



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LAS CARGAS DINÁMICAS DURANTE
EL IMPACTO FRONTAL DE AUTOBUSES SOBRE LOS PASAJEROS”**

AUTOR: Luis Leonardo Guananga Guevara.

TUTOR: Ing. Mg. César Hernán Arroba Arroba.

AMBATO – ECUADOR

Julio - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema “**ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LAS CARGAS DINÁMICAS DURANTE EL IMPACTO FRONTAL DE AUTOBUSES SOBRE LOS PASAJEROS**”, elaborado por el Sr. Luis Leonardo Guananga Guevara, portador de la cédula de ciudadanía: C.I 1803878683, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico que:

- El presente Trabajo Investigativo es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Julio 2022

.....
Ing. Mg. César Hernán Arroba Arroba

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Luis Leonardo Guananga Guevara, con C.I. 1803878683 declaro que todas las actividades y contenido expuestos en el presente Trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LAS CARGAS DINÁMICAS DURANTE EL IMPACTO FRONTAL DE AUTOBUSES SOBRE LOS PASAJEROS”**, así como también los análisis computacionales, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Julio 2022



.....
Luis Leonardo Guananga Guevara

C.I.: 1803878683

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación según las normas de la institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Julio 2022



.....
Luis Leonardo Guananga Guevara

C.I. 1803878683

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Luis Leonardo Guananga Guevara, de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LAS CARGAS DINÁMICAS DURANTE EL IMPACTO FRONTAL DE AUTOBUSES SOBRE LOS PASAJEROS”**.

Ambato, Julio 2022

Para constancia firman:

Ing. Mg. María Belén Paredes Robalino
Miembro Calificador

Ing. Mg. Jorge Enrique López Velástegui
Miembro Calificador

DEDICATORIA

A Dios por darme la sabiduría y la fuerza para elegir esta impresionante carrera.

A mis padres Humberto Guananga y Marina Guevara seres incansables que estuvieron junto a mi para conseguir mis sueños, enseñándome el valor del estudio.

A mis hermanos Daniel, Mercedes, Jessica y a mis sobrinos Nahomy, Darren, Anthonela y Elías que han sido y serán el pilar fundamental de mi vida.

Luis Guananga G.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento va encaminado al personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, donde fui logrando mi formación académica, hasta cumplir mi objetivo final, que hoy veo cumplido.

Al personal docente de la Carrera de Ingeniería Mecánica, guías perseverantes del saber, justicia y libertad, en especial al Ing. Cesar Arroba, director del proyecto de tesis, por su aporte generoso para la ejecución del presente proyecto.

A mis amigos, compañeros personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PAGINAS PRELIMINALRES

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE TABLAS	xix
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I	1
1.1 Antecedentes investigativos.....	1
1.1.1 Investigaciones preliminares.....	1
1.1.2 Justificación	3
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 Objetivo General.....	6
1.2.2 Objetivos Específicos.....	6
1.3 Fundamentación teórica.....	7
1.3.1 Unidad de trasporte de pasajeros de largas distancias.	7
1.4 Estructura del autobús.....	7
1.4.1 Paneles exteriores.....	8
1.4.2 Armazón delantero.....	8
1.4.3 Armazón central.....	9
1.4.4 Armazón del piso.	10
1.4.5 Armazón del techo.	10
1.5 Seguridad en el autobús.....	11

1.5.1	Seguridad activa o preventiva.....	11
1.5.2	Seguridad pasiva en carrocerías de autobuses.....	11
1.5.3	El habitáculo.....	11
1.5.4	Espacio de supervivencia.....	12
1.6	Ensayos de impactos.....	14
1.6.1	Impacto frontal.....	14
1.6.2	Biomecánica de impacto frontal.....	15
1.6.3	Impacto lateral.....	15
1.6.4	Impacto posterior.....	16
1.7	Asientos.....	17
1.7.1	Tipos de asientos.....	17
1.7.2	Asientos de pasajeros.....	17
1.7.3	Asiento de pasajeros para transporte urbano.....	17
1.7.4	Asiento de pasajero para transporte interprovincial.....	18
1.8	Anclajes.....	19
1.9	Cinturón de seguridad.....	20
1.10	Tipos de cinturón de seguridad.....	20
1.11	Homologación de cinturones de seguridad UNECE/CEPE R80.....	21
1.12	Ensayo de resistencia asientos y anclajes según la Regulación UNECE/CEPE R80.....	21
1.13	Tipos de ensayos.....	22
1.14	Ensayo dinámico.....	22
1.14.1	Ensayo estático.....	24
	Procedimiento del ensayo.....	25
1.15	Colocación del maniquí CEPE R80.....	26
1.16	Requisitos de Criterios de comportamiento de lesiones de impacto frontal según regulación UNECE/CEPE R80.....	26

1.17	Especificación de los criterios de aceptabilidad.	27
1.17.1	Cabeza.....	27
1.17.2	Tórax (CAT).	27
1.17.3	Fémur.	27
1.18	Tipos de dummy de prueba de impacto..	27
1.18.1	Coche frontal HYBRID III.	28
1.18.2	Choque lateral: EUROSID.....	28
1.18.3	SID, EUROSID.....	29
1.18.4	BioRID.	29
1.18.5	CRABI.	30
1.18.6	THOR.....	30
1.19	Tipos de los maniqués de pruebas de impacto.	31
1.20	Instrumentos de los maniqués.	31
1.20.1	Acelerómetros.	31
1.20.2	Sensores de carga	32
1.20.3	Sensores de movimiento.	32
1.21	Método de elementos finitos (MEF).....	33
1.21.1	Discretización.	34
1.21.2	Elementos finitos comunes.	34
1.21.3	Procedimiento general de MEF.	35
1.21.4	Post proceso.	35
1.21.5	Mallado.	35
1.21.6	Calidad de malla.	36
1.21.7	Criterio de Jacobiano.	36
1.22	Introducción al programa Ls-DYNA.....	37
1.23	Hipótesis.	38
1.24	Señalamiento de variable de la hipótesis.	38

1.24.1	Variable Independiente.	38
1.24.2	Variable Dependiente.....	38
1.24.3	Término de relación.	38
CAPÍTULO II		39
2	METODOLOGÍA.....	39
2.1	Nivel o tipo de investigación.	39
2.1.1	Investigación bibliográfica.....	39
2.1.2	Investigación exploratoria.....	39
2.1.3	Investigación descriptiva.	39
2.1.4	Investigación explicativa.	39
2.2	Población y muestra.....	40
2.2.1	Población.....	40
2.2.2	Muestra.	40
2.3	Operacionalización de variables.	40
2.3.1	Variable Independiente.	40
2.3.2	Variable Dependiente.....	42
2.4	Procedimiento.	43
2.4.1	Elaboración de modelo de la superestructura del auto bus.....	43
2.4.2	Modelado del Asiento.	43
2.4.3	Dimensiones de asiento tipo interprovincial.....	44
2.4.4	Modelado del trineo.	45
2.4.5	Datos técnicos del maniquí para impacto frontal Hybrid III 50 Percentil. ..	46
2.5	Análisis mediante el método de elementos finitos.	49
2.5.1	Exportación de la geometría de la superestructura con sus asientos a ANSYS.....	49
2.5.2	Generación de la malla.....	50
2.5.3	Validación de la malla.	50

2.5.4	Calidad de la malla criterio Jacobiano.....	51
2.5.5	Malla de la estructura.....	51
2.5.6	Malla del Asiento.....	51
2.5.7	Malla trineo.....	52
2.6	Condiciones de simulación para la sección de la estructura del autobús y para el cinturón de seguridad.....	53
2.6.1	Materiales.....	53
2.6.2	Acero ASTM A500 Grado A.....	53
2.7	Asignación del material para la estructura y para el cinturón de seguridad.....	53
2.8	Maza de la estructura.....	54
2.9	Restricciones del trineo.....	55
2.10	Pulso de aceleración.....	55
2.11	Contactos que se utilizó de simulación.....	56
	CAPITULO III.....	57
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
3.1.	SIMULACIÓN DE LA SECCIÓN DEL AUTOBÚS CON MANIQUÍ SIN CINTURÓN DE SEGURIDAD.....	57
3.1.1	Secuencia de imágenes de simulación sin cinturón.....	57
3.2	Criterios de lesiones de la cabeza, sin cinturón de seguridad.....	59
3.2.1	Maniquí M1.....	59
3.2.2	Maniquí M2.....	59
3.3	Criterio de lesiones del tórax, sin cinturón de seguridad.....	60
3.3.1	Maniquí M1.....	60
3.3.2	Maniquí M2.....	61
3.4	Criterio de lesiones del fémur sin cinturón de seguridad.....	62
3.4.1	Maniquí M1.....	62
3.4.2	Fémur izquierdo.....	62

3.4.3	Fémur derecho.	62
3.4.4	Maniquí M2.	63
3.4.5	Fémur izquierdo.	63
3.4.6	Fémur derecho.	64
3.4.7	Verificación de la energía de Hourglass.	64
3.4.8	SIMULACIÓN DE LA SECCIÓN DEL AUTOBÚS CON MANIQUÍ CON CINTURÓN DE SEGURIDAD DE DOS PUNTOS.	65
3.4.9	Secuencia de imágenes de simulación con cinturón de seguridad de dos puntos.	65
3.5	Criterios de lesiones de la cabeza con cinturón de seguridad dos puntos.	67
3.5.1	Maniquí M1.	67
3.5.2	Maniquí M2.	67
3.6	Criterio de lesiones del tórax con cinturón de seguridad de dos puntos.	68
3.6.1	Maniquí M1.	68
3.6.2	Maniquí M2.	69
3.7	Criterio de lesiones del fémur con cinturón de seguridad de dos puntos.	70
3.7.1	Maniquí M1.	70
3.7.2	Fémur Izquierdo.	70
3.7.3	Fémur derecho.	70
3.7.4	Maniquí M2.	71
3.7.5	Fémur izquierdo.	71
3.7.6	Fémur derecho.	71
3.7.7	Verificación de la energía de hourglass.	72
3.7.8	SIMULACIÓN DE LA SECCIÓN DEL AUTOBÚS CON MANIQUÍ CON CINTURÓN DE SEGURIDAD DE TRES PUNTOS.	73
3.7.9	Secuencia de imágenes de simulación con cinturón de seguridad de tres puntos.	73

3.8	Criterios de lesiones de la cabeza, con cinturón de seguridad tres puntos.	75
3.8.1	Maniquí M1.	75
3.8.2	Maniquí M2.	75
3.9	Criterio de lesiones del tórax con cinturón de seguridad de tres puntos.	76
3.9.1	Maniquí M1.	76
3.9.2	Maniquí M2.	77
3.10	Criterio de lesiones del fémur con cinturón de seguridad de tres puntos.	78
3.10.1	Maniquí M1.	78
3.10.2	Fémur izquierdo.	78
3.10.3	Fémur derecho.	79
3.10.4	Maniquí M2.	79
3.10.5	Fémur izquierdo.	79
3.10.6	Fémur derecho.	80
3.11	Verificación de la energía de Hourglass.	80
CAPITULO IV		82
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
4.1	Conclusiones.	82
4.2	Recomendaciones	84
BIBLIOGRAFÍA.....		85
ANEXOS		89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Autobús interprovincial [7].	7
Figura 1.2 Estructura del autobús [9].	7
Figura 1.3 Conjunto del armazón, de un autobús [12].	8
Figura 1.4 Armazón delantero del autobús [10].	9
Figura 1.5 Armazón central [10].	9
Figura 1.6 armazón del piso del habitáculo y del maletero.	10
Figura 1.7 Armazón del techo del autobús [10].	10
Figura 1.8 Habitáculo de los pasajeros de un autobús [11].	12
Figura 1.9 Espacio de supervivencia [17].	13
Figura 1.10 Vista transversal del espacio de supervivencia disposiciones laterales del autobús [16].	13
Figura 1.11 Vista longitudinal de espacio de supervivencia del autobús [16].	13
Figura 1.12 Prueba de impacto frontal [20].	14
Figura 1.13 Dummy en un impacto frontal [21].	15
Figura 1.14 Prueba de impacto lateral [8].	16
Figura 1.15 Ensayo de impacto de buses escolares [22].	16
Figura 1.16 Asiento de pasajeros, transporte urbano [26].	18
Figura 1.17 Asiento de pasajeros, transporte interprovincial [27].	18
Figura 1.18 Asientos de pasajeros interprovincial [28].	19
Figura 1.19 Configuración anclajes autobús [24].	20
Figura 1.20 Ensayo dinámico [31].	22
Figura 1.21 Gráfica aceleración vs tiempo [3].	23
Figura 1.22 Ensayos dinámicos [32].	24
Figura 1.23 Ensayo estático de asientos y anclajes [32].	24
Figura 1.24 Aparato ensayo estático [23].	25
Figura 1.25 Percentiles Hybrid III dummy [34].	28

Figura 1.26 Maniquí Eurosid [8].	28
Figura 1.27 Dummies Euro SID [35].....	29
Figura 1.28 Dummy BioRID [33].....	29
Figura 1.29 Maniquí CRABI [8].....	30
Figura 1.30 Maniquí tipo Thor [33].....	30
Figura 1.31 Aceleración de la cabeza durante un impacto frontal [33].	32
Figura 1.32 Fuerza del fémur en un impacto [33].....	32
Figura 1.33 Desviación del pecho en impacto frontal [33].....	33
Figura 1.34 Prueba de impacto lateral por MEF realizado por IIHS [12].....	33
Figura 1.35 Elementos finitos comunes [12].	34
Figura 1.36 Calidad de malla según Criterio Jacobiano [10].....	36
Figura 2.1. A sección transversal autobús, B sección transversal, vista lateral del autobús.	43
Figura 2.2 Asiento del autobús interprovincial.....	44
Figura 2.3 Esquema de dimensiones de asiento para ensayo dinámico de trineo en asientos tipo interprovincial [38]	44
Figura 2.4 Trineo	45
Figura 2.5 Dummy Hybrid III 50° Percentil	46
Figura 2.6 Colocación de la superestructura en el trineo.....	49
Figura 2.7 Preparación de la geometría para análisis de choque frontal dinámico.....	50
Figura 2.8 Calidad de malla según el criterio Jacobiano [8].....	51
Figura 2.9 Verificación de la calidad de la malla de la estructura.	51
Figura 2.10 verificación de la calidad de la malla del asiento.	52
Figura 2.11 Verificación de la malla de trineo para ensayo dinámico.....	52
Figura 2.12 Peso total de la estructura más el maniquí.....	54
Figura 2.13 Restricción del trineo.....	55
Figura 2.14 Pulso de aceleración utilizado en la simulación de la sección de la carrocería. .	56
Figura 3.1 Criterio de lesión de la cabeza M1, sin cinturón de seguridad.	59
Figura 3.2 Criterio de lesión de la cabeza M2, sin cinturón de seguridad	60

Figura 3.3 Criterio de lesión de tórax M1, sin cinturón de seguridad.....	61
Figura 3.4 Criterio de lesión de tórax M2, sin cinturón de seguridad.....	61
Figura 3.5 Criterio de lesión de fémur izquierdo M1, sin cinturón de seguridad.	62
Figura 3.6 Criterio de lesión de fémur derecho M1, sin cinturón de seguridad.....	63
Figura 3.7 Criterio de lesión de fémur izquierdo M2, sin cinturón de seguridad	63
Figura 3.8 Criterio de lesión de fémur derecho M2, sin cinturón de seguridad.....	64
Figura 3.9 Verificación de la energía Hourglass.....	65
Figura 3.10 Criterio de lesión de la cabeza M1, con cinturón de seguridad de dos puntos. ..	67
Figura 3.11 Criterio de lesión de la cabeza M2, con cinturón de seguridad de dos puntos. ..	68
Figura 3.12 Criterio de lesión de tórax M1, con cinturón de seguridad de dos puntos.....	69
Figura 3.13 Criterio de lesión de tórax M2, con cinturón de seguridad de dos puntos.....	69
Figura 3.14 Criterio de lesión de fémur izquierdo M1, con cinturón de seguridad de dos puntos.....	70
Figura 3.15 Criterio de lesión de fémur derecho M1, con cinturón de seguridad de dos puntos.	71
Figura 3.16 Criterio de lesión de fémur izquierdo M2, con cinturón de seguridad de dos puntos.....	71
Figura 3.17 Criterio de lesión de fémur derecho M2, con cinturón de seguridad de dos puntos.	72
Figura 3.18 Verificación de la energía de Hourglass, con cinturón de seguridad de dos puntos.	73
Figura 3.19 Criterio de lesión de la cabeza M1, con cinturón de seguridad de tres puntos ...	75
Figura 3.20 Criterio de lesión de la cabeza M2, con cinturón de seguridad de tres puntos. ..	76
Figura 3.21 Criterio de lesión de tórax M1, con cinturón de seguridad de tres puntos.	77
Figura 3.22 Criterio de lesión de tórax M2, con cinturón de seguridad de tres puntos.	77
Figura 3.23 Criterio de lesión de fémur izquierdo M1, con cinturón de seguridad de tres puntos.....	78
Figura 3.24 Criterio de lesión de fémur derecho M1, con cinturón de seguridad de tres puntos.	79

Figura 3.25 Criterio de lesión de fémur izquierdo M2, con cinturón de seguridad de tres puntos.....	79
Figura 3.26 Criterio de lesión de fémur derecho M2, con cinturón de seguridad de tres puntos.	80
Figura 3.27 Verificación de la energía de Hourglass, con cinturón de seguridad de tres puntos81	81

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.1. Tipos de Maniquís para cada ensayo de impactos [33].....	31
Tabla 2.1 Variable independiente.	41
Tabla 2.2 Variable dependiente.....	42
Tabla 2.3 Dimensiones de sección de asientos tipo interprovincial [38]	45
Tabla 2.4 Dimensiones del trineo.....	46
Tabla 2.5 Dimensiones del Dummy Hybrid III Percentil 50% Masculino [39].....	47
Tabla 2.6. Dimensiones del dummy [21]	48
Tabla 2.7 Características de la estructura.....	51
Tabla 2.8 Características del asiento	52
Tabla 2.9 Características del trineo.....	53
Tabla 2.10 Materiales para utilizar según las normativas vigentes del país.....	53
Tabla 2.11 Propiedades mecánicas ASTM A500 Grado A [40]	53
Tabla 2.12 Parámetros del material del cinturón de seguridad [41].....	54
Tabla 3.1 Secuencia que muestra el comportamiento del movimiento de los maniquís sin cinturón de seguridad.	58
Tabla 3.2 Valores del criterio de comportamiento de la cabeza HIC sin cinturón de seguridad.	60
Tabla 3.3 Valores del criterio de comportamiento del tórax sin cinturón de seguridad.	62
Tabla 3.4 Valores del criterio de comportamiento del fémur sin cinturón de seguridad.	64
Tabla 3.5 Secuencia que muestra el comportamiento del movimiento de los maniquís con cinturón de seguridad de dos puntos	66
Tabla 3.6 Valores del criterio de comportamiento de la cabeza HIC con cinturón de seguridad de dos puntos.....	68
Tabla 3.7 Valores del criterio de comportamiento de del tórax con cinturón de seguridad de dos puntos	69
Tabla 3.8 Valores del criterio de comportamiento del fémur con cinturón de seguridad de dos puntos.....	72

Tabla 3.9 Secuencia que muestra el comportamiento del movimiento de los maniquís con cinturón de seguridad de tres puntos.....	74
Tabla 3.10. Valores del criterio de comportamiento de la cabeza HIC, con cinturón de seguridad de tres puntos.....	76
Tabla 3.11. Valores del criterio de comportamiento del tórax con cinturón de seguridad de tres puntos.....	78
Tabla 3.12 Valores del criterio de comportamiento del fémur con cinturón de seguridad de tres puntos.....	80

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se analizó el comportamiento de la superestructura de un autobús sometida a choque frontal dinámico, utilizando la normativa ecuatoriana NTE INEN 1688- Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial. Con finalidad de analizar las lesiones producidas en un choque frontal dinámico de buses interprovinciales las cuales serán evaluadas según los criterios del reglamento R80 de la Comisión Económica Para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas. La normativa se sustenta en una situación real de choque frontal dinámico normalizado.

Para el análisis de la superestructura se tomó en cuenta la parte frontal de los pasajeros, se realizó tres simulaciones como son: sin cinturón de seguridad, con cinturón de seguridad de dos puntos y tres puntos, en cada ensayo se utilizó un maniquí híbrido III, el cual se coloca en una estructura móvil que tiene un pulso de aceleración como nos indica el reglamento R80 CEPE.

Con la investigación de los resultados obtenidos se demostró, que el uso de cinturón de seguridad dos puntos y tres puntos proporcionan una conducta similar en el maniquí al simular un choque frontal de la parte seleccionada de la estructura del autobús, por lo que es muy importante colocar cualquiera de estos dos cinturones para los pasajeros, ya que si estos no son utilizados demuestra lesiones graves.

Palabras claves: Impacto frontal, Maniquí de pruebas de impactos, Ensayo Dinámico, Pulso de aceleración, Cinturón De Seguridad

ABSTRACT

This thesis work analyzed the behavior of the superstructure of a bus subjected to a dynamic frontal crash, using the Ecuadorian regulation NTE INEN 1688- Intra-regional, interprovincial and intraprovincial public passenger transport vehicles. The purpose is to analyze the injuries produced in a dynamic frontal crash of interprovincial buses, which will be evaluated according to the criteria of regulation R80 of the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). The regulation is based on a real situation of a standardized dynamic frontal crash.

For the analysis of the superstructure, the front part of the passengers was considered, three simulations were carried out: without seat belt, with two-point and three-point seat belt, in each test a hybrid III dummy was used, which is placed in a mobile structure that has an acceleration pulse as indicated in the R80 UNECE regulation.

With the investigation of the results obtained, it was demonstrated that the use of two-point and three-point seat belts provide a similar behavior in the dummy when simulating a frontal crash of the selected part of the bus structure, so it is very important to place any of these two belts for the passengers, since if they are not used, it shows serious injuries.

Key words: Frontal Impact, Impact Test Dummy, Dynamic Test, Acceleration Pulse, Seat Belt

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1 Investigaciones preliminares

En el trabajo desarrollado por Sharma, Gupta, Joshi y Sharma [1] aseveran que los autobuses se mantienen como uno de los principales medios de transporte público y a la par de los más populares. Pero es importante reconocer que cada año, miles de personas mueren o resultan heridas en accidentes de tránsito. En la serie de impactos ocurridos se pueden suscitar lesiones graves a los ocupantes frente al asiento del autobús. Es por tal motivo que la estructura del asiento del autobús debe absorber suficiente energía para minimizar las lesiones a los pasajeros. Aseveran de igual manera que, la mayoría de las personas en la segunda fila o posteriores resultaron heridas cuando golpearon el respaldo del asiento en su primera fila. Los investigadores residentes de India emplean normativa descrita totalmente para proteger y salvaguardar la vida de los residentes, la más común y actual es la AIS023; en conjunto con las reglas centrales de vehículos motorizados (CMVR). Las cuales garantizan la resistencia del asiento y la seguridad de sus ocupantes en caso de accidente. Esta norma especifica los límites de deflexión mínimo y máximo del respaldo del asiento para minimizar las lesiones al pasajero por medio de mantener un estándar mínimo de resistencia.

Es por tal motivo que los indagadores ejecutaron un análisis de elementos finitos (FEA) y correlación de asientos de autobús según la configuración de prueba AIS023 con el instrumento explícito LS-Dyna. Se permitieron mencionar que existe una correlación entre la prueba y los resultados simulados. Este modelo de elementos finitos correlacionados se utilizó para calcular el nivel de lesión utilizando el maniquí híbrido III de tamaño mediano del percentil 50 con el propósito de garantizar la capacidad de seguridad de la estructura del asiento en caso de impacto frontal. Este proceso fue utilizado para mejorar la seguridad de los asientos de los autobuses.

Según el trabajo desarrollado por Jamroziak, Jozko, Wolanki, Gzik, Suchon y Zielonka [2] asegura que los accidentes de tráfico en los que se ven implicados los

automotores no son muy frecuentes, pero son muy peligrosos porque afectan a un gran número de pasajeros. Los autobuses interurbanos no están equipados con arneses de seguridad. La normativa vigente no impone a los fabricantes de estas tipologías de transporte la obligación de dotar a los autobuses interurbanos de cinturones de seguridad de dos o tres puntos. Este hecho puede deberse al desconocimiento de los riesgos y lesiones que pueden sufrir los pasajeros sin cinturones de seguridad durante los accidentes. Por este motivo, el trabajo desarrollado pretende comparar las consecuencias de los accidentes de autobuses sin cinturones de seguridad con los que sí los tienen. El objetivo principal de esta investigación fue analizar los resultados de las cargas dinámicas durante un impacto frontal ejercidas sobre los pasajeros que viajan con y sin cinturones de seguridad (de dos y tres puntos respectivamente). Para realizar un proyecto de tan envergadura se realizan estudios experimentales y modelización; centrados en el proceso de transferencia de cargas dinámicas sobre el cuerpo humano durante un accidente de tráfico. La investigación se llevó a cabo en paralelo con un adulto y un niño. El equivalente a un hombre del percentil 50 fue un maniquí híbrido III (M50), mientras que un niño de unos 10 años fue representado por un maniquí P10.

Los resultados obtenidos en las pruebas se analizaron en relación con los criterios de lesión para la cabeza, el cuello y el tórax. Los autores aseveraron que su trabajo permitió observar que, tanto para el sistema de seguridad de dos puntos como para la ausencia de cinturones de seguridad, se registraron valores elevados de aceleración en el centro de gravedad de la cabeza. Sobre la base de las investigaciones realizadas, los indagadores comprobaron que sólo el sistema de cinturones de seguridad de tres puntos garantiza la satisfacción de todos los criterios de lesión dentro de las normas admisibles.

1.1.2 Justificación

Para verificar la seguridad de los pasajeros de automóviles en colisiones frontales se realizan diferentes tipos de pruebas, por ejemplo, para evaluar la seguridad en vehículos livianos categoría M1 se sigue el procedimiento indicado en el Reglamento R94 de la Comisión Económica para Europa (CEPE), en el que se realiza un impacto frontal controlado de un vehículo tripulado con maniqués de pruebas de impacto que representan los pasajeros, estos maniqués tienen sensores que miden magnitudes físicas como fuerzas G, desplazamientos y fuerza tomadas en diferentes partes del cuerpo consideradas como críticas, con estos datos obtenidos se realiza un análisis en el que se contrasta estos valores con los criterios de lesiones permitidos publicados en estas regulaciones y así poder concluir si las personas tendrían lesiones con esto indicaría si el vehículo es seguro o no [3].

Para analizar la seguridad de los pasajeros de autobuses (vehículos de categoría M3) en colisiones frontales se debe seguir los procedimientos indicados en el reglamento R80 específicamente en el ensayo dinámico de trineo con maniquí, este Reglamento evalúa las lesiones de los pasajeros al producirse un pulso de colisión frontal, que representa la desaceleración y a su vez también se usa un maniquí de prueba de impacto y se verifican los criterios de lesiones permitidos como se describió anteriormente. En el Reglamento R80 también se evalúa la resistencia de los asientos y todos sus accesorios, se verifica que durante la prueba y una vez culminado la misma ningún elemento se dañe y que su efecto no incida en reducir la seguridad de los pasajeros [3].

El ensayo de trineo se utiliza debido a que es una alternativa práctica y viable que reduce recursos ya que no es necesario realizar un impacto de un vehículo completo, sino que únicamente se ensaya una sección de este con las mismas condiciones dinámicas presentes en un impacto frontal entero volviendo un método efectivo.

El Reglamento R80 especifica que por el momento las pruebas deben ser reales, pero con el avance estrepitoso de la ingeniería asistida por ordenador (CAE) nos hace pensar que en un corto plazo de tiempo la mayoría de reglamentos van a permitir ensayos equivalentes con pruebas computacionales, como es el caso de la regulación UNECE/CEPE R66 que en su anexo 9 permite evaluar la resistencia de estructura de buses en vuelcos por medio de simulaciones computacionales por esta razón esta

investigación propone tener este método pionero que utilice estos recursos computacionales proponiendo su implementación en el laboratorio de la facultad FICM [3].

Actualmente en el país no existen organismos que verifique lesiones en pasajeros y resistencia de los asientos ensamblados en autobuses en colisiones frontales [4], esto se debe a que en el Ecuador existe un reglamento o resolución que exija de manera obligatoria este tipo de ensayos, en otros países se exigen estas pruebas por varias décadas, como ejemplo Estados Unidos y Canadá con la regulación y procedimiento de ensayo de asiento FMVSS No. 220, 221, 222 (FMVSS, 1998) [5], para todos los países de la Unión Europea ECE R80 (CEPE, 1998) [5], China con la regulación GB24406, GB24407 (AQSIQ, 2012) [5] e India con la regulación de la Organización Internacional de Normalización AIS023 [1] por mencionar algunos de los países con más población. Al no realizarse estas pruebas por una parte no se conoce las lesiones en pasajeros cuando se suscitan estas colisiones y por otro lado en los asientos se desconoce la resistencia de sus estructuras que podrían provocar que sus componentes se desprendan de sus anclajes exponiendo a graves lesiones a sus pasajeros. Esto posiblemente ocurrió en un accidente dado en septiembre del año 2016 en un impacto frontal de un autobús interprovincial en el que la estructura de los asientos y los anclajes tanto de cinturón de seguridad y asiento fallaron, provocando que algunos pasajeros fueran despedidos del autobús (Noticia “Por el impacto del bus contra la estructura de uno de los puentes hubo pasajeros que salieron despedidos de la unidad y cayeron desde siete metros de altura ver anexo 1, y eso habría incidido en la muerte de ellos, según versiones preliminares. en la vía a Baños”) [6].

