



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA MECÁNICA

TEMA:

“ANÁLISIS DE LESIONES PRODUCIDAS EN EL VUELCO DE AUTOBUSES INTERPROVINCIALES EVALUADAS SEGÚN LOS CRITERIOS DEL REGLAMENTO N 95 DE LA COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA (CEPE) DE LAS NACIONES UNIDAS UTILIZANDO EL MODELO COMPUTACIONAL ANTROPOMÉTRICO DEL MANIQUÍ ES-2 MEDIANTE EL SOFTWARE ANSYS LS-DYNA RESEARCH”.

AUTOR: Joselyn Jessenia Niachimba Muñoz.

TUTOR: Ing. Mg. César Hernán Arroba Arroba.

AMBATO – ECUADOR

Septiembre - 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema **“ANÁLISIS DE LESIONES PRODUCIDAS EN EL VUELCO DE AUTOBUSES INTERPROVINCIALES EVALUADAS SEGÚN LOS CRITERIOS DEL REGLAMENTO N 95 DE LA COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA (CEPE) DE LAS NACIONES UNIDAS UTILIZANDO EL MODELO COMPUTACIONAL ANTROPOMÉTRICO DEL MANIQUÍ ES-2 MEDIANTE EL SOFTWARE ANSYS LS-DYNA RESEARCH”**, elaborado por la Srta. Joselyn Jessenia Niachimba Muñoz, portadora de la cédula de ciudadanía: 1805541404, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Septiembre 2021

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

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Joselyn Jessenia Niachimba Muñoz**, con C.I. **1805541404** declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“ANÁLISIS DE LESIONES PRODUCIDAS EN EL VUELCO DE AUTOBUSES INTERPROVINCIALES EVALUADAS SEGÚN LOS CRITERIOS DEL REGLAMENTO N 95 DE LA COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA (CEPE) DE LAS NACIONES UNIDAS UTILIZANDO EL MODELO COMPUTACIONAL ANTROPOMÉTRICO DEL MANIQUÍ ES-2 MEDIANTE EL SOFTWARE ANSYS LS-DYNA RESEARCH”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2021



.....
Joselyn Jessenia Niachimba Muñoz

1805541404

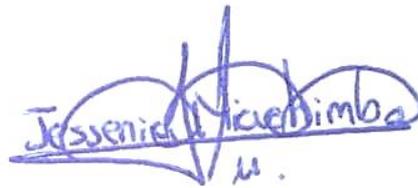
AUTOR

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 en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento 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, Septiembre 2021

A handwritten signature in blue ink, reading "Jessenia Niachimba" with a stylized flourish underneath.

.....
Joselyn Jessenia Niachimba Muñoz

1805541404

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental realizado por la estudiante Joselyn Jessenia Niachimba Muñoz de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema “**ANÁLISIS DE LESIONES PRODUCIDAS EN EL VUELCO DE AUTOBUSES INTERPROVINCIALES EVALUADAS SEGÚN LOS CRITERIOS DEL REGLAMENTO N 95 DE LA COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA (CEPE) DE LAS NACIONES UNIDAS UTILIZANDO EL MODELO COMPUTACIONAL ANTROPOMÉTRICO DEL MANIQUÍ ES-2 MEDIANTE EL SOFTWARE ANSYS LS-DYNA RESEARCH**”.

Ambato, Septiembre 2021.

Para constancia firman:

.....
Ing. Mg. Thalía Daniella San Antonio Serrano

Miembro Calificador

.....
Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacis

Miembro Calificador

DEDICATORIA

Dedico este presente trabajo de titulación a DIOS, a la Santísima Virgen María y a Santo Tomás de Aquino, patrono de los estudiantes, quienes iluminaron mi espíritu para finalizar esta tesis.

A mis padres Felipe y Beatriz quienes me dieron la vida, valores, educación, apoyo y protección en cada momento difícil de mi vida. A mis hermanos, a mi novio, amigos, maestros, compañeros de estudio y mi familia en general, quienes siempre tenían una palabra de aliento para animarme, sin su ayuda nunca hubiera podido concluir esta tesis.

Gracias por su apoyo incondicional, les agradezco desde el fondo de mi corazón,

Agradezco a todos por el cariño y el amor brindado.

AGRADECIMIENTO

En todo este tiempo ha existido gente de buen corazón, que han impulsado en la finalización de este trabajo. En principio, agradecido con Jesús y la Virgen María los cuales con su manto bendito me cuidaron en toda la pandemia.

También agradezco a la Universidad Técnica de Ambato, donde me he formado para ser una gran profesional y he recibido apoyo de todo tipo. Especialmente agradezco al Ingeniero Cesar Arroba que, a pesar de los aprietos sufridos durante la pandemia, supo tener mucha paciencia en el desarrollo de la tesis.

Por último, agradezco a toda mi familia por ser mi motor, pasar no desesperarme cuando los momentos se pusieron difíciles y siempre supieron darme una voz de aliento y de paz.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

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 TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO I.....	1
1 MARCO TEÓRICO	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.1.1 Investigaciones preliminares.....	1
1.1.2 Justificaciones.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos.....	5
1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
1.3.1 Vehículos para el transporte de pasajeros.....	5
1.3.2 Unidad de transporte interprovincial.....	6
1.3.3 Carrocerías de buses.....	7
1.3.4 Reglamentos y normativas de construcción de autobuses.....	10
1.3.5 Tipos de impactos	14

1.3.6	Ensayo de vuelco según la Regulación UNECE/ CEPE R66.....	17
1.3.7	Procedimiento para el MEF (Método de elementos finitos).....	22
1.3.8	Mallado.	23
1.3.9	Calidad de malla.	24
1.3.10	Criterios de comportamiento de lesiones en maniquís de prueba de impacto lateral según la regulación UNECE/CEPE R95.....	25
1.3.11	Evaluación de impacto de barreras laterales y postes del programa europeo de evaluación de vehículos nuevos (EURO NCAP).....	28
1.3.12	Descripción técnica del maniquí de colisión lateral.	30
1.3.13	Maniquís de pruebas de impacto.....	31
1.3.14	Introducción al programa computacional LSDYNA de LSTC.....	42
1.3.15	Cinturón de seguridad.	43
1.3.16	Lesiones producidas por accidentes de tránsito.	44
1.3.17	Ensayo de certificación del maniquí de colisión lateral.....	46
1.4	HIPÓTESIS.	50
1.4.1	Señalamiento de variable de la hipótesis.	51
CAPÍTULO II		52
2	METODOLOGÍA.....	52
2.1	MATERIALES	52
2.2	MÉTODOS.....	53
2.2.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.	54
2.2.2	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.	55
2.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	56
2.3.1	Variable Independiente.	56
2.3.2	Variable Dependiente.....	57
2.4	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	58

CAPÍTULO III.....	59
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.	59
3.1.1 Datos de la superestructura.	59
3.1.2 Características de la sección de la superestructura.	60
3.2 ENSAYO DE CALIBRACIÓN DEL MANIQUÍ.....	61
3.2.1 Calibración del tórax.....	61
3.2.2 Ensayo para la calibración del tórax del maniquí.	64
3.2.3 Calibración de la cabeza.	71
3.3 ANÁLISIS MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	76
3.3.1 Exportación geometría inicial a ANSYS.	76
3.3.2 Validación del mallado.	77
3.3.3 Plataforma para el ensayo de vuelco.....	79
3.3.4 Asignación de la curva esfuerzo-deformación del material ASTM A 500..	80
3.3.5 Asignación del material para la estructura y para el cinturón de seguridad.	82
3.3.6 Asignación de la sección.....	83
3.3.7 Cálculo de la velocidad.....	84
3.3.8 Simulación del ensayo de vuelco.....	90
3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	92
3.4.1 Simulación de la sección de la superestructura con un ancho de ventana mínimo de 1200 mm.	96
3.4.2 Simulación de la sección de la superestructura con un ancho de ventana máximo de 1600 mm.....	99
3.4.3 Criterio de comportamiento de la cabeza HIC.....	102
3.4.4 Criterio de comportamiento del tórax.....	106
3.4.5 Criterio de comportamiento de la pelvis.....	110

3.4.6	Criterio de comportamiento del abdomen.....	114
	CAPÍTULO IV.....	117
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	117
4.1	CONCLUSIONES.....	117
4.2	RECOMENDACIONES.....	118
	BIBLIOGRAFÍA.....	119
	ANEXOS.....	125

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.1: Medidas generales de un autobús según la norma INEN 1668.	13
Tabla 1.2: Impacto lateral.	28
Tabla 1.3: Compresión lateral de los límites de las costillas.	29
Tabla 1.4: Compresión lateral de los límites de las costillas.	29
Tabla 1.5: Fuerza en la sínfisis púbica recomendado.	30
Tabla 1.6: Maniqués admitidos para cada ensayo.	35
Tabla 1.7: Dimensiones principales del maniqué ES-2.	37
Tabla 1.8: Masas de los componentes del maniqué ES-2.	38
Tabla 1.9: Acelerómetros del maniqué ES-2.	39
Tabla 1.10: Daños en el cuerpo.	45
Tabla 1.11: Velocidad del péndulo – tiempo para el ensayo de certificación del cuello.	48
Tabla 1.12: Certificación del módulo costal completo.	49
Tabla 2.1: Materiales y perfiles utilizados en el diseño de la estructura de la carrocería.	52
Tabla 2.2: Materiales utilizados en el diseño del asiento.	53
Tabla 2.3: Variable independiente.	56
Tabla 2.4: Variable dependiente.	57
Tabla 3.1: Medidas de la estructura según la norma INEN 1668.	59
Tabla 3.2: Medidas utilizadas de acuerdo a la normativa INEN 1668.	60
Tabla 3.3: Condiciones de simulación de impacto de péndulo.	63
Tabla 3.4: Comparación de resultados entre ensayo real vs ensayo simulado.	81
Tabla 3.5: Parámetros del material del cinturón de seguridad.	83
Tabla 3.6: Imágenes secuenciales que muestran el comportamiento de los maniqués sin cinturón de seguridad con ancho de ventana de 1200 mm.	96
Tabla 3.7: Imágenes secuenciales que muestran el comportamiento de los maniqués con cinturón de seguridad de dos puntos con ancho de ventana de 1200 mm.	97

