, V. (2015). *INJURY MECHANISMS TO MASS TRANSIT BUS PASSENGERS DURING FRONTAL, SIDE AND REAR IMPACT CRASH SCENARIOS*.
- Plaza, D. (2022, November 11). *¿Qué es la carrocería? Tipos y características*.
<https://www.motor.es/que-es/carroceria>
- Rablau, G. (2016). *Calculus in Crash Safety Tests: The Head Injury Criterion(HIC)Number. 9*.
<https://www.youtube.com/watch?v=kj9xqrRskrY>
- Remache, A. (2015). *Estudio de los anclajes de asientos de autobús en un impacto frontal para determinar las deformaciones y esfuerzos máximos en la empresa Miviltech Soluciones Industriales S.A.*
- Rivero, S., Torres, C., y Martínez, L. (2019). Análisis de la seguridad en butacas de autobuses. *Red de Revistas Científicas de América Latina y El Caribe, España y Portugal, 23 Núm 2*, 127–134. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61459623005>
- RTE INEN 041. (2013). *Vehículo de transporte escolar. Primera Edición, 1–27*.
- Santos, L. (2017). *Simulación por el método de los elementos finitos del impacto frontal de un bus interprovincial de la fabricación nacional, para proponer la modificación de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1323: 2009*. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Seattle, S. (2022, August 23). *Servotrino 1000 | Seguridad de Seattle LLC*.
<https://seattlesafety.com/products/servosled-1000/>
- Teojama, C. (2022, September 15). *Parámetros básicos que deben cumplir los buses escolares*.
<https://www.motorterra.com/parametros-basicos-que-deben-cumplir-los-buses-escolares/>

- Thoung, L. (2019). Analysis of Bus Structural Performance During Full Frontal Impact. *International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, 635–638. <https://doi.org/10.1109/ICSSE.2019.8823416>.
- UNECE. (2008, December 11). *CONVENCIONES DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE SEGURIDAD VIAL*. https://unece.org/DAM/road_Safety/Publications/United_Nations_Road_Safety_Conventions_sp_01.pdf
- UNECE /CEPE. (2009). *Reglamento no 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*. <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html>
- UNECE /CEPE. (2010). *Reglamento no 80 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) — Prescripciones uniformes relativas a la homologación de asientos de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros y de estos vehículos por lo que res. 18–45*.
- UNIVERSO. (2022, November 29). *Impacto frontal del bus escolar*. <https://www.eluniverso.com/noticias/seguridad/varios-heridos-en-accidente-de-transito-en-el-centro-de-guayaquil-nota/>
- Verdezoto, J. (2015). *Diseño de una carrocería de un bus interprovincial en conformidad con el instituto ecuatoriano de normalización (Norma INEN 1323:2009) y validación mediante mecánica computacional*.
- Virginia, U. (2020, June 18). *THOR 50th Male Finite Element Model | University of Virginia School of Engineering and Applied Science*. <https://engineering.virginia.edu/thor-50th-male-finite-element-model>
- YAMOVIL. (2023, February 22). *¿Qué es EURO NCAP?* <https://www.yamovil.es/sobre-coches-y-concesionarios/faq/que-es-euro-ncap/>
- YARIAN. (2023, February 22). *Colisiones frontales | Yarian Accident y Injury Lawyers, APC*. <https://www.yarianlaw.com/espanol/colisiones-frontales/>

ANEXOS

ANEXO A: Ensayo de tracción del material

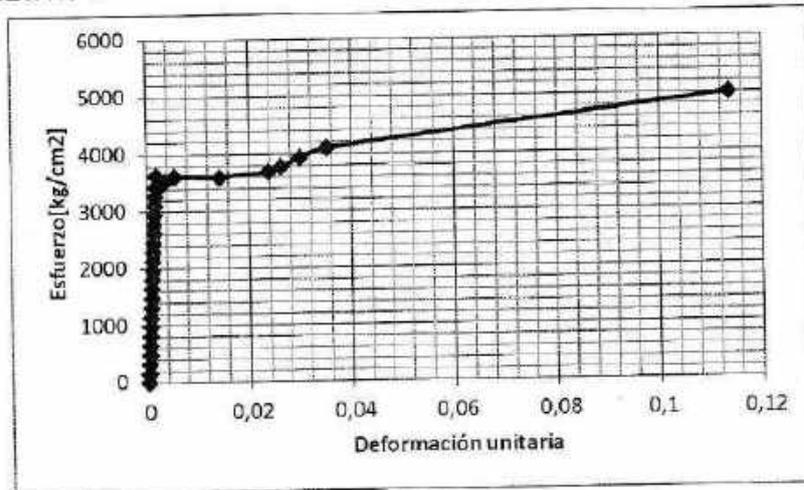


esPOCH

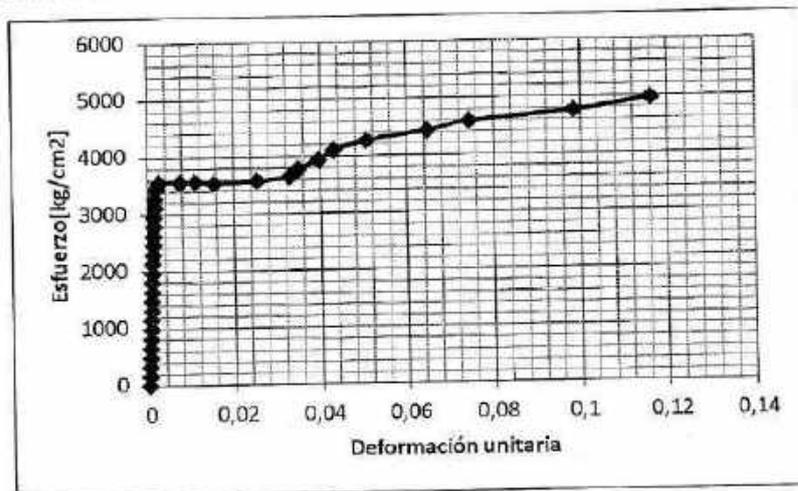
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA N° 5



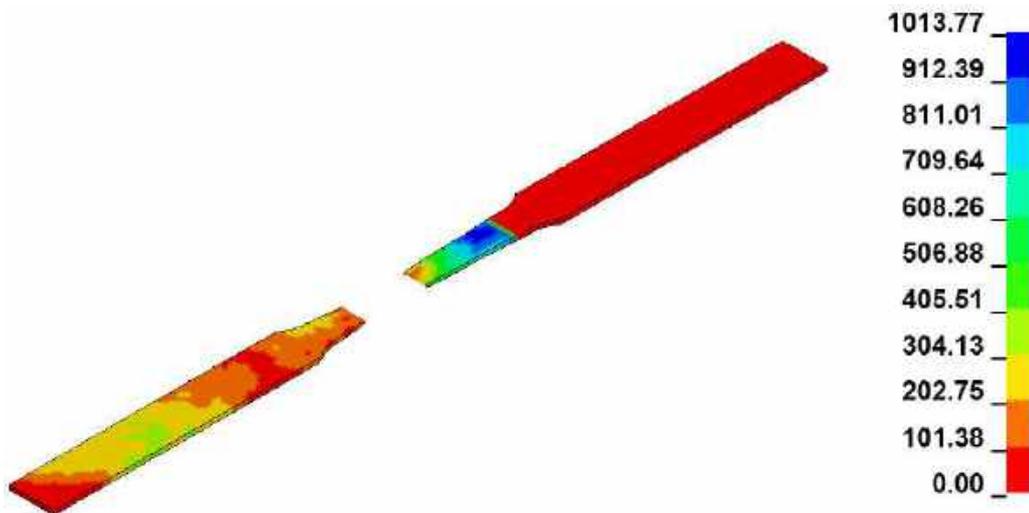
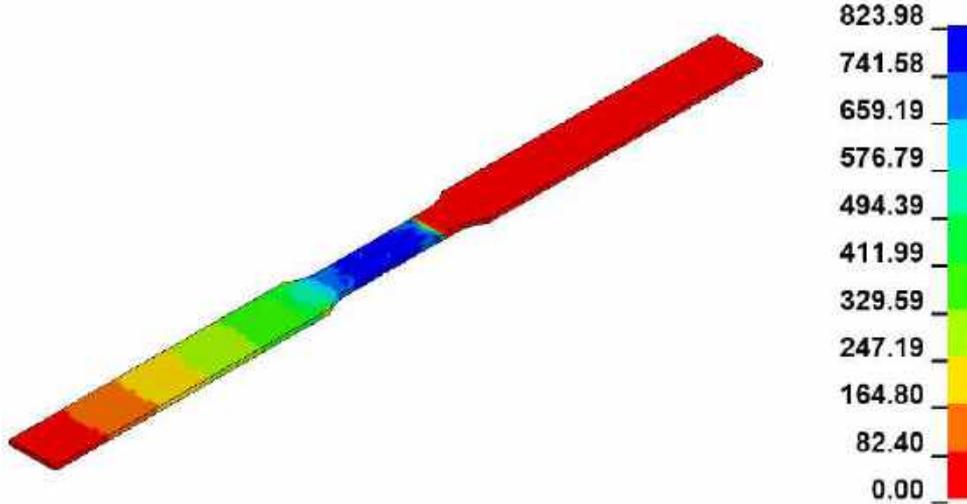
PROBETA N° 8



Revisado por:

Ing. Isaias Gaibedo Reyes Mgs.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