La falta de estudios para determinar lesiones y verificar la resistencia de asientos en este tipo de accidentes estaría provocando muchas muertes o lesiones graves en pasajeros de autobuses, esto es alarmante y nosotros como ingenieros debemos generara investigación en beneficio al bienestar de la salud de las personas, por esta razón por medio de este estudio se desea plantear una metodología de última tecnología que utiliza eficazmente los recursos disponibles presentando a su vez una amplia validación para evaluar de manera confiable las lesiones en pasajeros y verificar la resistencia de asientos ensamblado en autobuses, y así reducir en su gran totalidad accidentes como el mencionado anterior mente.

En su gran mayoría los reglamentos y normativas ecuatorianas generadas, aprobadas y puestas a vigencia según el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN son basadas en regulaciones europeas publicadas por UNECE/CEPE por esta razón para este estudio se tomará como referencia la Regulación R80 que además es una de las normativas más utilizadas a nivel mundial, en el que se indicará el procedimiento para ensayar y la manera de evaluar las lesiones en pasajeros y la resistencia de asientos en colisiones frontales de autobuses, al final del proyecto se publicará este estudio con el fin de que sea implementado en el laboratorio de la universidad.

El software CAE que se empleara en este proyecto es ANSYS LS-Dyna debido a que es uno de los softwares más utilizados a nivel mundial por laboratorios de pruebas de impactos de automóviles enfocados en mejorar la seguridad automotriz, por citar algunos organismos que utilizan este software como: el Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos (EURONCAP), Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA) y la sociedad de ingenieros automotrices (SAE) siendo estos unos de los organismos más importantes a nivel mundial que desarrollan investigación en seguridad automotriz. Adicionalmente a esto para evidenciar su amplia validación citamos algunas publicaciones relacionadas con el proyecto [1]. En el estudio realizado para evaluar lesiones biomecánicas de los pasajeros en autobuses en impactos según la Regulación R80 utilizando ANSYS LS-Dyna, se concluye que después de realizar el estudio e implementar nuevos diseños de asientos las partes del cuerpo en general están dentro del lumbral permitido de lesiones y que las partes más afectadas del cuerpo del maniquí son las rodillas, también propone realizar trabajos futuros implementado sistemas de airbags [1].

Esta investigación recopila datos de validación de un trabajo experimental realizado en la Universidad Técnica de Ambato (UTA) y publicado en septiembre 2021 bajo el tema “Análisis de lesiones producidas en el vuelco de autobuses interprovinciales evaluadas según los criterios del reglamento N95 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” ,en esta investigación se encuentra validado el maniquí en colisión lateral.

Adicionalmente a todos los estudios publicados se verificó la validación del software LS-Dyna y el método aplicado, replicando una investigación de SAE descrita en [4], la cual evalúa las lesiones de los pasajeros en la cabeza, pecho, fémur y pelvis; los resultados de la simulación se encuentran detallados en un informe con el tema: Análisis de elementos finitos y validación de la estructura del asiento del autobús según la norma AIS023: Evaluación de las características de seguridad de los asientos de autobús utilizando el maniquí híbrido III (Finite Element Analysis and Validation of Bus Seat Structure as per AIS023: Safety Features Evaluation of Bus Seat using Hybrid III Dummy).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General.

- Analizar los efectos de las cargas dinámicas durante el impacto frontal de autobús sobre los pasajeros, mediante simulación numérica.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Modelar la estructura del asiento y sección de la carrocería del autobús, para simular eventos de choque frontal con maniquí híbrido III, según el R80 CEPE para ensayos dinámico.
- Simular el impacto frontal de acuerdo con los requisitos del R80 CEPE mediante simulación numérica para evaluar los criterios de lesiones registrados en los maniquís
- Evaluar los criterios de seguridad de cabeza, tórax y fémur en el maniquí híbrido III para determinar posibles lesiones que se produce durante el evento.

1.3 Fundamentación teórica.

1.3.1 Unidad de transporte de pasajeros de largas distancias.

Este tipo de autobuses está diseñado y equipado para rutas de largas distancias la capacidad es de 40 a 45 pasajeros sentados y no lleva pasajeros de pie. De acuerdo con el Servicio Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 043, 2010 que establece los requisitos que deben cumplir los autobuses interprovinciales de transporte de gran capacidad de pasajeros con el único fin de prevalecer la vida y seguridad de las personas. En la figura 1.1 se puede observar un bus de transporte de largas distancias.



Figura 1.1 Autobús interprovincial [7].

1.4 Estructura del autobús.

La carrocería es la parte del vehículo cuya estructura está diseñada para el transporte de los pasajeros, ya que debe soportar tanto las fuerzas estáticas como las dinámicas [8]. En la figura 1.2 se ilustra la estructura del autobús.

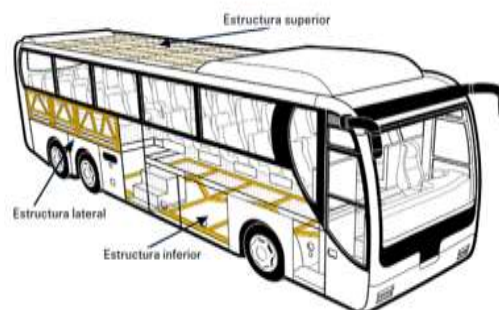


Figura 1.2 Estructura del autobús [9].

También se le llamada superestructura o estructura ya que puede brindar la máxima seguridad de supervivencia a los pasajeros [10]. En la actualidad se construyen autobuses con un grado de confiabilidad muy alta, ya que al chocar o estrellarse absorben de mejor manera el impacto [8].

1.4.1 Paneles exteriores.

Son un conjunto muy importante de la estructura de la carrocería de unión, soporte y fijación, brindándoles sus dimensiones adecuadas. La resistencia y su rigidez debe ser un buen ensamble juntamente con el bastidor y la estructura de la carrocería. Una sola parte de la carga en un choque o volcamiento es dirigida hacia ella mientras que por otra parte la carga sobrante es distribuida hacia todos los miembros estructurales [11]. En la figura 1.3 se observa el conjunto de la estructura de un autobús.

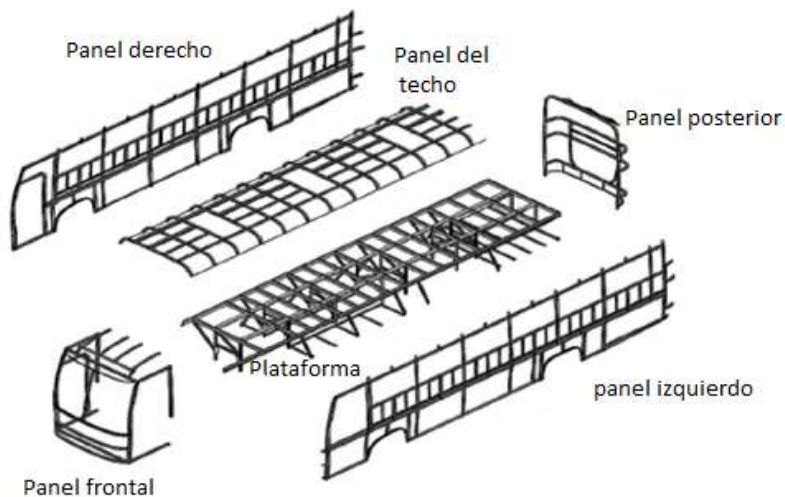


Figura 1.3 Conjunto del armazón, de un autobús [12].

1.4.2 Armazón delantero.

El armazón delantero es la estructura de soporte permanente, y la unión de elementos a la carrocería, brindándoles adecuadas posiciones, sobre ella se asegura componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, también ofrece resistencias ante colisiones como los cambios climáticos, fuerza del viento y lluvias su construcción es reforzada ante dichos eventos [10]. En la figura 1.4 se ilustra el armazón delantero del autobús.



Figura 1.4 Armazón delantero del autobús [10].

1.4.3 Armazón central.

La totalidad estructural central está compuesta por columnas metálicas que van de derecha a izquierda formando arcos semejantes que se distribuyen por todo lo largo de la carrocería dejando espacio para las ventanas y puertas.

Los pórticos son elementos estructurales fundamentales de soporte de la estructura [10]. En la figura 1.5 se puede observar el conjunto estructural central.

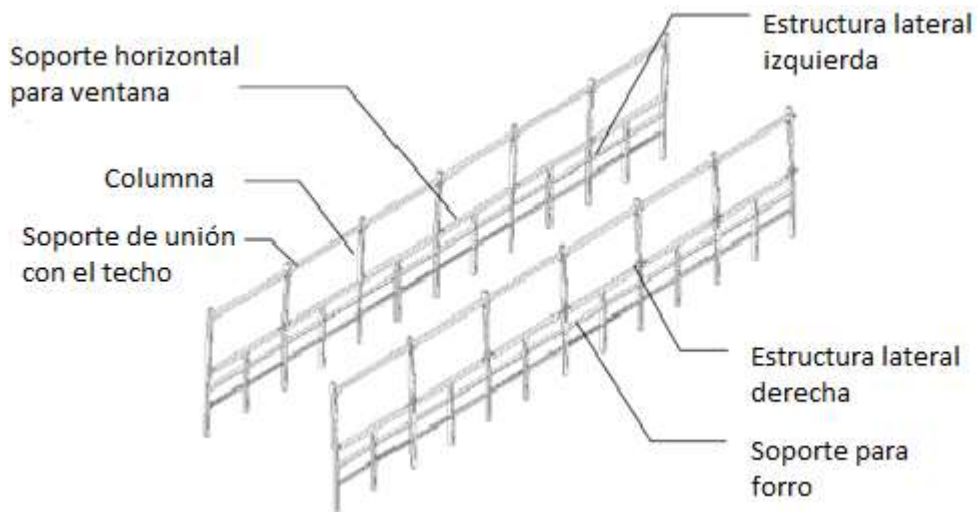


Figura 1.5 Armazón central [10].

1.4.4 Armazón del piso.

El armazón del piso es el conjunto estructural perteneciente al piso del vehículo es el encargado de unir y soportar a los laterales como a la estructura frontal y posterior forman un conjunto de perfiles soldados a los largueros. Sobre la estructura del piso se colocan los complementos del interior de la superestructura, de acuerdo con la aplicación que está cerca al bastidor, para una mejor capacidad a compartimientos en su interior. El piso del autobús se divide en piso para el habitáculo y piso para el maletero [11]. En la figura 1.6 se puede observar los pisos del autobús.



Figura 1.6 Armazón del piso del habitáculo y del maletero.

1.4.5 Armazón del techo.

Comprende la estructura de unión a los laterales formando así uniones rígidas o pórticos, soportando una carga estática estable sin sufrir deformaciones de ningún punto. Su diseño está basado para evitar que la lluvia, polvo, ceniza se acumule en la parte superior [11]. En la figura 1.7 se puede observar el armazón del techo.

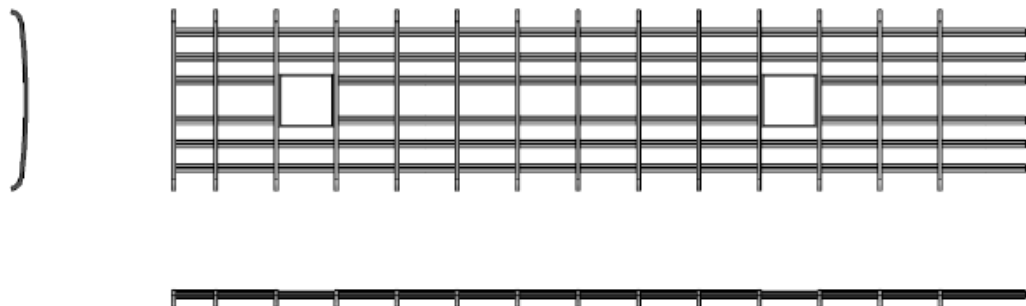


Figura 1.7 Armazón del techo del autobús [10].

1.5 Seguridad en el autobús.

La principal misión de la industria carrocera es diseñar y desarrollar técnicas que puedan brindar una mejor calidad de conducción, para evitar los accidentes, disminuir al máximo el resultado de un choque y facilitar la inviolabilidad del vehículo.

Para afianzar una conducta segura del autobús es importante diseñar todos sus componentes de los ejes de tal manera que los neumáticos produzcan movimientos previsibles que faciliten al conductor controlar el vehículo inclusive en casos muy extremos. La seguridad de un vehículo a menudo se entiende y se desarrolla con demasiada parcialidad, limitando el comportamiento de colisión, hay muchos factores a considerar cuando se trata de seguridad del vehículo, como la rigidez torsional que es muy importante debido a su efecto sobre la capacidad del vehículo a no sufrir accidentes, vuelco, aunque no es el más común, pero si el más peligroso. La investigación y el diseño deben apuntar a la prevención de accidente en etapas tempranas, teniendo en cuenta que el factor humano es el más importante [13].

1.5.1 Seguridad activa o preventiva.

Corresponde a todo aquello que se realiza para prevenir situaciones de peligro, pertenece a elementos en su totalidad para dar seguridad al conductor, este desempeño y control del vehículo, de tal manera, evitar cualquier percance. Entre los sistemas de seguridad activa del vehículo están, frenos, suspensión, dirección y potencia [14].

1.5.2 Seguridad pasiva en carrocerías de autobuses.

Es de gran interés para garantizar la seguridad de los pasajeros, lo que genera la aparición de nuevos reglamentos que obligan a cumplir requisitos a la superestructura y sistema de vehículos. Ya que, en casos de choque y vuelcos, absorba la mayor cantidad posible de energía, la energía del impacto se transforma en energía de deformación [12].

1.5.3 El habitáculo.

El habitáculo es la zona de absorción de impactos, resulta importante para garantizar la seguridad de los pasajeros. Construir un habitáculo muy seguro para los ocupantes, lo que marco a investigaciones de los fabricantes de carrocerías y autopartes aumentar

la capacidad pasiva del habitáculo, además menciona en los puntos anteriores. Pueden citarse [13].

- Concepción estructural que permita un amplio margen de supervivencia durante y después del impacto o vuelco [15].
- Suministro de los elementos apropiados para la fijación de los pasajeros a la carrocería.
- Funcionamiento pleno de los elementos para liberación de los ocupantes después de un accidente.
- Contar con plan un contra incendios.
- Estructura fija del parabrisas.
- Anti-intrusión de elementos de la carrocería por el parabrisas y luna trasera [15].

En la siguiente figura 1.8 podemos observar el habitáculo de los pasajeros.

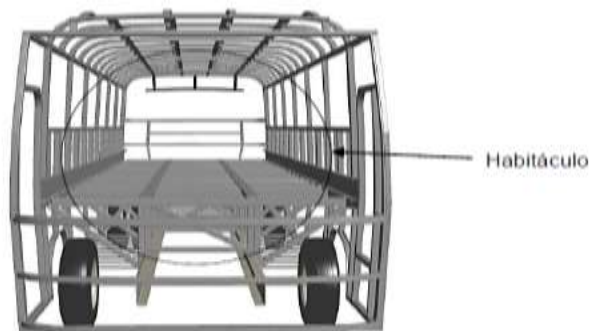


Figura 1.8 Habitáculo de los pasajeros de un autobús [11].

1.5.4 Espacio de supervivencia.

El espacio de supervivencia es el volumen que se obtiene en el compartimiento de los viajeros mientras se doblaga a ensayo de vuelco, posteriormente del ensayo figura 1.9, se determina el volumen que se obtiene en la sección de los pasajeros desplazando en línea recta en el plano vertical y transversal indicado en la figura 1.10 de manera que pase al punto Sr de la figura 1.11, desde el Sr de último asiento exterior a través del punto Sr de cada asiento hasta el punto Sr del primer asiento exterior del ocupante [16].

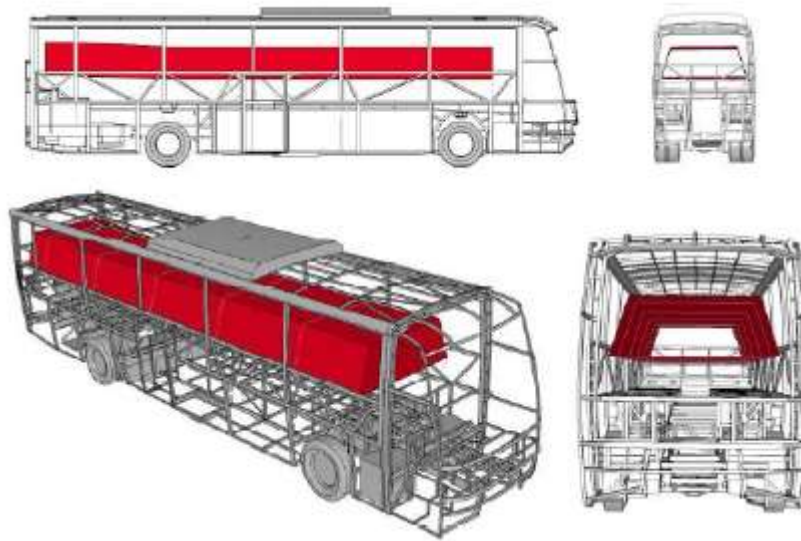


Figura 1.9 Espacio de supervivencia [17].

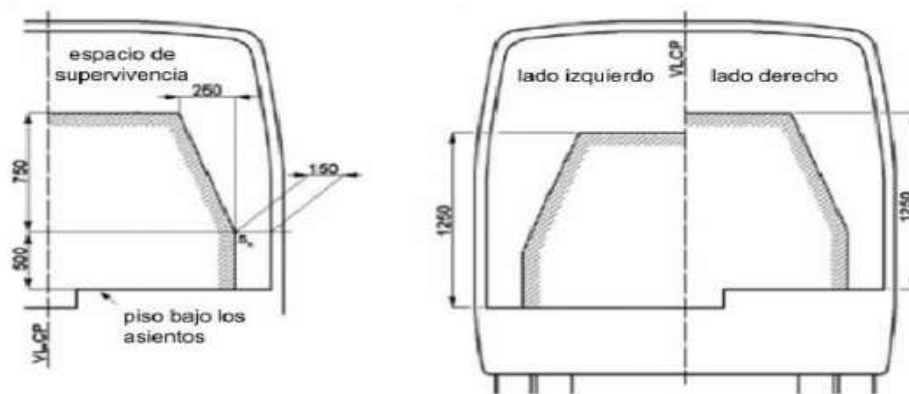


Figura 1.10 Vista transversal del espacio de supervivencia disposiciones laterales del autobús [16].

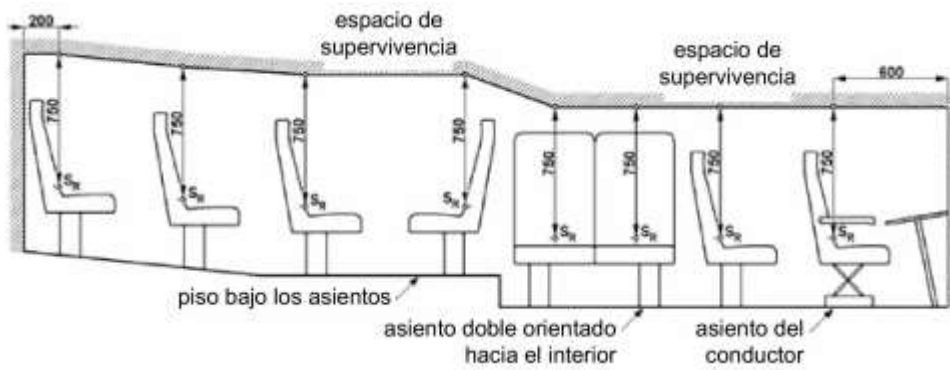


Figura 1.11 Vista longitudinal de espacio de supervivencia del autobús [16].

El punto Sr está ubicado en el respaldo de cada asiento exterior orientado hacia adelante o hacia atrás, 500 mm por arriba del piso situado debajo del asiento y a 150 mm de la superficie interior del panel lateral, sin tomar en cuenta los pasos de rueda de la variación de la altura del piso, estas medias se aplica también en los asientos orientados hacia el interior, en los planos centrales cuando los dos lados del vehículo no sean simétricos con respecto al piso, por lo tanto los puntos Sr sea distinto, se tomara como plano central longitudinal vertical del autobús el escalón situado entre las dos líneas del piso del espacio de supervivencia, la posición más retrasada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado a 200 mm por detrás del punto Sr del asiento exterior más retrasado o la cara interna de la pared trasera del autobús cuando es ubicado a menos 200 mm por detrás del punto Sr, la posición más adelantada del espacio de supervivencia en un plano vertical ubicado a 600 mm por delante del punto Sr del asiento más adelantada, ya sea pasajero, conductor del autobús, colocado en su posición más adelantada [18].

1.6 Ensayos de impactos.

1.6.1 Impacto frontal.

Mientras pasa el tiempo, avanza la tecnología las estructuras de los automóviles son cada vez mejor en rigidez y en resistencia. Estos ensayos se realizan en un automotor de frente a una velocidad asignada, por consiguiente, puede ser ensayos de un vehículo que afecta a otro. Son decretadas actualmente, en el reglamento 96/79/ CE parlamento Europeo, el vehículo a ser ensayado es impactado contra un poste de 70 toneladas ver figura 1.12. [19].

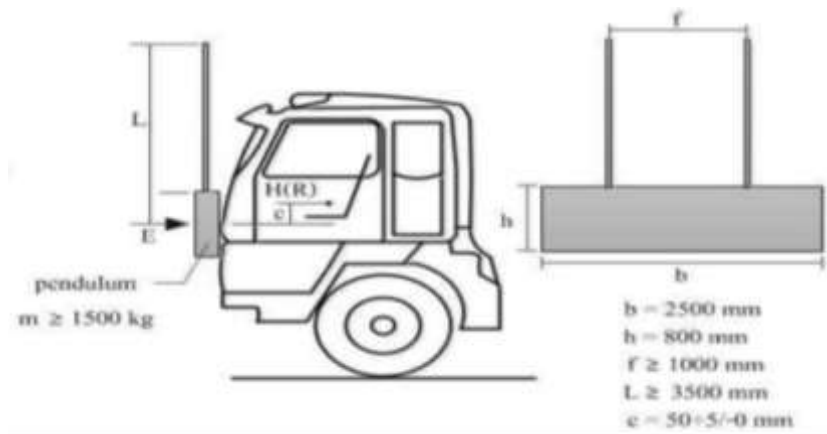


Figura 1.12 Prueba de impacto frontal [20].

1.6.2 Biomecánica de impacto frontal.

La vinculación que existe entre el ocupante y el vehículo se vincula con el tipo de choque.

Comprende en una colisión un cuerpo de frente al vehículo, reduciendo su velocidad. El pasajero que no ocupe cinturón de seguridad seguirá hacia adelante, hasta que se encuentre con algún elemento del asiento de adelante y lo detenga o baje la velocidad existe la posibilidad que salga del vehículo [21]. En figura 1.13 se observa el ensayo de impacto frontal con dummy.



Figura 1.13 Dummy en un impacto frontal [21].

1.6.3 Impacto lateral.

Es muy importante recalcar que los impactos laterales son la segunda causa de muerte y lesiones de los ocupantes del vehículo. Este ensayo se lo realiza para disminuir y prevenir el nivel de muertes que ocurre en un impacto lateral, la causa es la forma que los vehículos no tienen un espacio de deformación crítico, que asuman las cargas de balanceo antes que un ocupante sufra lesiones. Esta zona se debe diseñar de tal manera que ingrese la energía del efecto cuando se produzca un cambio en la estructura del vehículo [8]. Se puede observar en la figura 1.14.

Según NCA, tiene un test muy importante, coloca una barrera deformable en el vehículo después impulsa la misma a 50 km/h impactando con el vehículo de prueba que se encuentra estático en un ángulo recto. En la parte lateral es colocado un dummy

este representa a un hombre de estatura media. [19]. En la figura 1.14 se observa el ensayo de impacto lateral.



Figura 1.14 Prueba de impacto lateral [8].

1.6.4 Impacto posterior.

Este evento ocurre cuando un vehículo está estacionado o en movimiento y es impactado por la parte de posterior, la energía es trasladada con un movimiento de aceleración. La magnitud de la fuerza al inicio es mayor cuando las diferencias de velocidades de desplazamiento de los vehículos son más grandes, el movimiento de frente, los daños son correspondiente a la cantidad de velocidad de los vehículos endicho siniestro [22]. En la figura 1.15 se observa el impacto posterior.



Figura 1.15 Ensayo de impacto de buses escolares [22]

1.7 Asientos.

Es una estructura que es anclada a la estructura del vehículo que incorpora la tapicería y el conjunto de fijación, diseñada para que se siente una o más personas adultas [23].

Los materiales de los asientos obedecen a una certificación, contar con recubrimiento que no ayude a la corrosión o ser inoxidable, soportar la radiación ultravioleta, no conservar humedad durante el uso del autobús. [24]

La estructura metálica debe estar reforzada con perfiles tubulares de acero y cubiertos por material plástico, polipropileno que resista altos impactos. Los elementos de los asientos como respaldo deben constar con una zona texturizada que evite que los ocupantes salgan desplazados por movimientos fuera de lo normal, deben estar fijados a la superestructura evitando que se salgan de su lugar. [25].

1.7.1 Tipos de asientos.

1.7.2 Asientos de pasajeros.

Según la norma de transporte terrestre 32004 de Nueva Zelanda establece como un conjunto, diseñada para acomodar al menos una persona, que puede o no ser parte integral de la superestructura del autobús [24]. Las butacas de los pasajeros pueden ser individuales o dobles, de estructura fuerte, ligeros y muy resistentes a su uso, rígidos y acolchonados, estos no deben tener bordes o files que causen peligro ocasionando un accidente [25].

1.7.3 Asiento de pasajeros para transporte urbano.

Son fabricados en plástico con asidero superior, este tipo de asiento se utiliza en trayectos cortos dentro de una misma ciudad, el confort como la ergonomía no son prioridad [24]. En la figura 1.16 se puede observar el tipo de asiento de buses urbanos.



Figura 1.16 Asiento de pasajeros, transporte urbano [26].

1.7.4 Asiento de pasajero para transporte interprovincial.

Este tipo de asiento debe cumplir con las normas de seguridad más importante ya que son diseñado ergonómicamente para dar confort y sobre todo dar seguridad a los pasajeros. Este tipo de asiento tiene el espaldar regulable para dar mejor comodidad al ocupante [24]. En la figura 1.17 se puede observar el asiento de pasajero, de transporte interprovincial.



Figura 1.17 Asiento de pasajeros, transporte interprovincial [27].

La norma NTE INEN 1668 “Vehículo De Transporte Público de Pajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial, redacta que los asientos y posición deben ser fijos a la carrocería y estar apto según el eje longitudinal del vehículo en sentido de la marcha y viceversa, que tenga una mejor seguridad y confort a los ocupantes [28].

También NTE INEN 1688, decreta que los vehículos tengan dos hileras de dos butacas individuales, la última fila los asientos deben tener máximo 5, de las dimensiones:

- Buses intraprovinciales, profundidad mínima 420 mm, ancho libre mínimo 400 mm
- Buses interregionales e interprovinciales 450 mm, ancho libre 450 mm
- Altura desde el piso a la base del asiento entre 400 mm y 500 mm
- Distancia entre asientos medidas a una distancia de altura de 620 mm desde el piso con los asientos en posición normal, para los autobuses interprovinciales e intrarregionales mínimo 720 mm y para autobuses intraprovinciales 680 mm mínimo. En la figura 1.18, podemos ver la geometría de asientos interprovinciales.
- Posición de inclinación mínima: dos, con un ángulo mínimo de 12° y $30^\circ \pm$ para intraprovincial, 12° , $40 \pm$ bus interprovincial e intrarregional
- Respaldo altura total con apoyacabezas como mínimo debe tener 700 mm [28]. En la figura 1.18 se observa las dimensiones de los asientos tipo interprovincial.

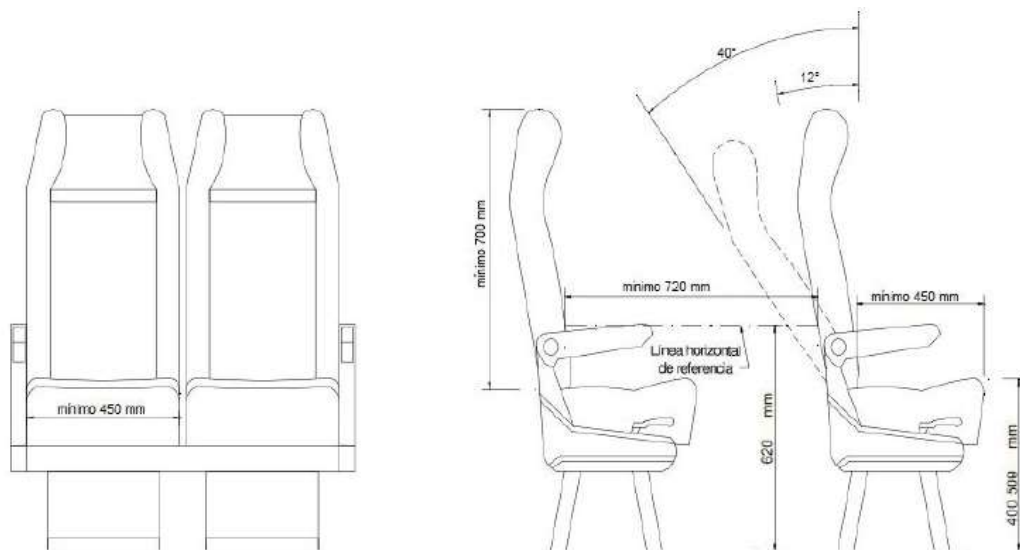


Figura 1.18 Asientos de pasajeros interprovincial [28].