Tabla 3.8: Imágenes secuenciales que muestran el comportamiento de los maniqués con cinturón de seguridad de tres puntos con ancho de ventana de 1200 mm.	98
Tabla 3.9: Imágenes secuenciales que muestran el comportamiento de los maniqués sin cinturón de seguridad con ancho de ventana de 1600 mm.....	99
Tabla 3.10: Imágenes secuenciales que muestran el comportamiento de los maniqués con cinturón de seguridad de dos puntos con ancho de ventana de 1600 mm.....	100
Tabla 3.11: Imágenes secuenciales que muestran el comportamiento de los maniqués con cinturón de seguridad de tres puntos con ancho de ventana de 1600 mm.	101
Tabla 3.12: Valores del Criterio de comportamiento de la cabeza HIC sin cinturón de seguridad.....	103
Tabla 3.13: Valores del Criterio de comportamiento de la cabeza HIC con cinturón de seguridad de dos puntos.....	104
Tabla 3.14: Valores del Criterio de comportamiento de la cabeza HIC con cinturón de seguridad de tres puntos.....	105
Tabla 3.15: Variación de longitud al evaluar el criterio de comportamiento del tórax sin cinturón de seguridad.....	106
Tabla 3.16: Variación de longitud al evaluar el criterio de comportamiento del tórax con cinturón de seguridad de dos puntos.....	107
Tabla 3.17: Variación de longitud al evaluar el criterio de comportamiento del tórax con cinturón de seguridad de tres puntos.....	109
Tabla 3.18: Valores del Criterio de comportamiento de la pelvis sin cinturón de seguridad.....	110
Tabla 3.19: Valores del Criterio de comportamiento de la pelvis con cinturón de seguridad de dos puntos.....	112
Tabla 3.20: Valores del Criterio de comportamiento de la pelvis con cinturón de seguridad de tres puntos.....	113
Tabla 3.21: Valores del Criterio de comportamiento del abdomen sin cinturón de seguridad.....	114
Tabla 3.22: Valores del Criterio de comportamiento del abdomen con cinturón de seguridad de dos puntos.....	115

Tabla 3.23: Valores del Criterio de comportamiento del abdomen con cinturón de seguridad de tres puntos.	116
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Zona de supervivencia del autobús, las unidades se encuentran en mm.	3
Figura 1.2: (a) Determinación del movimiento vertical del centro de gravedad del vehículo. (b) Geometría del banco de ensayo.....	4
Figura 1.3: Bus interprovincial Trans. Imbabura S.A.....	7
Figura 1.4: Carrocería de buses.	7
Figura 1.5: Paneles exteriores de la carrocería.	8
Figura 1.6: Armazón delantero.....	9
Figura 1.7: Armazón central y posterior.....	10
Figura 1.8: Armazón del piso del maletero y del habitáculo.	10
Figura 1.9: Prueba de impacto frontal.	14
Figura 1.10: Prueba de impacto lateral.	15
Figura 1.11: Prueba antivuelco.	16
Figura 1.12: Ensayo de impacto de una carrocería de bus escolar.	17
Figura 1.13: Posición longitudinal.....	19
Figura 1.14: Posición transversal.....	19
Figura 1.15: Especificaciones del ensayo de vuelco de un vehículo completo.	21
Figura 1.16: Calidad de malla según el criterio Jacobiano.	24
Figura 1.17: Calidad de malla según el criterio ortogonal.....	25
Figura 1.18: Calidad de malla según el criterio asimétrica.....	25
Figura 1.19: Maniqués HIBRID III.	32
Figura 1.20: Maniquí EUROSID.....	32
Figura 1.21: Maniquí SID y BioSID.....	33
Figura 1.22: Maniquí CRABI.	33
Figura 1.23: Maniquí THOR.	34
Figura 1.24: Maniquí ES-2.	35

Figura 1.25: Medidas de las dimensiones principales del maniquí.	36
Figura 1.26: Aceleraciones durante pruebas de impacto.	41
Figura 1.27: Simulación de impacto.	42
Figura 1.28: Cinturón de seguridad.	44
Figura 1.29: Visión general de la colocación para el ensayo de certificación del dummy de colisión lateral.	47
Figura 1.30: Suspensión del impactador pendular de 23,4 kg.	50
Figura 2.1: Diagrama de procesos.	58
Figura 3.1: Estructura dibujada en el software de diseño.	61
Figura 3.2: Diagrama de líneas referenciales para calibración del tórax deformación vs fuerza. (a) Las lecturas del ángulo de torsión del cuello se comparan con el corredor de respuestas biomecánicas de mertz. (b) Las lecturas del ángulo de torsión de la extensión del cuello se comparan con el corredor de respuesta biomecánica de mertz.	62
Figura 3.3: Descripción de disposición de péndulos en la simulación de impacto.	64
Figura 3.4: Desplazamiento del tórax con una velocidad del péndulo de 4.3 m/s.	65
Figura 3.5: Desplazamiento del tórax con una velocidad del péndulo de 6.7 m/s.	66
Figura 3.6: Fuerza del péndulo versus tiempo con una velocidad de 4.3 m/s y 6.7 m/s.	67
Figura 3.7: Fuerza versus desplazamiento del tórax con una velocidad del péndulo de 4.3 m/s.	68
Figura 3.8: Fuerza versus desplazamiento del tórax con una velocidad del péndulo de 6.7 m/s.	69
Figura 3.9: Diagrama de energías con una velocidad del péndulo de 4.3 m/s y 6.7 m/s.	70
Figura 3.10: Pulso de aceleración estándar de 35mph, valores de abscisa tiempo en ms vs aceleración en mm/ms ²	72
Figura 3.11: Secuencia de movimiento del maniquí aplicando pulso de aceleración a 35mph.	72
Figura 3.12: Aceleración en Gs de la cabeza versus tiempo ms.	73
Figura 3.13: Desplazamiento del tórax en mm versus tiempo ms.	74

Figura 3.14: Diagrama de energías con velocidad de 35 mph.....	75
Figura 3.15: Colocación del área de supervivencia.	76
Figura 3.16: Exportación de geometría inicial.....	77
Figura 3.17: Calidad de malla Criterio jacobiano.....	78
Figura 3.18: Verificación de la calidad de la malla.	79
Figura 3.19: Plataforma y colocación de la sección de la superestructura.	80
Figura 3.20: Diagrama esfuerzo deformación de los datos reales y simulados.	82
Figura 3.21: Cálculo de la masa de la estructura.	84
Figura 3.22: Centro de gravedad de la superestructura.	85
Figura 3.23: Diagrama de cuerpo libre.	86
Figura 3.24: Ángulo de inestabilidad lateral teórico en la plataforma.....	87
Figura 3.25: Posición inicial inestable para el ensayo de impacto.	88
Figura 3.26: Cálculo del radio de giro.....	90
Figura 3.27: Selección de partes fijas.	91
Figura 3.28: Colocación de la velocidad angular.	91
Figura 3.29: Distribución de la energía en función del tiempo.	93
Figura 3.30: Disposición de los maniqués.....	94
Figura 3.31: Colocación del cinturón de seguridad al maniqui y al asiento; a) Cinturón de seguridad de dos puntos o de regazo; b) Cinturón de seguridad de tres puntos.....	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Tabla de Isdyna, propiedades del acero.....	126
Anexo 2. Tabla de los coeficientes de fricción dinámicos y estáticos del libro de física general.....	126
Anexo 3. Planos.....	127

RESUMEN

El presente trabajo de tesis detalla el proceso de modelado de la cercha de un autobús interprovincial, utilizando como herramienta la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1668 – Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial. Siendo el propósito fundamental analizar 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.

En la etapa inicial se realizó un diagnóstico de la situación actual de las carrocerías, el cual da a conocer el nivel de cumplimiento de los requisitos de la normativa INEN 1323, que hace referencia a la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa UNECE/CEPE R66, la cual describe que los fabricantes de carrocerías que desean homologar un modelo de bus deben realizar el ensayo de vuelco del autobús, para que el espacio de supervivencia no resulte invadido.

Con la investigación se concluyó que, el uso del cinturón de seguridad de dos puntos y el de tres puntos, brindan un comportamiento similar en los maniquís al simular el vuelco de la estructura, lo cual demuestra la importancia de emplear cualquiera de los dos tipos; ya que al no usarlo se evidencian daños graves en los pasajeros.

Palabras claves: Vuelco, Simulación, Carrocería, Maniquí, Cinturón de seguridad.

ABSTRACT

This work details the modeling process of the truss of an interprovincial bus, using the Ecuadorian technical standard NTE INEN 1668 - Intra-regional, interprovincial and intraprovincial for public passenger transport vehicles. The main purpose is to analyze injuries produced in the rollover of interprovincial buses evaluated according to the Regulation N 95 of the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE).

In the initial stage, a diagnosis of the current situation of bus bodies was made, which shows the level of compliance with the requirements of INEN 1323, which refers to the UNECE/ECE R66, which describes that body manufacturers who wish to homologate a bus model must carry out the bus rollover test, to guarantee that the survival space is not invaded.

The research concluded that the use of two-point and three-point seat belts gave us similar behavior in the dummies when simulating the rollover of the structure, which demonstrates the importance of using either type, since failure to use them could result in serious damage to passengers.

Key words: Rollover, Simulation, Bodywork, Dummy, Seat belt.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

1.1.1 Investigaciones preliminares.

En el estudio [1], donde se muestra la metodología a seguir para introducir los parámetros, condiciones, restricciones y valores que permiten la obtención de resultados correctos y coherentes, también se da a conocer la reducción del modelo, para obtener datos de salida en tiempos más ajustados. Al finalizar dicha investigación los autores concluyeron que la estructura superó de forma satisfactoria las pruebas exigidas en el Reglamento N° 66, disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de dimensiones grandes para el traslado de pasajeros, lo que respecta a la resistencia de su superestructura, con un punto inestable de $48,31^\circ$ con respecto al plano horizontal y una máxima deformación plástica entre el suelo y los arcos principales, debido a que son puntos de concentración de tensión, alcanzando un valor de 0.0068 mm.