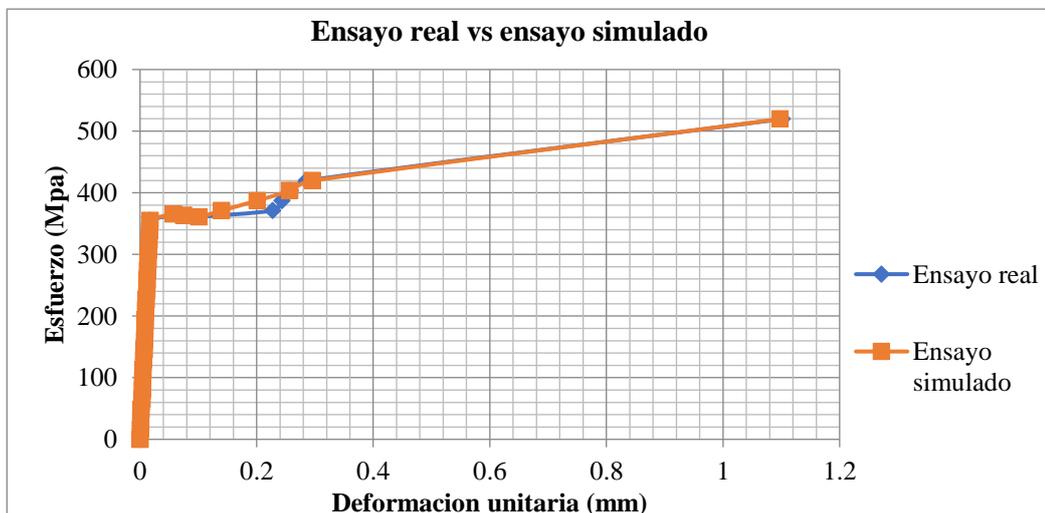
ANEXO B: Simulación ensayo de tracción



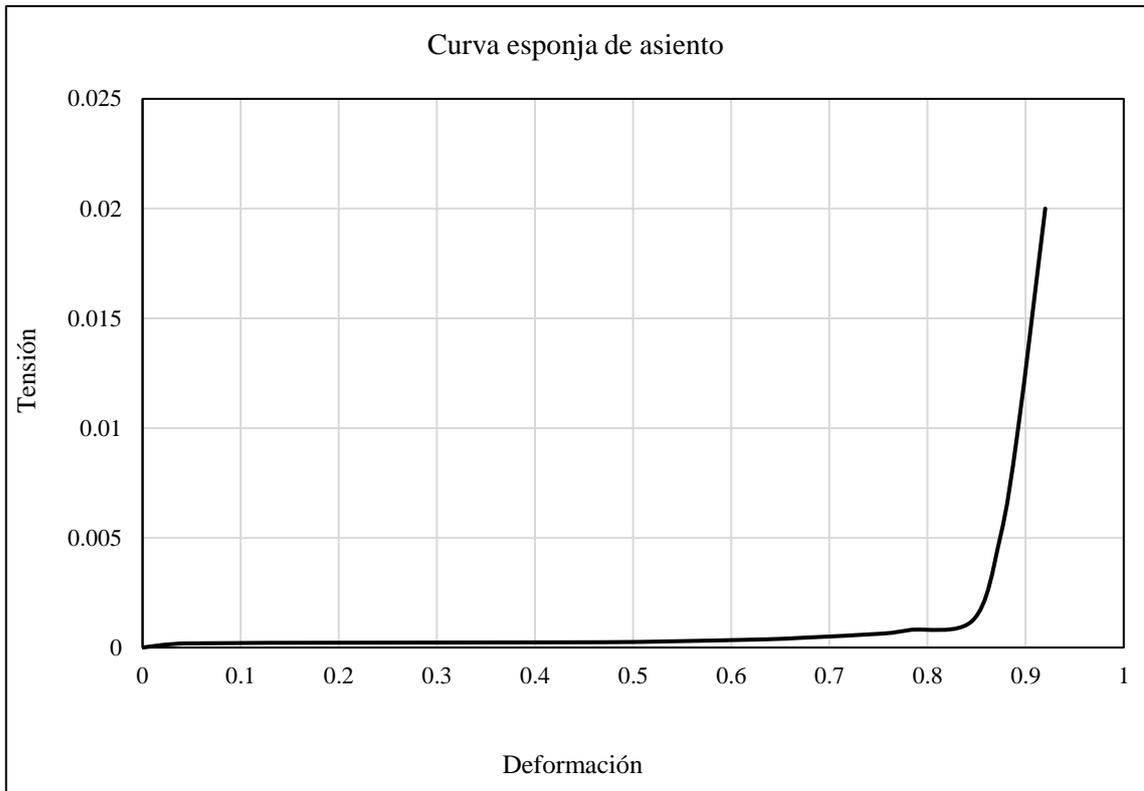
ANEXO C: Validación del material para la simulación

ENSAYO REAL		ENSAYO SIMULADO		ERROR
Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm)	Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm)	%
0,0000	0,0000000	0,0000	0,0000000	0,000
16,1455	0,0007619	16,1455	0,0007476	1,875
32,2910	0,0015238	32,2910	0,0015295	0,375
48,4365	0,0022857	48,4365	0,0021962	3,917
64,5820	0,0032381	64,5820	0,0032571	0,588
80,7275	0,0040000	80,7275	0,0039048	2,381
96,8729	0,0047619	96,8729	0,0045524	4,400
113,0184	0,0055238	113,0184	0,0052190	5,517
129,1639	0,0062857	129,1639	0,0065143	3,636
145,3094	0,0070476	145,3094	0,0071810	1,892
161,4549	0,0076190	161,4549	0,0078286	2,750
177,6004	0,0085714	177,6004	0,0084762	1,111
193,7459	0,0093333	193,7459	0,0091429	2,041
209,8914	0,0099048	209,8914	0,0097905	1,154
226,0369	0,0106667	226,0369	0,0104571	1,964
242,1824	0,0114286	242,1824	0,0117714	3,000
258,3278	0,0121905	258,3278	0,0124190	1,875
274,4733	0,0129524	274,4733	0,0130857	1,029
290,6188	0,0137143	290,6188	0,0137333	0,139
306,7643	0,0144762	306,7643	0,0144000	0,526
322,9098	0,0152381	322,9098	0,0157143	3,125
339,0553	0,0160000	339,0553	0,0163810	2,381
355,2008	0,0167619	355,2008	0,0170476	1,705
365,6954	0,0704762	365,6954	0,0671238	4,757
363,2735	0,0859048	363,2735	0,0746286	13,126
360,8517	0,0923810	360,8517	0,1008571	9,175
371,3463	0,2274286	371,3463	0,1396381	38,601
387,4918	0,2434286	387,4918	0,2401333	1,354
403,6373	0,2580952	403,6373	0,2569143	0,458
419,7828	0,2853333	419,7828	0,2955429	3,578
519,8848	1,1019048	519,8848	1,0978476	0,368
PROMEDIO ERROR				3,832

Fuente: (Remache, 2015)



ANEXO D: Curva material esponja



Fuente: (NHTSA, 2022a)

ANEXO E: Niveles de conmoción cerebral

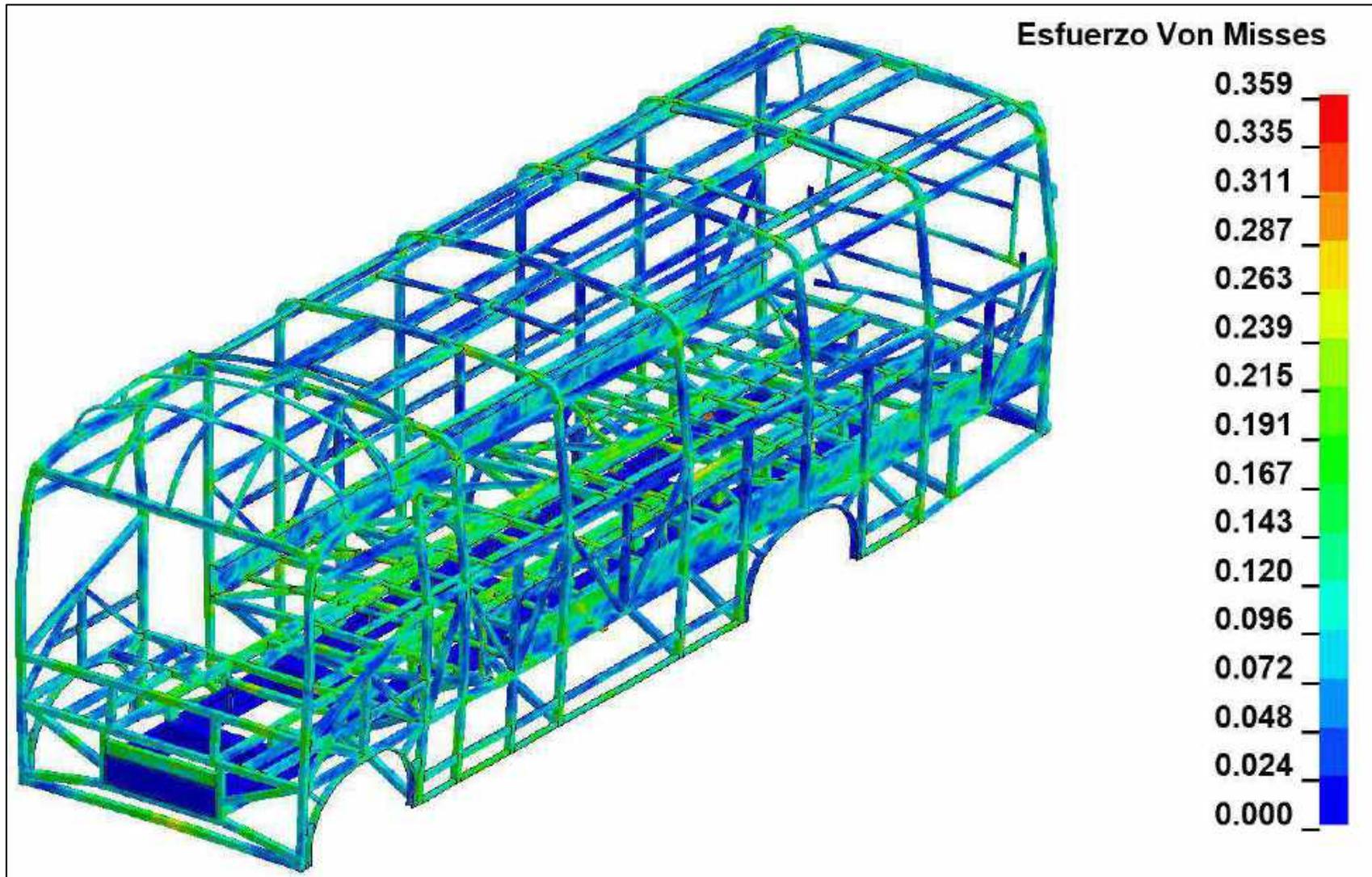
HIC	AIS Code	Nivel Conmoción Cerebral
100-519	1	Dolor de Cabeza o Mareo
520-899	2	Inconsciente menos de 1 hora- Fractura Lineal
900-1254	3	Inconsciente de 1 hora a 6 horas-Aplastamiento del Cráneo
1255-1574	4	Inconsciente de 6 horas a 1 día- Fractura abierta del Cráneo
1575-1799	5	Inconsciente más de 1 día- Gran Hematoma en el cerebro
>1800	6	Imposible sobrevivir

HIC	AIS Code	Nivel de daño cerebral	Nivel de daño en el cráneo	Valoración EuroNCAP
<150	0/1	Sin conmoción	Sin fractura	Verde
150-500	2	Suave Conmoción	Sin fractura	Verde
500-1800	3/4	Conmoción Severa	500-900 Pequeña Fractura	<650 Verde
				650-767 Amarillo
			900-1800 Gran Fractura	767-883 Naranja
				883-1000 Marrón
>1800	5	Coma cerebral	Vida amenazada por la fractura	> 1000 Rojo