1.8 Anclajes.

Los anclajes en los asientos son muy importantes para la seguridad de los pasajeros, porque cuando ocurre un accidente de tránsito, este debe quedar fijo a la carrocería para disminuir las lesiones que un ocupante puede tener en caso de choque frontal.

Quedándose fijo a altos niveles de colisión [23]. En la figura 1.19 se muestra la configuración de anclajes de los asientos de un autobús.

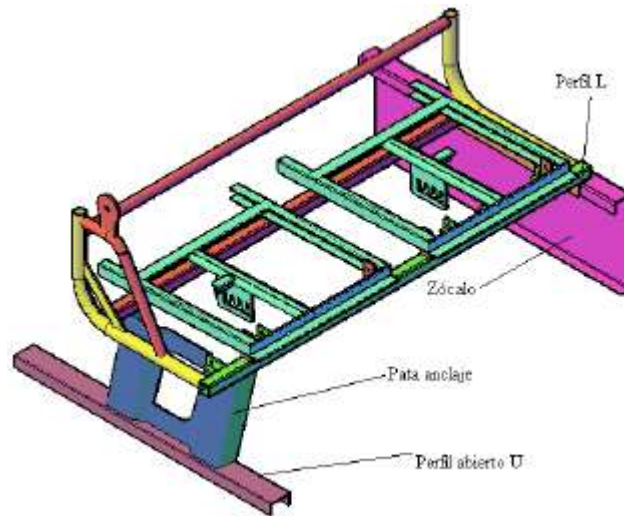


Figura 1.19 Configuración anclajes autobús [24].

1.9 Cinturón de seguridad.

Reglamento y normativa ecuatoriana de cinturón de seguridad.

- NTE INEN 1688 “Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial. Requisitos” [28].

1.10 Tipos de cinturón de seguridad.

- **Cinturón de dos puntos.** El mecanismo y diseño está basado en anclar los dos lados de la cadera [29].
- **Cinturón de tres puntos.** El diseño es basado en el cinturón de dos puntos, pero su complemento tiene un tercer punto de anclaje de sujeción por encima de uno de los hombros [8]
- **Cinturón de cuatro puntos.** El dispositivo del cinturón aumenta de tres puntos a cuatro puntos de sujeción. El anclaje de las caderas con el de los hombros se une en forma de arnés [29]
- **Cinturón de cinco puntos.** Aumenta en su mecanismo un punto más de anclaje que el de cuatro puntos, la sujeción del nuevo punto de anclaje se da entre las piernas [8].

- **Cinturón en X.** Son muy similares al cinturón de cuatro puntos con el sistema de tres puntos, empleando otro anclaje en diagonal por encima del hombro dejado libre, dando una forma de X sobre el torso del ocupante [8].
- **Cinturón ergonómico.** Su forma se acopla a la figura del pasajero, muy similar a una faja de sujeción sobre el pasajero [8].
- **Cinturón para perros.** Son para transportar animales en forma de arnés [29].

1.11 Homologación de cinturones de seguridad UNECE/CEPE R80.

Según [30] menciona los diferentes cinturones que deben ser colocados en los vehículos M2 y M3 de autobuses. Autorizan el empleo de cinturones de dos puntos siempre que no queden indefenso una plaza. De no ser así se hará el uso de cinturón de 3 puntos de anclaje. La petición de un cinturón de 2 puntos en relación con el de 3 puntos de anclaje. Los fabricantes de los autobuses tienden a instalar asientos con cinturones de seguridad de dos puntos.

1.12 Ensayo de resistencia asientos y anclajes según la Regulación UNECE/CEPE R80.

La presente regulación menciona acerca de la homologación de los asientos de los vehículos de grandes dimensiones de pasajeros y de estos vehículos en lo relativo a la resistencia de los asientos y anclaje [21]. Siendo aplicable para:

- a) Asientos de pasajeros siendo instalados con dirección hacia adelante en vehículos de categoría M2 Y M3, de clase II, III y B1.
- b) Los vehículos de las categorías M2, M3 de las clases II, III y B1 con su respectivo anclaje de los asientos de pasajeros y la correcta instalación de los asientos.
- No son aplicables a los asientos orientados hacia atrás ni a los asientos que tienen apoya cabezas

Condiciones que garantiza que los asientos y los anclajes al vehículo brinden una adecuada retención del ocupante que va en él y así también que va atrás en un impacto frontal, sin que superen los límites de lesiones. El fabricante puede optar por ensayo

dinámico o estático. Las medidas tienen como meta garantizar el abandono de las lesiones, así como la resistencia de los asientos y sus anclajes [11].

Los ensayos en asientos se lo realizan con el objetivo de comprobar si el asiento y sus anclajes tiene la capacidad de soportar fuerzas generales en siniestros de tránsito, dando una seguridad sobre sus ocupantes, esto es mediante bancos de pruebas que simulan las fuerzas que actúan en un accidente [24].

Para la realización de estas pruebas implementando la regulación R80 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas (CEPE), disponiendo la planificación y método de simulación para proceder a realizar las pruebas físicas de modo destructivo, de esta manera los fabricantes de carrocerías de autobuses pueden validar sus productos con mayor seguridad y calidad. [23].

1.13 Tipos de ensayos.

Según CEPE R80, tenemos dos tipos de ensayos:

- Ensayos dinámicos
- Ensayos estáticos

1.14 Ensayo dinámico.

Estos son destructivos, se lo realiza colocando asientos sobre un trineo móvil, de un conjunto con maniquí que simulan el comportamiento de un ocupante real, comprobando la resistencia del asiento y sus anclajes frente a un choque frontal como se muestra en la figura 1.20 [24].



Figura 1.20 Ensayo dinámico [31].

Condiciones de ensayo. La prueba se lo realizará en un trineo, el asiento a ensayar se colocará sobre la plataforma, con la superestructura del autobús, constará de dos filas de asiento, un asiento se ensayará y el otro auxiliar, a una misma distancia de altura con una separación de 750mm. El asiento debe estar con todos sus elementos, la colocación del respaldo será de uso normal si se presenta regulaciones, en caso de llevar apoya cabezas regulables, este debe estar en la posición más baja, es muy importante colocar un maniquí en el asiento auxiliar, en colocación base como dicta la norma [23].

Para la simulación del impacto se exponen dos eventos para el estudio de los anclajes y asientos.

Ensayo 1. El dummy se colocará en el asiento auxiliar sin retención. La velocidad del trineo que simulará el impacto entre 30 y 32 Km/h. La aceleración y desaceleración será ente 6,5 veces g y 8,5 veces g [23]. Las aceleraciones o desaceleraciones durante una misma simulación de impacto frontal serán de acuerdo con la figura 1.21.

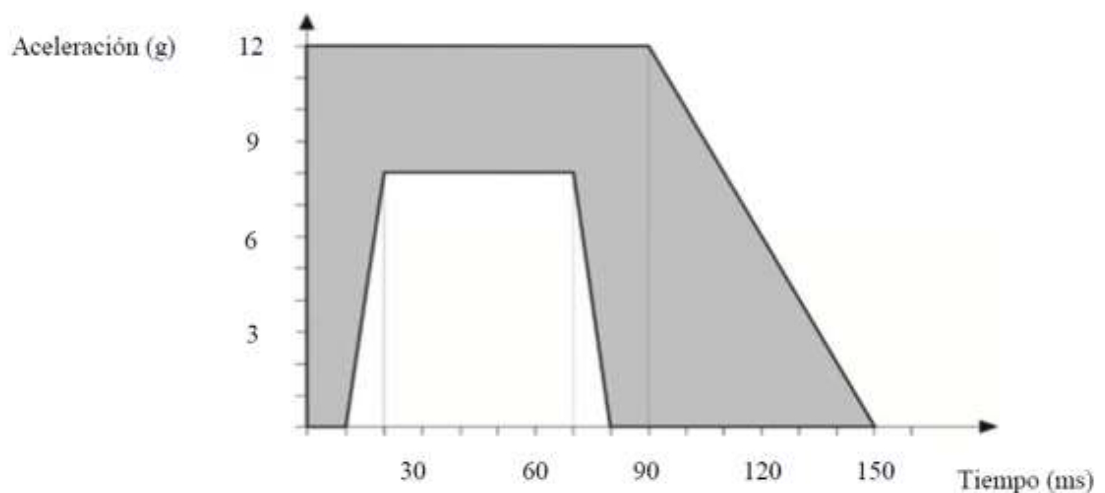


Figura 1.21 Gráfica aceleración vs tiempo [3].

Ensayo 2. El ensayo 1 se repetirá con un solo cambio, el maniquí se lo posesionará en el asiento auxiliar, fijado con un cinturón de seguridad como se ilustra en la figura 1.22 [23].

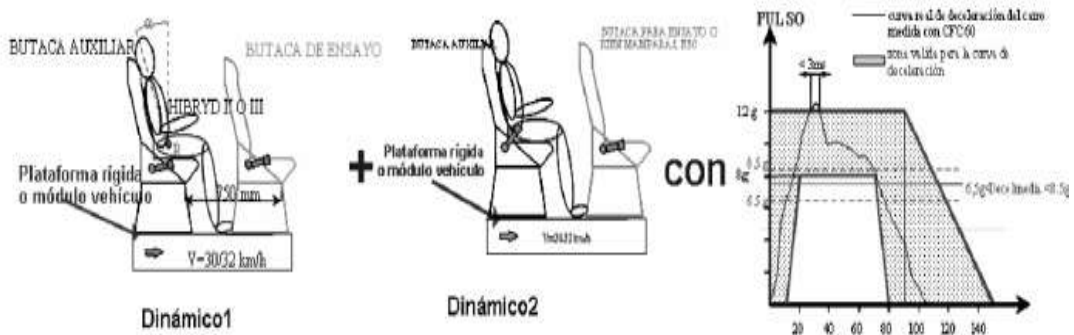


Figura 1.22 Ensayos dinámicos [32].

1.14.1 Ensayo estático.

Son ensayos destructivos que simulan las fuerzas ejercidas en el respaldo y en los anclajes de los asientos con la finalidad de verificar su resistencia, se requiere de equipos hidráulicos para ejecutar las fuerzas ver figura 1.23 [23].

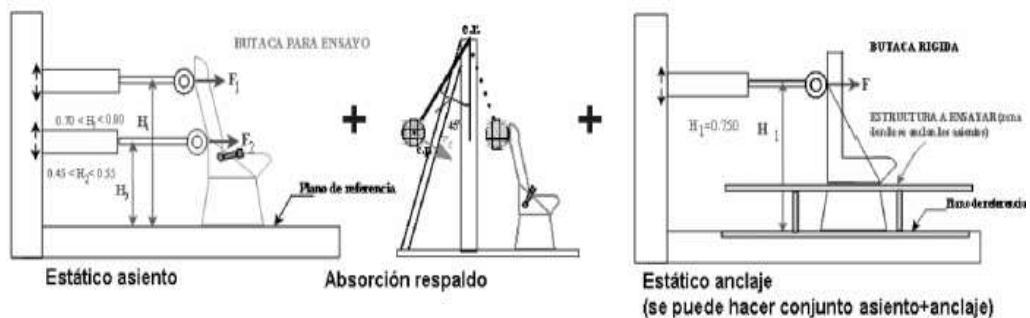


Figura 1.23 Ensayo estático de asientos y anclajes [32].

Condiciones de ensayo. Se analizará que se respete los requisitos si el desplazamiento máximo del punto central de colocación de cada fuerza establecida, este tomado la medida del plano horizontal también en el plano medio longitudinal de la plaza del asiento correspondiente, no excede los 400mm. Se considera que los pasajeros del asiento no sufren ningún tipo de lesiones graves si el traslado máximo del punto central de aplicación de cada fuerza establecida no sobre pasa los 100 mm [23].

Los conjuntos que conformen parte del respaldo del asiento y sus elementos de estos deben estar diseñados para que no sufran lesiones los pasajeros como consecuencia de un choque. Se establece que se rija este requisito si toda parte que este en contacto con una esfera de 165 mm de diámetro tiene un radio de curvatura de 5 mm mínimo [23].

Aparato de ensayo. El aparato que se considera en superficies cilíndricas con un radio de curvatura de $82 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$, y una anchura. Igual como mínimo al alto del respaldo de cada plaza del asiento que es ensayado en lo que corresponde a la parte superior, de 320 mm, parte superior como se observa en la figura 1.24 [23].

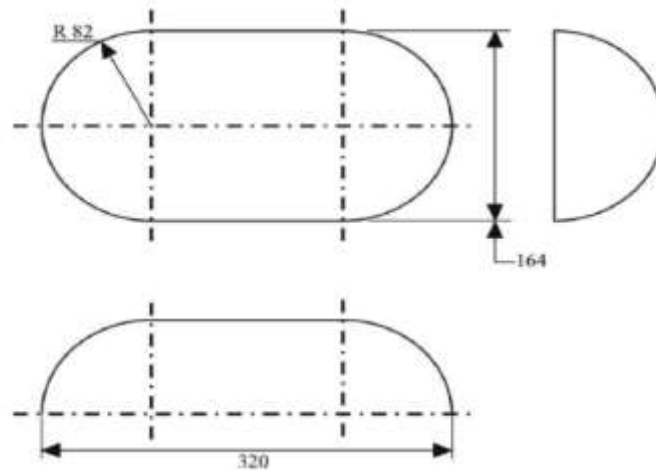


Figura 1.24 Aparato ensayo estático [23].

La superficie que reposa sobre el asiento será de material cuya dureza no sea menor de 80 Shor A. las superficies cilíndricas tendrán al menos de un transductor de fuerza con una capacidad de medir fuerzas aplicadas en la dirección que indica [23].

Procedimiento del ensayo. en la parte posterior del asiento se colocará una fuerza según la formula [23].

$$\frac{1000}{H1} \pm 50N \quad \textcircled{1}$$

Donde:

H1: Corresponde a la altura desde el plano de referencia al punto de aplicación de la fuerza [23].

Empleando un instrumento de forma cilíndrica expuesto anteriormente. El sentido se la aplicación de la fuerza estará posicionada en sentido del plano vertical medio del asiento correspondiente; será horizontal esta actuará de atrás hacia adelante del asiento. La dirección se situará a la altura H1 comprendida entre 0.70 m y 0,80 m sobre el plano de referencia. El empresario dispondrá la altura exacta. El ensayo se lo aplicará de acuerdo con la ecuación 2 [23].

$$\frac{2000}{H2} \pm 100N \quad \textcircled{2}$$

Donde:

H2: corresponde desde el plano de referencia hasta la parte posterior del asiento.

En la parte posterior del asiento en cada plaza se tomará en el mismo plano vertical y en una misma dirección a una altura H2 que esta entre 0,45 m y 0,55 m por arriba del plano de referencia, con un elemento que se ajuste al ensayo el fabricante definirá la altura exacta, como se muestra en la figura 1.25 [23].

1.15 Colocación del maniquí CEPE R80.

- Según [23]. El dummy se colocará sin retención de asientos auxiliar de manera que la dirección sea simétrica al plano de la plaza del asiento.
- Cualquiera que sea la posición del maniquí sentado, el ángulo entre la parte superior del brazo y la línea de referencia torso-brazo por lado deberá estar comprendida de $40^\circ \pm 5^\circ$. Está definida por la intersección del plato tangente a la superficie por delante de las cotillas y longitudinalmente al plano del dummy que contiene el brazo. Las extremidades de las piernas deben extenderse del máximo, siendo paralelas entre sí y los talones tocando el suelo.

1.16 Requisitos de Criterios de comportamiento de lesiones de impacto frontal según regulación UNECE/CEPE R80.

El objetivo de los ensayos es determinar. Si los pasajeros de los asientos después del impacto quedan correctamente retenidos por los asientos y por el uso del cinturón de seguridad. Los criterios de lesiones se consideran que cumplan el requisito si los valores de criterio biomecánicos de aceptabilidad del maniquí, se mide principalmente datos cabeza, tórax y fémur mediante la aceleración o desaceleración, fuerza y deformación determinados según el apéndice 4 de la regulación UNECE/CEPE R80 son los siguientes [23].

- El criterio de aceptabilidad de la cabeza (HIC): debe ser inferior 500
- El criterio de aceptabilidad de tórax (CAT) debe ser inferior a 30 g, salvo en periodo de menos de 3 ms ($g=9.81 \text{ m/s}^2$)

- El criterio de aceptabilidad del fémur (CAF) debe ser menor que 10 *kN* y no se mayor de 8 *kN* en ciclos que sumen un total de más de 20 ms.

1.17 Especificación de los criterios de aceptabilidad.

1.17.1 Cabeza.

El valor de criterio de lesión (CAC), se mide según la aceleración triaxial mediante el punto 2.2.1 del apéndice 3 de la regulación UNECE/CEPE R 80 con la siguiente ecuación 3.

$$CAC = (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \gamma_r dt \right]^{2,5} \textcircled{3}$$

Donde (γ_r) es la aceleración triaxial con referencia al centro de gravedad (γ_r) se medirá con CFC de 600; siendo t_2 y t_1 son los valores del ensayo y CAC, valor máximo en el intervalo t_2 y de t_1 estos valores se toman en cuenta en segundo [23].

1.17.2 Tórax (CAT).

Este criterio está definido por peso de compresión resultante, dada en g, tomando en cuenta 2.2.2 del apéndice 3, y por el ciclo de aceleración dado en ms.

Según [23], numeral 2.2.2 apéndice 3 la aceleración consiguiente en el centro de gravedad se medirá con CFC DE 180 [23].

1.17.3 Fémur.

La fuerza de compresión axial se calculará con un CFC de 600.

1.18 Tipos de dummy de prueba de impacto..

Para verificar las lesiones de los accidentes o impactos de choque que pueden ocasionar a los ocupantes, los maniquís llamados dummy con elementos de caucho esqueleto de aluminio y sensores electrónicos colocados internamente son colocados en los asientos del conducto, acompañante y en el habitáculo de los pasajeros [33].

1.18.1 Coche frontal HYBRID III.

Fue diseñado principalmente para las pruebas de impacto frontal que se sujeta con el correspondiente cinturón de seguridad y el asiento se sujeta a en diferentes posiciones del vehículo para analizar las lesiones de los ocupantes en los accidentes [33]. A continuación, se detalla la familia de dummy Hybrid III. Ver figura 1.26

- Hybrid III masculino, percentil 50%.
- Hybrid III masculino, percentil 95%.
- Hybrid III infantil 3 años.
- Hybrid III infantil 6 años.
- Hybrid III infantil 10 Años.



Figura 1.25 Percentiles Hybrid III dummy [34].

1.18.2 Choque lateral: EUROSID.

Fue fabricado principalmente para calibrar las lesiones en los choques frontales. Cada elemento electrónico interno es muy diferente del Hybrid III excepto en su cabeza, y fueron diseñados para medir las aceleraciones y fuerzas laterales del cuerpo como se observa en la figura 1.27 [33].



Figura 1.26 Maniquí Eurosid [8].

1.18.3 SID, EUROSID.

Fueron diseñados para interpretar el 50% el porcentaje de los hombres de tamaño medio estos miden 5 pies y 10 pulgadas de alto y representan 170 libras, fueron creados por la NHTSA [33].

Diseñados para medir la aceleración de columna vertebral, costillas, la aceleración el intervalo de cambio de la velocidad que al medirlo indica las fuerzas infligidas sobre el dummy en un evento de impacto lateral, al igual mide la presión de la jaula de las costillas como se ve en la figura 1.28 [33].



Figura 1.27 Dummy Euro SID [35].

1.18.4 BioRID.

BioRID representa a un 50% del hombre promedio. Este tipo de maniquí fue diseñado para los impactos traseros, para medir las lesiones de menor importancia del cuello, también para analizar los movimientos con relación de la cabeza y del torso, como se muestra en la figura 1.29 [33].

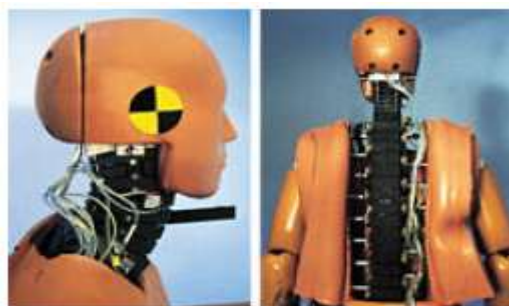


Figura 0.28 Dummy BioRID [33].

1.18.5 CRABI.

Simbolizan un maniquí de las pruebas con niños, son utilizados para evaluar los métodos de alojamiento del niño, viene en tres modelos: 18 meses, 12 meses y 6 meses de edad. Estos maniquís cuentan con sensores en la cabeza, cuello, pecho, parte posterior y en la pelvis midiendo la energía de aceleración, como se ilustra en la figura 1.30 [33].



Figura 1.29 Maniquí CRABI [8].

1.18.6 THOR.

Maniquí de prueba de choques frontales, Thor cuenta con muchas características humanas que el maniquí híbrido III, cuenta con mejores elementos de la columna vertebral y la pelvis con el objetivo de asemejarse a un ser humano. También cuenta con una alta gama de sensores en la cara que miden fuerzas que pueden determinar el riesgo de lesiones en el rostro, como se muestra en la figura 1.31 [33].



Figura 1.30 Maniquí tipo Thor [33].

1.19 Tipos de los maniqués de pruebas de impacto.

Los instrumentos para la obtención de resultados de las lesiones de los ocupantes de los vehículos. Se puede realizar simultáneamente muchas pruebas físicas y simulaciones. Los elementos del maniquí proporcionan un manejo eficaz y fácil de los resultados creados para una mejor inspección y cotejar los mismos. Los resultados se pueden sustraer de LS-DYNA. Estos provienen de pruebas físicas y se interpretan desde archivos de datos ISO, DIADEM y ASII [36]. Los maniquí de pruebas de impacto es:

Tabla 1.1. Tipos de Maniqués para cada ensayo de impactos [33].

Impacto frontal	Impacto lateral	Impacto trasero	Niños dummy
H3-50	ES-2	BioRID-II	Q6
H3-50	SID-lls		Q10
H3-95	WS-50		
THOR-50			

1.20 Instrumentos de los maniqués.

1.20.1 Acelerómetros.

Estos instrumentos miden la aceleración en una dirección particular. El maniquí de prueba tiene acelerómetros en todas las zonas de impacto posibles, en la cabeza hay acelerómetros instalados que miden la aceleración en tres direcciones, delantera, en popa, derecha e izquierda así también encontramos en el pecho, pelvis, piernas y partes de cuerpo [33].

En la figura 1.32, podemos ver la aceleración de la cabeza del conductor en una colisión frontal de 35 mph. Vemos que el valor es constante, fluyendo en las direcciones arriba y hacia abajo durante el impacto [33]

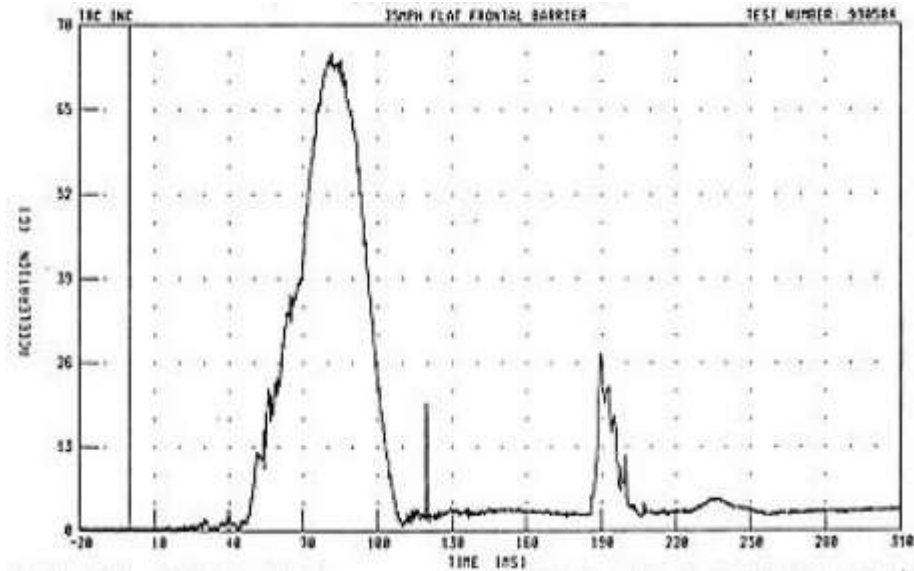


Figura 1.31 Aceleración de la cabeza durante un impacto frontal [33].

1.20.2 Sensores de carga .

En el interior del maniquí estos sensores de carga que cuantifican las fuerzas en diferentes partes del cuerpo durante un impacto como se ilustra en la figura 1.32.

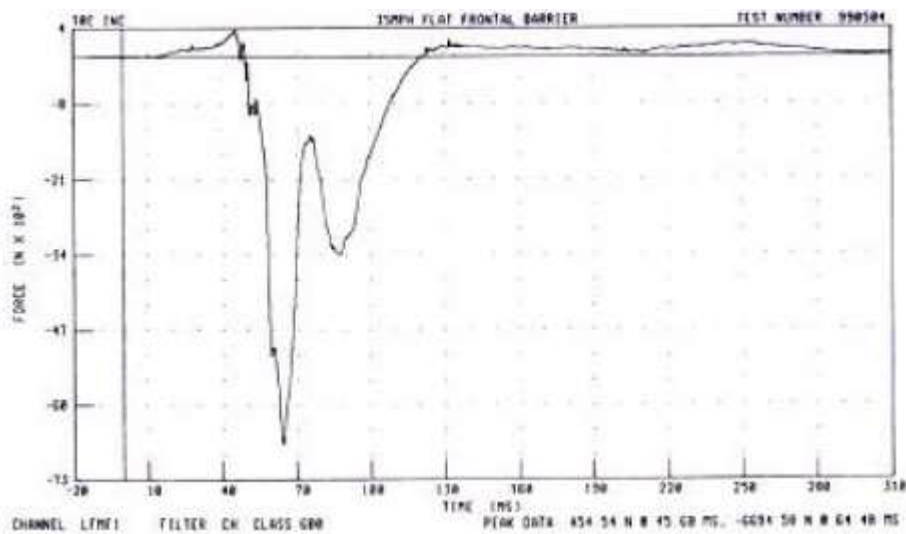


Figura 1.32 Fuerza del fémur en un impacto [33].

1.20.3 Sensores de movimiento.

Está ubicado en el pecho del maniquí, su función principal es medir la desviación del pecho durante una colisión frontal como se observa en la figura 1.33.

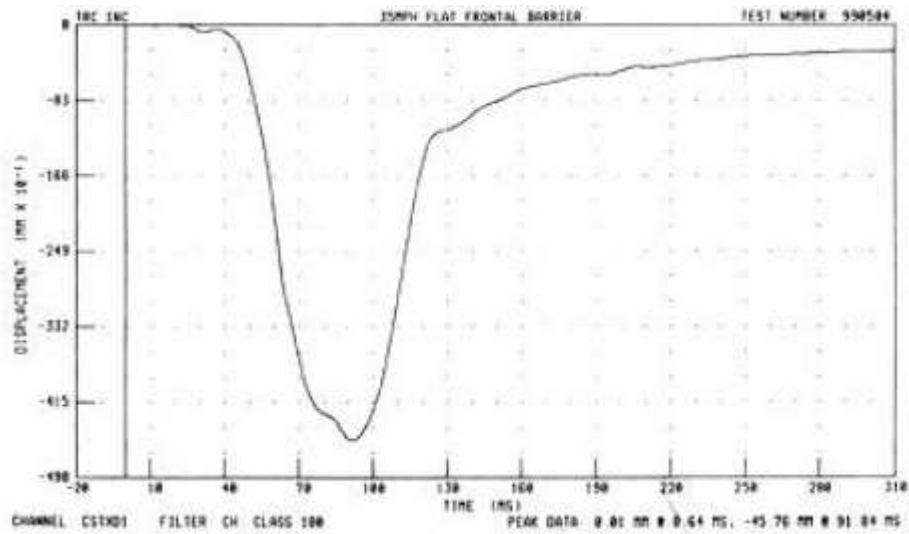


Figura 1.33 Desviación del pecho en impacto frontal [33].

1.21 Método de elementos finitos (MEF).

Admite una simulación computacional de casi todos los elementos técnicos, para poder ser aplicados en cuerpos gaseosos, líquidos y sólidos. Es un método computacional empleado para determinar problemas de ingeniería, donde el procedimiento a ser analizado se divide en partes o elementos a ser estudiados, seguidamente es reconstruida y ensamblando cada elemento y su comportamiento global. Donde consiste en la reducción del problema con ilimitados grados de libertad, de una dificultad que sea intervenido un número finito de variables, como se observa en la figura 1.34 [12].

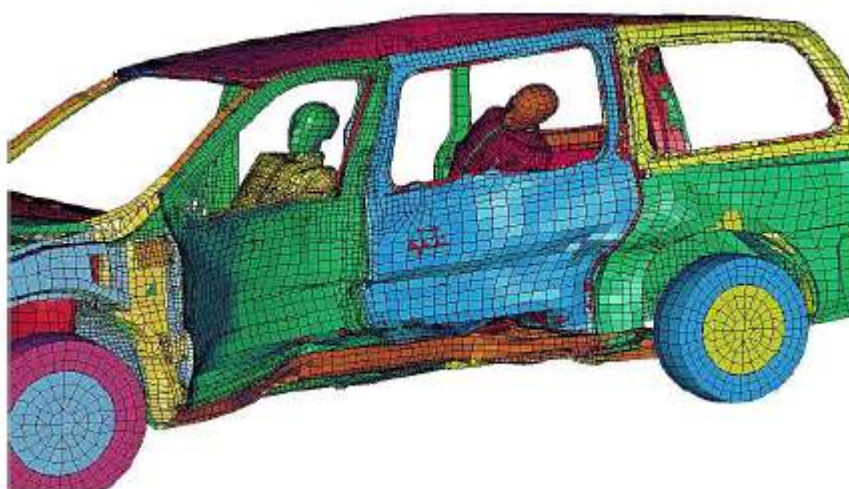


Figura 1.34 Prueba de impacto lateral por MEF realizado por IIHS [12].