En el estudio [2], el objetivo es determinar si el espacio de supervivencia es invadido, cumpliendo con la norma técnica ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 1323 y Reglamento R 66. Donde se muestran ensayos de probetas del material que utilizan en la construcción de la superestructura, procesando tablas, gráficas de deformación, esfuerzos y el balance de energías. Concluyendo que el espacio de supervivencia es invadido en 20.78 mm, debido a que la carrocería no presenta la suficiente resistencia mecánica, dando a conocer que no cumple con lo descrito en el Reglamento N° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.

En el estudio [3], se desarrolla el vuelco de un autobús TEMSA con ocupantes, con una longitud de 12,8 mm, de acero inoxidable, reforzada con una barra antivuelco en la parte delantera y trasera. Se realiza una serie de pruebas en laboratorios de partes de autobús, se obtiene un alto grado de correlación teórico y experimental lo que confirmó la validez del bus. Se analizan 8 maniquís sentados en los lugares más críticos del autobús con diferentes tipos de seguridad. Finalmente se concluye que la seguridad de los pasajeros depende del tipo de seguridad y es del 70% para los que utilizan cinturón de dos puntos tiene y un 90% para los que usan cinturón de tres puntos.

En el estudio [4], se determina la geometría y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros a través del análisis estático y dinámico estructural, sometida a carga de impacto lateral, dando a conocer la energía interna y formulación hourglassing. Concluyendo que el área de supervivencia no es invadida en ninguna circunstancia, sin embargo, la deformación máxima producida en el faldón es de 713 mm, lo cual es una deformación considerable según las dimensiones de la superestructura, también la diferencia obtenida entre el análisis analítico y computacional es de 8%, lo que es aceptable.

1.1.2 Justificaciones.

En la actualidad para fabricar o comercializar carrocerías de autobuses, las empresas fabricantes deben cumplir obligatoriamente con algunos requisitos. Para este estudio se centra en un requisito indicado en la resolución No. 097 DIR ANT 2016 “Directriz del sistema general para dispositivos de aprobación y valoración, inspección, seguridad y legalización de vehículos para vehículos comerciales”. En el Capítulo Noveno Art. 29 inciso h, solicita como requisito fichas técnicas de homologación según la modalidad y que guarde concordancia con la ficha técnica de homologación NTE INEN 1323 Vehículos automotores. Carrocerías de buses, requisitos primera edición [5]. Según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1323:2009 en el literal 5.1.5.2, requiere que para homologar un modelo de autobús se realice el ensayo de vuelco del autobús una vez completado el mismo [6], la estructura de la carrocería debe oponerse para que el espacio de resistencia no sea invadido ver Figura 1.1, según

el reglamento N 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa CEPE/ONU [7].

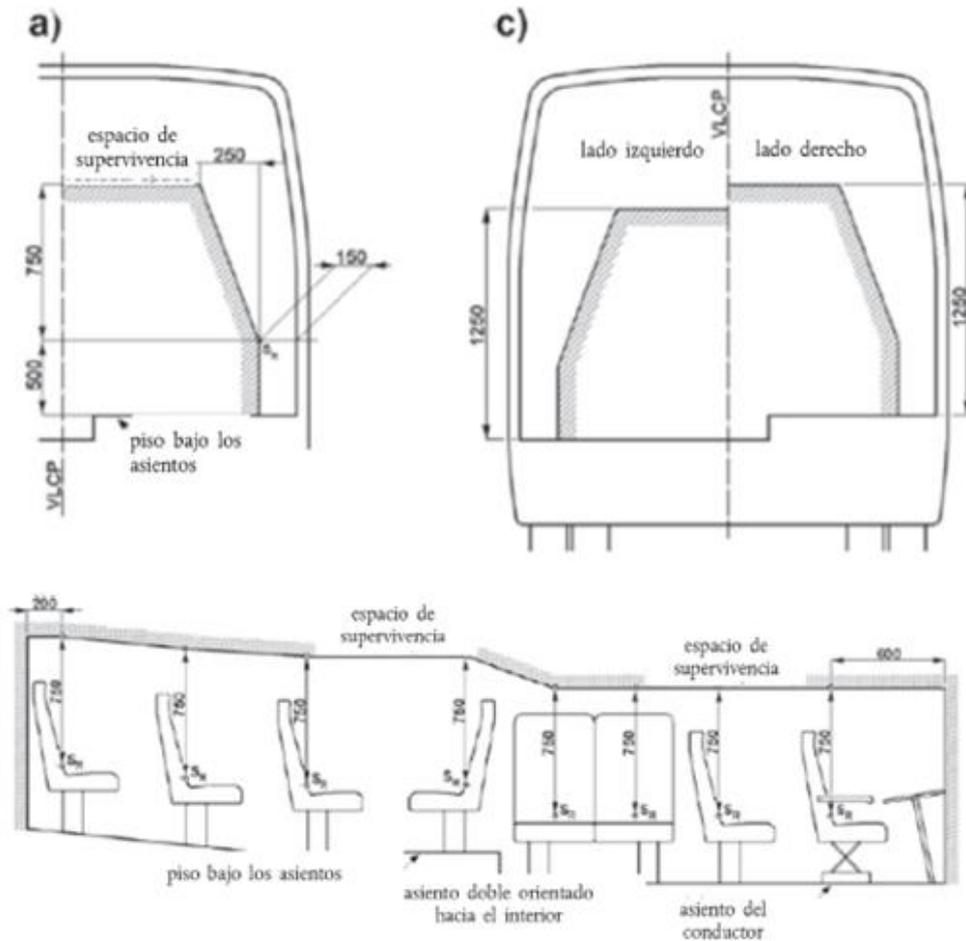


Figura 1.1: Zona de supervivencia del autobús, las unidades se encuentran en mm.
Fuente: [7]

El ensayo en resumen es un evento controlado de vuelco del autobús, el automotor se ubica en una plataforma basculante que se encuentra elevada a 800 mm de altura del suelo ver Figura 1.2, la plataforma conjuntamente con el autobús giran con respecto a un eje inferior de giro a una velocidad angular menor a 1 rad/s hasta que el autobús pierda estabilidad lateral y se vuelque hasta impactar contra el piso, debido al impacto la estructura del autobús se deforma, este evento es grabado con cámaras de alta velocidad especializadas que detectan la afectación o invasión de la zona de supervivencia antes, durante y después del impacto [7]. La deformación máxima de la

estructura del autobús se produce en un tiempo máximo de 0.3 segundos, si la zona de supervivencia es invadida queda no conforme la estructura según NTE INEN 1323:2009 - UNECE/CEPE R66 y la misma no podrá ser homologada por el fabricante. Este alcance de ensayo se puede realizar con el método computacional de elementos finitos indicado en anexo 9 UNECE/CEPE R66, este ensayo es uno de los más utilizados para la verificación de autobuses, adecuado al gran coste que economiza con respecto al estudio de vuelco real [7].

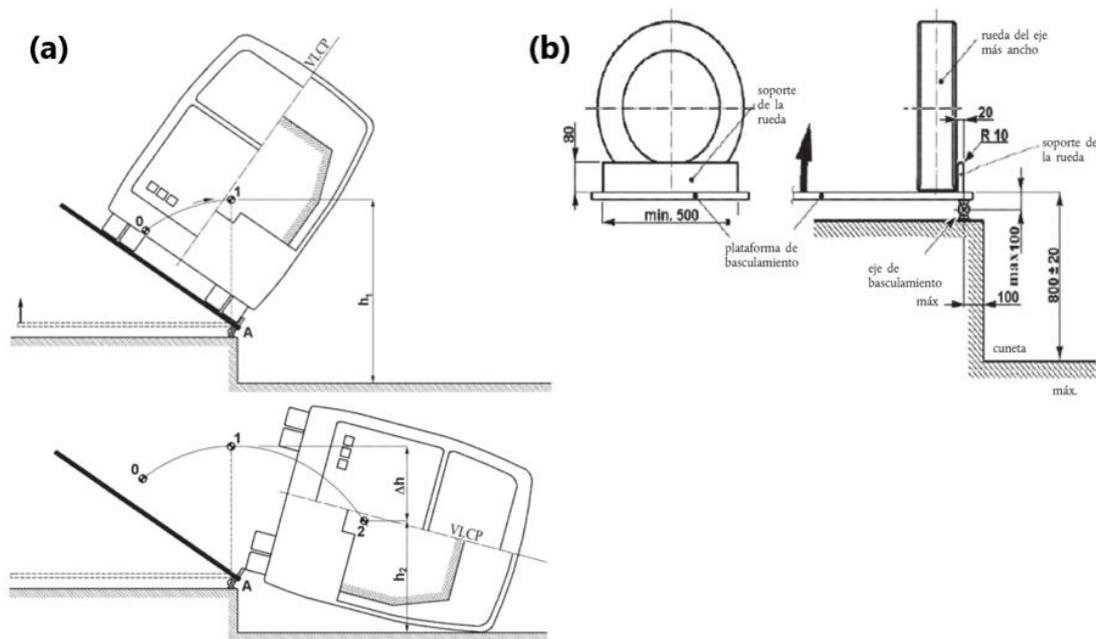


Figura 1.2: (a) Determinación del movimiento vertical del centro de gravedad del vehículo. (b) Geometría del banco de ensayo.

Fuente: [7]

Al evaluar la afectación del área de supervivencia de la carrocería en un ensayo de vuelco, se evalúa únicamente el comportamiento de los elementos estructurales de la carrocería del autobús sin considerar las posibles lesiones que pueden presentar los ocupantes, por lo que no se conocen datos biomecánicos publicados que pueden mostrar zonas críticas en el cuerpo humano, lesiones que pueden ser producidas por aceleraciones, fuerzas, presión, energías, velocidades, deformación o evaluar si existen contacto directo con componentes del autobús durante y después de este evento dinámico [7, 8].