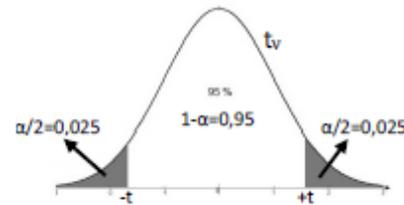
ANEXO F: Desplazamiento máximo del asiento escolar



ANEXO G: Esfuerzo Von Misses carrocería minibús escolar



ANEXO H: Distribución T de Student



		$\alpha/2$												
		0,0005	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45	0,475
v grados de libertad	1	636,619	318,309	63,657	31,821	12,706	6,314	3,078	1,376	1,000	0,727	0,325	0,158	0,079
	2	31,599	22,327	9,925	6,965	4,303	2,920	1,886	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142	0,071
	3	12,924	10,215	5,841	4,541	3,182	2,353	1,638	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137	0,068
	4	8,610	7,173	4,604	3,747	2,776	2,132	1,533	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134	0,067
	5	6,869	5,893	4,032	3,365	2,571	2,015	1,476	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132	0,066
	6	5,959	5,208	3,707	3,143	2,447	1,943	1,440	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131	0,065
	7	5,408	4,785	3,499	2,998	2,365	1,895	1,415	0,896	0,711	0,549	0,263	0,130	0,065
	8	5,041	4,501	3,355	2,896	2,306	1,860	1,397	0,889	0,706	0,546	0,262	0,130	0,065
	9	4,781	4,297	3,250	2,821	2,262	1,833	1,383	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129	0,064
	10	4,587	4,144	3,169	2,764	2,228	1,812	1,372	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129	0,064
	11	4,437	4,025	3,106	2,718	2,201	1,796	1,363	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129	0,064
	12	4,318	3,930	3,055	2,681	2,179	1,782	1,356	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128	0,064
	13	4,221	3,852	3,012	2,650	2,160	1,771	1,350	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128	0,064
	14	4,140	3,787	2,977	2,624	2,145	1,761	1,345	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128	0,064
	15	4,073	3,733	2,947	2,602	2,131	1,753	1,341	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128	0,064
	16	4,015	3,686	2,921	2,583	2,120	1,746	1,337	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128	0,064
	17	3,965	3,646	2,898	2,567	2,110	1,740	1,333	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128	0,064
	18	3,922	3,610	2,878	2,552	2,101	1,734	1,330	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127	0,064
	19	3,883	3,579	2,861	2,539	2,093	1,729	1,328	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127	0,064
	20	3,850	3,552	2,845	2,528	2,086	1,725	1,325	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127	0,063
	21	3,819	3,527	2,831	2,518	2,080	1,721	1,323	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127	0,063
	22	3,792	3,505	2,819	2,508	2,074	1,717	1,321	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127	0,063
	23	3,768	3,485	2,807	2,500	2,069	1,714	1,319	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127	0,063
	24	3,745	3,467	2,797	2,492	2,064	1,711	1,318	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127	0,063
	25	3,725	3,450	2,787	2,485	2,060	1,708	1,316	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	26	3,707	3,435	2,779	2,479	2,056	1,706	1,315	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	27	3,690	3,421	2,771	2,473	2,052	1,703	1,314	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	28	3,674	3,408	2,763	2,467	2,048	1,701	1,313	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	29	3,659	3,396	2,756	2,462	2,045	1,699	1,311	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	30	3,646	3,385	2,750	2,457	2,042	1,697	1,310	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	31	3,633	3,375	2,744	2,453	2,040	1,696	1,309	0,853	0,682	0,530	0,256	0,127	0,063
	32	3,622	3,365	2,738	2,449	2,037	1,694	1,309	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
	33	3,611	3,356	2,733	2,445	2,035	1,692	1,308	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
	34	3,601	3,348	2,728	2,441	2,032	1,691	1,307	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
	35	3,591	3,340	2,724	2,438	2,030	1,690	1,306	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
	α	0,001	0,002	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,95

ANEXO I: Convenio de uso de Software

Página 1 de 1



Ambato 30 de enero del 2023

Estimado

Ing.

Remache Gutiérrez Agustín Danilo (solicitante), con el número de cédula 0503213001 estudiante del programa de maestría en Diseño Mecánico cohorte III, en Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, reciba un cordial saludo y en contestación a la solicitud ingresada de su parte el 30 de enero del 2023, por medio de este documento **ACEPTAMOS** la propuesta para brindarle nuestra cooperación en el tema de investigación **EVALUACIÓN DE LESIONES DEL MANIQUÍ HÍBRIDO III DE 6 AÑOS DURANTE IMPACTO FRONTAL DEL MINIBÚS ESCOLAR PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS CRITERIOS DE ACEPTACIÓN SEGÚN CEPE 94 Y EURO-NCAP.**

Para el desarrollo de esta investigación CEND INGENIERIA S.A. facilitará al solicitante los siguientes requisitos:

Licenciamiento y el material necesario para el manejo del software LS-DYNA

CEND INGENIERIA S.A. a través de su representante legal Milton Mario Brito Palma declara:

Las partes convienen de mutuo acuerdo respetar los principios de confidencialidad e imparcialidad de la información generada en la investigación y documentación.

Atentamente

Ing. Milton Mario Brito Palma

CEND INGENIERIA S.A.

Dirección:

CESAR SALZAR Y BOUGER IZAMBA ECUADOR

Teléfono: 032821170

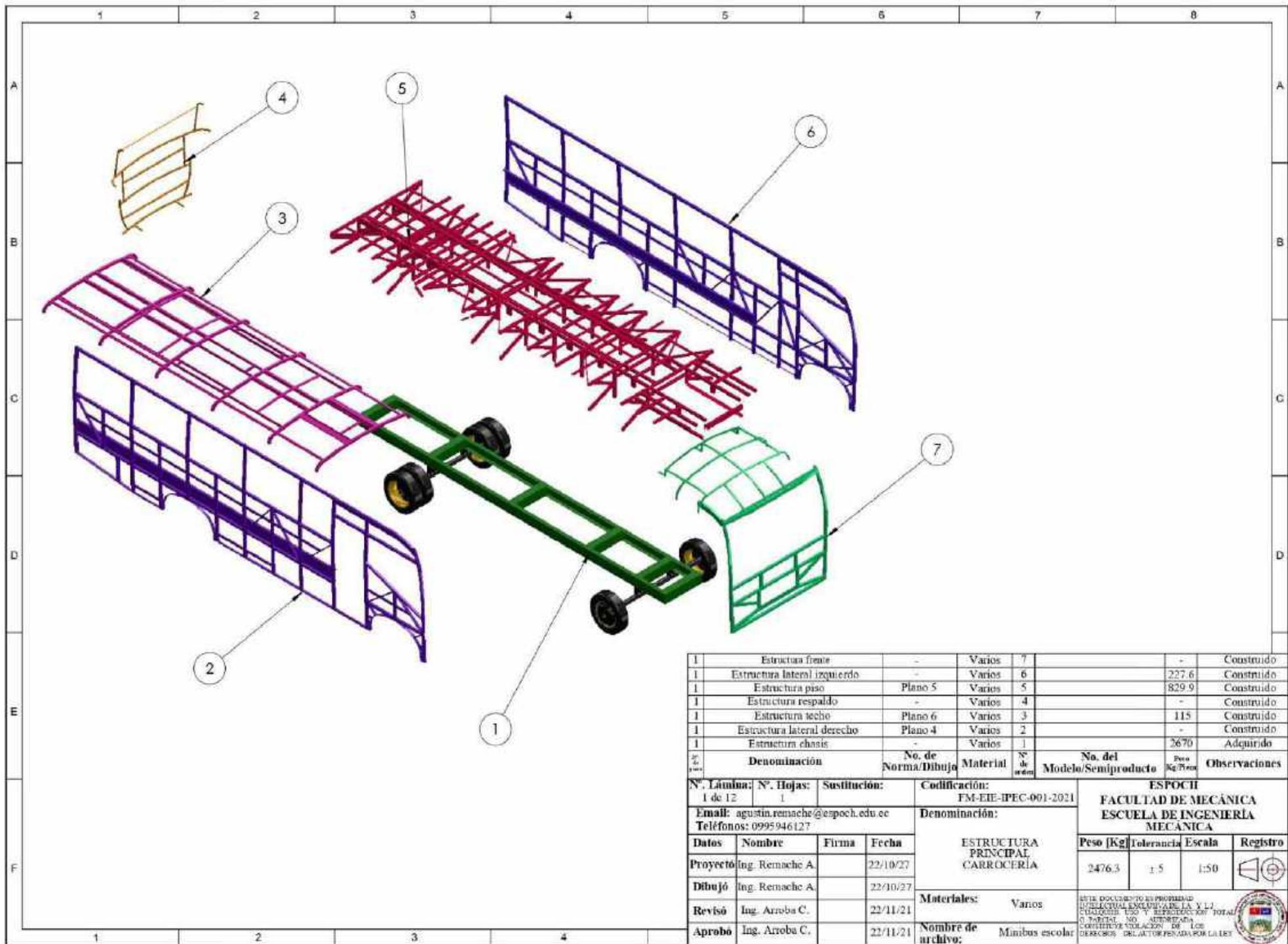
www.cendingenieria.com

Remache Gutiérrez Agustín Danilo

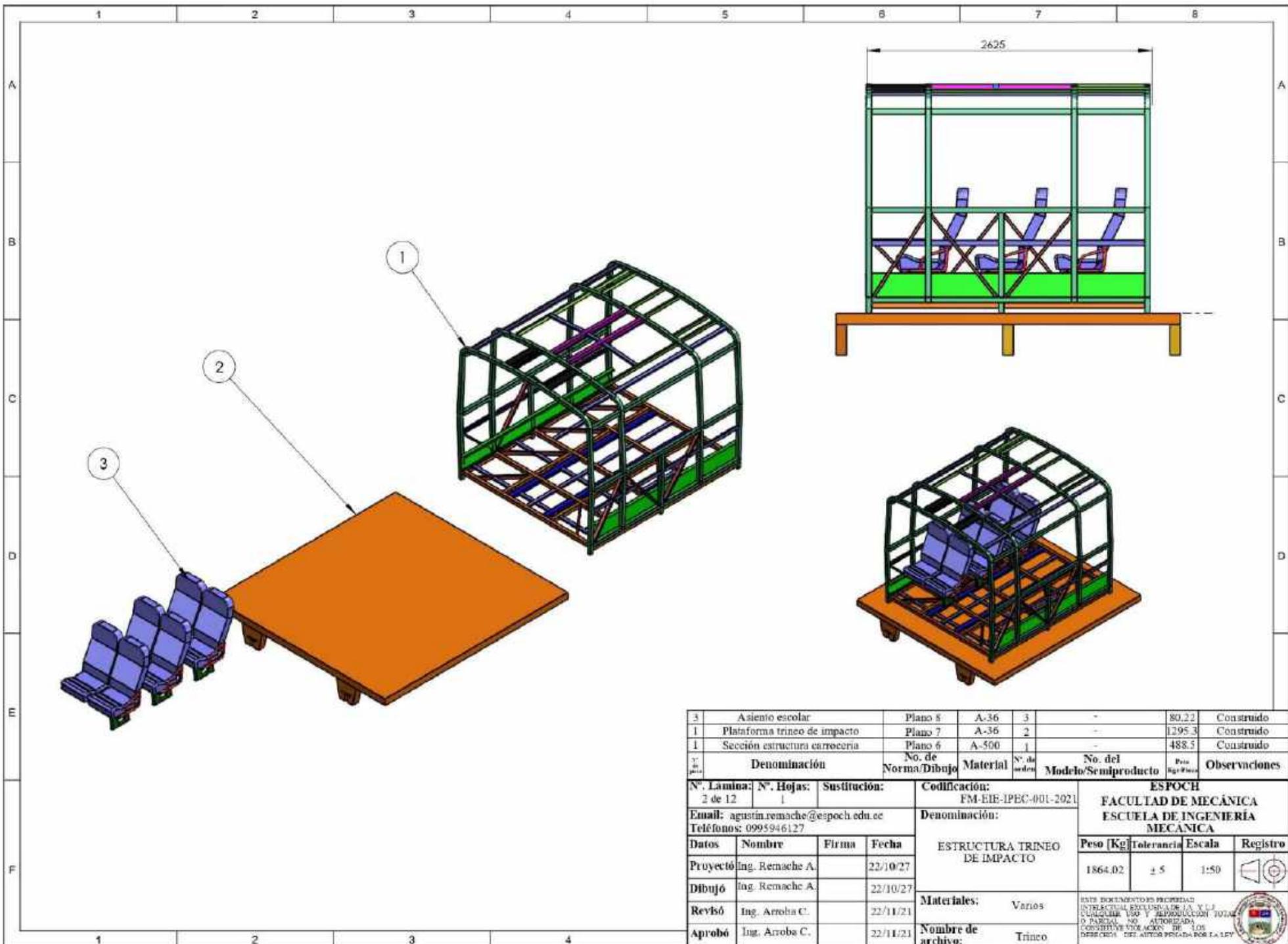
Solicitante

ANEXO J: Planos

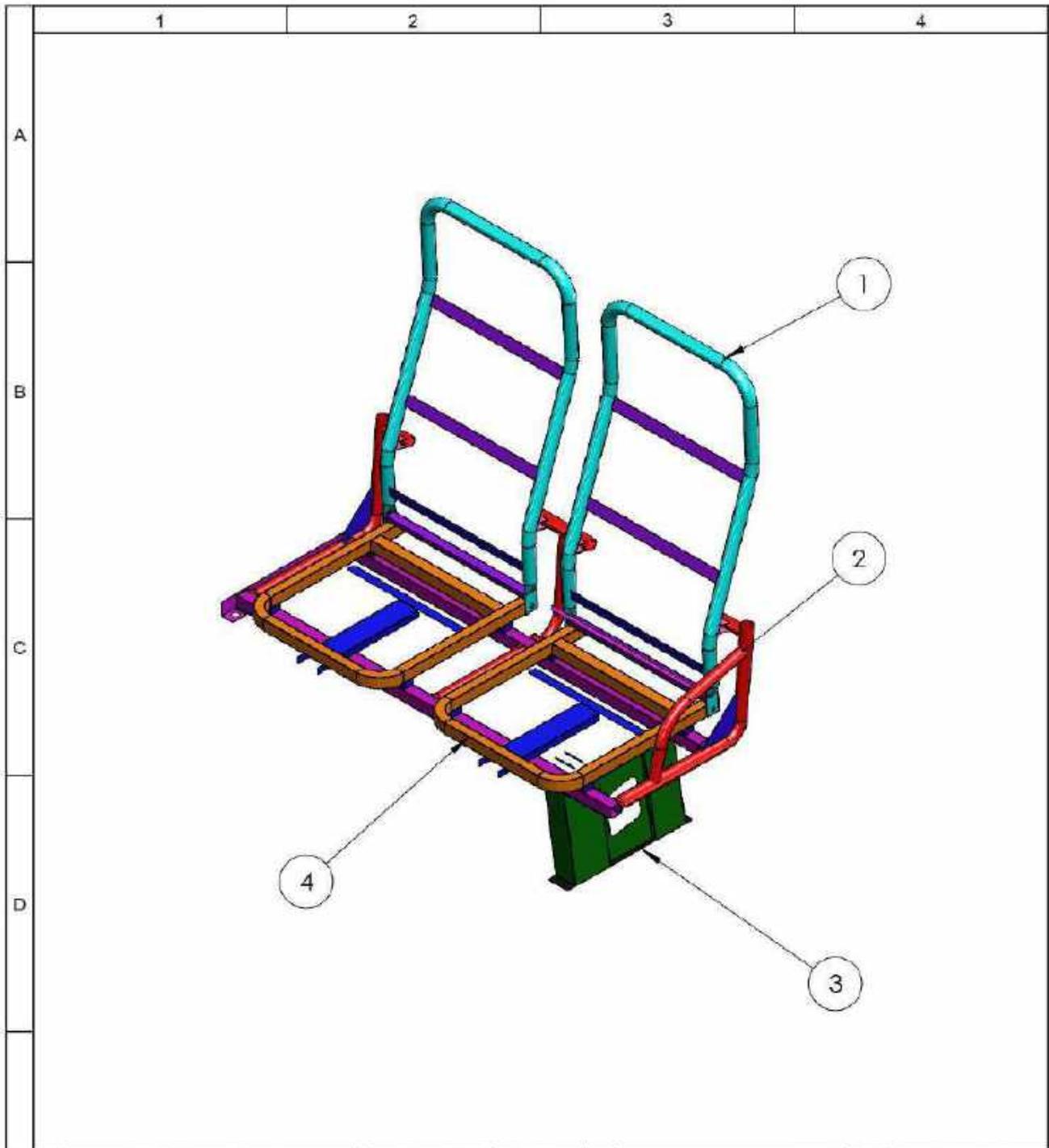
PLANOS



1	Estructura frente	-	Varios	7	-	-	Construido			
1	Estructura lateral izquierdo	-	Varios	6	-	-	Construido			
1	Estructura piso	Plano 5	Varios	5	-	829.9	Construido			
1	Estructura respaldo	-	Varios	4	-	-	Construido			
1	Estructura techo	Plano 6	Varios	3	-	115	Construido			
1	Estructura lateral derecho	Plano 4	Varios	2	-	-	Construido			
1	Estructura chasis	-	Varios	1	-	2670	Adquirido			
Denominación		Nº. de Norma/Dibujo	Material	Nº de orden	Na. del Modelo/Semiproducto		Peso Kg. Pesa	Observaciones		
Nº. Lámina: 1 de 12		Nº. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIE-IPEC-001-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Email: agustin.remache@esPOCH.edu.ec		Teléfonos: 0995946127		Denominación:		Peso [Kg]		Tolerancia	Escala	Registro
Datos		Nombre	Firma	Fecha	ESTRUCTURA PRINCIPAL CARROCERÍA		2476.3	±.5	1:50	
Proyecto		Ing. Remache A.		22/10/27	Materiales: Varios		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE LA V.L.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA. CONSULTAR VULNERACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADO POR LA LEY			
Dibujó		Ing. Remache A.		22/10/27	Nombre de archivo: Minibus escolar					
Revisó		Ing. Arroba C.		22/11/21						
Aprobó		Ing. Arroba C.		22/11/21						