En el método de elementos finitos (MEF) es empleado en cálculos de diseño estructural, otorgando valores de resultados con mayor ligereza y con una precisión

muy confiable. Facilita los resultados en colores, permitiendo una mejor visualización y entendiendo de mejor manera el comportamiento del bosquejo analizado [12].

1.21.1 Discretización.

Este método divide el dominio mediante puntos en caso lineal. En líneas en un acontecimiento bidimensional o superficie en ocasiones tridimensional. Los componentes se fragmentan en nodos que se conectan entre si formando elementos. Transformando de un sistema físico a un modelo discreto pudiendo verificar en el modelo en donde se tiene un error numérico solucionando en ecuaciones verificando los resultados con soluciones resueltas mediante investigación experimental o teórica [37].

1.21.2 Elementos finitos comunes.

Los elementos más comunes son los unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales, conocidos como de línea, superficie y volumen, correspondientemente. Siendo de diferentes formas, término que se refiere al orden de la función que determina la distribución de desplazamiento a través de un elemento. La fuerza de desplazamiento se establece a partir de la deformación y el módulo de elasticidad, ver figura 1.36 [12].

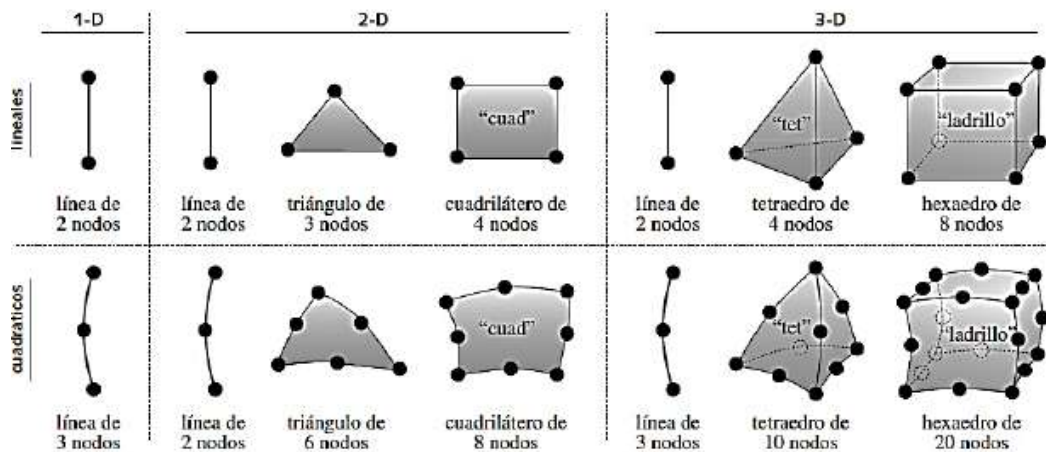


Figura 1.35 Elementos finitos comunes [12].

1.21.3 Procedimiento general de MEF.

Pasos del preproceso:

- Puntualiza la geometría del problema
- Puntualiza los elementos a ser analizado
- Puntualiza los materiales con sus propiedades
- Puntualiza la longitud, área, espesor
- Puntualiza la unión de los elementos
- Puntualiza las condiciones de frontera
- Puntualiza las cargas

Solución

Se genera una serie de ecuaciones algebraicas y condiciones de post- procesamiento que representan los resultados.

1.21.4 Post proceso.

Mediante el post proceso se puede:

- Representar gráficamente y evaluar las tenciones de los elementos
- Analizar el equilibrio
- Evaluar factores de seguridad
- Conceptualizar los resultados

1.21.5 Mallado.

El desarrollo empieza con la elaboración de un modelo geométrico. Seguidamente, el software subdivide el modelo en partes pequeñas de una manera fácil llamado elementos, que estan conectados entre sí llamados nodos. El modelo se distribuye en pequeñas partes llamado mallado. El programa de MEF examina el modelo como una red de elementos interconectados [10].

La proporción del mallado es muy fundamental para pronosticar la falla de un material. La creación de la malla para MEF exhibe un efecto cerca de la exactitud de las soluciones numéricas por lo que se requiere una precisión alta, esto nos quiere decir

que debemos utilizar una malla muy fina de la estructura los resultados finales serán muy precisos [10].

1.21.6 Calidad de malla.

La calidad de la malla cumple un papel muy importante en el requerimiento de los resultados. En un mallado solido la exactitud numérica se logra mediante el mallado con elementos de tipo tetraédricos perfectos y semejantes cuyas aristas tengan una longitud igual, no siendo posible crear un mallado con elementos tetraédricos perfectos. A causa de las aristas vivas, geometrías curvas, las operaciones lamina, unos de los elementos realizados pueden tener algunas aristas mucho más largas a diferencias de las otras. Cuando las aristas de un elemento sean notables en sus longitudes. Los resultados se ven perjudicados en precisión [10].

1.21.7 Criterio de Jacobiano.

El criterio de Jacobiano autoriza la determinación de la calidad de la malla, este principio resuelve y prueba todos los elementos, salvo en los elementos triangulares y tetraedros. Un fragmento indica que la correspondencia entre el espacio y el espacio fidedigno de la parte del componente este resultado computacionalmente. [10].

Un cuadrilátero tiene una conexión Jacobiana en un estatus de -1.0 a 1.0 se relaciona a 1.0 como un elemento de mallado perfecto y se materializa una semejanza entre todos los componentes de la malla si el término medio se acerca a 1.0 esto nos indica que los componentes computacionales altamente confiable. En el punto que el eje se desplazara de una esquina al centro del componente de la línea, el enlace sube por el Jacobiano, lo que consigue que una acción a largo plazo se rompa la pieza, como se observa en la imagen 1.37 [10].



Inaceptable	Malo	Aceptable	Bueno	Muy bueno	Excelente
-1,00 / -0,6	-0,5 / -0,2	-0,1 / 0,00	0,00 / 0,1	0,2 / 0,5	0,6 / 1,00

Figura 1.36 Calidad de malla según Criterio Jacobiano [10]

1.22 Introducción al programa Ls-DYNA.

Ls-Dyna facilita analizar inmensas deformaciones de problemas estáticos o dinámicos de armaduras del mundo real. Es un software creado por la compañía Livermore Software Technology Corporation (LSTC) [21]. La amplitud de simulación del programa incluye:

- Análisis completos en 2D y 3D
- Análisis no lineal
- Análisis de cuerpos rígidos
- Simulaciones cuasi- estáticos
- Análisis estático no lineal
- Análisis térmicos

Conjuntamente cuenta el programa con extensa gana de materiales en la biblioteca los cuales son:

- Metales
- Espumas
- Telas
- Paneles
- Plásticos
- Concretos
- Suelos
- Elastómeros
- Vidrio

Tipo de elementos que incluye el programa:

- Vigas
- Elementos (muelles y amortiguadores)
- Masas
- Acelerómetros
- Sensores
- Cinturones

El programa cuenta con una herramienta muy importante de LS- Prepost que prepara los datos de entrada de Ls- Dyna y analiza y procesa la información del programa. En el pre- procesador se logra conseguir una librería amplia de materiales y elementos, en tanto que el post- procesador, refleja los resultados de forma gráfica y movimientos de apariencia 3D. De este modo se logra comprender parámetros de HIC que cuantifican el nivel de lesiones de cabeza y en tórax CSI [37].

1.23 Hipótesis.

Las cargas dinámicas durante el impacto frontal de autobús producen, lesiones en los pasajeros.

1.24 Señalamiento de variable de la hipótesis.

1.24.1 Variable Independiente.

Cargas dinámicas durante el impacto frontal del autobús.

1.24.2 Variable Dependiente.

Cumplimiento de la normativa R80 de la comisión económica para Europa.

1.24.3 Término de relación.

Verificar

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Nivel o tipo de investigación.

2.1.1 Investigación bibliográfica.

Por investigación bibliográfica entendemos la etapa de la investigación científica en la que se explora la producción de la comunidad académica sobre un tema determinado. Implica un conjunto de actividades destinadas a localizar documentos relacionados con un tema o autor específico.

La presente investigación es bibliográfica, ya que la información necesaria se basa en normas que describen los parámetros necesarios para el estudio.

2.1.2 Investigación exploratoria.

La investigación exploratoria es un tipo de investigación que se utiliza para estudiar un problema que no está claramente definido, por lo que se realiza para comprenderlo mejor, pero sin aportar resultados concluyentes.

2.1.3 Investigación descriptiva.

Este tipo de investigación se establece porque se hace una representación completa de los parámetros dentro de cada una de las propiedades, además se estiman las características de las poblaciones, necesarias para un análisis completo de las respuestas y los factores de entrada.

Su finalidad es definir, clasificar, catalogar o caracterizar el objeto de estudio, siendo fundamental para la comprensión de los parámetros para la aplicación del método con las variables de entrada y salida.

2.1.4 Investigación explicativa.

La investigación explicativa es aquel tipo de estudio que explora la relación causal, es decir, no sólo pretende describir o abordar el problema investigado, sino que trata de encontrar sus causas.

En este documento se analizan los efectos del airbag del conductor en una colisión frontal, sobre el propio conductor.

2.2 Población y muestra.

2.2.1 Población.

El presente trabajo experimental tiene como población las carrocerías de buses que cuenten con cinturones de seguridad.

2.2.2 Muestra.

La muestra está compuesta por una carrocería en particular, bajo las dimensiones y especificaciones de Norma Ecuatoriana.

2.3 Operacionalización de variables.

2.3.1 Variable Independiente.

Impacto frontal de autobuses sobre los pasajeros.

Tabla 2.1 Variable independiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>El ensayo es un suceso de choque frontal, la sección de la carrocería del autobús se ubicará en un trineo</p> <p>La plataforma juntamente con el automotor se moverá con un pulso de aceleración el cual permitirá analizar, las lesiones de los pasajeros, la resistencia de los asientos y sus anclajes</p>	Autobús	Modelo de Chasis	Motorizado Hino AK8JRSA	
		Dimensiones del autobús	Altura piso - borde de ventana: 750 mm	NTE INEN 1668
			Alto de las ventanas: 1000 mm	NTE INEN 1668
	Ancho de ventanas: 1400 mm		NTE INEN 1668	
	Asientos para pasajeros	Dimensiones	Profundidad mínima: 450 mm	NTE INEN 1668
			Ancho libre mínimo del asiento: 450 mm	NTE INEN 1668
			Altura desde el piso a la base del asiento: Entre 400 mm a 500 mm	NTE INEN 1668
			Distancia entre asientos medidas a una altura de 620 mm	Mínimo de 680 mm NTE INEN 1668
	Maniquí	Tipo de maniquí	Maniquí híbrido III 50 Percentil	Estudios bibliográficos
		Tipo de cinturón	Sin cinturón Cinturón de dos puntos Cinturón de tres puntos	Estudios bibliográficos

2.3.2 Variable Dependiente.

Cumplimiento de normativa R80 de la comisión económica para Europa.

Tabla 2.2 Variable dependiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Los criterios de comportamiento en autobuses deberán cumplir con reglamentos y normas vigente, con la finalidad de representar parámetros de diseño que puedan influir en la seguridad de los pasajeros en choques frontales. El análisis de choque frontal deberá regirse a ciertos parámetros	Criterios Comportamiento de lesiones del maniquí en los análisis de choque frontal	Cabeza	Inferior a 500	Reglamento R80 (CEPE) Comisión Económica de las Naciones Unidas Para Europa. Ensayos a través del método por elementos finitos. Obtención de resultados directo del programa.
		Tórax	Inferior a 30g	
		Fémur	Inferior a 10 kN.	

2.4 Procedimiento.

2.4.1 Elaboración de modelo de la superestructura del auto bus.

El modelo se realizó utilizando el software SolidWorks, utilizando partes de superficie, es un programa computacional, para producir y modificar geometrías permitiendo exportar al programa ANSYS LS Prepost. La estructura se modelo en base a los reglamentos de bus interprovincial NTE INEN 1688 vigentes, que integran las siguientes medias, por ejemplo: altura de ventana, largo de ventana, altura piso borde de la ventana, ancho del autobús, altura del autobús, altura del asiento, ancho del asiento, distancia entre asientos, entre otras, ver figura 2.1.

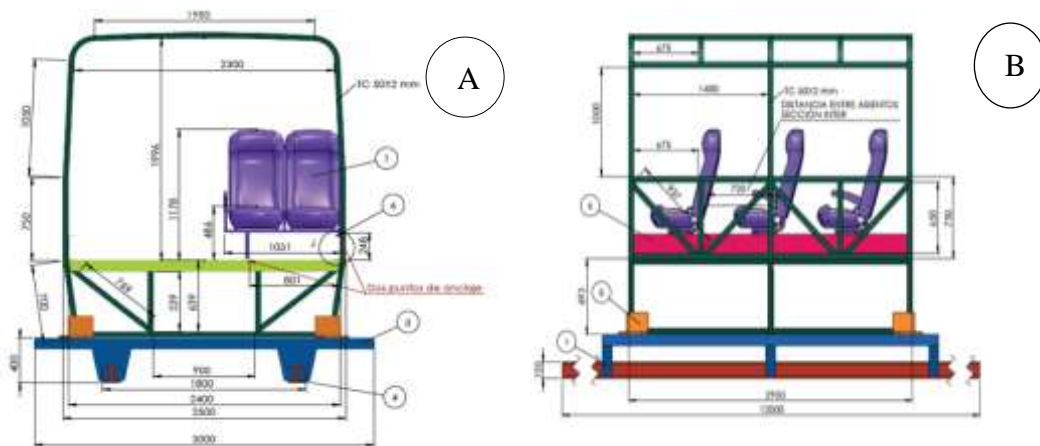


Figura 2.1. A sección transversal autobús, B sección transversal, vista lateral del autobús.

2.4.2 Modelado del Asiento.

El asiento de autobuses tipo interprovincial de igual manera se ha modelado de acuerdo con investigaciones que se realizó observando varios diseños de empresas fabricantes como se observa en la figura 2.2.



Figura 2.2 Asiento del autobús interprovincial.

2.4.3 Dimensiones de asiento tipo interprovincial.

Las dimensiones del asiento interprovincial se presentan a continuación en la figura 2.3.

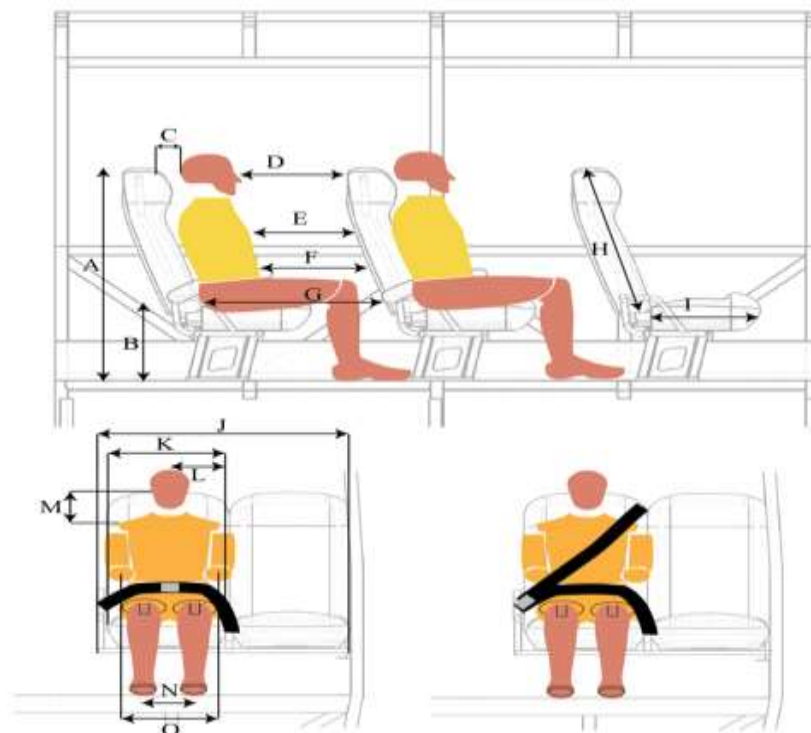


Figura 2.3 Esquema de dimensiones de asiento para ensayo dinámico de trineo en asientos tipo interprovincial [38].

Tabla 2.3 Dimensiones de sección de asientos tipo interprovincial [38].

Sección con asiento tipo Interprovincial	
Tipo	Dimensión min
A	117
B	480
C	240
D	260
E	330
F	420
G	720
H	800
I	400
J	1030
K	450
L	105
M	175
N	195
O	375

Nota: las dimensiones expresadas en esta tablen tienen una tolerancia de +- 10 mm

2.4.4 Modelado del trineo.

El modelo del trineo se lo realizo mediante investigaciones de modelos validados para simulación de impactos dinámicos. En cual se colocará la super estructura a simular para analizar los resultados según CEPE R80. Las dimensiones se pueden observar en la figura 2.4.

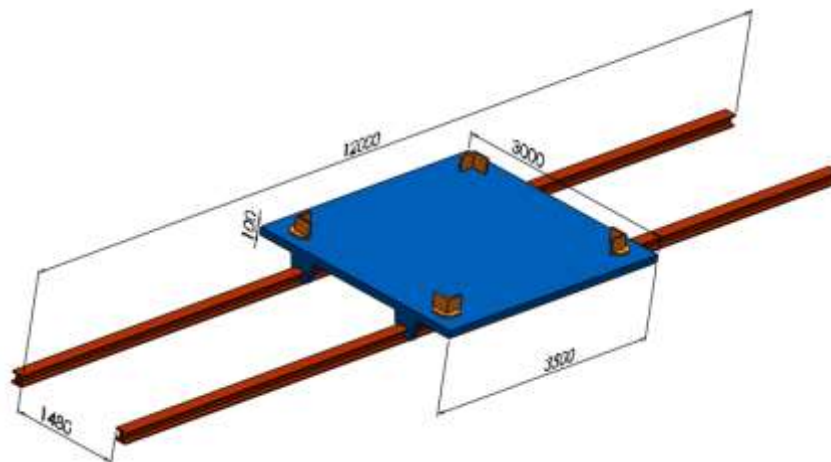


Figura 2.4 Trineo.

Tabla 2.4 Dimensiones del trineo.

Denominación	Dimensión en mm
Largo riel	12000
Ancho entre rieles (medida interna)	1480
Ancho de la pista	3000
Largo de la pista	3500

2.4.5 Datos técnicos del maniquí para impacto frontal Hybrid III 50 Percentil.

El modelo del Dummy que fue seleccionado para analizar fue el Híbrido III 50% percentil masculino. Fue creado por la empresa General Motors en la actualidad las modificaciones lo realizan, Grupo Sociedad De Ingenieros De Automoción (SAE) y por (NHTSA), ver figura 2.5.

Las dimensiones antropométricas del Dummy se detallan en la tabla 2.5 [39].

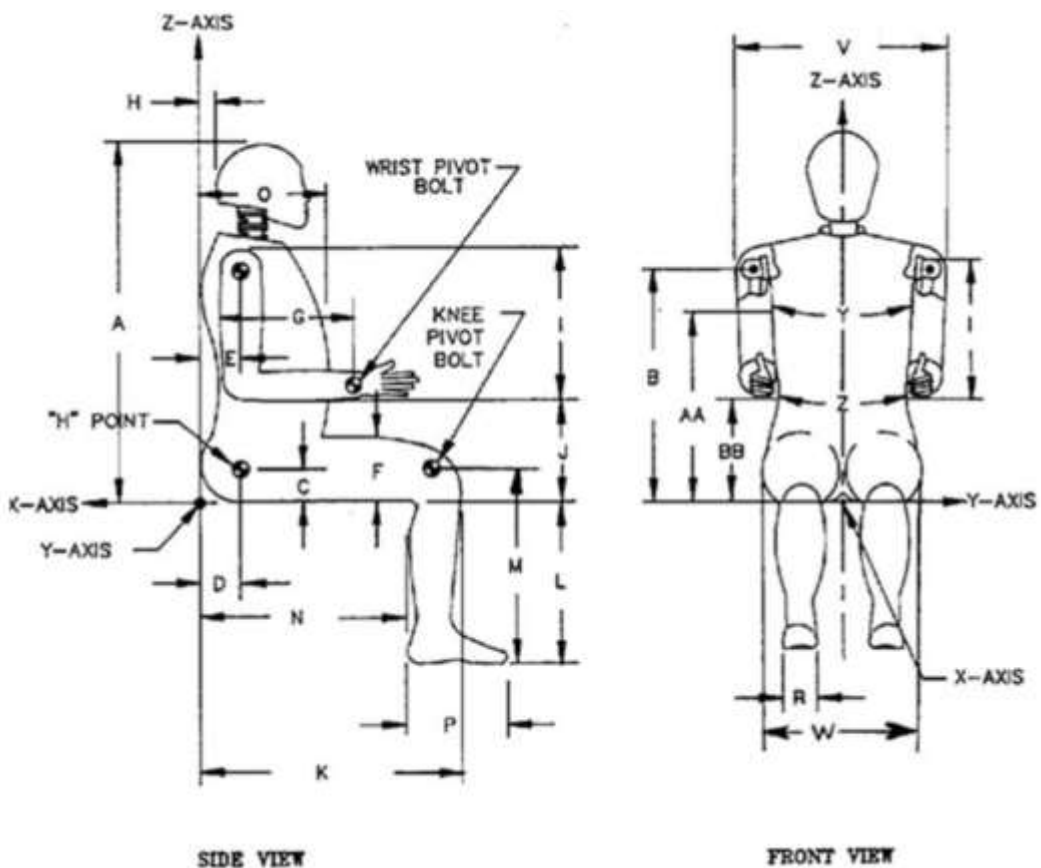


Figura 2.5 Dummy Hybrid III 50° Percentil [39].

Descripción, especificaciones y tolerancia de las dimensiones externas del maniquí híbrido III Percentil 50%

Tabla 2.5 Dimensiones del Dummy Hybrid III Percentil 50% Masculino [39]

Descripción	Designación	Dimensiones	
		Pulgada (in)	Milímetro (mm)
Altura total de sentado	A	34.8±0.2	883.9±5.1
Altura del pivote del hombro	B	20.2±0.3	513.1±7.6
Altura del punto H (ref.)	C	3.4±0.1	86.4±2.5
Punto H desde el respaldo del asiento (ref.)	D	5.4±0.1	137.2±2.5
Pivote del hombro desde la línea de fondo	E	3.5±0.2	88.9±5.1
Distancia del muslo	F	5.8±0.3	147.3±7.6
Pivote de la parte posterior del codo a la muñeca	G	11.7±0.3	297.2±7.6
Tapa del cráneo a la línea de la espalda	H	1.7±0.1	43.2±2.5
Longitud del hombro al codo	I	13.3±0.3	337.8±7.6
Altura de descanso del codo	J	7.9±0.4	200.7±10.2
Longitud de la nalga a la rodilla	K	23.3±0.5	591.8±12.7
Altura poplítea	L	17.4±0.5	442.0±12.7
Altura del pivote de la rodilla al suelo	M	19.4±0.3	492.8±7.6
Longitud poplítea de las nalgas	N	18.3±0.5	464.8±12.7
Profundidad del tórax	O	8.7±0.3	221.0±7.6
Longitud del pie	P	10.2±0.3	259.1±7.6
Anchura de los pies	R	3.9±0.3	99.1±7.6
Anchura de los hombros	V	16.9±0.3	429.3±7.6
Anchura de la cadera en el punto H	W	14.3±0.3	363.2±7.6
Circunferencia del pecho	Y	38.8±0.6	985.5±15.2
Circunferencia de la cintura	Z	33.5±0.6	850.9±15.2
Lugar de referencia para el pecho Circunferencia de pecho (ref.)	AA	17.0±0.1	431.8±2.5
Ubicación de referencia para la circunferencia de la cintura Circunferencia de la cintura (ref.)	BB	9.0±0.1	228.6±2.5

En la tabla 2.6, se muestra la masa de las partes del cuerpo del Dummy Hybrid III Percentil 50% Masculino.

Tabla 2.6. Dimensiones del dummy [21]

Descripción	Masa	
	Libras (lb)	Kilogramos (kg)
Cabeza	10.00 ± 0.10	4.54 ± 0.05
Cuello	3.40 ± 0.10	1.54 ± 0.05
Torso superior con carne de pecho (incluye desde el soporte inferior del cuello hasta la parte inferior de la caja de la columna vertebral)	37.90 ± 0.30	17.19 ± 0.14
Torso inferior (incluye fémures y placa de adaptación lumbar inferior)	50.80 ± 0.30	23.04 ± 0.14
Pierna superior, izquierda	13.20 ± 0.20	5.99 ± 0.09
Pierna superior, Derecha	13.20 ± 0.20	5.99 ± 0.09
Pierna inferior, Izquierda	9.45 ± 0.15	4.29 ± 0.07
Pierna inferior, derecha	9.45 ± 0.15	4.29 ± 0.07
Pie, Izquierdo	2.55 ± 0.15	1.16 ± 0.07
Pie, derecho	2.55 ± 0.15	1.16 ± 0.07
Brazo superior, izquierdo	4.40 ± 0.20	2.00 ± 0.09
Brazo superior, derecho	4.40 ± 0.20	2.00 ± 0.09
Brazo inferior, izquierdo	3.75 ± 0.10	1.70 ± 0.05
Brazo inferior, derecho	3.75 ± 0.10	1.70 ± 0.05
Mano, Izquierda	1.25 ± 0.10	0.57 ± 0.05
Mano, derecha	1.25 ± 0.10	0.57 ± 0.05
Masa total del maniquí	171.30 ± 2.60	77.70 ± 1.18

2.5 Análisis mediante el método de elementos finitos.

2.5.1 Exportación de la geometría de la superestructura con sus asientos a ANSYS.

Empleando el software ANSYS LS- LS-Dyna, trasladamos el modelo de la superestructura con la distancia entre asientos según el reglamento CEPE R80 de las Naciones Unidas para Europa, como se observa en la figura 2.6.

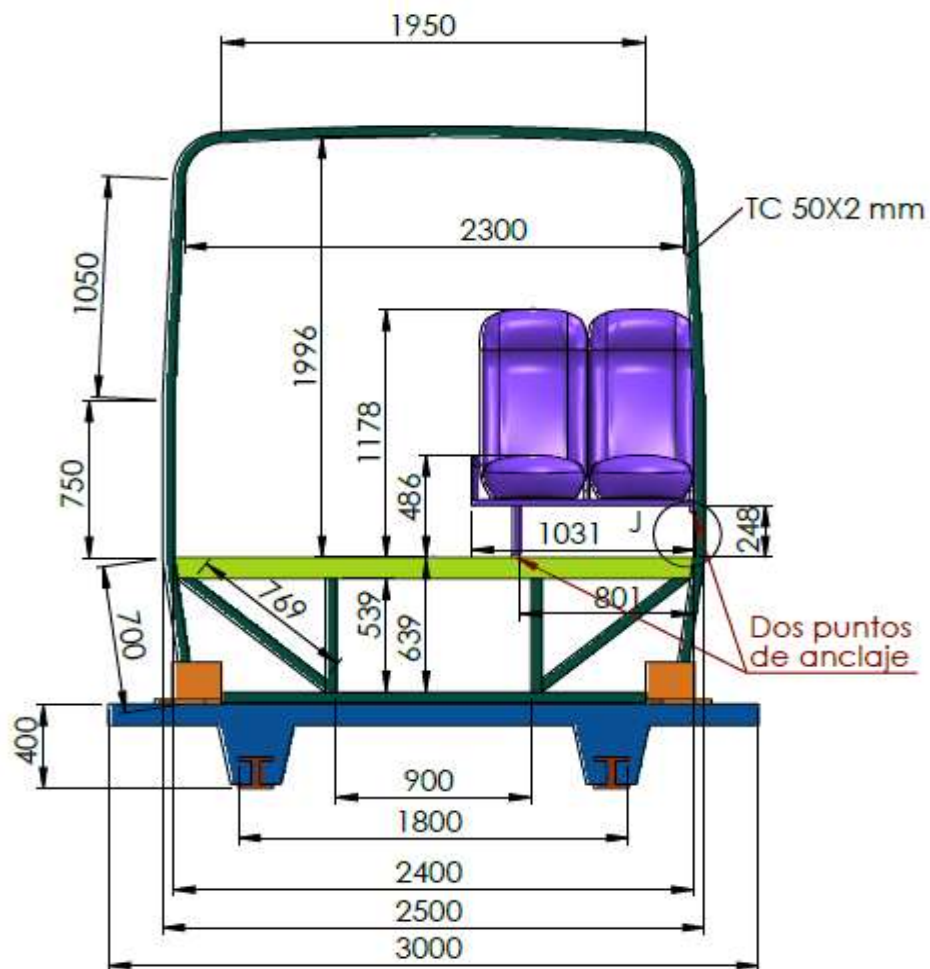


Figura 2.6 Colocación de la superestructura en el trineo.

Luego procedemos a la verificación del modelo para preparar y corregir algunos errores. para proceder a coser las caras independientes en un caparazón. Una vez realizada las operaciones mencionadas anteriormente insertamos los dummy en los asientos como establece el reglamento CEPE R80, como se observa en la figura 2.7.