El presente trabajo de investigación se basa en el diseño de autobuses y autopartes más estables por parte de fabricantes de carrocerías, con el fin de reducir lesiones en los ocupantes en el caso de que se produzcan los accidentes, también para revisar reglamentos técnicos para el diseño y construcción de carrocerías de autobuses con referencia a la seguridad de los pasajeros con datos técnicos analizados.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 Objetivo General.

- Analizar lesiones producidas en el vuelco de autobuses interprovinciales evaluadas según los criterios del Reglamento N 95 de la Comisión Económica Para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas utilizando el modelo computacional antropométrico del maniquí ES-2 mediante el software ANSYS LS-DYNA RESEARCH.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Modelar secciones estructurales más comunes de carrocerías de autobús de servicio interprovincial, para simular eventos de vuelco, según los requisitos establecidos en la UNECE/CEPE R66.
- Simular eventos de vuelco con el maniquí ubicado en condiciones normales de funcionamiento, para determinar posibles lesiones de los ocupantes, aplicando los criterios del Reglamento N95 de la CEPE.
- Validar el modelo FEM de maniquí para impacto lateral ES-2 hombre adulto, para estimar el porcentaje de error de los datos obtenidos, de acuerdo al reglamento UNECE/CEPE R95.

1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

1.3.1 Vehículos para el transporte de pasajeros.

Conforme al Reglamento 36 disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos grandes de pasajeros en relación con su construcción general de las Naciones Unidas, se aplica a vehículos de un solo piso diseñados y construidos para transporte

del individuo y que tenga una capacidad mayor a 22 pasajeros, sentados o parados [9].

En el mercado ecuatoriano se tiene las siguientes particularidades:

- Transporte Institucional.
- Transporte de turismo.
- Transporte Urbano.
- Transporte Intraprovincial.
- Transporte Interprovincial.

Por consiguiente, en la presente investigación se hace hincapié en el análisis de los principales elementos estructurales de las unidades de transporte interprovincial [10].

1.3.2 Unidad de transporte interprovincial.

Este tipo de transporte está destinado para transportar numerosas personas mediante vías de interconexión provincial. Su capacidad varía entre 40 y 45 pasajeros sentados. En conformidad con la RTE INEN 043, 2010 que define al vehículo, diseñado y equipado para viajes entre provincias y no lleva pasajeros de pie como bus interprovincial. Este concepto está de acuerdo a [11] que establece lo siguiente: Se considera un transporte interprovincial a un vehículo de motor que, por su plan y asignación, está destinado a trasladar personas y equipajes para viajes de gran distancia, este vehículo está acondicionado para la comodidad de sus pasajeros sentados y no lleva pasajeros de pie [12]. En la Figura 1.3 se puede observar un bus de transporte interprovincial.



Figura 1.3: Bus interprovincial Trans. Imbabura S.A.

Fuente: [13]

1.3.3 Carrocerías de buses.

Es el armazón del bus constituido por perfiles y planchas metálicas en conjunto, destinada para habitáculos de los pasajeros, importante para una seguridad pasiva, absorbiendo la mayor cantidad de energía posible, soportan cargas dinámicas, así como estáticas, como se observa en la Figura 1.4 [14].



Figura 1.4: Carrocería de buses.

Fuente: [14]

Como se muestra en la Figura 1.4, el diseño también llamado superestructura o estructura esquelética, es la disposición estática superior del vehículo, donde se encuentran el compartimiento del conductor y el viajero, que brinda oposición, naturaleza inflexible y ayuda real al cuerpo, está destinado a retener y dispersar la energía proveniente de pesos adicionales, condiciones de conducción, irregularidades, efectos y choques al desviarla de los apéndices presentados a los apéndices menos necesarios a través de articulaciones completas, consiguiendo tu desenfoque [15].

Los primordiales componentes de una estructura son:

- **Paneles exteriores.**

Son los primordiales elementos de la firmeza de la estructura de la carrocería. La magnitud de las grietas en los paneles exteriores debe ser reducido a fin de asegurar la tensión suficiente. Una enorme cantidad de remaches empleados en este modelo de construcción, desvaloriza la apariencia del autobús [16]. Como se puede ver en la Figura 1.5.

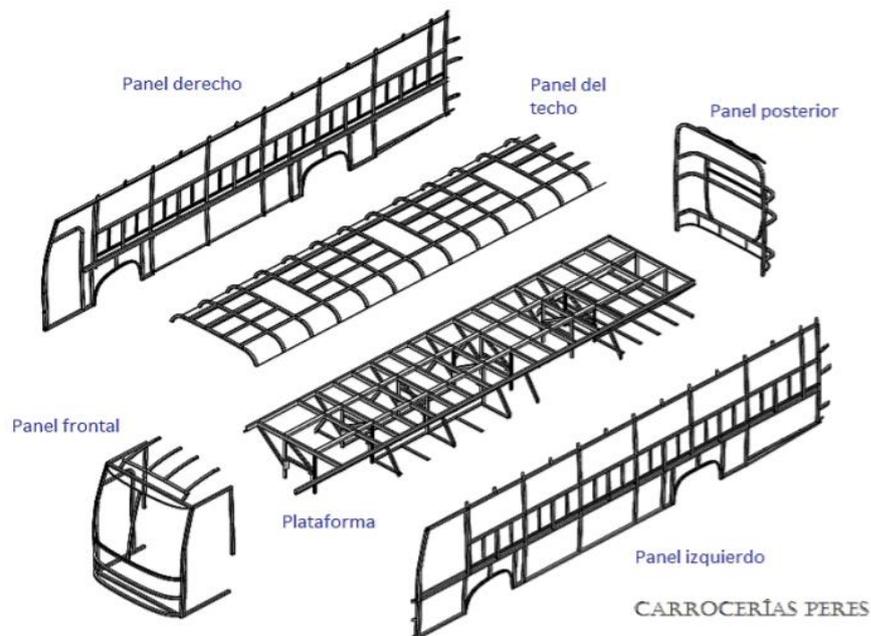


Figura 1.5: Paneles exteriores de la carrocería.

Fuente: [4]

- **Armazón delantero.**

El armazón delantero es una estructura de soporte, fijación y unión de elementos de la carrocería, sujeta elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos, sobre ella descansa el panel frontal, además ofrece resistencia ante colisiones y a la fuerza del viento y lluvia en la conducción por lo que se construye de manera reforzada [10]. En la Figura 1.6 se puede observar el conjunto estructural delantero.

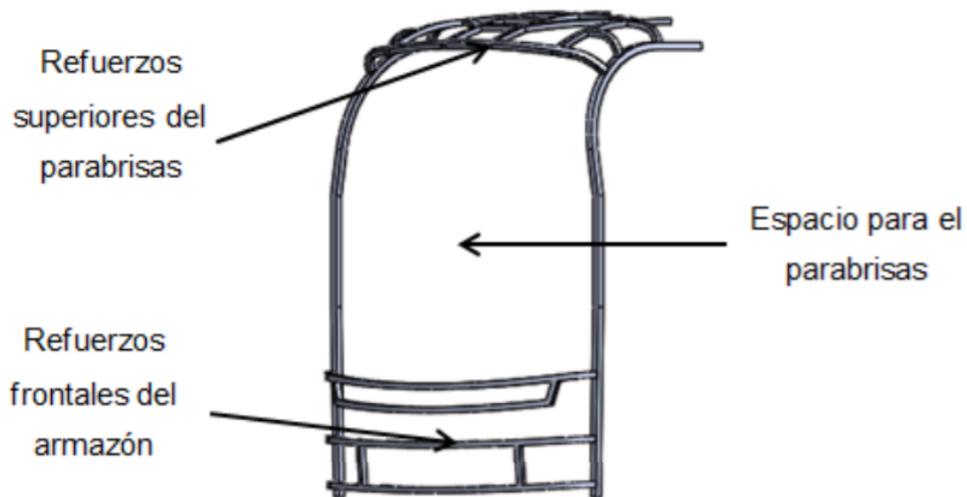


Figura 1.6: Armazón delantero.

Fuente: [10]

- **Armazón central.**

La agrupación estructural central está constituida por columnas metálicas que van de derecha a izquierda formando arcos semejantes también nombrados pórticos, en donde se sitúan los espacios de la puerta de entrada y la de salida de pasajeros, y las ventanas. Los pórticos son las unidades estructurales fundamentales de soporte de la estructura [12]. En la Figura 1.7 se puede observar el conjunto estructural central.

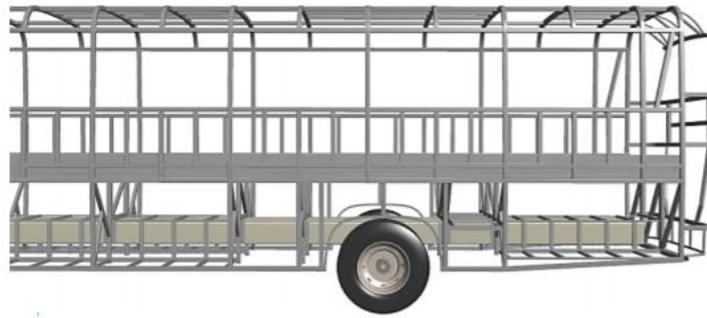


Figura 1.7: Armazón central y posterior.

Fuente: [4]

- **Armazón del piso.**

El conjunto estructural correspondiente al nivel del piso del vehículo es el responsable de unir el grupo principal delantero con el posterior mediante pilares y travesaños. El piso del vehículo se divide en dos partes: piso para el habitáculo y piso para el maletero [10]. En la Figura 1.8 se puede observar el conjunto del piso.



Figura 1.8: Armazón del piso del maletero y del habitáculo.