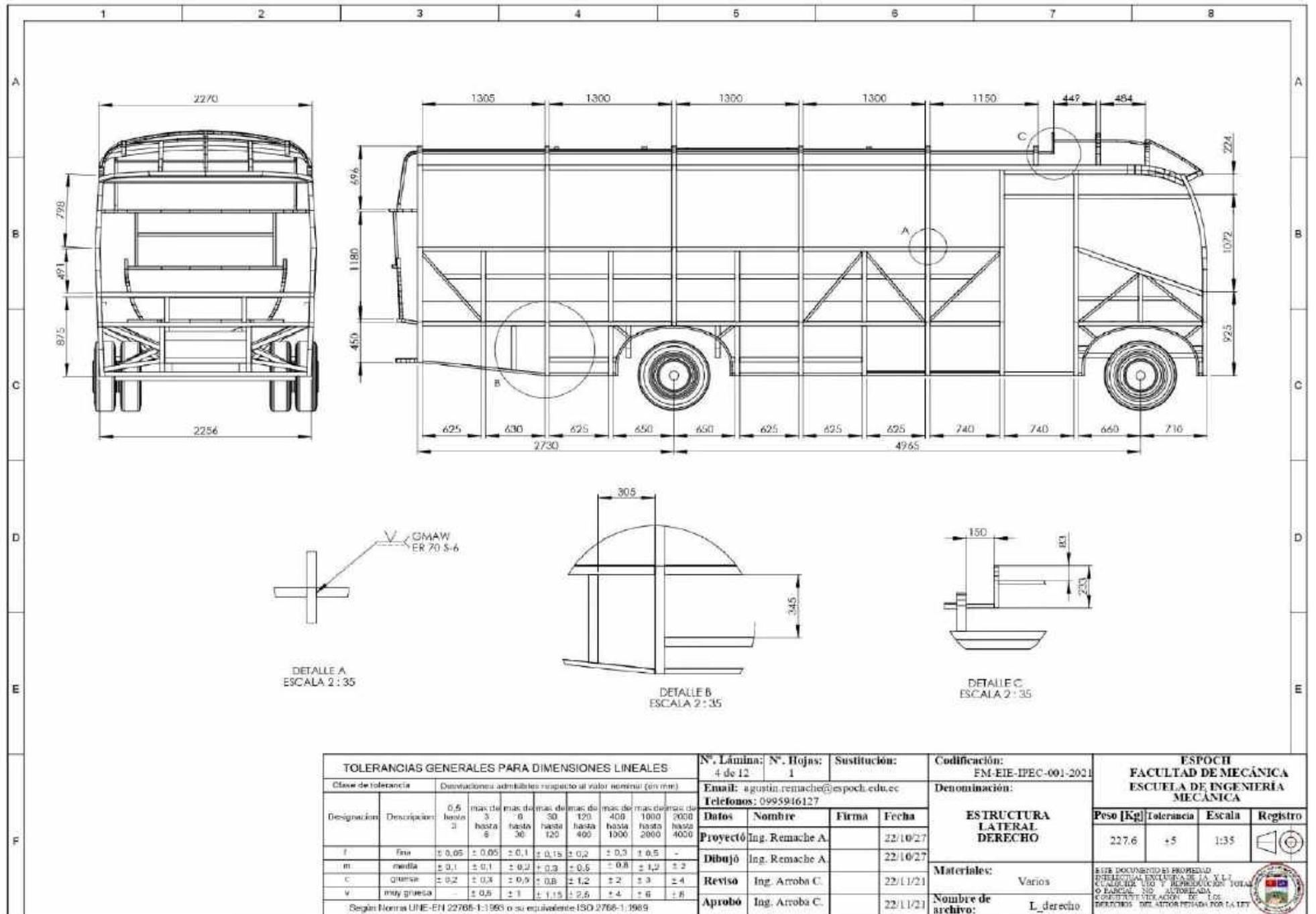


3	Asiento escolar	Plano 8	A-36	3	-	80.22	Construido
1	Plataforma trineo de impacto	Plano 7	A-36	2	-	1295.3	Construido
1	Sección estructura carrocería	Plano 6	A-500	1	-	488.5	Construido
Denominación		No. de Norma/Dibujo	Material	Nº. de series	No. del Modelo/Semiproducto	Peso Eje/Peso	Observaciones
Nº. Lámina: 2 de 12		Nº. Hojas: 1	Sustitución:		Codificación: FM-EIE-IPBC-001-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Email: agustin.remache@esPOCH.edu.ec		Teléfonos: 0995946127		Denominación:		Peso [Kg] Tolerancia Escala Registro	
Datos	Nombre	Firma	Fecha	ESTRUCTURA TRINEO DE IMPACTO			<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE I.A. Y L.J. CULQUIAR VSO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DEBERES DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 
Proyectó	Ing. Remache A.		22/10/27				
Dibujó	Ing. Remache A.		22/10/27				
Revisó	Ing. Arroba C.		22/11/21	Materiales: Varios			
Aprobó	Ing. Arroba C.		22/11/21	Nombre de archivo: Trineo			



Nº de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	Nº de orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso Kg/Pieza	Observaciones
2	Estructura cojin asiento	Plano 12	A-36	4	-	1.86	Construido
1	Pata asiento	Plano 11	A-36	3	-	1.42	Construido
2	Estructura base asiento	Plano 10	A-500	2	-	3.25	Construido
2	Estructura espaldar asiento	Plano 9	A-36	1	-	3.35	Construido

Nº. Lámina: 3 de 12		Nº. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIE-IPEC-001-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: agustin.remache@esPOCH.edu.ec				Denominación:								Peso [Kg]		Tolerancia	
Teléfonos: 0995946127		ASIENTO ESCOLAR		Materiales: Varios		Nombre de archivo: Asiento		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE LA U.E. Y LA CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							
Datos	Nombre	Firma	Fecha					26.74		±5		1:10			
Proyectó	Ing. Remache A.		22/10/27												
Dibujó	Ing. Remache A.		22/10/27												
Revisó	Ing. Arroba C.		22/11/21												
Aprobó	Ing. Arroba C.		22/11/21												



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

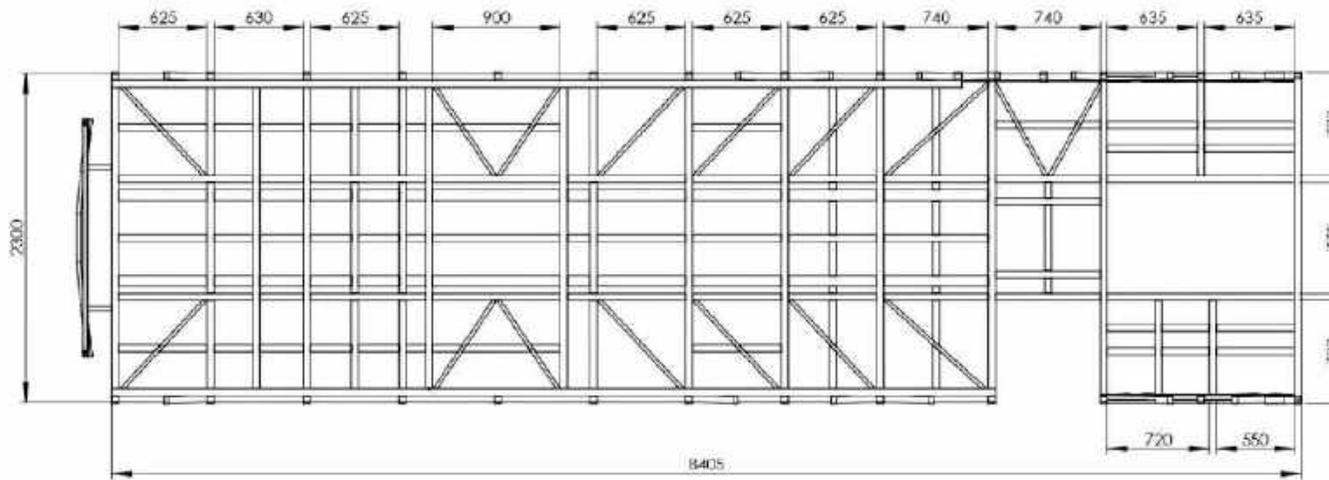
Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al valor nominal (en mm)							
Designación	Descripción	0,5 hasta 3	max de 3 hasta 6	max de 6 hasta 30	max de 30 hasta 120	max de 120 hasta 400	max de 400 hasta 1000	max de 1000 hasta 2000	max de 2000 hasta 4000
f	fino	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	-
m	media	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
c	gruesa	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v	muy gruesa	-	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8

Según Normas UNE-EN 22768-1:1985 o su equivalente ISO 2768-1:1989

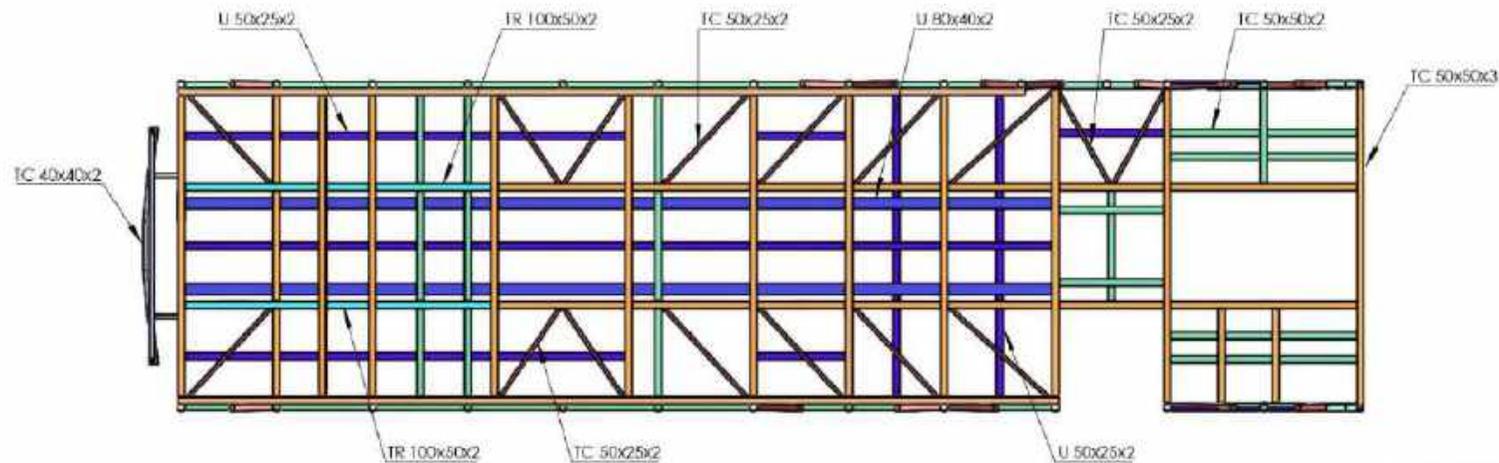
N.º Lámina:	N.º Hojas:	Sustitución:	
4 de 12	1		
Email: agustin.remache@esPOCH.edu.ec			
Teléfonos: 0995946127			
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Ing. Remache A.		22/10/27
Dibujó	Ing. Remache A.		22/10/27
Revisó	Ing. Arroba C.		22/11/21
Aprobó	Ing. Arroba C.		22/11/21

Codificación:	FM-EIE-IPEC-001-2021
Denominación:	ESTRUCTURA LATERAL DERECHO
Materiales:	Varios
Nombre de archivo:	L_derecho

ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
227,6	+5	1:35	
<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE LA U.L.U. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN POR ESCRITO DEL AUTOR PENADO POR LA LEY</small>			

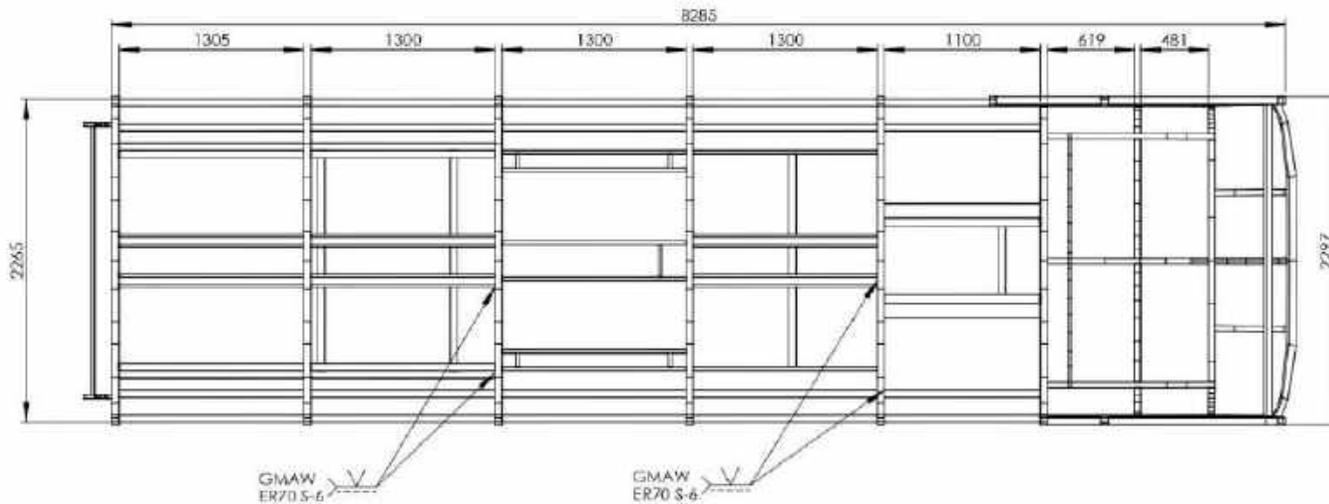


Piso (Dimensiones)