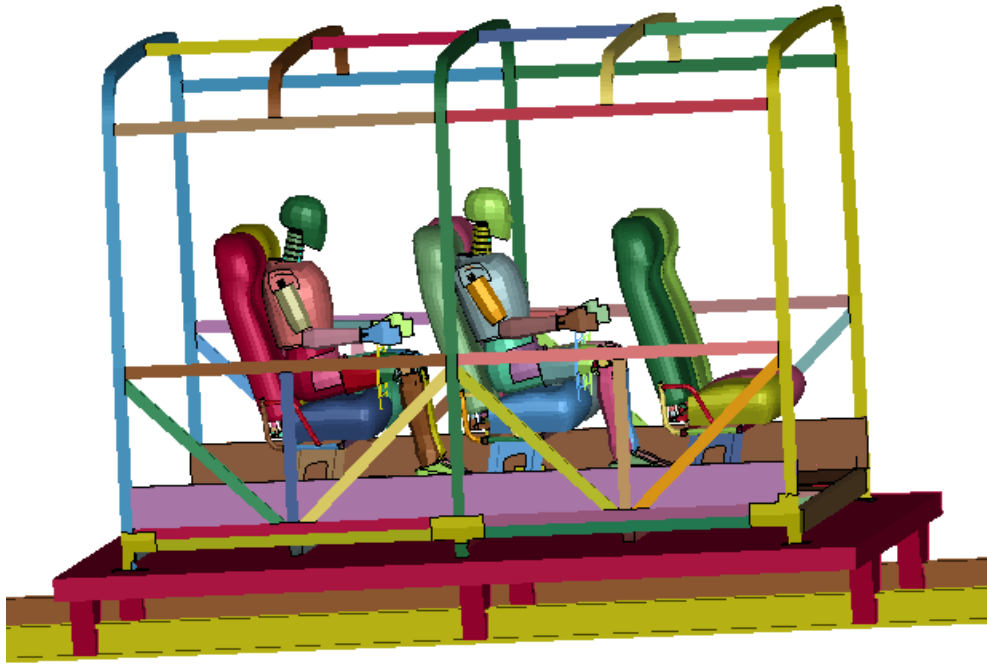


Figura 2.7 Preparación de la geometría para análisis de choque frontal dinámico.

2.5.2 Generación de la malla.

Con la finalidad de reducir recursos computacionales el presente proyecto se trabajó con elementos tipo Shell (2D) del programa asistido por computadora ANSYS. Teniendo en menor tiempo los resultados requeridos de dicha investigación. Se utilizó la herramienta Element and Mesh la cual nos facilita el Auto mallado, los elementos que se utilizaron fueron cuadrangulares y rectangulares, estableciendo el tamaño de elemento de máximo 30mm y mínimo de 25mm

2.5.3 Validación de la malla.

El mallado fue validado de una manera exitosa con el criterio Jacobiano, utilizando elementos cuadrangulares y rectangulares. Una vez determinados los parámetros requeridos, ANSYS evalúa el índice de calidad de la malla según la figura 2.8.

2.5.4 Calidad de la malla criterio Jacobiano.


					
Inaceptable	Malo	Aceptable	Bueno	Muy bueno	Excelente
-1,00 / -0,6	-0,5 / -0,2	-0,1 / 0,00	0,00 / 0,1	0,2 / 0,5	0,6 / 1,00

Figura 2.8 Calidad de malla según el criterio Jacobiano [8].

2.5.5 Malla de la estructura.

En la figura 2.9, se ilustra la calidad de la malla de la sección de la estructura del autobús, siendo el jacobiano de 0.6 como nos indica la calidad de la malla en la figura 2.8.

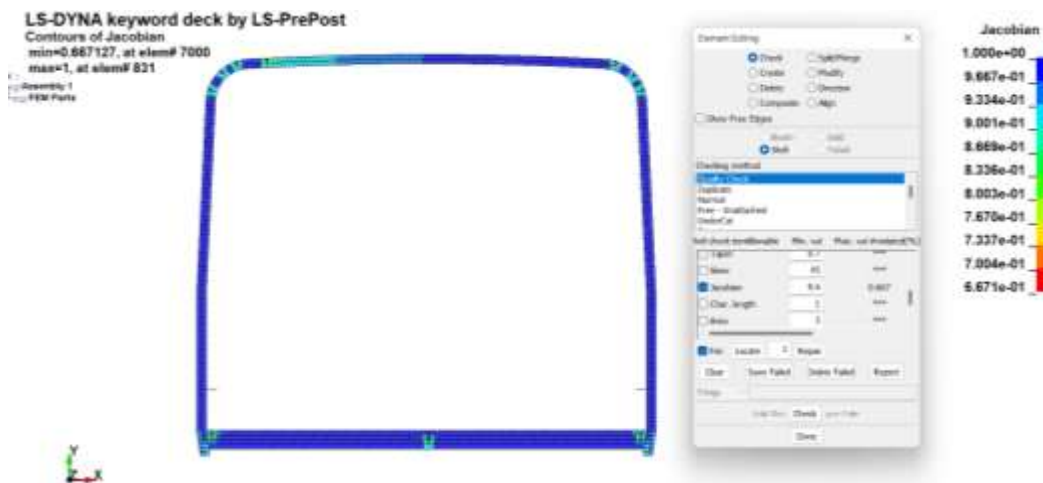


Figura 2.9 Verificación de la calidad de la malla de la estructura.

Tabla 2.7 Características de la estructura.

Característica	Cantidad/Descripción
Numero elementos	45331
Índice de calidad mínimo de jacobino	0.6
Tipo de malla	Shell 2D

2.5.6 Malla del Asiento.

En la figura 2.11, podemos observar la calidad de la malla del asiento de bus interprovincial, con un jacobiano de 0,6 siendo excelente, como nos indica en la figura 2.10.

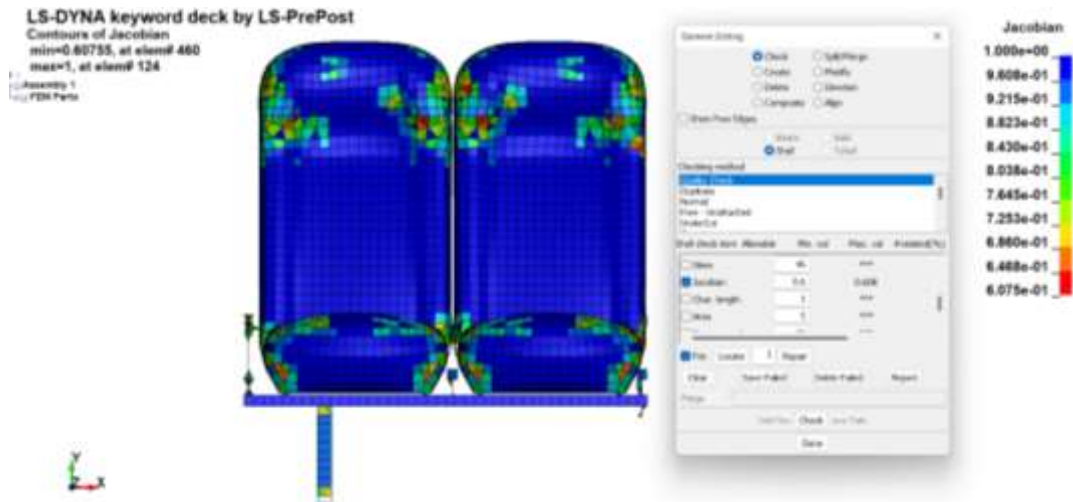


Figura 2.10 verificación de la calidad de la malla del asiento.

Tabla 2.8 Características del asiento.

Característica	Cantidad/Descripción
Numero elementos	7514
Índice de calidad mínimo de jacobino	0.6
Tipo de malla	Shell 2D

2.5.7 Malla trineo.

En la figura 2.11, podemos observar la calidad de la malla del trineo, con un jacobiano de 0.6 siendo excelente, como nos indica en la figura 2.8

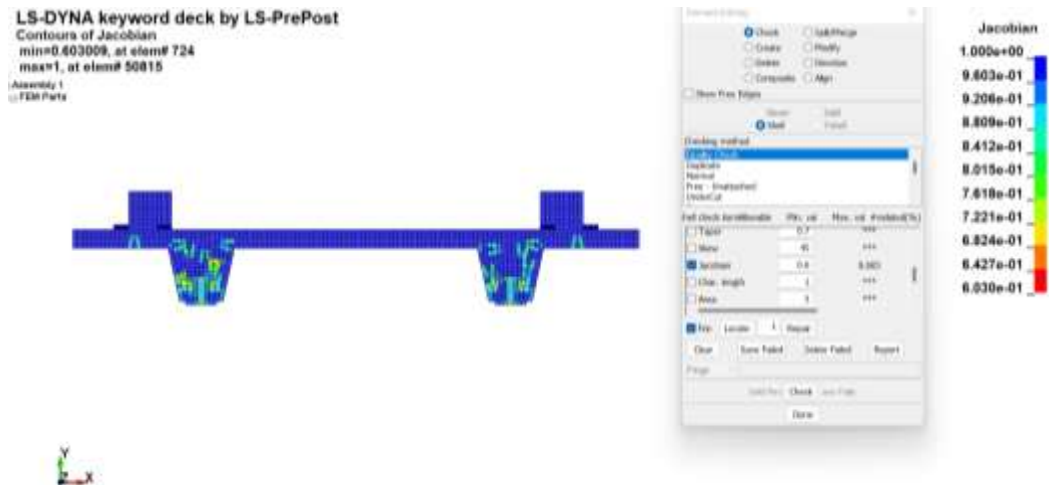


Figura 2.11 Verificación de la malla de trineo para ensayo dinámico.

Tabla 2.9 Características del trineo.

Característica	Cantidad/Descripción
Numero elementos	70956
Índice de calidad mínimo de jacobino	0.6
Tipo de malla	Shell 2D

2.6 Condiciones de simulación para la sección de la estructura del autobús y para el cinturón de seguridad.

El material utilizado en la presente simulación para la superestructura es el tipo 024 plasticidad Isotrópica lineal por piezas (MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY)

2.6.1 Materiales.

Para asignar las propiedades mecánicas de los materiales a utilizar en la simulación del autobús interprovincial, se utilizará las normativas descritas en la tabla 2.10 y los requisitos que controlan los materiales utilizados en el país en la elaboración de carrocería de transporte de pasajeros.

Tabla 2.10 Materiales para utilizar según las normativas vigentes del país

Material asignado	Tipo de material	Norma relacionada
Estructura de sección de carrocería	Acero bajo al carbono	ASTM A500, INEN 2415, INEN 114
Estructura de asiento	Acero bajo al carbono	ASTM A500, INEN 2415, INEN 114

2.6.2 Acero ASTM A500 Grado A.

Tabla 2.11 Propiedades mecánicas ASTM A500 Grado A [40]

Propiedad	Valor	Unidad
Límite de fluencia	0.27	GPa
Resistencia ultima a la tracción	0.31	GPa
Deformación untaría máxima	0.25	mm

2.7 Asignación del material para la estructura y para el cinturón de seguridad

El material para utilizar en la estructura es el tipo 0.24 MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTIC (Plasticidad Isotrópica lineal por piezas), en

el cual se puede asignar valores para detallar la curva esfuerzo-deformación. En esencia, tiene la posibilidad de aproximar un comportamiento esfuerzo-deformación no lineal del material realista, mediante una secuencia de segmentos lineales.

Este tipo de material incorpora impactos de velocidad de deformación y no utiliza una condición de estado, se consideran aspectos, por ejemplo, la deformación plástica. Los valores que se ingresan en el ANSYS se muestran en el ANEXO 2 (Tabla de propiedades del acero Ls-Dyna).

En las distintas simulaciones el material a emplear para el cinturón de seguridad de 2 y 3 puntos es el tipo 0.01 ELASTIC (Elástico). Este tipo de material es hipo elástico, isotrópico y está adecuado para láminas, vigas y elementos sólidos en Ls-Dyna.

El material tiene un comportamiento elastoplástico, donde la tensión es lineal y necesita de la deformación hasta que el límite elástico sea superado y el material entre en plasticidad. Las medidas que especifican el comportamiento del material empleado en el modelo se muestran en la tabla 2.12.

Tabla 2.12 Parámetros del material del cinturón de seguridad [41]

Parámetros	Símbolo	Valor	Unidades
Módulo de elasticidad	E	200	GPa
Densidad	ρ	$7.83 \cdot 10^{-6}$	Kg/mm ³
Coefficiente de Poisson	U	0.3	No tiene unidades
Módulo de cortadura	G	2	GPa
Límite elástico	σ	0.15	GPa

2.8 Maza de la estructura.



Figura 2.12 Peso total de la estructura más el maniquí.

Una vez colocado el material y espesor de cada parte de la estructura, el programa nos proporciona la masa de la sección de la superestructura que es de 712.854 Kg. Una vez colocado los 2 maniqués, se tiene una masa de 903.776 Kg, la masa total con el trineo, la estructura y los maniqués es de 1769,35 Kg, cada maniqué tiene un peso aproximado de 77 Kg, ver imagen 2.12.

2.9 Restricciones del trineo.

La plataforma tendrá desplazamiento libre en el eje z, Mientras que los rieles del trineo se mantendrán fijos ver imagen 2.13.

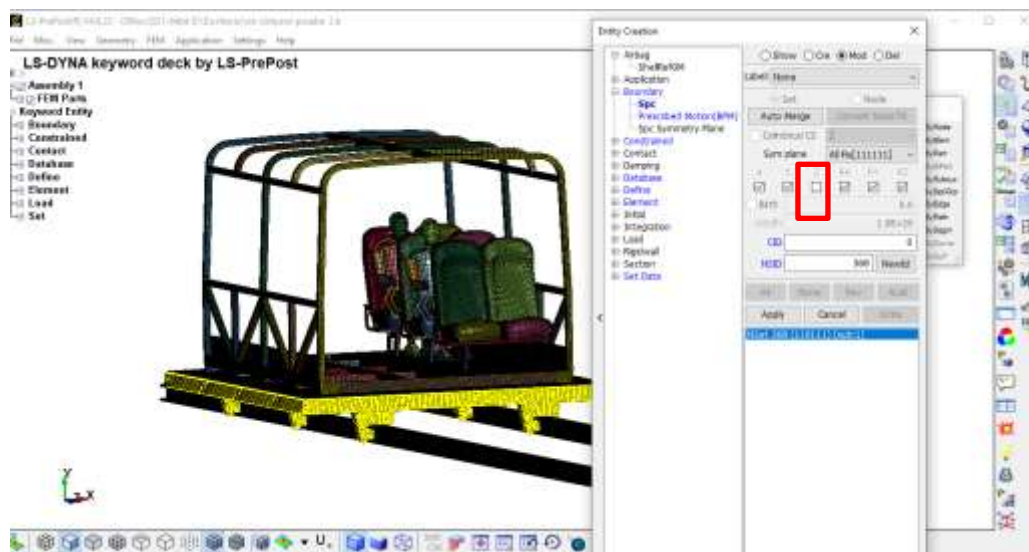


Figura 2.13 Restricción del trineo.

2.10 Pulso de aceleración.

Asignación Pulso de aceleración ingresada en el programa LS- DYNA. Para obtención de la curva de aceleración o desaceleración se simulo la estructura del bus completo en la cual se insertó dos acelerómetros en la parte frontal y la posterior obteniendo la curva de aceleración como se muestra en la figura 2.14 la cual cumple con el reglamento R80.

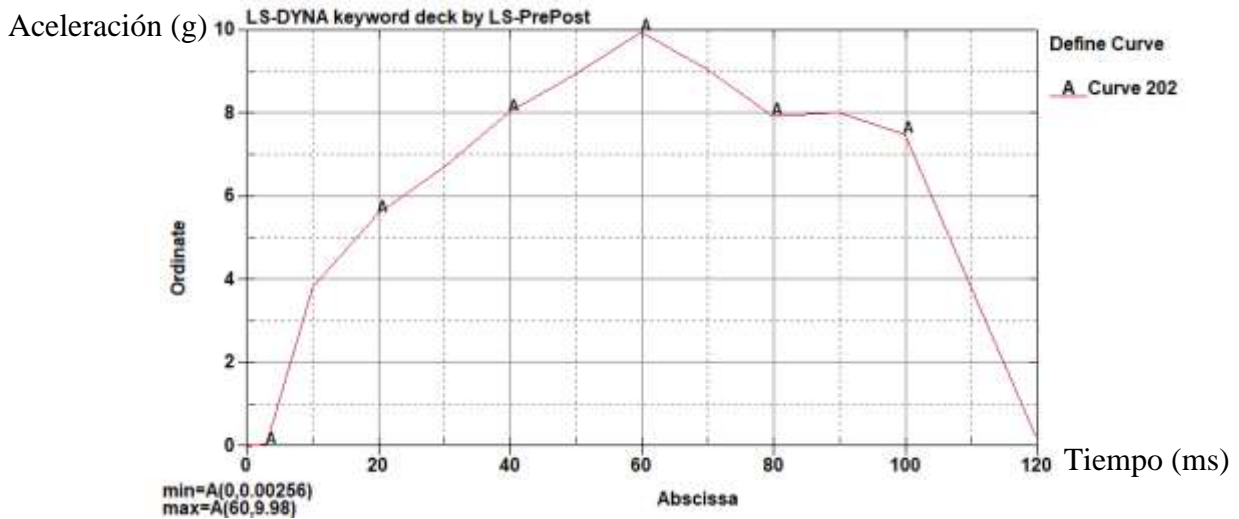


Figura 2.14 Pulso de aceleración utilizado en la simulación de la sección de la carrocería.

2.11 Contactos que se utilizó de simulación.

Para el presente trabajo de simulación los contactos a utilizar son:

CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE. Contacto creado para el asiento con la estructura. Ingresando los coeficientes estáticos y dinámicos siendo este Acero con Acero (anexo 3).

AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE. Se crea el contacto que va a tener relación maniquí asiento. Con un coeficiente de fricción estática de 0.3 y una fricción dinámica de 0.2.

CAPITULO III

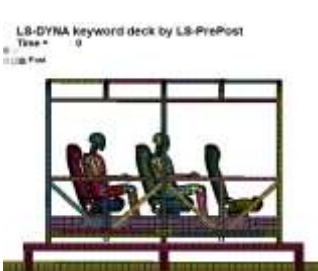



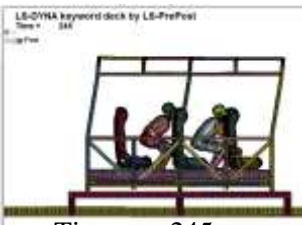

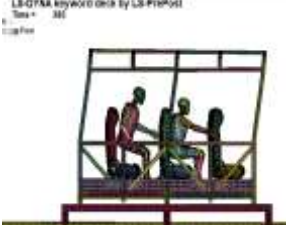


RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. SIMULACIÓN DE LA SECCIÓN DEL AUTOBÚS CON MANIQUÍ SIN CINTURÓN DE SEGURIDAD.

3.1.1 Secuencia de imágenes de simulación sin cinturón.

En la tabla 3.1 se describe los resultados obtenidos de la secuencia del comportamiento del movimiento de los maniqués sin cinturón de seguridad donde detalla la norma aplicada, parámetro de simulación, el tiempo de impacto y capturas del ensayo a distintos tiempos, donde se puede apreciar en qué momento existe el contacto de los asientos del bus con el maniquí.

Tabla 3.1 Secuencia que muestra el comportamiento del movimiento de los maniqués sin cinturón de seguridad.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ensayo de impacto frontal N°:	1	Muestra de:	Sección de la superestructura del bus interprovincial según la normativa NTE INEN 1668
Norma Aplicada:	Reglamento UNECE/CE PE R80	Tiempo de procesamiento:	9 horas 20 minutos
Parámetro de simulación:	Pulso de aceleración	Tiempo de impacto:	1000 milisegundos
RESULTADOS DEL ENSAYO			
 Tiempo= 0 ms	 Tiempo= 170ms	 Tiempo= 185ms	
 Tiempo= 210 ms	 Tiempo= 245ms	 Tiempo= 325ms	
 Tiempo= 385 ms	 Tiempo= 590 ms	 Tiempo= 805 ms	

La secuencia de los maniqués sin cinturón de seguridad. El presente estudio ilustra la simulación de un impacto frontal dinámico, en el tiempo de 170ms podemos observar que se produce el primer contacto de las rodillas del maniqué M1 Y M2 con el asiento de adelante, mientras que en el minuto de 185ms las cabezas de los maniqués chocan con el asiento del frente, en el tiempo de 245ms ocurre el desplazamiento de los maniqués ya que no cuentan con ningún tipo de cinturón de seguridad, lo que genera un desprendimiento total del pasajero, esto regularmente sucede en este tipo de choque.

3.2 Criterios de lesiones de la cabeza, sin cinturón de seguridad.

3.2.1 Maniqué M1.

En la figura 3.1 podemos observar el resultado de impacto frontal con dummy M1 sin cinturón de seguridad, en la cual tenemos un valor de HIC 3015 siendo este muy alto ya que el permitido por la norma es el HIC es de 500 esto no indica que los ocupantes tengan lesiones muy graves.

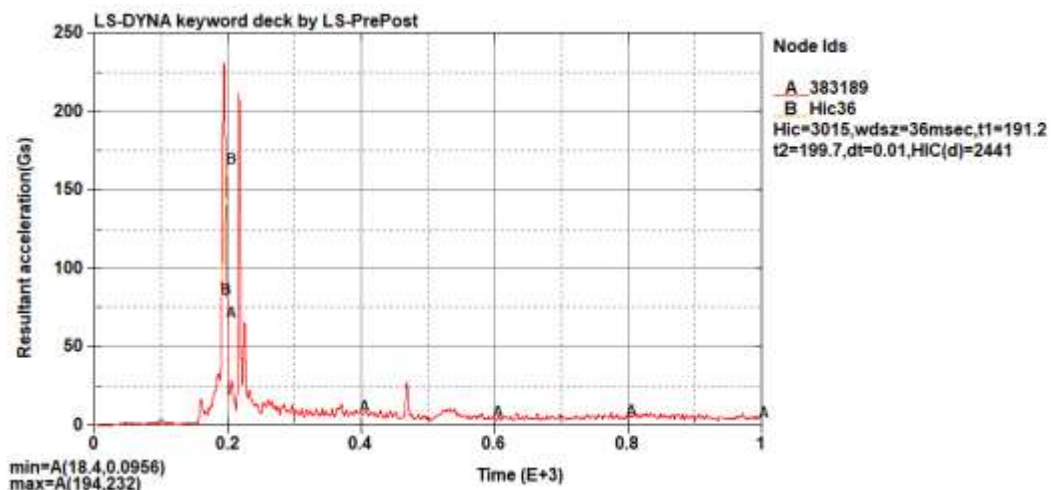


Figura 3.1 Criterio de lesión de la cabeza M1, sin cinturón de seguridad.

3.2.2 Maniqué M2.

En la figura 3.2 podemos observar el resultado de impacto frontal con dummy M2 sin cinturón de seguridad, en la cual tenemos un HIC 2922, este es un poco menor al del M1, pero de igual manera sigue siendo un valor muy alto ya que el permitido por la norma el HIC es 500 esto no indica que los ocupantes tengan lesiones muy graves.

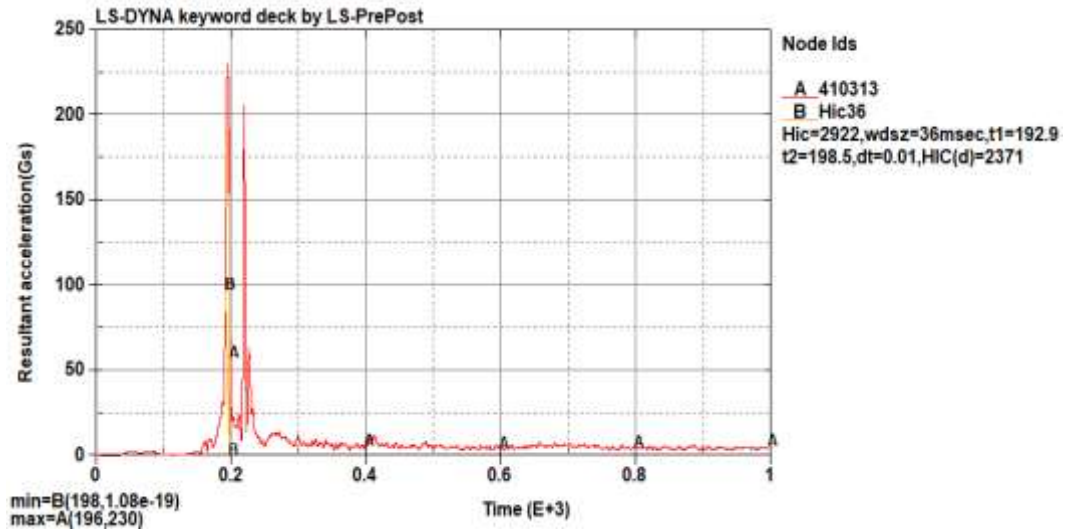


Figura 3.2 Criterio de lesión de la cabeza M2, sin cinturón de seguridad

Tabla 3.2 Valores del criterio de comportamiento de la cabeza HIC sin cinturón de seguridad.

Condición de análisis	Resultado de simulación	Valores aceptables CEPE R80	Descripción
M1 HIC 36	3015	500	>500 Inaceptable
M2 HIC 36	2922	500	>500 Inaceptable

El criterio de proceder de la cabeza como podemos observar en la tabla 3.2 de la simulación de impacto frontal dinámico sin cinturón de seguridad, para los dos casos de los maniqués M1 y M2 los valores de HIC son superiores a los 500, esto nos muestra que las lesiones son muy graves en los pasajeros incluso pueden causar la muerte por el fuerte impacto y desprendimiento.

3.3 Criterio de lesiones del tórax, sin cinturón de seguridad.

3.3.1 Maniquí M1.

En la simulación de impacto frontal con maniquí sin cinturón de seguridad, en comportamiento de criterio del tórax del maniquí M1 el valor es de 53.03g como muestra figura 3.3, dicho valor supera el establecido en el reglamento R80.

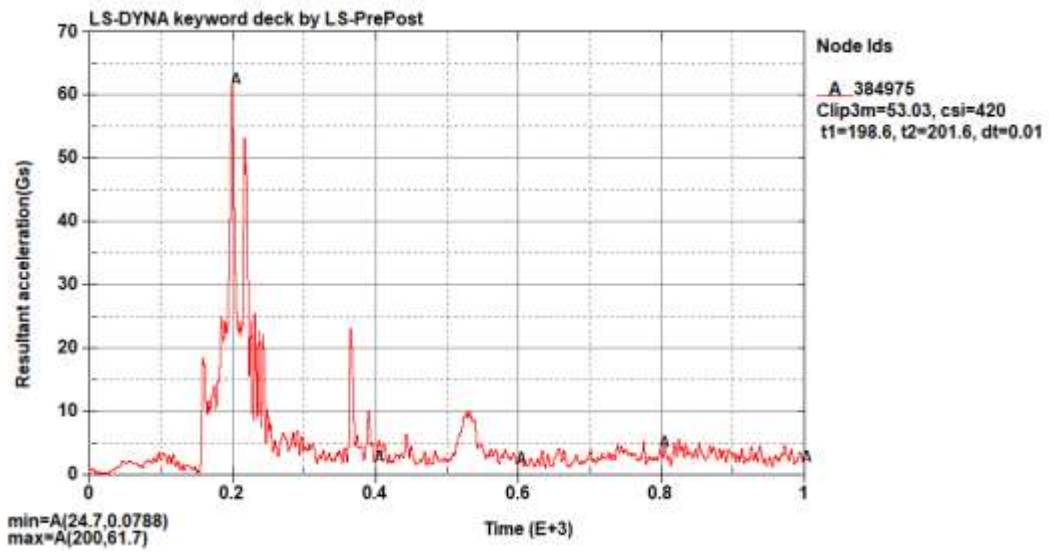


Figura 3.3 Criterio de lesión de tórax M1, sin cinturón de seguridad.

En la figura 3.4, se observa el valor de criterio del tórax del maniquí M2, el cual tiene un valor es de 58.58 superando el valor según el reglamento R80, lo que nos indica que los ocupantes tendrán lesiones graves.

3.3.2 Maniquí M2.

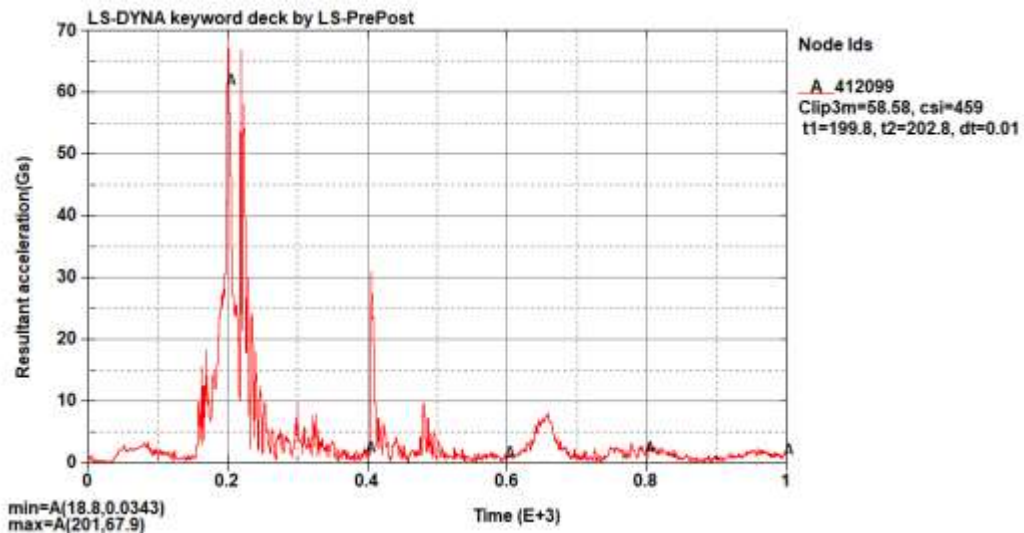


Figura 3.4 Criterio de lesión de tórax M2, sin cinturón de seguridad.