Fuente: [4]

1.3.4 Reglamentos y normativas de construcción de autobuses.

Los términos de indicación para los procesos de homologación se hallan en base de las Normas y Reglamentos vigentes INEN tales como [17]:

- Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 1323. Vehículos y automotores. Carrocerías de buses. Requisitos.
- Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 2205. Vehículos Automotores. Bus Urbano. Requisitos.
- Norma Técnica Ecuatoriana, RTE INEN 038. Requisitos para la manipulación de minibús y bus urbano.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1668. Vehículos de transporte público de pasajeros Intra-regional, Interprovincial e Intra-provincial requisitos.
- Reglamento Técnico Ecuatoriano NTE INEN 037-2009, fabricación, diseño y instalación de estructuras de acero.
- CPE INEN 03. Código de dibujo técnico mecánico.
- RTE INEN 041 Vehículos de transporte mercantil de pasajeros institucional y escolar.
- - RTE INEN 043 Vehículos de transporte general de viajeros interprovinciales, intrarregionales e intraprovinciales.
- - NTE 2656: 2012. Clasificación de vehículos.
- - RTE INEN 034 (3R). Componentes mínimos de seguros en vehículos de motor.
- NTE INEN 1669 – 2011.- “Vidrios de protección para vehículos. Requisitos”.
- NTE INEN 1155 – 2015.- “Vehículos Automotores. Dispositivos de Iluminación y Equipos para Conservar o Renovar la Visibilidad”.

1.3.4.1 RTE INEN 038 Vehículos de transporte público de pasajeros Intracantonal (Bus Urbano).

Este reglamento indica los requisitos que los buses y minibuses urbanos deben cumplir, teniendo como objetivo proteger la vida y la seguridad de las personas, al ambiente y la propiedad, previniendo de errores a los fabricantes [18].

La clasificación de vehículos de transporte urbano público según, son:

- El bus urbano tiene una disponibilidad igual o superior a 60 pasajeros.
- Minibús urbano tiene una capacidad menor a 60 pasajeros.

1.3.4.2 RTE INEN 041 Vehículos de transporte comercial de pasajeros escolar e institucional.

Este Reglamento Técnico Ecuatoriano definen los requisitos que deben cumplir los vehículos para el transporte escolar de pasajeros, debiendo proteger la vida y la seguridad de las personas [19].

Esta norma clasifica a los vehículos, en:

- Furgonetas donde el número de ocupantes es desde 12 hasta 18 pasajeros incluidos con el conductor.
- Microbús donde el número de ocupantes es desde 19 hasta 26 pasajeros incluidos con el conductor.
- Minibús donde el número de ocupantes es desde 27 hasta 35 pasajeros incluidos con el conductor.
- Bus donde el número de ocupantes es a partir de 36 pasajero incluidos con el conductor.

Especificando las dimensiones externas del vehículo según, los vehículos clasificados en esta normativa.

1.3.4.3 RTE INEN 043 Vehículos de transporte general de pasajeros interprovincial, intrarregional e intraprovincial.

Esta directriz caracteriza las necesidades que deben cubrir los transportes interprovinciales e interprovinciales de transporte masivo de viajeros con destino a salvar las existencias de los clientes, el ambiente y la propiedad [20].

Especificando las dimensiones externas del vehículo, son:

- Largo en vehículos de 2 ejes hasta de 13300 mm.
- Mayor a 2 ejes hasta de 15000 mm.

- Altura máxima de 4000 mm.
- Puertas de ingreso y salida, 2000 x 850 mm.

Especificando dimensiones internas del vehículo, son:

- Alturas internas mínimas desde el piso al borde de la ventana 700 mm.
- Altura mínima en el corredor central es de 1900 mm.

Mientras que las dimensiones de asiento del conductor, son:

- Ancho mínimo 450 mm.
- Profundidad mínima 450 mm.
- Altura mínima del espaldar 500 mm.

1.3.4.4 Norma técnica ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 1668 Vehículos de transporte público de viajeros intrarregionales, interprovinciales e intraprovinciales. Prerrequisitos.

La norma se limita a decir las necesidades que deben ser controladas por vehículos de transporte de viajeros gubernamentales intrarregionales, interprovinciales e interprovinciales, como se observa en la Tabla 1.1, las dimensiones internas y externas de los diferentes vehículos.

Donde los datos relevantes son:

Tabla 1.1: Medidas generales de un autobús según la norma INEN 1668.

Tipo de vehículo	Bus		Minibús
Altura total máxima	3800 mm		3300 mm
Numero de ejes	De dos ejes	De tres o mas	De dos ejes
Largo total (mm)	10250	13300	Máximo 10000
Voladizo delantero (mm)	2000 a 2900		800 a 2400
Voladizo posterior máximo	66% de la distancia entre ejes		66% de la distancia entre ejes

Fuente: [21]

1.3.5 Tipos de impactos

Ensayos de balanceo de frente: Por lo general, estas pruebas se realizan en un vehículo fuerte a una velocidad asignada, por lo tanto, pueden ser pruebas de un vehículo que afecta a otro. Están controlados por la promulgación actual, en el mandato 96/79 / CE del Parlamento Europeo. En el accidente, el vehículo es lanzado contra un poste de 70 toneladas como me muestra en la Figura 1.9. Con un diseño de aluminio deformable y una disposición de nido de abeja a una velocidad de 56 km / h, el efecto debe entregarse en el segmento de dirección, para intentar imitar la respuesta del conductor, tratando de adelantarse al efecto totalmente de frente. En el interior del vehículo hay dos modelos de tamaño natural, a los que se les ha fijado los marcos de restricción comparativos, sin importar la forma en que cuentan con sensores para comprender las potencias de desaceleración por efecto. Estos sensores están situados en la cabeza, el fémur, el pecho y la tibia [22].

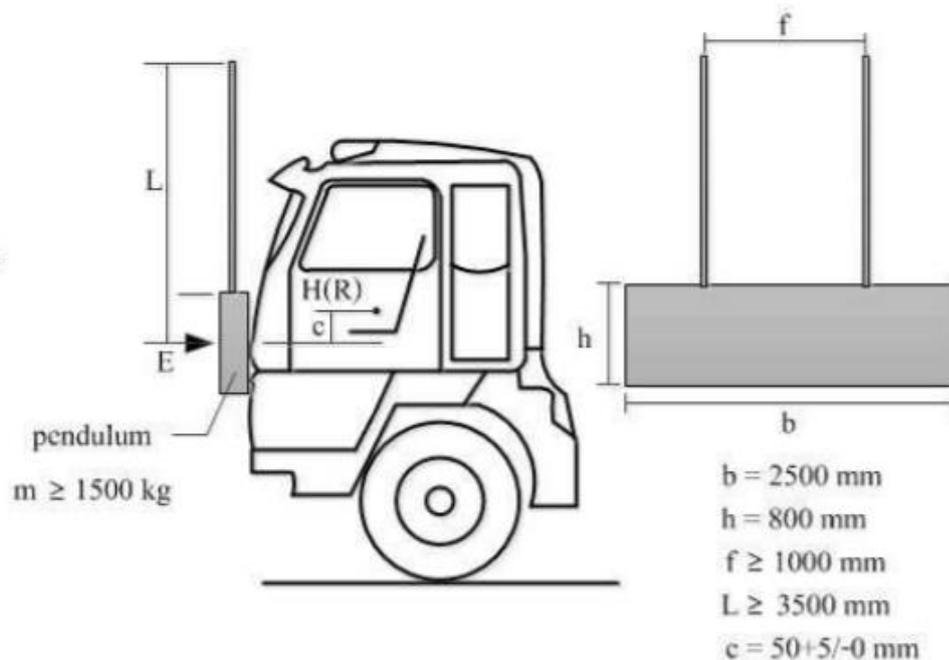


Figura 1.9: Prueba de impacto frontal.

Fuente: [23]

Ensayos de impacto lateral: Se hacen para disminuir o prevenir el nivel de bajas que ocurre debido a un choque lateral, y esto se debe a la forma en que los vehículos no

tienen un espacio de distorsión crítico, que asimila las cargas de balanceo antes de que un viajero sufra daños. Esta zona de efecto debe planificarse de modo que ingiera la energía del efecto cuando se produzca un choque de deformación controlado como se muestra en la Figura 1.10.

En este tipo de accidentes, la matemática de los transportes es el factor más básico. Las entradas son el trabajo destacado más básico con un seguro ideal, deben estar instaladas por las secciones a través de pivotes muy potentes a pesar de un componente final. La inmovilidad de las entradas, las repisas y la azotea son componentes predominantes y decisivos en este momento de un percance [24].

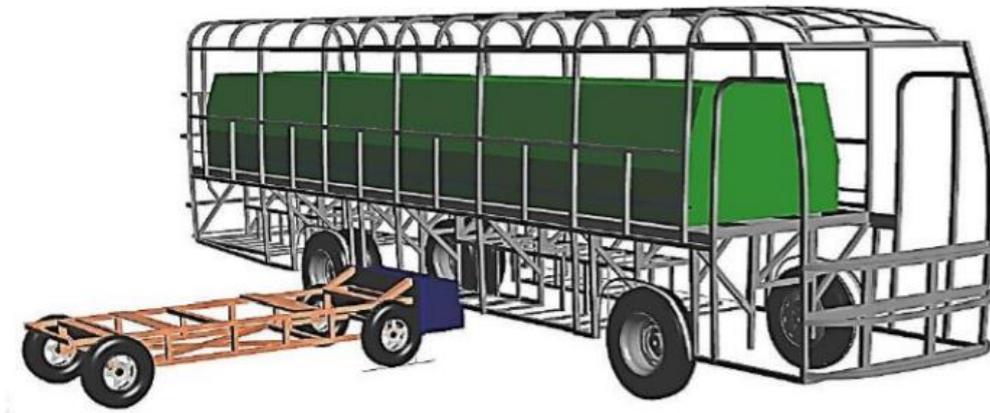


Figura 1.10: Prueba de impacto lateral.

Fuente: [4]

Pruebas antivuelco: En este tipo de prueba, se evalúa la capacidad de resistir un efecto único. Estos análisis se han propuesto últimamente para reemplazar las pruebas de golpes estáticos que se utilizaron generalmente. Consiste en utilizar el transporte sin que el cuerpo exterior se coloque en un escenario como se muestra en la Figura 1.11. Con las medidas mostradas. El vehículo se eleva hasta llegar a su balanceo sin fuertes impactos, ni sacudidas en las que la velocidad precisa no supere los cinco grados por segundo [2].