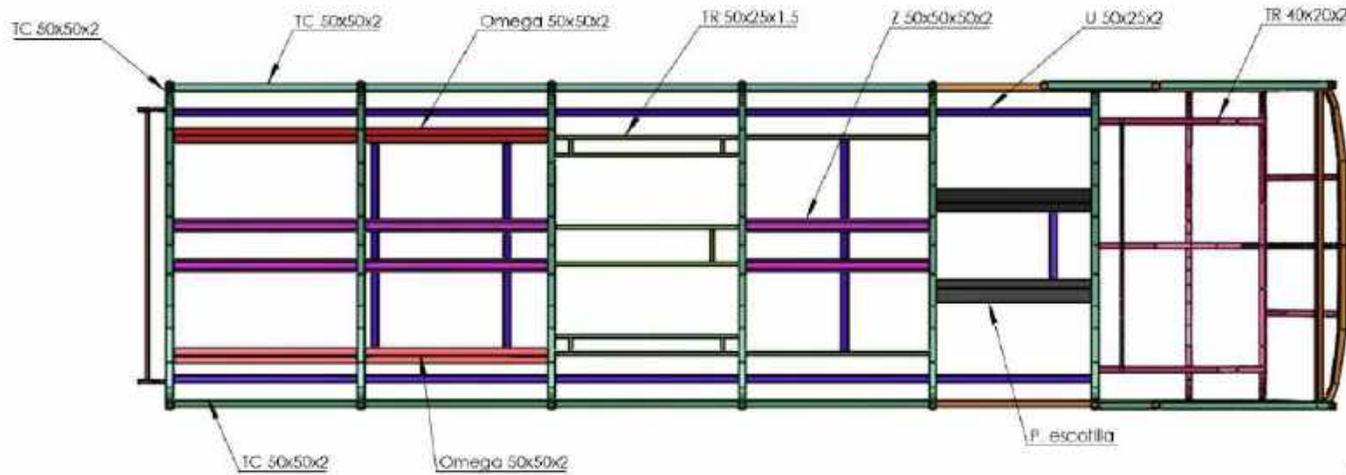


Piso (materiales)

TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES				Nº. Lámina: 5 de 12	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-EIE-IPEC-001-2021	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA										
Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al valor nominal (en mm)							Email: agustin.remache@esPOCH.edu.ec		Denominación:		Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro		
Designación	Descripción	0,5 hasta 3	mas de 3 hasta 6	mas de 6 hasta 30	mas de 30 hasta 120	mas de 120 hasta 400	mas de 400 hasta 1000	mas de 1000 hasta 2000	mas de 2000 hasta 4000	Datos	Nombre	Firma					Fecha	
f	finis	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	-	Proyectó	Ing. Remache A.		22/10/27	ESTRUCTURA PISO	829,9	±5	1:35	
m	media	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	Dibujó	Ing. Remache A.		22/10/27					
c	gruesa	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	Revisó	Ing. Arroba C.		22/11/21					
v	muy gruesa	-	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8	Aprobó	Ing. Arroba C.		22/11/21					
Según Norma UR-EN 22798-1:1993 o su equivalente ISO 2768-1:1989										Nombre de archivo:	Piso	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE LA U.E.S. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA CONSTITUYE INFRACCION DE LOS DEBERES DEL AUTOR FIRMADA POR LA U.E.S.						



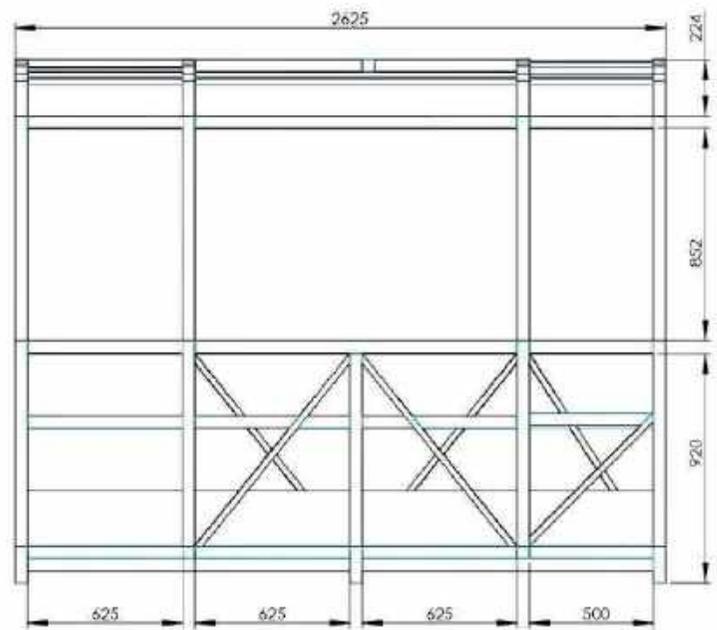
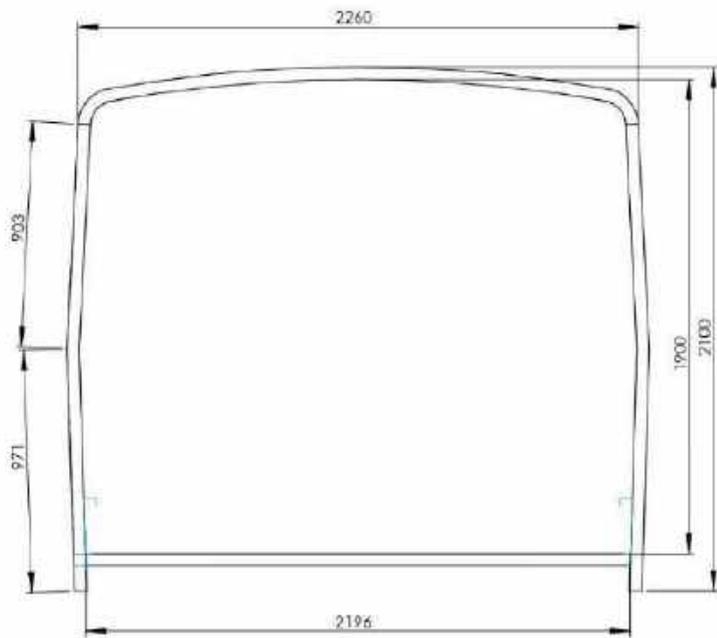
Techo (Dimensiones)



Techo (materiales)

TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES				N°. Lámina:	N°. Hojas:	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
Clase de tolerancia				Desviaciones admisibles respecto al valor nominal (en mm)				FM-EE-IPEC-001-2021								
Designación		Descripción		0,5 hasta 5	mas de 5 hasta 30	mas de 30 hasta 120	mas de 120 hasta 400	mas de 400 hasta 1000	mas de 1000 hasta 2000	mas de 2000 hasta 4000	Denominación:		Peso [Kg] Tolerancia Escala Registro			
				± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,4	± 0,5	± 0,6	± 0,8	ESTRUCTURA TECHO		115	±5	1:35	
				± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5						
				± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2						
				± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3						
				-	± 0,5	± 1	± 1,15	± 2,5	± 4	± 8						
Según Norma UNE-EN 22768-1:1993 o su equivalente ISO 2768-1:1989				N°. Lámina: 6 de 12				N°. Hojas: 1				Sustitución:				
				Email: agustin.remache@esPOCH.edu.ec				Teléfonos: 0995946127				Codificación:				
				Datos				Nombre				Firma				
				Proyectó				Ing. Remache A.				Fecha				
				Dibujó				Ing. Remache A.				Fecha				
				Revisó				Ing. Arroba C.				Fecha				
				Aprobó				Ing. Arroba C.				Fecha				
				Materiales:				Varios				Nombre de archivo:				
												Techo				
												ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INDEPENDIENTE EXCLUSIVA DE LA V.L.I. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA. CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY				





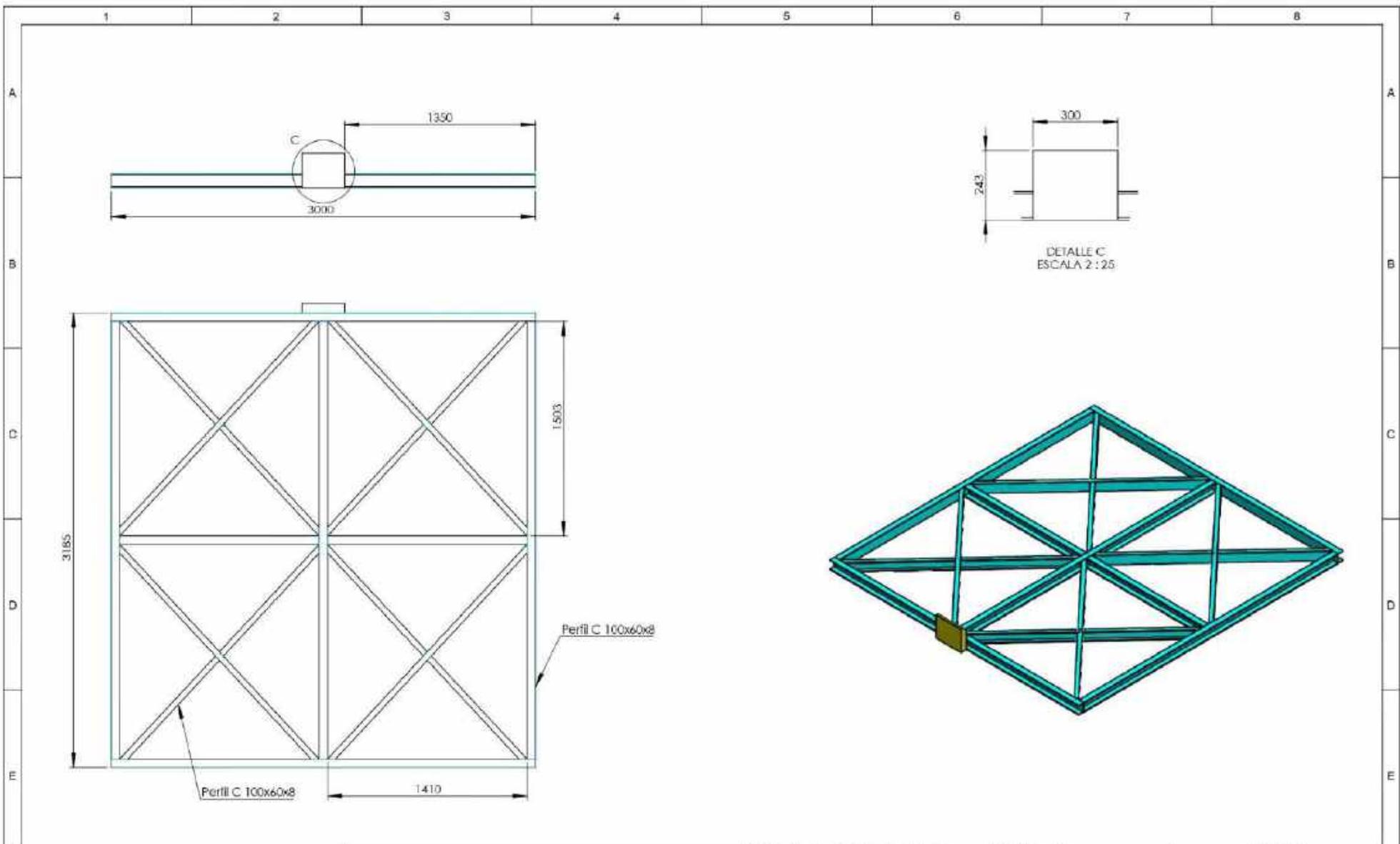
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES		Desviaciones admisibles respecto al valor nominal (en mm)							
Clase de tolerancia	Descripción	0,5 hasta 3	mas de 3 hasta 6	mas de 6 hasta 30	mas de 30 hasta 120	mas de 120 hasta 400	mas de 400 hasta 1000	mas de 1000 hasta 2000	mas de 2000 hasta 4000
F	linea	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	-
m	medida	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
e	gruesa	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v	muy gruesa	-	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8