Tabla 3.3 Valores del criterio de comportamiento del tórax sin cinturón de seguridad.

Condición de análisis	Resultado de simulación	Valores aceptables CEPE R80	Descripción
CAT M1	53.03 g	30 g	>30 Inaceptable
CAT M2	58.58 g	30 g	>30 Inaceptable

En los criterios de comportamiento del tórax en simulación de impacto frontal con maniquís sin cinturón de seguridad. Para los dos casos de los maniquís M1 y M2 como indican en la tabla 3.3, superan los 30 g, lo que indica que las lesiones graves de los ocupantes.

3.4 Criterio de lesiones del fémur sin cinturón de seguridad.

3.4.1 Maniquí M1.

3.4.2 Fémur izquierdo.

La figura 3.5, se observa el resultado de criterios de aceptabilidad de lesión del fémur izquierdo del maniquí M1, siendo su valor 10.5 kN dicho valor es muy cercano al establecido en el reglamento R80, el cual nos indica que los ocupantes tendrán lesiones leves.

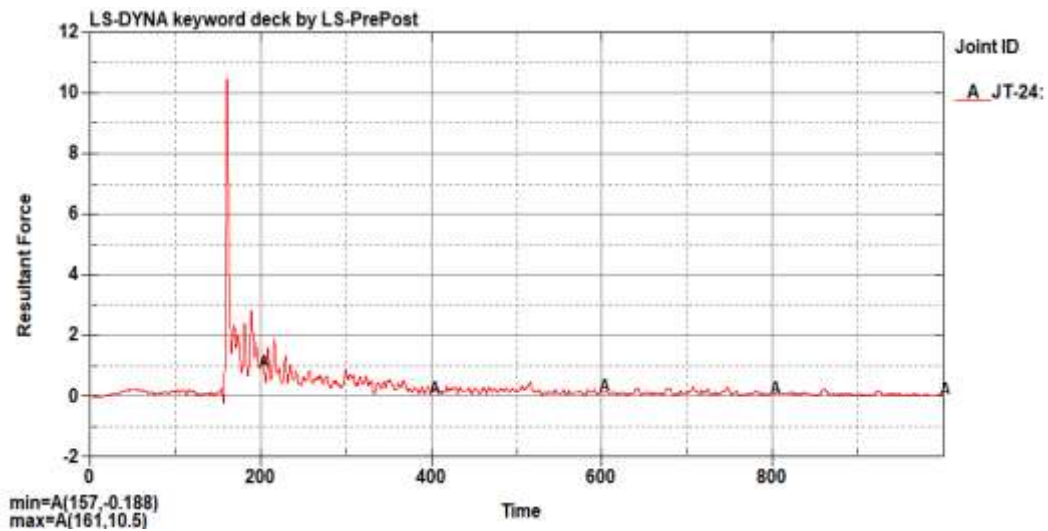


Figura 3.5 Criterio de lesión de fémur izquierdo M1, sin cinturón de seguridad.

3.4.3 Fémur derecho.

En la figura 3.6, se muestra el resultado de criterio de aceptabilidad del fémur derecho del maniquí M1, sin cinturón de seguridad el valor es de 12 kN superando el valor del

reglamento R80 que es de 10 kN, lo cual nos indica que los ocupantes tendrán lesiones considerables en el fémur derecho.

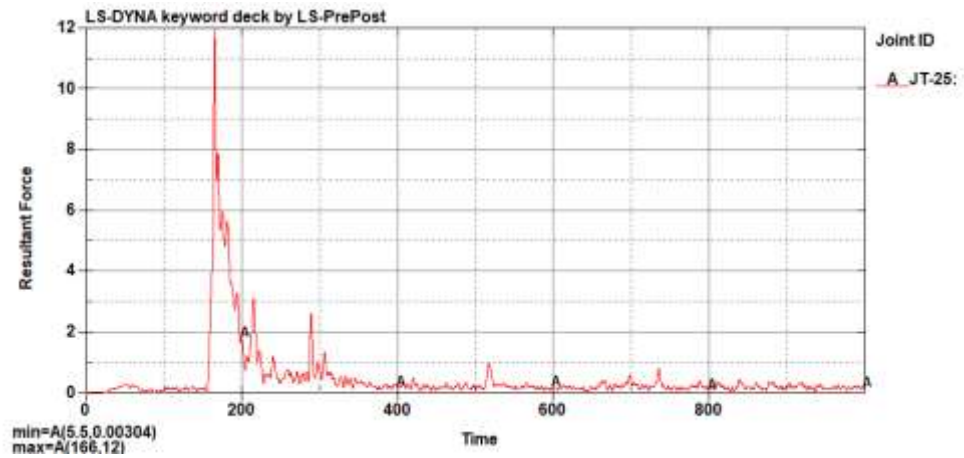


Figura 3.6 Criterio de lesión de fémur derecho M1, sin cinturón de seguridad.

3.4.4 Maniquí M2.

3.4.5 Fémur izquierdo.

En la figura 3.7, se observa el resultado de criterios de aceptabilidad de lesión del fémur izquierdo del maniquí M2, siendo su valor 10.6 kN dicho valor es muy cercano al establecido en el reglamento R80, el cual nos indica que los ocupantes tendrán lesiones leves.

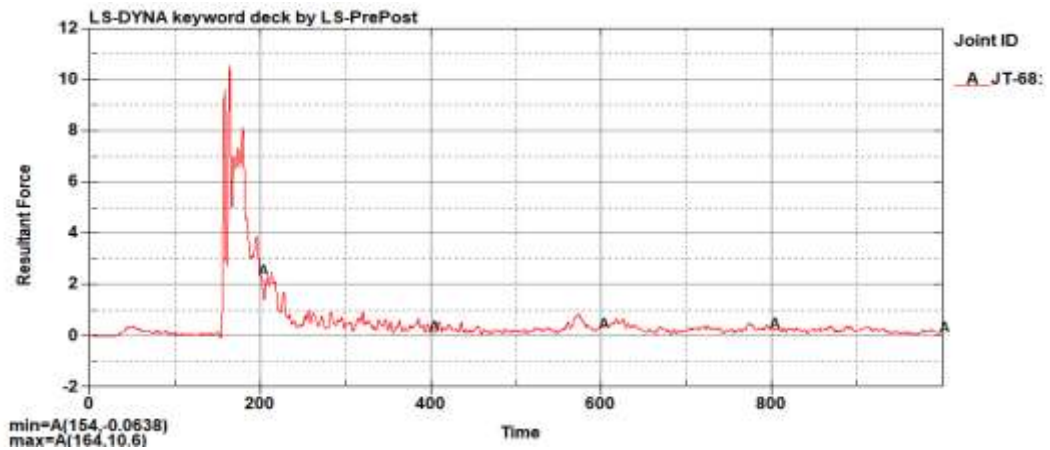


Figura 3.7 Criterio de lesión de fémur izquierdo M2, sin cinturón de seguridad..

3.4.6 Fémur derecho.

En la figura 3.8, se muestra el resultado de criterio de aceptabilidad del fémur derecho del maniquí M2, sin cinturón de seguridad, el valor es de 8 kN y se encuentra dentro del rango establecido del reglamento R80.

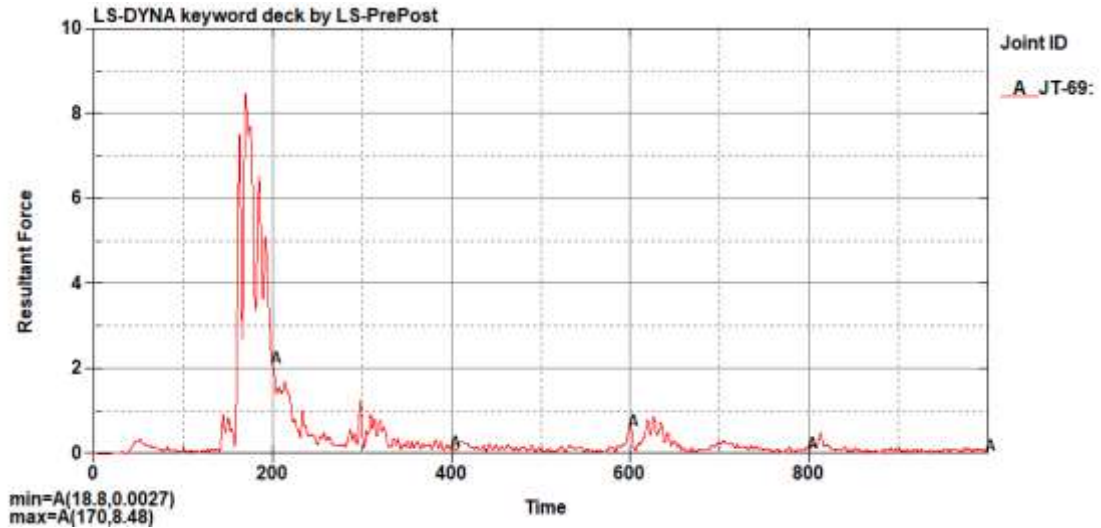


Figura 3.8 Criterio de lesión de fémur derecho M2, sin cinturón de seguridad.

Tabla 3.4 Valores del criterio de comportamiento del fémur sin cinturón de seguridad.

Condición de análisis	Resultado de simulación	Valores aceptables CEPE R80	Descripción
CAF M1 izquierdo	10.5 kN	10 kN	>10 kN Inaceptable
CAF M1 derecho	12 kN	10 kN	>10 kN Inaceptable
CAF M1 izquierdo	10.6 kN	10 kN	>10 kN Inaceptable
CAF M1 derecho	8.48 kN	10 kN	< 10 kN Aceptable

En el criterio de comportamiento del fémur observado en la simulación de impacto frontal dinámico, con los maniqués sin cinturón. En el maniquí M1 el fémur izquierdo y fémur derecho como nos indica en la tabla 3.4, supera el valor de los 10 kN lo que indica lesiones graves en los ocupantes. Mientras en el maniquí M2 en el fémur izquierdo el valor supera los 10 kN. Mientras que el fémur derecho el valor es inferior a los 10 kN, encontrando dentro del rango de aceptabilidad del reglamento R80.

3.4.7 Verificación de la energía de Hourglass.

Como podemos observar en la figura 3.9, la energía Hourglass, es un valor muy cercano a cero y no supera el 10 % de la energía interna lo que nos indica una simulación y resultados muy exactos.

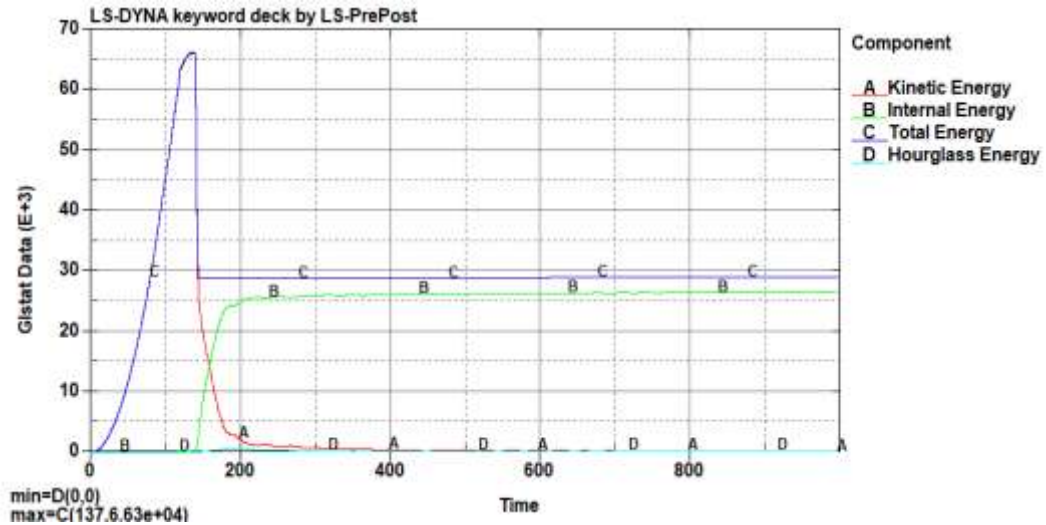











Figura 3.9 Verificación de la energía Hourglass.

3.4.8 SIMULACIÓN DE LA SECCIÓN DEL AUTOBÚS CON MANIQUÍ CON CINTURÓN DE SEGURIDAD DE DOS PUNTOS.

3.4.9 Secuencia de imágenes de simulación con cinturón de seguridad de dos puntos.

En la tabla 3.5, se describe los resultados obtenidos de la secuencia del comportamiento del movimiento de los maniqués con sintieron de seguridad de dos puntos, donde detalla la norma aplicada, parámetro de simulación, el tiempo de impacto y capturas del ensayo a distintos tiempos, dónde se puede apreciar en qué momento existe el contacto de los asientos del bus con el maniquí.

Tabla 3.5 Secuencia que muestra el comportamiento del movimiento de los maniqués con cinturón de seguridad de dos puntos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ensayo de impacto frontal N°:	2	Muestra de:	Sección de la superestructura del bus interprovincial según la normativa NTE INEN 1668
Norma Aplicada:	Reglamento UNECE/CEPE R80	Tiempo de Procesamiento:	8 horas 10 minutos
Parámetro de simulación:	Pulso de aceleración	Tiempo de impacto:	1000 milisegundos
RESULTADOS DEL ENSAYO			
 Tiempo 0ms	 Tiempo 170ms	 Tiempo 185ms	
 Tiempo 210ms	 Tiempo 245ms	 Tiempo 325ms	
 Tiempo 385ms	 Tiempo 590ms	 Tiempo 805ms	

La secuencia de imágenes de la sección de la superestructura seleccionada para los maniqués estos respectivamente con cinturón de seguridad de dos puntos. En el tiempo de 170ms podemos observar que los maniqués M1 y M2, tiene un ligero desprendimiento hacia adelante siendo favorable la colocación de cinturón de dos puntos, mientras que desde los 18 a los 245ms, se observa el mayor impacto conjuntamente choca la cabeza las rodillas con el asiento del frente observando el comportamiento del cuerpo se junta entre sí, mientras que desde los 325ms se puede observar y analizar que la colocación del cinturón de dos puntos es muy favorable ya que el dummy es retenido por el cinturón conjuntamente al asiento, que esta sujetado a la carrocería del autobús.

3.5 Criterios de lesiones de la cabeza con cinturón de seguridad dos puntos.

3.5.1 Maniqué M1.

En la figura 3.10 se ilustra el resultado de la simulación del maniqué M1 con cinturón de seguridad de dos puntos. en la cual tenemos el valor del HIC 1191, superando el valor establecido por el Reglamento R80, el valor debe ser menor a 500.

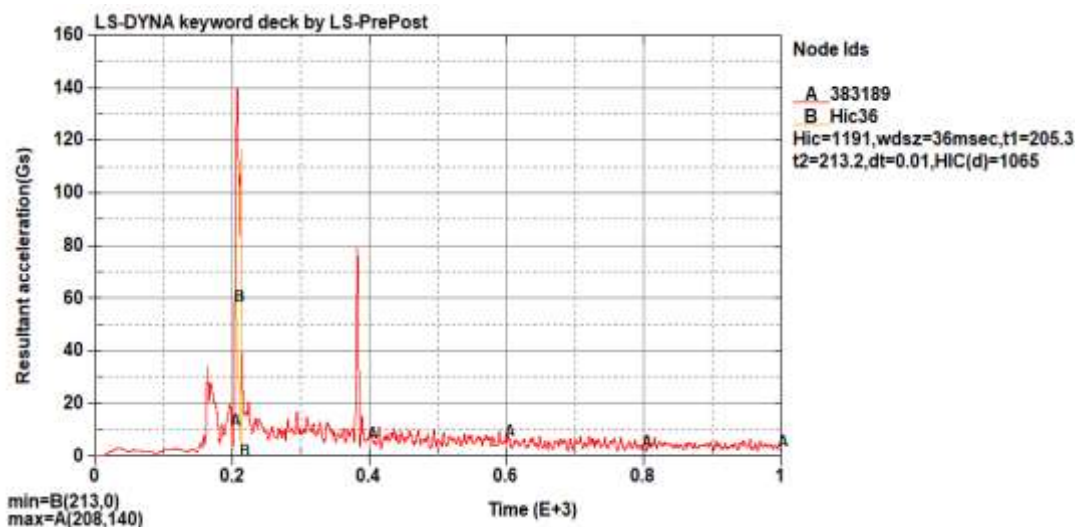


Figura 3.10 Criterio de lesión de la cabeza M1, con cinturón de seguridad de dos puntos.

3.5.2 Maniqué M2.

La figura 3.11, nos muestra el resultado de la simulación del maniqué M2 con cinturón de seguridad de dos puntos, el valor es de 347 dicho valor es inferior a 500 como establece el Reglamento R80, siendo muy favorable la colocación del cinturón de seguridad de dos puntos ya que este no le permite salir desprendido como el caso que no se utilizó el cinturón de seguridad.

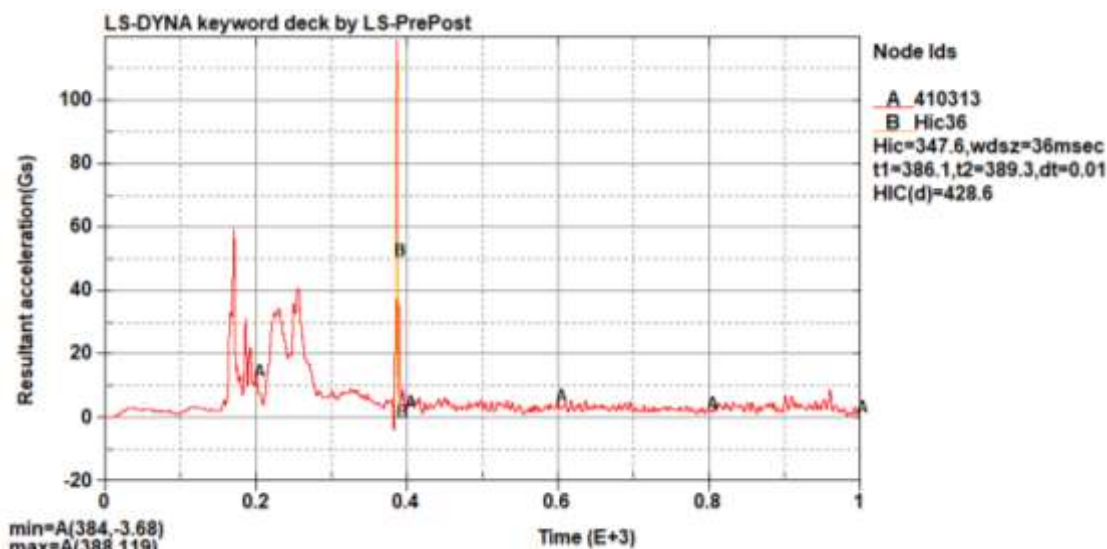


Figura 3.11 Criterio de lesión de la cabeza M2, con cinturón de seguridad de dos puntos.

Tabla 3.6 Valores del criterio de comportamiento de la cabeza HIC con cinturón de seguridad de dos puntos.

Condición de análisis	Resultado de simulación	Valores aceptables CEPE R80	Descripción
M1 HIC 36	1191	500	>500 Inaceptable
M2 HIC 36	347.6	500	>500 Aceptable

El criterio de comportamiento de la cabeza como se observa en la simulación de impacto frontal dinámico, para el caso de los maniqués M1, como se muestra en la tabla 3.6, los valores de HIC superan los valores de HIC que son 500 según el rango del reglamento CEPE R80, excepto el maniqué M2 el cual su valor es inferior a los 500, dándonos así un buen resultado la incorporación del cinturón de seguridad.

3.6 Criterio de lesiones del tórax con cinturón de seguridad de dos puntos.

3.6.1 Maniqué M1.

En la figura 3.12 podemos observar el resultado de la simulación del maniqué M1 con cinturón de dos puntos, siendo 48.2g, la cual no cumple con lo establecido en el reglamento R80 que establece deber ser menor a los 30g.

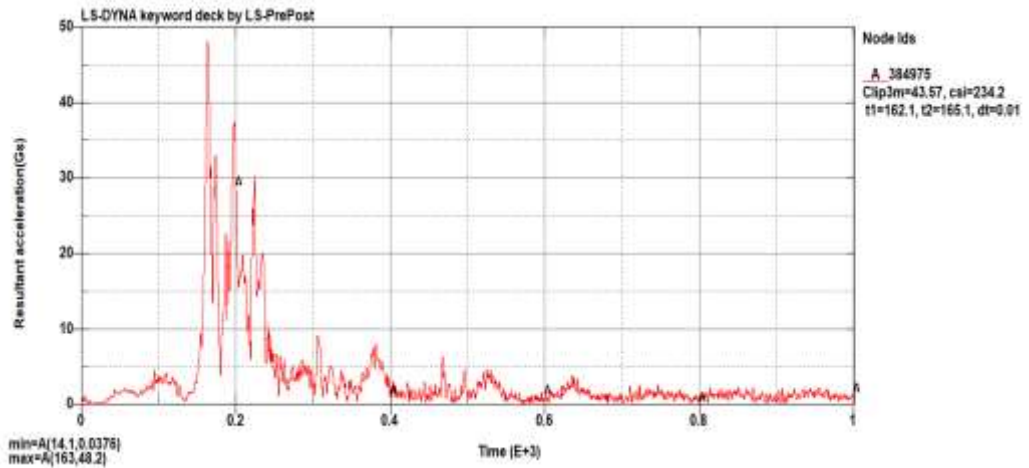


Figura 3.12 Criterio de lesión de tórax M1, con cinturón de seguridad de dos puntos.

3.6.2 Maniquí M2.

En la figura 3.13 podemos observar el resultado de la simulación del maniquí M2 con cinturón de dos puntos, siendo 67.4g, la cual no cumple con lo establecido en el reglamento R80 que establece que debe ser menor a los 30g.

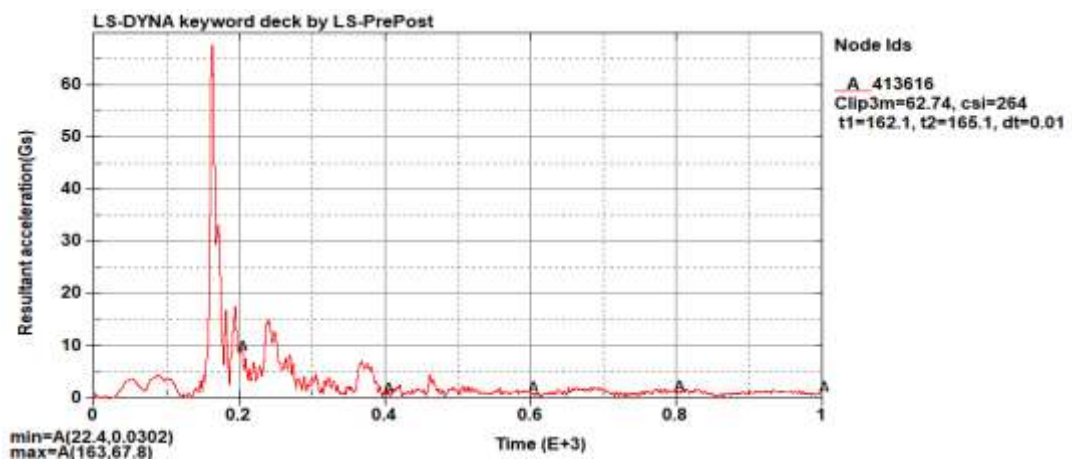


Figura 3.13 Criterio de lesión de tórax M2, con cinturón de seguridad de dos puntos.

Tabla 3.7 Valores del criterio de comportamiento de del tórax con cinturón de seguridad de dos puntos.

Condición de análisis	Resultado de simulación	Valores aceptables CEPE R80	Descripción
CAT M1	43.57 g	30 g	>30 Inaceptable
CAT M2	6.74 g	30 g	>30 Inaceptable

El criterio de comportamiento del tórax como se observa en la simulación de impacto frontal dinámico, con maniquís con cinturón de dos puntos, en los dos casos M1 y M2

como se observa en la tabla 3.7, superan el valor de 30 g. esto nos indica que los ocupantes tendrán lesiones considerables.

3.7 Criterio de lesiones del fémur con cinturón de seguridad de dos puntos.

3.7.1 Maniquí M1.

3.7.2 Fémur Izquierdo.

En la figura 3.14 nos muestra el valor de 10.5 kN correspondiente al criterio de evaluación del fémur izquierdo del maniquí M1 con cinturón de seguridad de dos puntos, el valor se encuentra muy cercano a lo dispuesto por el reglamento R80, que debe ser inferior a 10 kN.

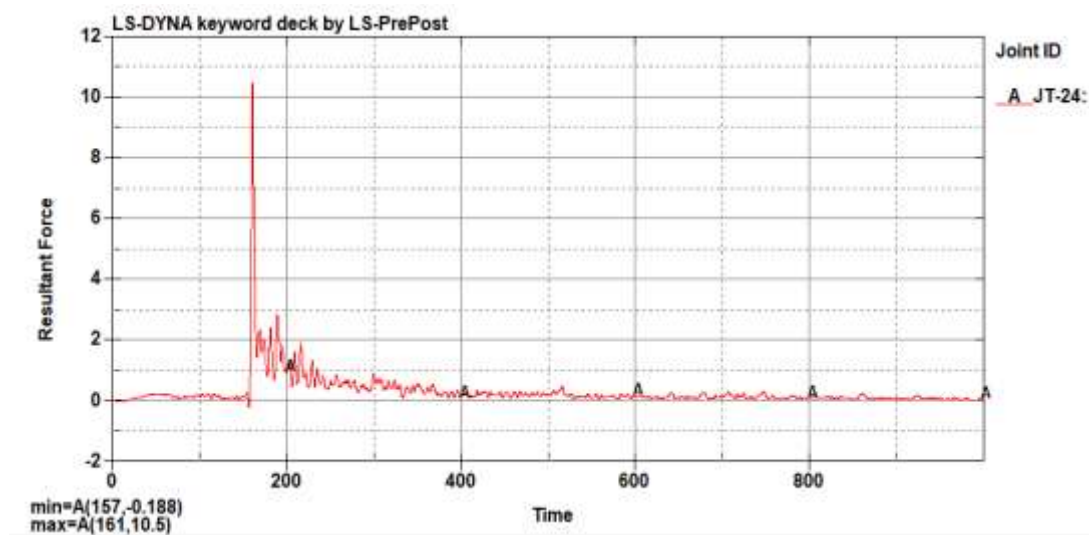


Figura 3.14 Criterio de lesión de fémur izquierdo M1, con cinturón de seguridad de dos puntos.

3.7.3 Fémur derecho.

En la figura 3.15, se observa el resultado del fémur derecho de la simulación del maniquí M1 con cinturón de seguridad de dos puntos. El valor es 9.62 kN siendo muy favorable ya que el reglamento R80 nos indica que el valor de aceptabilidad del fémur debe ser inferior a los 10 kN.

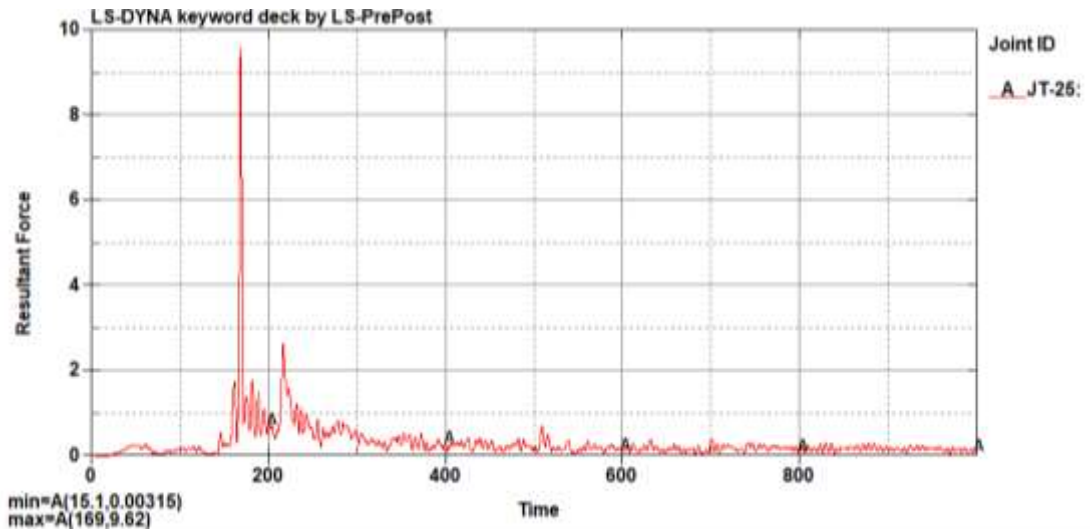


Figura 3.15 Criterio de lesión de fémur derecho M1, con cinturón de seguridad de dos puntos.

3.7.4 Maniquí M2.

3.7.5 Fémur izquierdo.

El valor del criterio de accesibilidad del maniquí M2 del fémur izquierdo con la colocación de cinturón de dos puntos corresponde a 2.94 kN ver figura 3.16. Dicho valor nos demuestra excelentes resultados la colocación del cinturón de dos puntos ya que el reglamento R80 establece que el valor debe ser inferior a los 10 kN.