Estas pruebas permiten evaluar la solidez de la estructura de la cubierta. Por lo general, estas investigaciones o pruebas de choque se realizan en dos períodos; el primero

coloca el transporte en un escenario con una tendencia característica, el siguiente utiliza la carretilla elevadora moviéndose a una velocidad de 50 km / h, que golpea y hace que el transporte salga impulsado y gire el timbre hasta que se detenga. Diferentes pruebas de este tipo cambian el transporte a una caída libre desde 50 cm de altura sobre el borde delantero izquierdo de la azotea. Al final de cualquiera que sea la prueba a la que se oprime la estructura del vehículo, el espacio de resistencia no es atacado o atraviesa deformaciones que muestran el bienestar y la profunda calidad de los habitantes [25].



Figura 1.11: Prueba antivuelco.

Fuente: [7]

Impacto posterior: Un balanceo hacia atrás ocurre cuando un artículo izquierdo o en movimiento es golpeado por la espalda. Después de esta ocasión, la energía se mueve a medida que aumenta la velocidad del desarrollo. El alcance del poder subyacente es más notable cuando la distinción en la velocidad de movimiento de los dos vehículos es más prominente. En el balanceo de frente, el tamaño del daño ocurrido se debe a la cantidad de velocidad de los vehículos que actuaron, mientras que en los choques subsiguientes el daño se produce por el efecto secundario del contraste entre las velocidades de los dos vehículos [26].



Figura 1.12: Ensayo de impacto de una carrocería de bus escolar.

Fuente: [25]

1.3.6 Ensayo de vuelco según la Regulación UNECE/ CEPE R66.

1.3.6.1 Especificaciones y requisitos generales.

Las especificaciones y requisitos generales según la Regulación UNECE/CEPE R66, son:

- La superestructura del vehículo tendrá la solidaridad adecuada para garantizar que el espacio de resistencia no se dañe durante la prueba de vuelco del vehículo total una vez que haya sido terminado [27].

1.3.6.2 Determinación del centro de gravedad del vehículo.

La determinación del centro de gravedad del vehículo según [27], se define mediante tres parámetros:

- Distancia longitudinal, la cual va desde la línea central del eje frontal.
- Intervalo transversal (t), la cual va a partir del plano base longitudinal vertical del autobús.

- Altura vertical, sobre el nivel del suelo base horizontal cuando las ruedas están inflados con ajustes a lo especificado para el autobús.

El centro de gravedad se determina de la siguiente forma:

La posición longitudinal del centro de gravedad se calcula mediante la siguiente formula y se observa en la Figura 1.13.

$$I_1 = \frac{(P_3 + P_4) * L_1 + (P_5 + P_6) * L_2}{P_{total}}$$

Donde:

- P_1 = La carga de reacción por encima de la célula de carga por debajo del neumático izquierdo del primer eje.
- P_2 = La carga de reacción por encima de la célula de carga por debajo del neumático derecho del primer eje.
- P_3 = La carga de oposición en la celda forzada bajo las ruedas izquierdas del pivote posterior.
- P_4 = La carga de reacción por encima de la célula de carga por debajo de los neumáticos derechos del segundo eje.
- P_5 = La carga de reacción por encima de la célula de carga por debajo de los neumáticos izquierdos del tercer eje.
- P_6 = La carga de reacción por encima de la célula de carga por debajo de los neumáticos derechos del tercer eje.
- $P_{total} = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6)$.
- L_1 = La distancia a partir del centro del neumático del primer eje hasta el centro del neumático del segundo eje.
- L_2 = La distancia a partir del centro del neumático del primer eje hasta el centro del neumático del tercer eje.

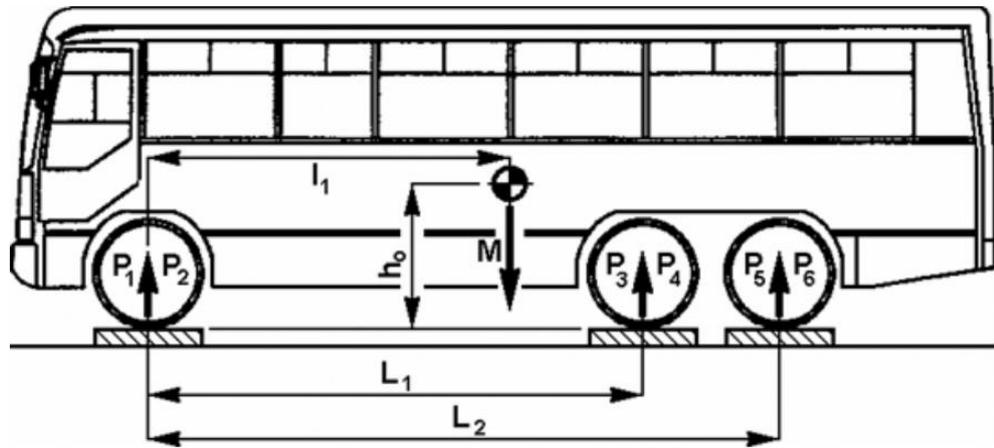


Figura 1.13: Posición longitudinal.

Fuente: [27]

La posición transversal del centro de gravedad se calcula mediante la siguiente fórmula y se observa en la Figura 1.14.

$$t_1 = \left((P_1 - P_2) * \frac{T_1}{2} + (P_3 - P_4) * \frac{T_2}{2} + (P_5 - P_6) * \frac{T_3}{2} \right) * \frac{1}{P_{total}}$$

Donde:

- T_1 = La distancia en medio de los centros del dibujo de los neumáticos a cada límite del primer eje.
- T_2 = La distancia en medio de los centros del dibujo de los neumáticos a cada límite del segundo eje.
- T_3 = La distancia en medio de los centros del dibujo de los neumáticos a cada extremo del tercer eje.

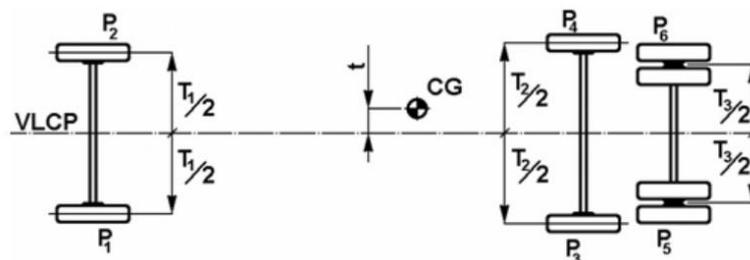


Figura 1.14: Posición transversal.

Fuente: [27]

1.3.6.3 Perspectivas de la descripción estructural de la superestructura.

Como perspectiva según [27] se tiene:

- Los segmentos deben contribuir a la resistencia y a la capacidad de absorción.
- Los componentes de conexión aportan a la rigidez de la distorsión.
- El material de los componentes, debe ser en relación a las normas internacionales o nacionales.
- La unión entre los elementos estructurales debe ser remachado, atornillado, encolado, soldado, tipo de soldadura, etc.
- Cada superestructura comprometerá tomar en estadística, al menos, dos elementos: uno delante y el otro atrás del centro de gravedad.
- La longitud máxima de una sección viene definida por lo largo de los marcos de 2 ventanas o puertas adjunto según la fórmula:

$$W_{max} = \frac{1}{2}(a + b)$$

Donde:

a = La longitud del cuadro de la ventana o puerta situado atrás del montante j-ésimo.

b = La longitud del cuadro de la ventana o puerta situado enfrente del montante j-ésimo.

- Distribución de la masa atribuidas a cada segmento.
- El centro de gravedad de las masas distribuidas.

1.3.6.4 Ensayo de vuelco como método básico de homologación.

El ensayo de vuelco según la regulación de la UNCE/CEPE R66, sigue el siguiente procedimiento:

- Primero colocar el transporte completo en la plataforma basculante, con el tope bloqueado, poco a poco produciendo un sesgo hacia su posición de equilibrio temperamental.

- Cuando el tipo de vehículo no está preparado, la prueba se completará en los estados de masa en funcionamiento solicitado; mientras que cuando el tipo de vehículo está provisto con limitaciones de viajero, la prueba se realizará bajo las limitaciones de la masa de potencia absoluta del transporte.
- La etapa posterior se toma cuando el vehículo comienza a situarse en la situación temperamental, con velocidad desenfrenada cero y el eje de giro pasando por los puntos de contacto de las ruedas con el suelo; describiendo la energía de referencia ER.
- A continuación, el autobús debe caer de lado en una cuneta con espacio de cemento, horizontal, lisa y seca, cuya profundidad representativo es de 800 mm, como se muestra en la Figura 1.15 [27].

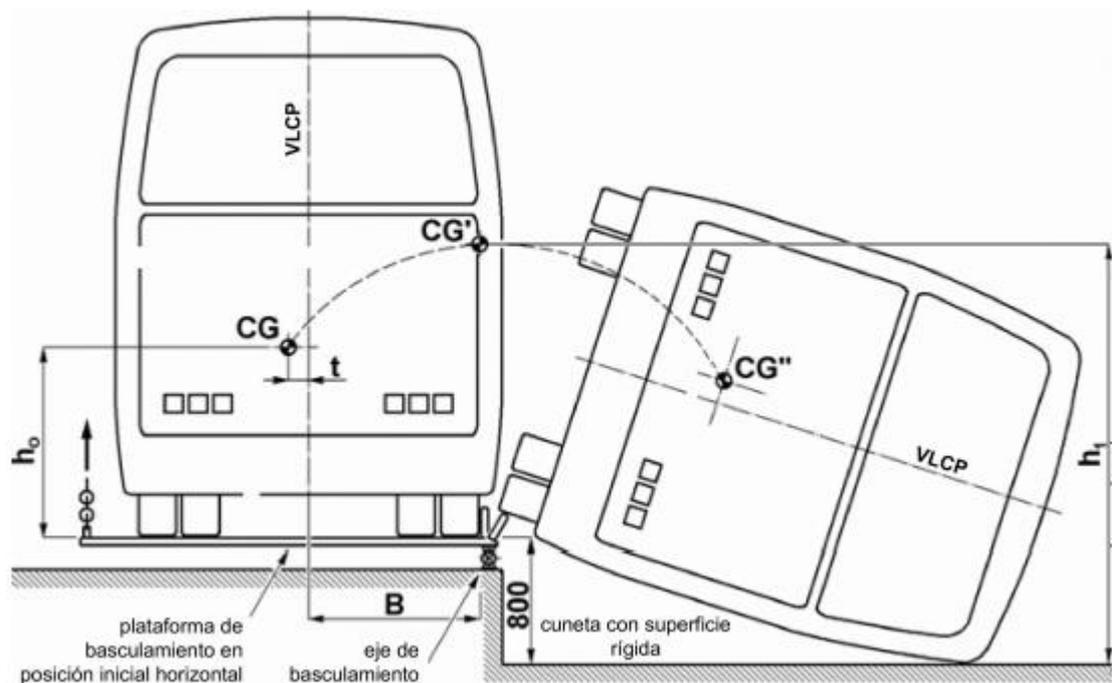


Figura 1.15: Especificaciones del ensayo de vuelco de un vehículo completo.