Según Norma UNE-EN 22768-1:1995 o su equivalente ISO 2768-1:1989

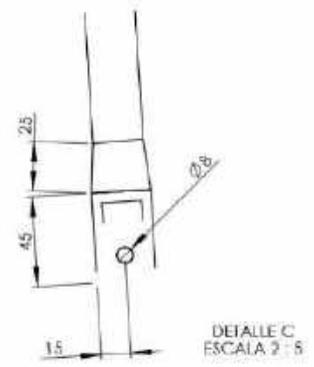
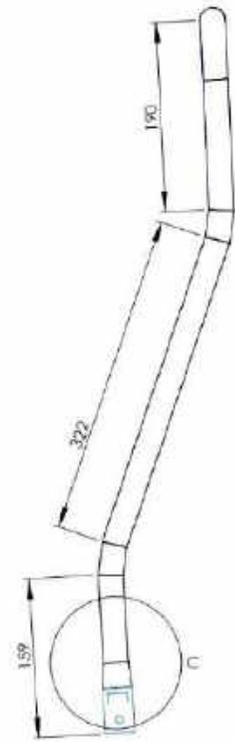
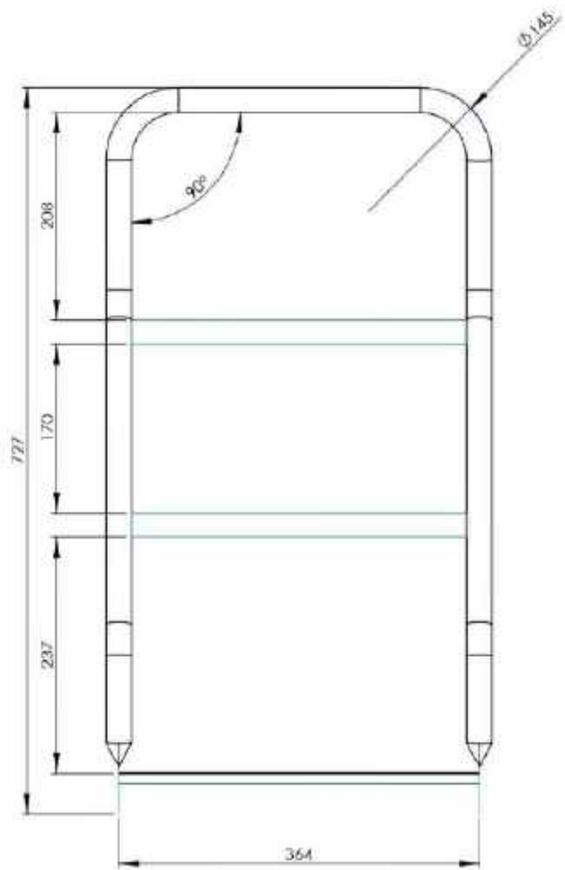
Nº. Lámina:	Nº. Hojas:	Sustitución:	
7 de 12	1		
Email: agustin.remache@esPOCH.edu.ec			
Teléfonos: 099 5946127			
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Ing. Romache A.		22/10/27
Dibujó	Ing. Romache A.		22/10/27
Revisó	Ing. Arroba C.		22/11/21
Aprobó	Ing. Arroba C.		22/11/21

Codificación:	FM-EIE-IPEC-001-2021
Denominación:	ESTRUCTURA SECCIÓN
Materiales:	Varios
Nombre de archivo:	Sección

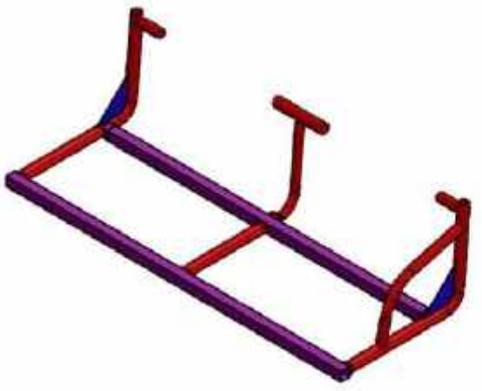
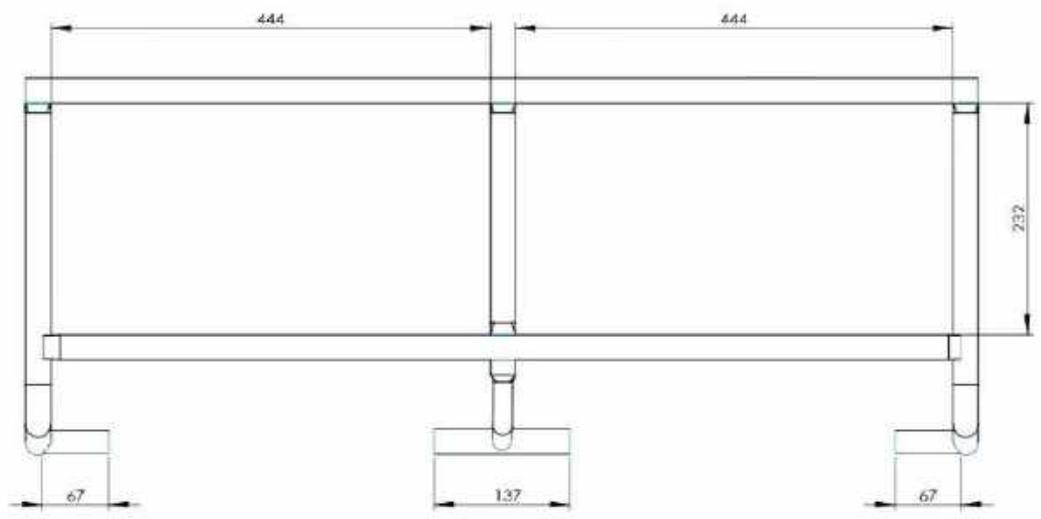
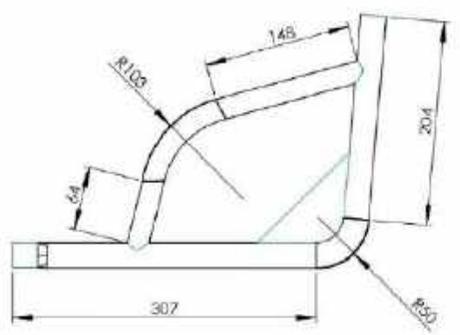
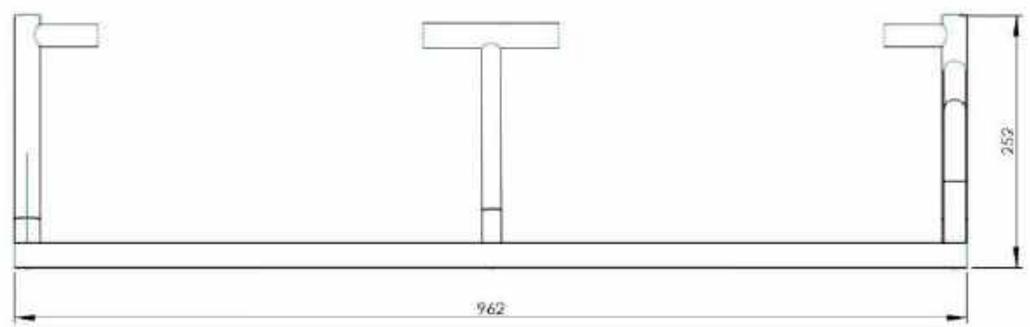
ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
488,5	± 5	1:20	
<small>ESTE DIBUJANDO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE E.A. Y.E.I. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL, SIN AUTORIZACION, CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENALIZADA POR LA LEY</small>			