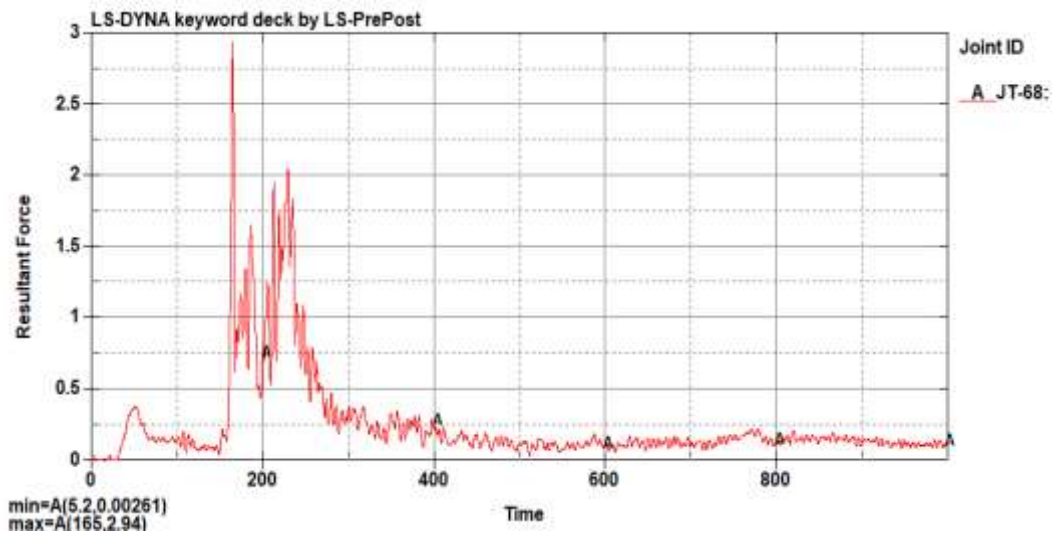


Figura 3.16 Criterio de lesión de fémur izquierdo M2, con cinturón de seguridad de dos puntos.

3.7.6 Fémur derecho.

El valor del criterio de lesión del fémur derecho del maniquí M2 con cinturón de dos puntos es igual a 2.98 como se muestra en la figura 3.17. El reglamento R80 indica

que el valor de aceptabilidad del fémur debe ser inferior a 10 kN, dándonos excelentes resultados la colocación de cinturón de dos puntos a comparación con el estudio realizado que no se utilizó cinturón de seguridad ver tabla 3.4.

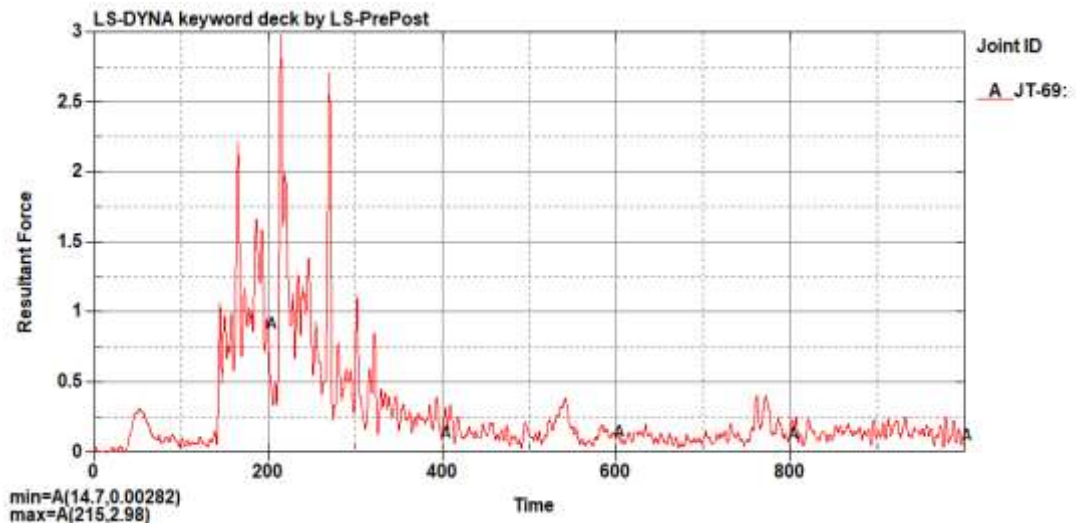


Figura 3.17 Criterio de lesión de fémur derecho M2, con cinturón de seguridad de dos puntos.

Tabla 3.8 Valores del criterio de comportamiento del fémur con cinturón de seguridad de dos puntos.

Condición de análisis	Resultado de simulación	Valores aceptables CEPE R80	Descripción
CAF M1 izquierdo	10.5 kN	10 kN	>10 kN Inaceptable
CAF M1 derecho	9.62 kN	10 kN	<10 kN Aceptable
CAF M1 izquierdo	2.94 kN	10 kN	<10 kN Aceptable
CAF M1 derecho	2.98 kN	10 kN	< 10 kN Aceptable

El criterio de comportamiento del fémur en la simulación de impacto frontal dinámico, con los maniqués con cinturón de seguridad de dos puntos, el maniqué M1, fémur izquierdo supera el valor de los 10 kN, mientras que el fémur derecho el caso del maniqué M2 puede ser apreciar que los valores son inferiores a 10 kN es decir se encuentra en el rango de reglamento CEPE R80, indicándonos resultados positivos la colocación del cinturón de seguridad de dos puntos. como ilustra en la tabla 3.8.

3.7.7 Verificación de la energía de hourglass.

De igual manera en este caso de simulación de maniqué con cinturón de dos puntos, verificamos la energía de Hourglass como podemos observar en la figura 3.18, la

energía de Hourglass tiende a cero y no supera el 10 % de la energía interna siendo válida la simulación.

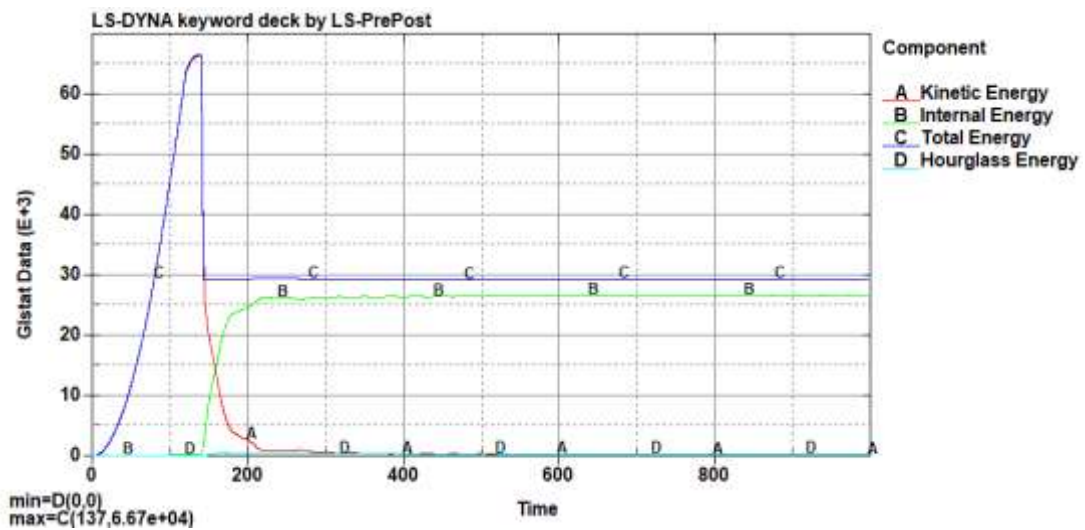


Figura 3.18 Verificación de la energía de Hourglass, con situaron de seguridad de dos puntos.

3.7.8 SIMULACIÓN DE LA SECCIÓN DEL AUTOBÚS CON MANIQUÍ CON CINTURÓN DE SEGURIDAD DE TRES PUNTOS.










3.7.9 Secuencia de imágenes de simulación con cinturón de seguridad de tres puntos

En la tabla 3.9, se describe los resultados obtenidos de la secuencia del comportamiento del movimiento de los maniqués, con cinturón de seguridad de tres, donde detalla la norma aplicada, parámetro de simulación, el tiempo de impacto y capturas del ensayo a distintos tiempos, dónde se puede apreciar en qué momento existe el contacto de los asientos del bus con el maniquí.

Tabla 3.9 Secuencia que muestra el comportamiento del movimiento de los maniqués con cinturón de seguridad de tres puntos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ensayo de impacto frontal N°:	3	Muestra de:	Sección de la superestructura del bus interprovincial según la normativa NTE INEN 1668
Norma Aplicada:	Reglamento UNECE/CE PE R80	Tiempo de Procesamiento:	7 horas 40 minutos
Parámetro de simulación :	Pulso de aceleración	Tiempo de impacto:	1000 milisegundos

RESULTADOS DEL ENSAYO

 Tiempo 0ms	 Tiempo 170ms	 Tiempo 185ms
 Tiempo 210ms	 Tiempo 245ms	 Tiempo 325ms
 Tiempo 380ms	 Tiempo 590ms	 Tiempo 805ms

La secuencia de imágenes de choque frontal dinámico con cinturón de tres puntos. Como se observa en el tiempo de 170 ms el maniquí M1 y M2 son retenidos exitosamente a comparación del que no utilizó cinturón de seguridad ver tabla 3.1. Mientras que a los 185ms en el maniquí M1 y M2 las rodillas son movidas de su puesto de origen, a los 210ms se puede observar que el maniquí M1 recibe mayor energía de impacto golpeando ligeramente con el asiento delantero a comparación con el maniquí M2, mientras que a partir de los 325ms se puede observar que los maniquís son retenidos exitosamente, obteniendo resultados positivos la colocación de cinturón de tres puntos, como se ilustra a los 380 ms como a los 805ms los maniquís son retenidos junto al asiento impidiendo que salgan expulsados.

3.8 Criterios de lesiones de la cabeza, con cinturón de seguridad tres puntos.

3.8.1 Maniquí M1.

En la figura 3.19, se ilustra el valor de lesión de la cabeza, de la simulación del maniquí M1, con Cintrón de seguridad de tres puntos el cual supera el valor establecido por el reglamento R80.

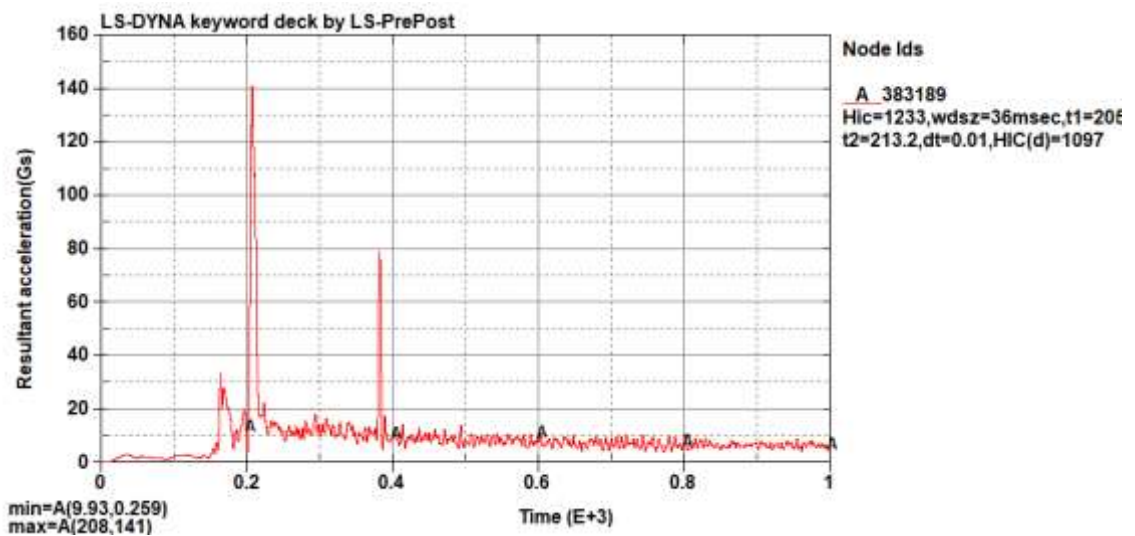


Figura 3.19 Criterio de lesión de la cabeza M1, con cinturón de seguridad de tres puntos.

3.8.2 Maniquí M2.

En la figura 3.20, se muestra el valor 344.3 correspondiente al criterio de aceptabilidad de la cabeza del maniquí M2, con cinturón de seguridad de tres puntos siendo el resultado positivo ya que cumple con el Reglamento R80, en donde el valor debe ser menor que 500.

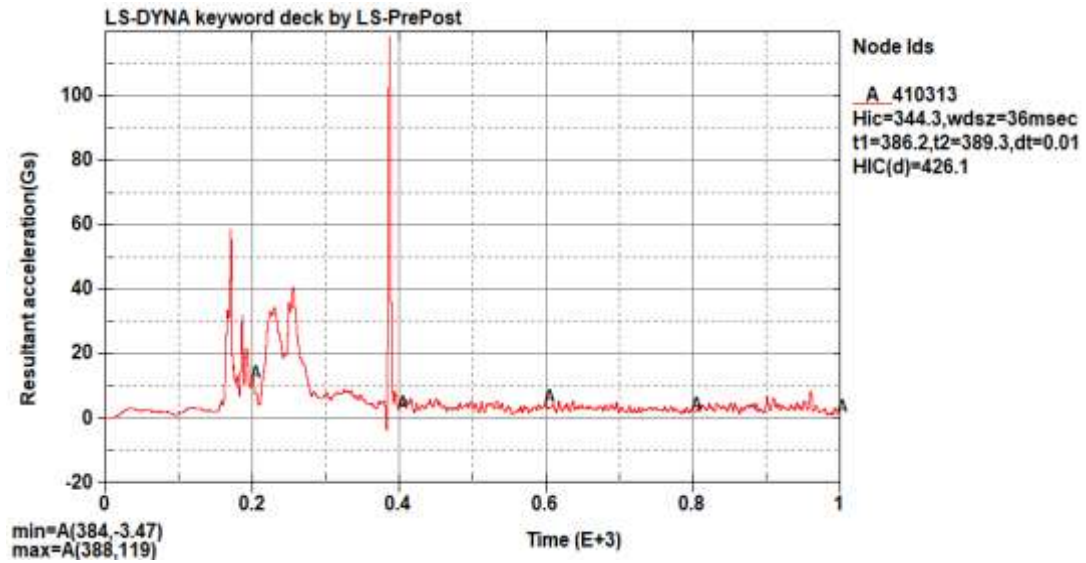


Figura 3.20 Criterio de lesión de la cabeza M2, con cinturón de seguridad de tres puntos.

Tabla 3.10 Valores del criterio de comportamiento de la cabeza HIC, con cinturón de seguridad de tres puntos.

Condición de análisis	Resultado de simulación	Valores aceptables CEPE R80	Descripción
M1 HIC 36	1233	500	>500 Inaceptable
M2 HIC 36	344.3	500	<500 Aceptable

En el criterio de comportamiento de simulación de impacto frontal dinámico, del maniquí con cinturón de tres puntos, los valores de HIC como se observa en la en la tabla 3.10 para el maniquí M1 supera el valor de 500 indicándonos que tendrá lesiones considerables los ocupantes que se encuentren más cerca a la cabina del conductor, mientras que en el maniquí M1 el valor de HIC es inferior a 500, esto nos indica que está dentro del reglamento CEPE R80.

3.9 Criterio de lesiones del tórax con cinturón de seguridad de tres puntos.

3.9.1 Maniquí M1.

En la figura 3.21, se observa el valor de criterio de aceptabilidad del tórax del maniquí M1, con cinturón de seguridad de tres puntos, el cual supera el valor dado por el reglamento R80.

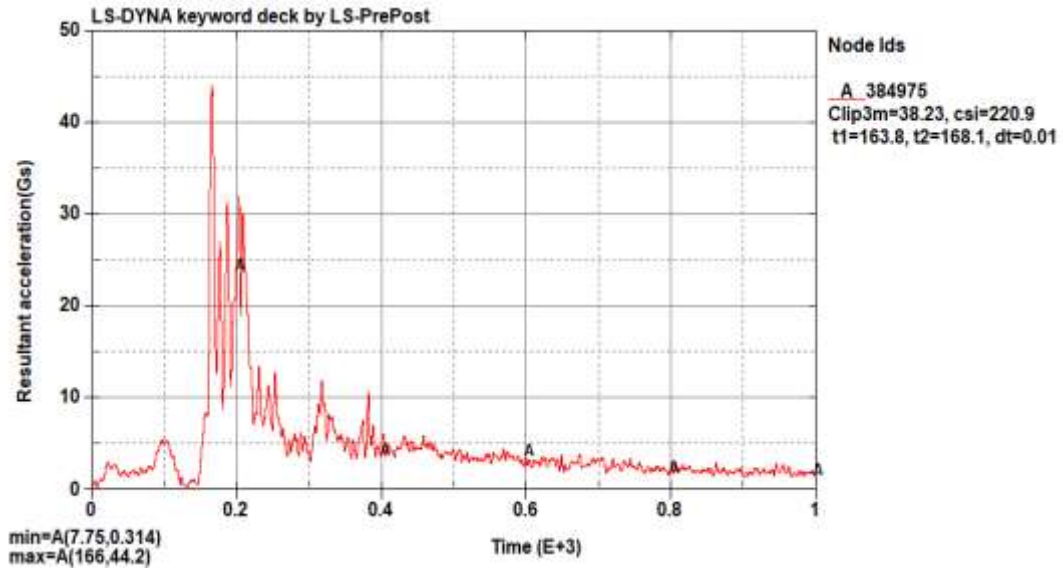


Figura 3.21 Criterio de lesión de tórax M1, con cinturón de seguridad de tres puntos.

3.9.2 Maniquí M2.

En la figura 3.22, se observa el valor de criterio de aceptabilidad del tórax del maniquí M2, con cinturón de seguridad de tres puntos, el cual supera el valor dado por el reglamento R80.

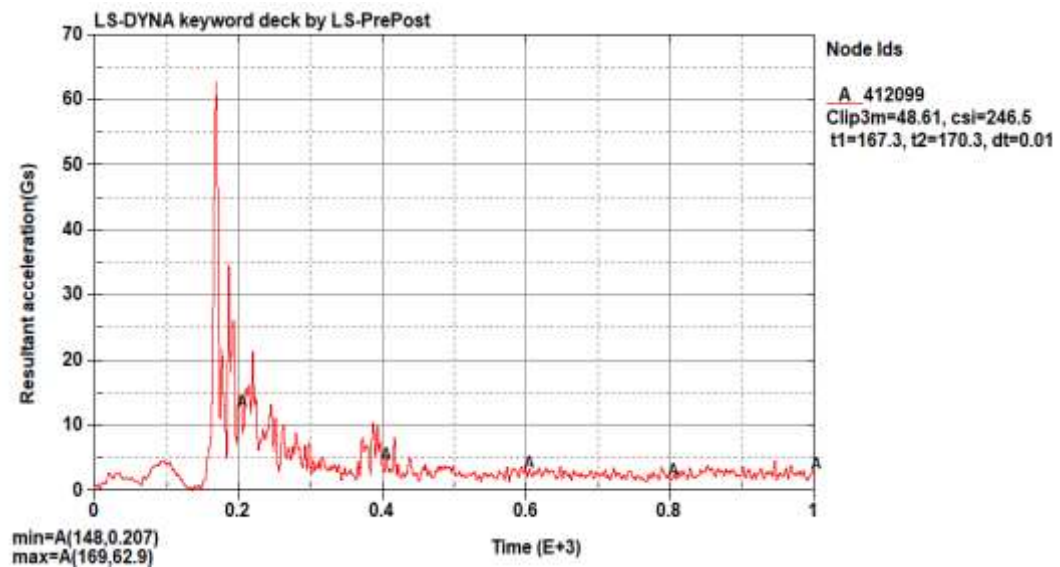


Figura 3.22 Criterio de lesión de tórax M2, con cinturón de seguridad de tres puntos.

Tabla 3.11. Valores del criterio de comportamiento del tórax con cinturón de seguridad de tres puntos.

Condición de análisis	Resultado de simulación	Valores aceptables CEPE R80	Descripción
CAT M1	38.23 g	30 g	>30 Inaceptable
CAT M2	48.61 g	30 g	>30 Inaceptable

El criterio de comportamiento del tórax como se observa en la simulación de impacto frontal dinámico, con maniquís con cinturón de tres puntos, en los dos casos M1 y M2 como se observa en la tabla 3.11 superan el valor de 30 g. esto nos indica que los ocupantes tendrán lesiones considerables ya que están muy cercanos a lo establecido en el reglamento.

3.10 Criterio de lesiones del fémur con cinturón de seguridad de tres puntos.

3.10.1 Maniquí M1.

3.10.2 Fémur izquierdo.

En la figura 3.23, se muestra el valor de 9.92 kN correspondiente al criterio de aceptabilidad del fémur izquierdo del maniquí M1 con cinturón de seguridad de tres puntos, el valor se encuentra dentro del rango de aceptabilidad del Reglamento R80, el cual indica que debe ser menor a los 10 kN.

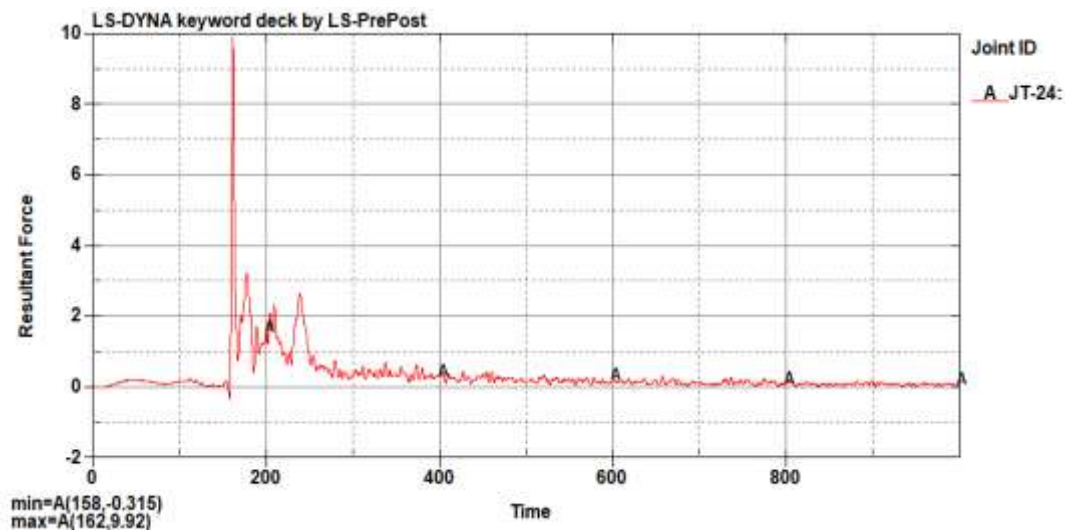


Figura 3.23 Criterio de lesión de fémur izquierdo M1, con cinturón de seguridad de tres puntos.

3.10.3 Fémur derecho.

En la figura 3.24, se observa el valor de 3.08 kN correspondiente al criterio de aceptabilidad del fémur derecho del maniquí M1.

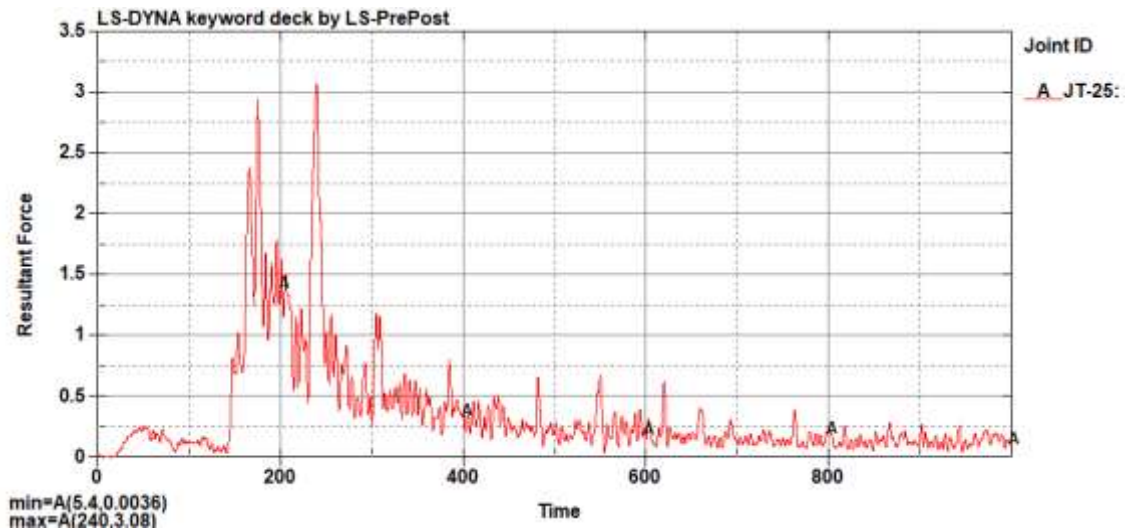


Figura 3.24 Criterio de lesión de fémur derecho M1, con cinturón de seguridad de tres puntos.

3.10.4 Maniquí M2.

3.10.5 Fémur izquierdo.

Como se observa en la figura 3.25, de la simulación del fémur izquierdo del maniquí M2 con cinturón de seguridad de tres puntos tiene un valor de 6.48 kN.

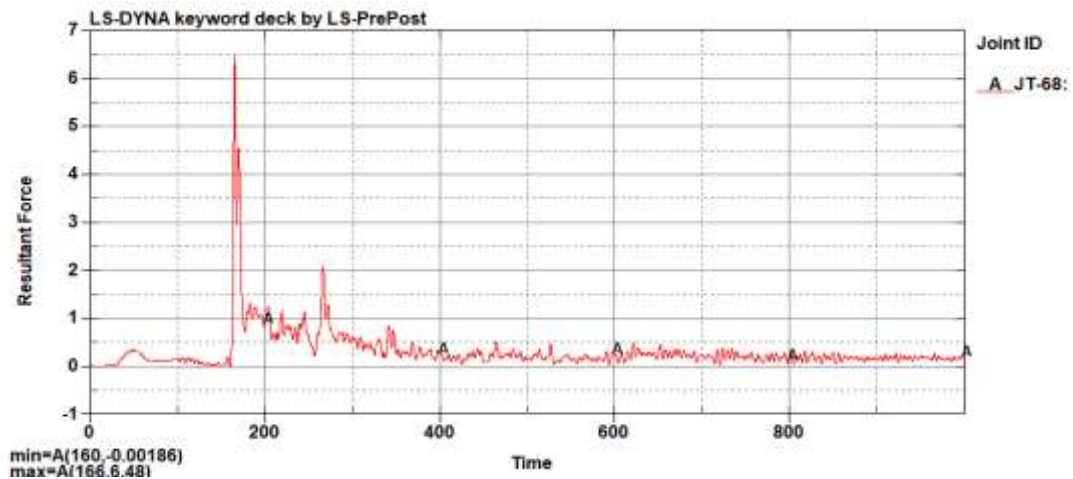


Figura 3.25 Criterio de lesión de fémur izquierdo M2, con cinturón de seguridad de tres puntos.

3.10.6 Fémur derecho.

Como se observa en la figura 3.26, de la simulación del fémur derecho del maniquí M2 con cinturón de seguridad de tres puntos tiene un valor de 2.29 kN.

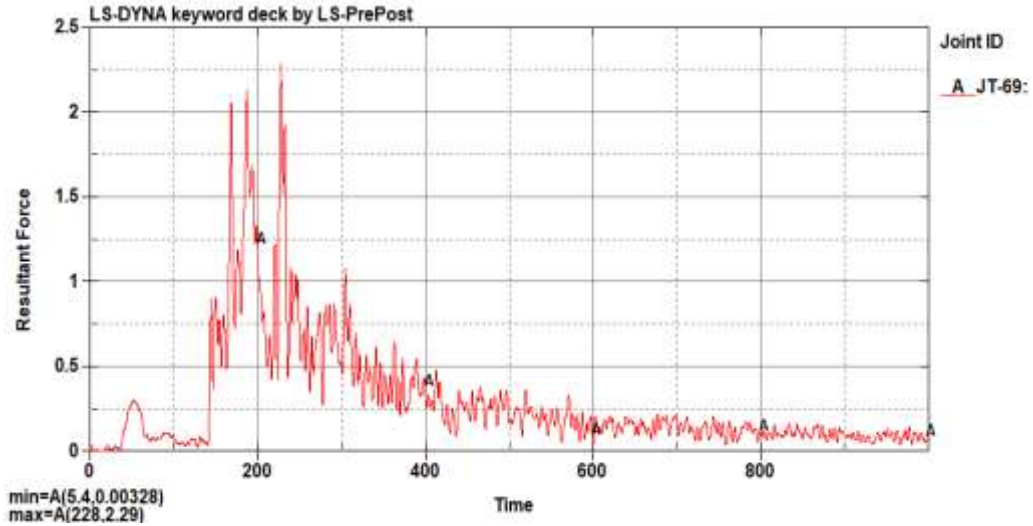


Figura 3.26 Criterio de lesión de fémur derecho M2, con cinturón de seguridad de tres puntos.

Tabla 3.12 Valores del criterio de comportamiento del fémur con cinturón de seguridad de tres puntos.

Condición de análisis	Resultado de simulación	Valores aceptables CEPE R80	Descripción
CAF M1 izquierdo	9.92 kN	10 kN	<10 kN Aceptable
CAF M1 derecho	3.08 kN	10 kN	<10 kN Aceptable
CAF M1 izquierdo	6.48 kN	10 kN	<10 kN Aceptable
CAF M1 derecho	2.29 kN	10 kN	< 10 kN Aceptable

El criterio de comportamiento del fémur en la simulación de impacto frontal dinámico, con los maniqués con cinturón de seguridad de tres puntos, siendo valores muy similares con el estudio de cinturón de seguridad de dos puntos como muestra en la tabla 3.8. En el caso del maniquí M1 y M2 los valores que podemos observar en la tabla 3.12, es inferiores a 10 kN es decir se encuentra en el rango del reglamento CEPE R80, indicándonos resultados positivos a la colocación del cinturón de seguridad de tres puntos.