Fuente: [27]

1.3.6.5 Simulación por computadora de la prueba de vuelco de un vehículo total como un método de homologación idéntico.

Según [27], la simulación del procesador de la prueba de renovación de un transporte completo como una estrategia de certificado uniforme, se demuestra en:

En esta sección detalla que el material y los datos de alimentación utilizados, indica que los valores de las masas, el centro de gravedad y los momentos de inercia definidos utilizados son los modelos matemáticos.

El modelo matemático empleado, utilizará un modelo que permita describir el comportamiento físico real del proceso de vuelco.

Los requisitos del algoritmo y el programa de simulación, así como del equipo informático, permitirá, especificar la posición del vehículo en equilibrio inestable en el punto de vuelco y la posición al primer contacto con el suelo.

El programa de simulación alcanzará la posición de equilibrio inestable donde las restricciones iniciales en el punto de primer enlace con el suelo se establecerán empleando el cambio de energía potencial.

El programa de simulación producirá una solución estable en la que la conclusión sea independiente del aumento temporal, el cual permite calcular los elementos energéticos para el equilibrio de la potencia en cada aumento temporal.

1.3.7 Procedimiento para el MEF (Método de elementos finitos).

- **Pre proceso (Construcción del modelo).**

Los pasos del pre proceso permiten:

1. Implantar los fundamentos de entrada para ejecutar el proceso de simulación.
2. Representar el sistema físico a ser analizado.
3. Precisar las propiedades de cada elemento.

4. Concretar las propiedades geométricas de los elementos (dimensiones, áreas, volúmenes).
5. Puntualizar los tipos de elementos que se va a utilizar como beam, shell o solid.
6. Definir las restricciones físicas de los elementos como contactos o interferencias.
7. Definir el modelo (Nodos, elementos).
8. Producir la malla como son triangular para cáscaras y tetraédrico para el caso de los sólidos.

- **Solución.**

En este proceso se generan y resuelven las ecuaciones y condiciones dadas en el pre proceso, almacenar las variables y encontrar el tiempo de solución.

- **Post proceso.**

El post proceso permite:

1. Representar de manera numérica y gráfica los resultados.
2. Gestiona una gran cantidad de datos generadas en el proceso anterior.
3. Calcular factores de seguridad.

1.3.8 Mallado.

El proceso inicia con la creación de un patrón geométrico. Posteriormente, el programa distribuye el modelo en partes reducidas de formas sencillas llamadas componentes, que están conectadas en puntos ordinarios llamados nodos. El proceso de distribuir el modelo en pequeñas fracciones se llama mallado. Los programas de estudio de elementos finitos encuentran el modelo como una red de componentes interconectados.

La dimensión de mallado es muy significativa para pronosticar la falla de un material. La generación de malla para el análisis por elementos finitos presenta un efecto sobre la exactitud de las soluciones numéricas por lo que se solicita mayor precisión, esto

quiere decir que mientras la malla utilizada en la estructura sea más fina los resultados obtenidos van a ser más precisos [10].

1.3.9 Calidad de malla.

La calidad de la malla tiene un papel importante en la precisión de los productos. Para una malla sólida, la exactitud numérica se logra mejor por medio de una malla con componentes tetraédricos perfectos y homogéneos cuyas aristas sean de equivalente longitud. Para una geometría general, no es posible crear una malla de elementos tetraédricos perfectos. Debido a las aristas pequeñas, la geometría curva, los métodos de laminado y las aristas vivas, muchos de los dispositivos generados pueden tener algunas aristas mucho más largas que otras. Cuando las aristas de un componente tienen una notable diferencia en su largo, la precisión de los resultados se ve afectada [12].

- **Criterio Jacobiano.**

El criterio Jacobiano admite establecer la calidad de malla; con este criterio se puede calcular y probar todas las partes a excepción de los triángulos y los tetraedros. Una alta proporción muestra que la correspondencia entre el espacio y el espacio genuino del componente está resultando ser computacionalmente poco fiable [4].

Un cuadrilátero tiene un enlace jacobiano en un alcance de - 1.0 a 1.0, se identifica con 1.0 como el segmento de sección transversal ideal y hace un examen entre todas las partes de la celosía si la normal está cerca de 1.0 implica que el segmento computacional es altamente fiable. En el punto en el que un eje en general se moverá de una esquina al centro del componente de línea, la conexión sube por el jacobiano, lo que puede causar a largo plazo que cualquier acción adicional rompa la pieza [4].



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 1.16: Calidad de malla según el criterio Jacobiano.

Fuente: [10]

- **Calidad ortogonal.**

El rango para la calidad ortogonal es de 0 a 1, donde un valor de 0 indica una calidad inaceptable de malla y un valor de 1 indica una excelente calidad de malla, como se muestra en la Figura 1.17.



Inaceptable	Malo	Aceptable	Bueno	Muy bueno	Excelente
0 - 0,001	0,001 – 0,14	0,15 – 0,20	0,20 – 0,69	0,70 – 0,95	0,95 – 1,00

Figura 1.17: Calidad de malla según el criterio ortogonal.

Fuente: [10]

- **Asimetría.**

El rango para la calidad asimétrica es de 0 a 1, donde un valor de 0 indica una excelente calidad de malla y un valor de 1 indica una inaceptable calidad de malla, como se muestra en la Figura 1.18.



Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Inaceptable
0 - 0,25	0,25 – 0,50	0,50 – 0,80	0,80 – 0,94	0,95 – 0,97	0,98 – 1,00

Figura 1.18: Calidad de malla según el criterio asimétrica.

Fuente: [10]

1.3.10 Criterios de comportamiento de lesiones en maniqués de prueba de impacto lateral según la regulación UNECE/CEPE R95.

Los criterios de lesiones en ocupantes son valores mínimos permitidos con los cuales se comparan con los valores obtenidos y censados que presentan los maniqués en los ensayos de impacto, principalmente se miden estos datos en la cabeza, pecho, abdomen, pelvis, brazos y piernas, midiendo la aceleración, fuerza y deformación. A continuación, se cita la determinación de los criterios de comportamiento del apéndice 1 del Anexo 4 de la regulación UNECE/CEPE R95 [8].

Las medidas de exhibición que se establecerán para la prueba de accidente según el apéndice 1 del anexo 4 deben ajustarse a las condiciones adjuntas:

- El criterio de conducta de la cabeza (CCC, HIC): debe ser exactamente inferior o equivalente a 1 000; cuando no hay contacto con la cabeza, el CCC no se estimará ni evaluará, pero se registrará como sin contacto con la cabeza.
- La base de la conducta del tórax viene dada por: a causa del modelo de desfiguración de las costillas, no exactamente ni equivalente a 42 mm; y debido a la medida de los segmentos delicados (estándar de consistencia, CV), no exactamente ni equivalente a 1.0 m/s.
- El modelo de presentación de la pelvis se da a través de: mayor poder sobre la sínfisis púbica no exactamente ni equivalente a 6 kN.
- La regla para la conducción de la región media viene dada por: la potencia más extrema sobre la sección media no es exactamente ni equivalente a 2,5 kN de potencia interior (como una potencia exterior de 4,5 kN).

a) Criterio de comportamiento de la cabeza (ccc).

Cuando hay contacto con la cabeza, este modelo de conducta se evaluará como el tiempo completo entre el contacto subyacente y la última instantánea del contacto cerrado.

El CCC es el valor extremo de la siguiente fórmula:

$$(t_2 - t_1) \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right)^{2.5}$$

Donde (a) es el aumento de velocidad desde el punto focal de gravedad de la cabeza, estimado en metros por segundo, dividida en 9.81 m/s^2 , tomado como un componente del tiempo y tamizado con una especie de frecuencias de canal de 1000 Hz; (t1) y (t2) son dos ejemplos cualesquiera entre el contacto subyacente y el último contacto del contacto finalizado.

b) Criterios de comportamiento del tórax.

La deformidad del tórax: el defecto más extremo del tórax es la mayor secuela de deformidad en cualquiera de las costillas según los transductores de transporte torácico, separados por un canal óptimo con una recurrencia de 180 Hz.

Criterio de viscosidad: el resultado de espesor es el valor restrictivo del modelo de espesor en cualquier costilla, determinado a partir de la consecuencia inmediata de la presión general del tórax sobre el medio tórax y la velocidad de presión inferida por separación de presiones, filtrada con una clase de recurrencia del canal 180 Hz. Debido a este cálculo, el ancho estandarizado del confinamiento de media costilla tiene un valor de 140 mm.

$$VC = \max\left(\frac{D}{0.14} \frac{dD}{dt}\right)$$

Donde:

D= Viene dado en metros es la deformación de las costillas.

dt= Variación de tiempos en segundos.

c) Criterio de protección del abdomen.

La fuerza límite por encima del abdomen es el resultado límite de la adición de las tres fuerzas medidas por medio de transductores ajustados a 39 mm por abajo de la superficie del punto afectado, con una frecuencia de 600 Hz.

d) Criterio de comportamiento de la pelvis.

La fuerza límite sobre la sínfisis púbica es la fuerza límite medida mediante una célula de peso en la sínfisis púbica de la pelvis, cernida con una clase de frecuencias del canal de 600 Hz.