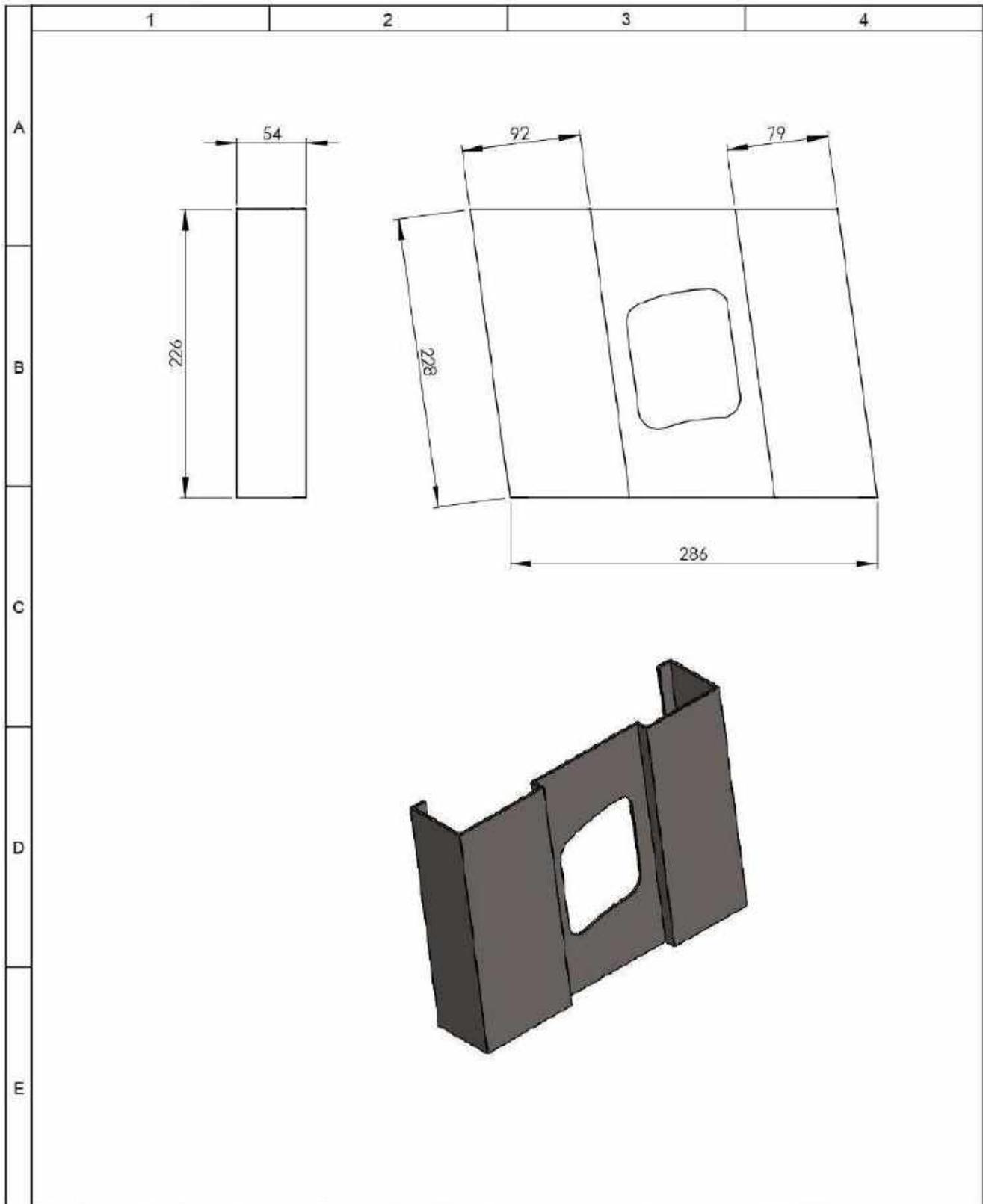
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES								N°. Lámina:	N°. Hojas:	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al valor nominal (en mm)						8 de 12	1		FM-EIE-IPEC-001-2021	Denominación:					
Designación	Descripción	0,5 hasta 3	mas de 3 hasta 6	mas de 6 hasta 30	mas de 30 hasta 120	mas de 120 hasta 400	mas de 400 hasta 1000	mas de 1000 hasta 2000	mas de 2000 hasta 4000	Email: agustin.remache@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0995946127		ESTRUCTURA PLATAFORMA					
Datos	Nombre	Firma	Fecha														
f	finis	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	-	Proyectó	Ing. Remache A.		22/10/27	Materiales:		Varios.	<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL FACULTAD DE MECÁNICA Y E.I.E. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA. CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DEBERES DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 
m	media	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	Dibujó	Ing. Remache A.		22/10/27	Nombre de archivo:		Plataforma	
e	gruesa	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4	Revisó	Ing. Arroba C.		22/11/21				
v	muy gruesa	-	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8	Aprobó	Ing. Arroba C.		22/11/21				
Según Norma LINE-EN 22768-1:1993 o su equivalente ISO 2768-1:1988																	



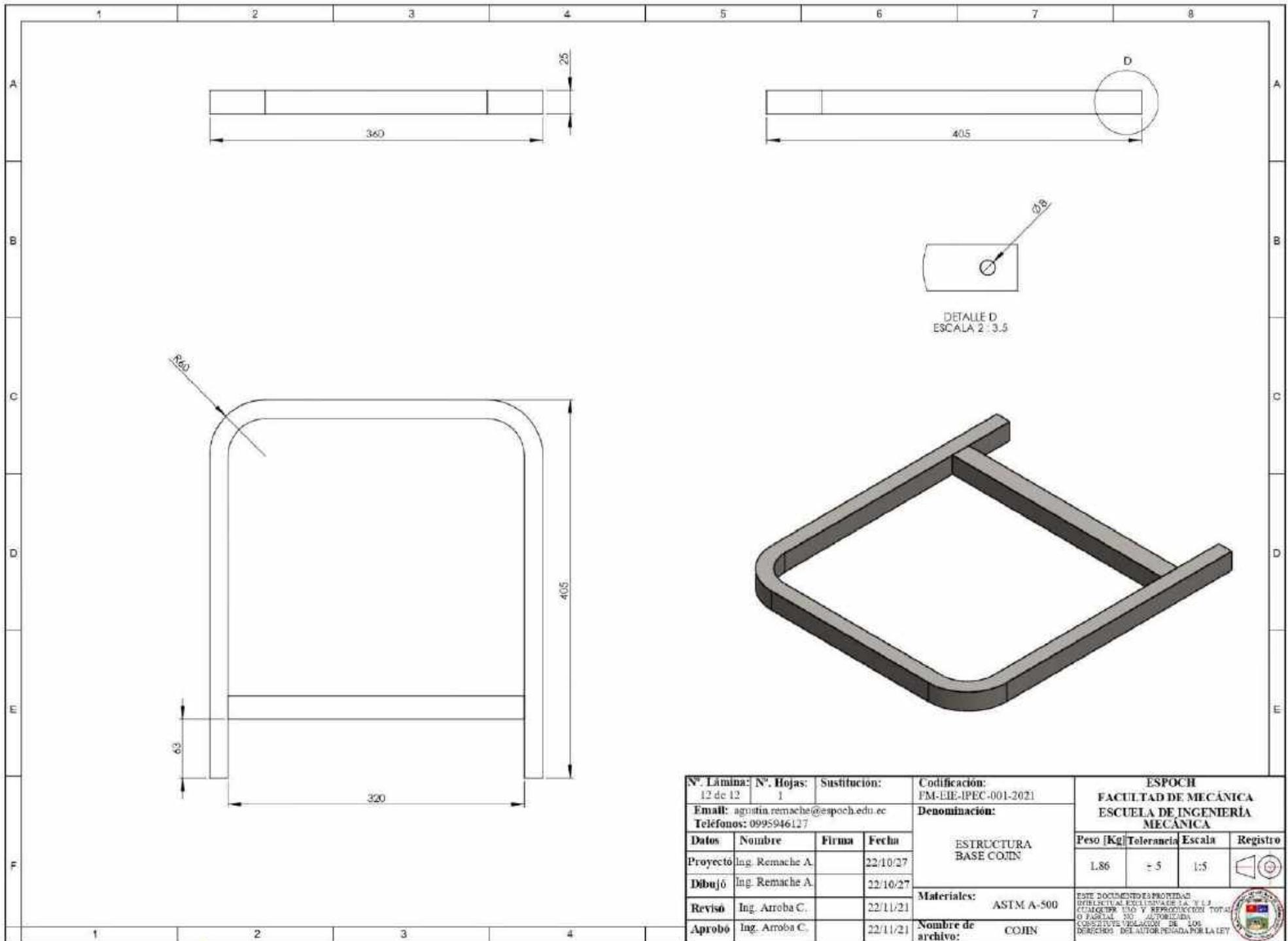
N°. Lámina: 9 de 12		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIE-IPEC-001-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Email: agustin.remache@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0995946127						Denominación: ESTRUCTURA ESPALDAR ASIENTO		Peso [Kg]		Tolerancia	Escala	Registro
Datos		Nombre	Firma	Fecha	3.35			± 5	1:50			
Proyectó		Ing. Remache A.		22/10/27		Materiales: Varios		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE LA U. L. F. CUADRO DE USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA. CONSULTAR VIGILANCIA DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY				
Dibujó		Ing. Remache A.		22/10/27								
Revisó		Ing. Arroba C.		22/11/21		Nombre de archivo: Espaldar						
Aprobó		Ing. Arroba C.		22/11/21								



N°. Lámina: 10 de 12		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIE-IPEC-001-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Email: agustia.remache@esPOCH.edu.ec						Denominación: ESTRUCTURA BASE		Peso [Kg]		Tolerancia	Escala	Registro
Teléfonos: 0995946127								3.28		± 5	1:5	
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Varios		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD EXCLUSIVA DE EA. Y L3 CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZADA CONSTITUYE INFRACCIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY						
Proyectó	Ing. Remache A.		22/10/27									
Dibujó	Ing. Remache A.		22/10/27									
Revisó	Ing. Arroba C.		22/11/21									
Aprobó	Ing. Arroba C.		22/11/21	Nombre de archivo: Base								



Nº. Lámina: 11 de 12		Nº. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIE-IPEC-001-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA									
Email: agustin.remache@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0995946127						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		PATA ASIENTO ESCOLAR		1.42		± 5		1:5			
Proyectó		Ing. Remache A.				22/10/27											
Dibujó		Ing. Remache A.				22/10/27											
Revisó		Ing. Arroba C.				22/11/21											
Aprobó		Ing. Arroba C.				22/11/21		Materiales: Acero A-36		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE LA Y L.J. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							
								Nombre de archivo: Pata									



N° Lámina: 12 de 12		N° Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIE-IPEC-001-2021		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: agustina.remache@esPOCH.edu.ec				Denominación:								Peso [Kg]		Tolerancia Escala	
Teléfonos: 0995946127				ESTRUCTURA BASE COJIN				L.86		± 5		1:5			
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTM A-500				<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE E.S.P. S.A. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACION CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>							
Proyectó	Ing. Remache A.		22/10/27	Nombre de archivo: COJIN											
Dibujó	Ing. Remache A.		22/10/27												
Revisó	Ing. Arroba C.		22/11/21												
Aprobó	Ing. Arroba C.		22/11/21												



epoch

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 13 / 10 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Agustín Danilo Remache Gutiérrez</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
<i>Instituto de Posgrado y Educación Continua</i>
Título a optar: <i>Magíster en Diseño Mecánico</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.



Escaneado y validado por:
LOUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS



0114-DBRA-UTP-IPEC-2023