3.11 Verificación de la energía de Hourglass..

Igualmente procedemos a la verificación de la energía de Hourglass en la simulación con maniquí con cinturón de seguridad de tres puntos, como podemos ver en la figura

3.22, la energía de Hourglass tiende a cero y no superara el 10% de la energía interna por lo que nos indica que la simulación es correcta.

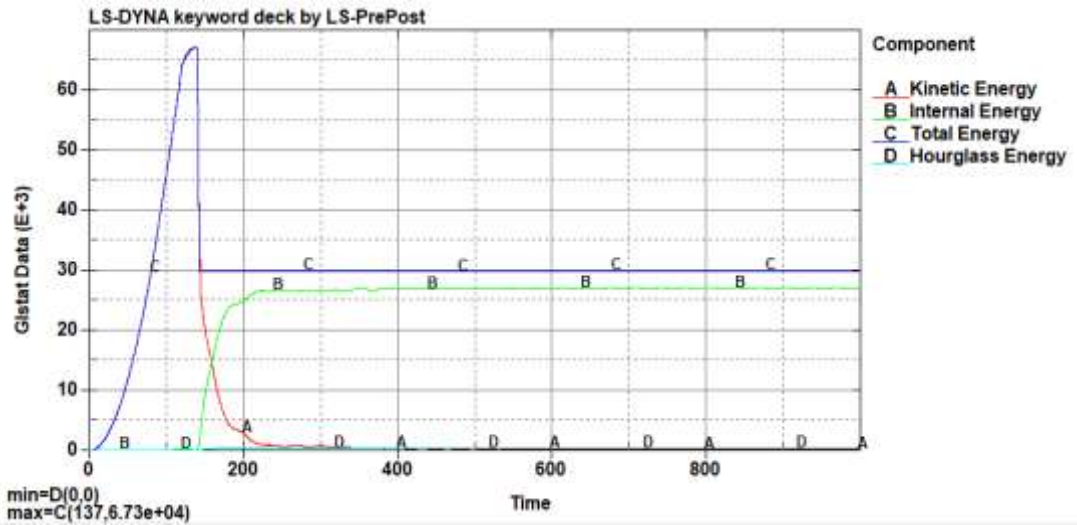


Figura 3.27 Verificación de la energía de Hourglass, con situaron de seguridad de tres puntos.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Con los estudios realizados en las simulaciones se visualizó que los maniqués sin cinturón de seguridad M1 y M2, saldrán desprendidos de sus asientos, esto nos demuestra lo que sucede en un choque frontal. Las simulaciones que se realizaron con cinturón de seguridad de dos y tres puntos impiden, definitivamente que los pasajeros salgan expulsados. El criterio de aceptabilidad del cabeza observado en los tres casos, como se ve en los maniqués supera el límite recomendado por el reglamento CEPE R80, salvo en el caso que se utilizó cinturón de tres puntos en el maniqué M2, se encuentra dentro del rango de aceptabilidad, por lo que nos indican que tendrán lesiones graves los ocupantes, a causa del impacto con el asiento de adelante para después ser desprendidos.
- Los resultados de aceptabilidad del tórax en el caso sin cinturón de seguridad como el caso en el que se colocó cinturón de seguridad de dos y tres puntos, supera los valores de aceptabilidad del reglamento CEPE R80, esto se debe a que se desprenden una parte de los asientos que está unida a la estructura del bus, la cual hace que el tórax se golpee con el asiento delantero. Los resultados del análisis de aceptabilidad del fémur en el estudio sin cinturón de seguridad del maniqué M1 y M2, superan el valor de aceptabilidad del fémur izquierdo como derecho del Reglamento R80, salvo en el caso del maniqué M2 fémur derecho, mientras tanto que en el caso que se utilizó cinturón de seguridad de dos puntos el maniqué M1, el fémur izquierdo supera el valor de aceptabilidad del reglamento R80, mientras en el fémur derecho del maniqué M1 y M2 son valores favorables, ya que no sobrepasan los valores del reglamento R80. Mientras tanto en los maniqués M1 y M2 que se colocó cinturón de seguridad de 3 puntos los valores de aceptabilidad del fémur izquierdo como derecho se encuentran dentro del rango de aceptabilidad del reglamento R80.
- En general el uso de cinturones de seguridad de dos puntos y tres puntos, nos indica la importancia que brinda a los pasajeros sobre un evento frontal ya que estos son

retenidos sobre los asientos, mientras que al no utilizar cinturón de seguridad se evidencia lesiones muy graves en los pasajeros debió a que estos son expulsados, por lo que se les comendaría usar cinturones de seguridad de dos o tres puntos.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda, verificar que en el modelo CAD no existan interferencias en la estructura que se va a simular. Comprobar que las unidades estén ingresadas correctamente, por otra parte, que el mallado cumpla con el criterio jacobiano. Así también es muy importante verificar la energía de hourglass, que establece que no debe ser mayor que el 10% de la energía interna.
- Se recomienda en futuros estudios, perfeccionar la simulación con respecto a las esponjas de los asientos que se asemejen más a la realidad, así como también el cinturón de seguridad.
- Se recomienda también hacer estudios de simulación incorporando airbags de seguridad en los asientos de los pasajeros, para evaluar el comportamiento de los ocupantes del autobús.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Sharma , S. Sharma, U. Gupta y R. Joshi, «Análisis de elementos finitos y validación de la estructura del asiento del autobús según AIS023: Evaluación de las características de seguridad del asiento del autobús utilizando un maniquí híbrido III,» pp. 1-8, 2015.
- [2] K. Jamroziak, K. Jozzko, W. Wolanski, M. Gzik, M. Burkacki, S. Suchon, A. Szarek y K. Zielonka, «Experimental and modelling research on coach passengers' safety,» 2020.
- [3] CEPE. Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, «Reglamento n.o 80,» Diario Oficial de la Unión Europea, 2019.
- [4] SAE, «SAE International,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.sae.org/search/?qt=lsdyna+>.
- [5] L. Zhigang, G. Hao, Z. Jinhuan y Z. Yonghua, «The necessity of evaluating child neck injury in frontal collision of school bus for transportation safety,» *Safety Science*, vol. 62, pp. 411-449, 2014.
- [6] El Universo, «El Universo,» Al menos cinco fallecidos deja volcamiento de bus en la vía a Baños, 04 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/09/04/nota/5783505/3-muertos-17-heridos-volcarse-bus-banos/>.
- [7] S. Guaranda, «Turnos Cooperativa de Transportes CITA Express,» Salinasde Guaranda , 2 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <http://salinasdebolivar.blogspot.com/2021/12/turnos-cooperativa-de-transportes-cita.html>. [Último acceso: 19 Abril 2022].
- [8] J. J. N. Muñoz., 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, Ecuador- AMBATO: Universidad Técnica de Ambato, 2021.
- [9] A. Crash, «Auto Crash,» entro de Experimentación y Seguridad Vial CESVI COLOMBIA, 3 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.revistaautocrash.com/reparar-sustituir-paneles-autobuses/>. [Último acceso: 19 Abril 2022].
- [10] L. Villafuerte, ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UNA CARROCERÍA AUTOPORTANTE PARA UN BUS INTERPROVINCIAL MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS PARA LA PRODUCCIÓN EN SERIE, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas , 2017.
- [11] L. E. ANDRADE GARCÍA y P. X. MÉNDEZ CANCHIG, ESTUDIO DEL DISEÑO DE UNA CARROCERÍA CON ANÁLISIS DE ESFUERZOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS DE UN AUTOBÚS DE LA MARCA PATRICIO CEPEDA CALIFICADA CON NORMA ISO 9001-2008 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LAS FUERZAS, Ecuador- Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército, 2012.
- [12] C. A. E. MENESES, ANÁLISIS ESTRUCTURAL BASADO EN SIMULACIÓN POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE UNA CARROCERÍA DE BUS INTERPROVINCIAL SOMETIDA A PRUEBA DE

IMPACTO LATERAL PARA DETERMINAR LA GEOMETRÍA Y MATERIALES APLICABLES QUE GARANTICEN LA SEGURIDAD DE LOS PASAJEROS, Ecuador - Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército , 2016.

- [13] C. H. A. Arroba. y . C. H. Arroba Arroba., 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., Ambato Ecuador : Universidad Técnica de Ambato , 2013.
- [14] P. S. Álvarez Castillo, Estudio para el diseño de un dispositivo electrónico anti-volteo aplicado a un prototipo de un modelo de vehículo de transporte público que alerte mediante señales acústicas y luminosas y pueda integrarse al sistema de seguridad activa del vehícul., Quito Ecuador : Universidad Internacional del Ecuador , 2018.
- [15] T. Gomés Morales y J. Navarro, Estructura del Vehiculo, Paraninfo, 2010.
- [16] N. T. E. N. I. 1323:2009, VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES., Quito Ecuador : INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2009.
- [17] J. M. Donaire Sánchez, Comparativa de Modelos de Simulación de vuelcos de Autobuses Según los Procedimientos del Reglamento, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid , 2016.
- [18] C. R. R66, Prescripciones técnicas uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones, Europa : Comisión Económica de las Naciones Unidas , 2005.
- [19] EURONCAP, PROTOCOLO DE EVALUACIÓN – PROTECCIÓN AL OCUPANTE ADULTO, Europa: EURONCAP, 2020.
- [20] S. Rooppakhun, Finite Element Analysis of High-Decker Bus Frontal Impact based on ECE-Regulation No.29, Suranaree University of Technology, 2013.
- [21] C. M. V. Manuel, Simulación Numérica del impacto de butacas de autobús, México: Instituto Politécnico Nacional, 2016.
- [22] C. P. D. Geovanni, Análisis Estructural A Cargas De Impacto Posterior Por Alcance De Un Bus Interprovincial Mediante El Método De Elementos Finitos, Quito Ecuador: Universidad Internacional SEK.
- [23] C. R80, Prescripciones uniformes relativas a la homologación de asientos de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de viajeros y de estos vehículos por lo que respecta a la resistencia de los asientos y de sus anclajes, Europa: Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, 2012.
- [24] L. S. Alcoser Naula, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ANCLAJES DE ASIENTOS DE UN AUTOBÚS INTERPROVINCIAL BAJO CONDICIONES DE IMPACTO FRONTAL Y LATERAL EN LA EMPRESA METÁLICA PILLAPA, Riobamba Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2017.
- [25] V. V. B. Guillermo, Estudio Para Desarrollo de Pruebas Dinamicas Efectuadas a los Asientos para Trasporte Urbano y Suburbano de Pasajeros, Mexico: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad.

- [26] «Alibaba.com,» [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/all-plastic-pp-blow-moulding-seat-for-city-bus-62299600860.html>. [Último acceso: 1 2022].
- [27] «CEPESA.Cepeda Asientos,» [En línea]. Available: <https://www.cepesa.com/>.
- [28] S. E. N. I. 1. Normalización, VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL. REQUISITOS, QUITO Ecuador: INEN, 2015.
- [29] «ZOILORIOSGRUPO,» 26 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.zoilorios.com/noticias/tipos-de-cinturones-de-seguridad-y-sus-usos>. [Último acceso: 11 Enero 2022].
- [30] CEPE, R 16 Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE). Disposiciones uniformes relativas a la homologación de: Cinturones de seguridad, sistemas de retención, sistemas de retención infantil y sistemas de retención infantil. Cinturones de seguridad, EUROPA: CEPE, 2015.
- [31] V. Sandor y T. Soltán, SIMULATIONS OF BUS-SEAT IMPACT TESTS ACCORDING TO ECE REGULATIONS, Hungarian Science and Technology Joint.
- [32] T. Corral , Lopez y A. López , NUEVOS REQUISITOS Y AVANCES EN SEGURIDAD PASIVA EN AUTOBUSES Y AUTOCARES: SITUACIÓN ACTUAL Y NECESIDADES, Madrid- España: Instituto Universitario de Investigación del Automóvil, Universidad Politécnica de Madrid (INSIA-UPM),.
- [33] Maldonado y R. Maldonado Jazzán, . Investigación acerca de los dummies, MEXICO: Universidad de las Americas Puebla, 2004.
- [34] J. A. Molina Cortez, Diseño de una plataforma móvil y un sistema de desaceleración para pruebas de seguridad pasiva, Mexico: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 2017.
- [35] Ansys, «Tecnología de software de livermore,» Ansys LS-DYNA LST, 2011. [En línea]. Available: <https://www.lstc.com/products/models/dummies/ES2>. [Último acceso: 25 1 2022].
- [36] S. Dimitris y N. Tzolas, Posprocesamiento de la prueba de impacto frontal Euro Ncap 2020 en META, ALEMANIA: DYNAMORE GmbH, 2020.
- [37] I. P. D. D, SIMULACIÓN DE UN CHOQUE FRONTAL DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL CONTRA DIFERENTES TIPOS DE BARRERA, Madrid: SIMULACIÓN DE UN CHOQUE FRONTAL DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL CONTRA DIFERENTES TIPOS DE BARRERA, 2009.
- [38] K. Jamroziak, Experimental and modelling research on coach passengers' safety in frontal impacts, Creative Commons Attribution, 2020.
- [39] U. Manual, Harmonized Hybrid III 50th Male 78051-218-h, Copyright, 2017.
- [40] A. D. Remache Gutiérrez, 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, Ecuador : Universidad Técnica de Ambato, 2015.

- [41] M. Moriche Guerrero, «Estudio del Efecto del Cinturón de Seguridad y del Airbag en el Ocupante de un Vehículo en Caso de Colisión,» Universidad Carlos III Madrid, Madrid, 2008.
- [42] F. R. Hernández Sampieri, R. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, «Metodología de la investigación,» McGraw-Hill, 2010.

ANEXOS

Anexo 1. Colisión frontal de autobús con estructura de puente entrada a Baños sector las pampas Tungurahua Ecuador, en cual fallecieron 6 personas expedidas de sus asientos hacia fuera del bus y cayeron al abismo del puente.



ANEXO 1

Tabla de Isdyna, propiedades del acero

MASA	LONGITUD	HORA	FUERZA	ESTRÉS	ENERGÍA	DENSIDAD	JÓVENES	35 MPH 56,33 KPH	GRAVEDAD
kg	metro	s	norte	Pensilvania	j	7.83e+03	2.07e+11	15.65	9.806
kg	cm	s	1.0e-02 norte			7.83e-03	2.07e+09	1.56e+03	9.806e+02
kg	cm	Sra	1.0e+04			7.83e-03	2.07e+03	1.56	9.806e-04
kg	cm	nosotros	1.0e+10N			7.83e-03	2.07e-03	1.56e-03	9.806e-10
kg	milímetro	Sra	kN	GPa	kN-mm	7.83e-06	2.07e+02	15.65	9.806e-03
gramo	cm	s	dina	dina/cm ²	ergio	7.83e+00	2.07e+12	1.56e+03	9.806e+02
gramo	cm	nosotros	1.0e+07	mbar	1,0e+07	7.83e+00	2.07e+00	1.56e-03	9.806e-10
gramo	milímetro	s	1.0e-06 norte	Pensilvania	Ncm	7.83e-03	2.07e+11	1.56e+04	9.806e+03
gramo	milímetro	Sra	norte	MPa	N-mm	7.83e-03	2.07e+05	15.65	9.806e-03
tonelada	milímetro	s	norte	MPa	N-mm	7.83e-09	2.07e+05	1.56e+04	9.806e+03
lbf-s ² /in	en	s	lbf	psi	lbf-in	7.33e-04	3.00e+07	6.16e+02	386
babosa	pie	s	lbf	psf	lbf-ft	1.52e+01	4.32e+09	51.33	32.17
kgf-s ² /mm	milímetro	s	kgf	kgf/mm ²	kgf-mm	7.98e-10	2.11e+04	1.56e+04	9.806e+03
kg	milímetro	s	Minnesota	1.0e+03Pa		7.83e-06	2.07e+08		9.806e+03
gramo	cm	Sra	1.0e+1 norte	1.0e+05 Pa		7.83e+00	2.07e+06		9.806e-04

ANEXO 2

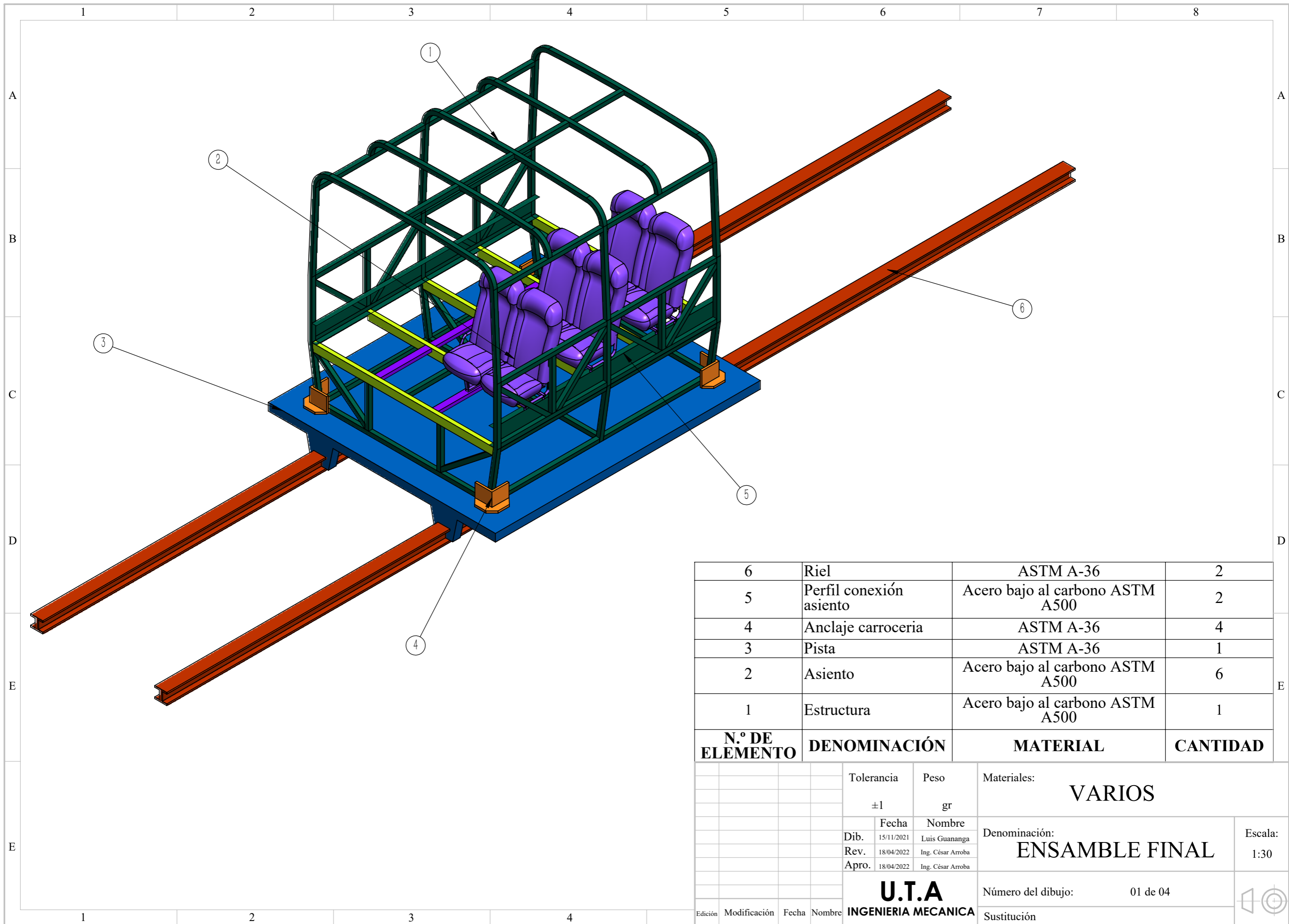
Tabla de coeficientes de fricción dinámicos y estáticos

Coeficientes de fricción		
	μ_s	μ_k
Hule sobre concreto	1.0	0.8
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Vidrio sobre vidrio	0.94	0.4
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Madera sobre madera	0.25–0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Madera encerada sobre nieve seca	—	0.04
Metal sobre metal (lubricado)	0.15	0.06
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Hielo sobre hielo	0.1	0.03
Articulación sinovial en humanos	0.01	0.003

Nota: Todos los valores son aproximados. En algunos casos el coeficiente de fricción puede superar 1.0.

ANEXO 3.

PLANOS



6	Riel	ASTM A-36	2
5	Perfil conexión asiento	Acero bajo al carbono ASTM A500	2
4	Anclaje carroceria	ASTM A-36	4
3	Pista	ASTM A-36	1
2	Asiento	Acero bajo al carbono ASTM A500	6
1	Estructura	Acero bajo al carbono ASTM A500	1
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD

		Tolerancia	Peso	Materiales:	
		±1	gr	VARIOS	
		Fecha	Nombre	Denominación: ENSAMBLE FINAL	Escala: 1:30
	Dib.	15/11/2021	Luis Guananga		
	Rev.	18/04/2022	Ing. César Arroba		
	Apro.	18/04/2022	Ing. César Arroba		
		U.T.A		Número del dibujo:	01 de 04
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERIA MECANICA	
				Sustitución	

1

2

3

4

A

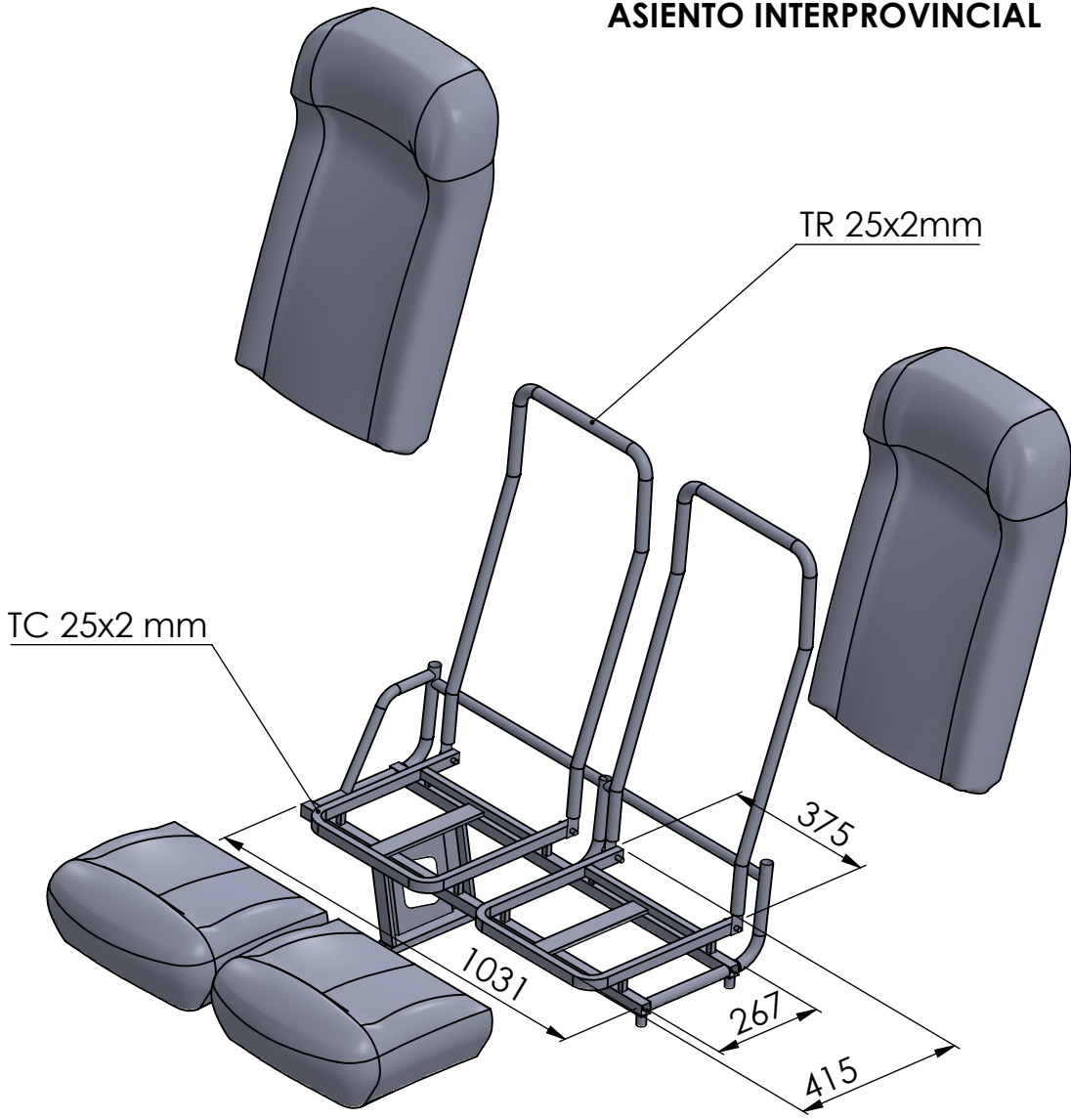
B

C

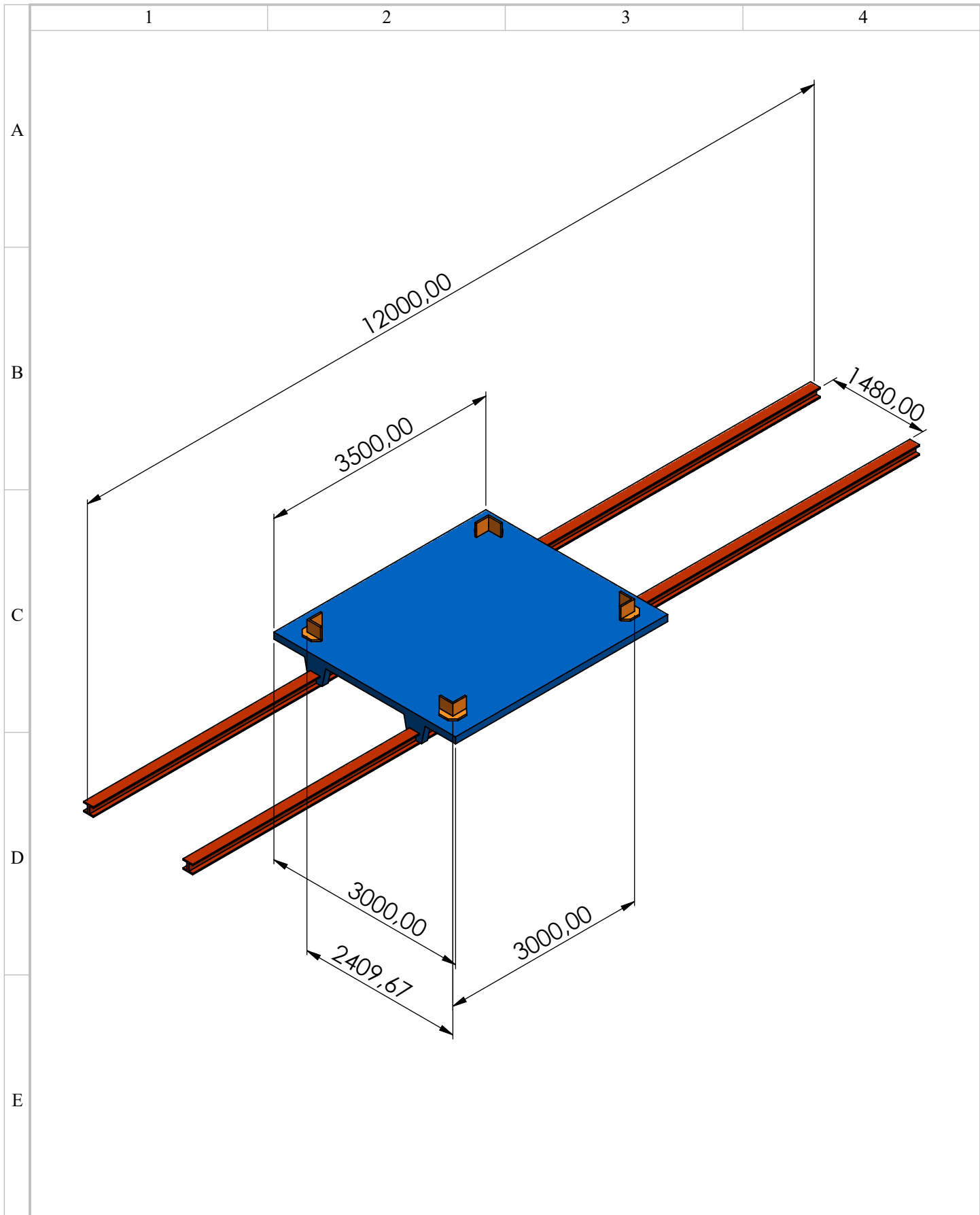
D

E

ASIENTO INTERPROVINCIAL



				Tolerancia ±1	Peso gr	Material: ACERO BAJO AL CARBONO ASTM A500	
						Título: ASIENTOS DE BUSES INTERPROVINCIALES	Escala: 1:15
				Dibujó: 15/11/2021	Nombre: Luis Guananga		
				Revisó: 18/04/2022	Ing. César Arroba		
				Aprobó: 18/04/2022	Ing. César Arroba		
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número de lámina: 03 de 04	Registro:
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución	



				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	gr	Acero ASTM-A36	
				Fecha	Nombre	Titulo:	Escala:
				Dibujó: 15/11/2021	Luis Guananga		
				Revisó: 18/04/2022	Ing. César Arroba		
				Aprobó: 18/04/2022	Ing. César Arroba	Número de lámina:	Registro:
				U.T.A			
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	INGENIERIA MECANICA		Sustitución	