1.3.11 Evaluación de impacto de barreras laterales y postes del programa europeo de evaluación de vehículos nuevos (EURO NCAP).

El protocolo de evaluación y prueba para la protección de los ocupantes de un accidente de impacto de barrera lateral y poste, según la EURO NCAP.

A continuación, se resumen las medidas de evaluación esenciales utilizadas para la obstrucción lateral y los impactos en poste, con los límites de ejecución más altos y más bajos para cada parámetro. Las evaluaciones están aisladas en cuatro áreas individuales del cuerpo, la cabeza, el pecho, el abdomen y la pelvis. Las reglas y puntos de corte son equivalentes para la obstrucción lateral y el poste de prueba aparte de la cabeza y el pecho.

Tanto para los impactos contra los postes y laterales, se aplica una cobertura en la cabeza, el pecho, el abdomen y la pelvis. En los casos en que no se disponga de marcos de cobertura en la cabeza, no se permitirá la prueba del poste y los focos para esa prueba se establecen en cero [22].

- **Cabeza.**

Contacto directo de la cabeza con el poste debe también conduce al límite de taponamiento, como se muestra en la Tabla 1.2. En la tabla se describe los límites superiores e inferiores calculados en la investigación y los límites máximos aceptables en el estudio.

Tabla 1.2: Impacto lateral.

	Unidades	Límite superior	Límite inferior	Límite de taponamiento
HIC15	-	500.00	700.00	700.00 poste

Fuente: [22]

- **Pecho.**

La evaluación se basa en la compresión lateral de costilla individual de peor desempeño, en la Tabla 1.3, se observa los límites máximos de compresión de las costillas sometidas a impacto lateral y postes.

Tabla 1.3: Compresión lateral de los límites de las costillas.

	Unidad	Límite superior	Límite inferior	Límite
Compresión lateral	mm	28.00	50.00	50.00 barra móvil deformable (MDB) 55.00 Poste

Fuente: [22]

- **Abdomen.**

En el estudio realizado de Euro NCAP en el impacto lateral o poste, el límite recomendado es de 65 mm, como se ilustra en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4: Compresión lateral de los límites de las costillas.

	Unidad	Límite superior	Límite inferior	Límite
Compresión lateral	mm	47.00	65.00	65.00

Fuente: [22]

- **Pelvis.**

En la Tabla 1.5, se observa la fuerza de la sínfisis púbica la cual el límite recomendado es de 2.8 kN.

Tabla 1.5: Fuerza en la sínfisis púbica recomendado.

	Unidad	Límite superior	Límite inferior	Límite
Fuerza en Sínfisis púbica	kN	1.70	2.80	2.80

Fuente: [22]

1.3.12 Descripción técnica del maniquí de colisión lateral.

Este reglamento especifica la técnica de del maniquí, de colisión lateral donde las dimensiones y masas, representan a un varón adulto del percentil quincuagésimo, sin los antebrazos, el cual consta de una estructura de metal y plástico forrado de caucho, con el plástico y espuma en forma de carne [8].

1.3.12.1 Instalación del maniquí de colisión lateral.

El maniquí de colisión lateral debe emplearse según el procedimiento de instalación expuesto [8].

El proceso de instalación del maniquí de colisión lateral, según [8] es el siguiente:

- Ajustar las articulaciones de las rodillas y los tobillos de modo que solo sostengan la parte inferior de la pierna y el pie cuando estén extendidos en posición horizontal.
- Verificar que el maniquí esté colocado en dirección de impacto.
- El maniquí convendrá ponerse con pantalones precisos de algodón dúctil de media pierna y podrá colocarse con camiseta concreta de algodón flexible de manga pequeña.
- Los pies deben poner calzados con zapatos.
- Se deberá colocar el maniquí en el asiento delantero.

- El plano de simetría del maniquí deberá encajar con el plano mediano vertical del lugar del asiento especificada.
- La pelvis del maniquí deberá emplearse de modo que una línea lateral debe ser perpendicular al plano base longitudinal del asiento.
- La parte privilegiada del torso convendrá desviarse hacia al frente y a continuidad volver a instalarse firmemente en el espaldar.
- Los hombros del maniquí deberán estar totalmente ubicados hacia atrás.
- Sea cual sea la necesidad del asiento del maniquí, el ángulo en medio de la parte principal del brazo y la línea de relación torso-brazo de cada costado debe ser de $40^\circ \pm 5^\circ$.
- La línea de relación torso-brazo se define como la intersección del plano tangente al plano frontal de las costillas y la superficie vertical longitudinal del maniquí que incluye el brazo.

1.3.13 Maniquís de pruebas de impacto.

1.3.13.1 Tipos de maniquís de pruebas de impacto.

Para impactos los tipos de máquinas usados según [28], son:

Impacto frontal: HYBRID III, los cuales son empleados para pruebas de impactos frontales, el cual se ajusta con el correspondiente cinturón de seguridad, cuyo asiento se ubica en diferentes direcciones, como se ilustra en la Figura 1.19, existen muchos tipos de híbridos en los cuales tenemos el H3-05, H3-50 y el H3-95.

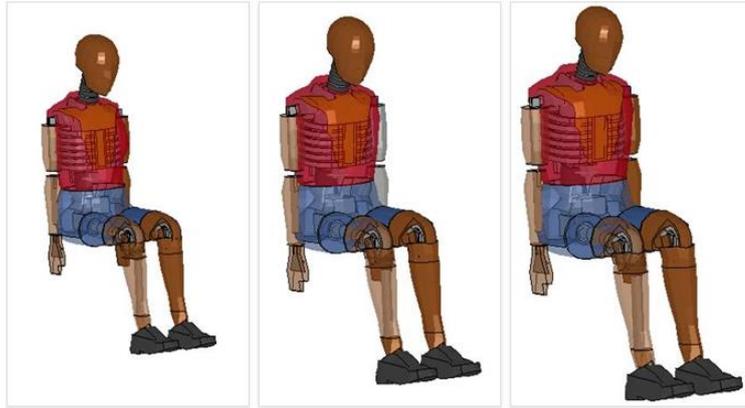


Figura 1.19: Maniqués HIBRID III.

Fuente: [28]

Impacto lateral: EUROSID o SID-IIS, el cual es diseño para calibrar lesiones ante impactos laterales, los cuales constan de instrumentos electrónicos internos, siendo diferente casi en su totalidad a excepción del HYBRID III, salvo su cabeza, dimensionados y modelados para medir las aceleraciones y fuerzas laterales en las diferentes partes que constituyen el cuerpo, ver la Figura 1.20.



Figura 1.20: Maniquí EUROSID.

Fuente: [28]

Impacto Posterior: SID y BioRID-II, son útiles para representar al 50% de los hombres de tamaño medio, los cuales miden entre 5 y 10 pies de alto, con 170 libras, propuestos para impactos laterales, miden la aceleración de la espina dorsal y de las costillas, indicando las fuerzas infligidas en cuerpo durante el impacto, como se observa en la Figura 1.21.

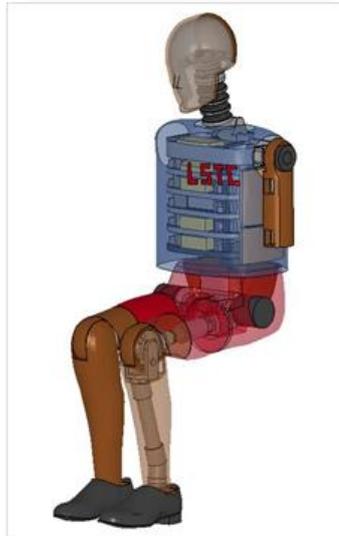


Figura 1.21: Maniquí SID y BioSID.

Fuente: [28]

Muñecos de niños: CRABI, conocidos como Q6 y Q10 son maniqués de interacción con la bolsa de aire, representados a niños desarrollados por sistemas de seguridad, para evaluar sistemas de alojamiento de niños, los cuales varían entre 18 meses, 12 meses y 6 meses, con sensores en la cabeza, cuello, pecho, la parte posterior y la pelvis que miden las fuerzas y aceleraciones, como se ve en la Figura 1.22.



Figura 1.22: Maniquí CRABI.

Fuente: [28]

Impacto frontal: THOR, son maniqués con mayores características humanas que el HYBRID III, el cual incluye una espina dorsal y una pelvis que permiten simular varias

posiciones, por lo que usan sensores que proporcionan más medidas de lesión que los disponibles, como se muestra en la Figura 1.23.



Figura 1.23: Maniquí THOR.

Fuente: [28]

Impacto lateral: ES-2 y WS-50, son maniqués empleadas para los impactos de vuelco, generalmente son aprovechados por organismos como Euro NCAP para sus ensayos de choque son un invento relativamente actual. Está diseñado para ser utilizado en todo el mundo como herramienta de prueba reglamentaria y de investigación, para evaluar el riesgo de lesiones en impactos laterales y las interacciones entre ocupantes y vehículos. Conocer su evolución y desarrollo es fundamental para entender la impresionante reducción del número de perjudicados en las carreteras, el maniquí se muestra en la Figura 1.24.



Figura 1.24: Maniquí ES-2.

Fuente: [29]

1.3.13.2 Utilización de los maniqués de prueba de impacto.

Según [30] la herramienta de criterios de lesiones de los ocupantes se puede procesar simultáneamente de muchas simulaciones y pruebas físicas. La herramienta proporciona una manipulación eficaz y sencilla de los resultados creados para una mejor inspección y comparación de los mismos. Los resultados que provienen de pruebas físicas pueden ser leídos desde archivos de datos ISO, archivos DIADEM, archivos ASCII, etc. Los maniqués de pruebas de choque son:

Tabla 1.6: Maniqués admitidos para cada ensayo.

Impacto frontal	Impacto lateral	Impacto posterior	Muñecos de niños
H3-05	ES-2	BioRID-II	Q6
H3-50	SID-IIS		Q10
H3-95	WS-50		
THOR-50			

Fuente: [30]

1.3.13.3 Datos técnicos del maniquí para impacto lateral ES-2.

El modelo ES-2 ha sido desarrollado conjuntamente por Livermore Software Technology Corporation (LSTC) y DYNAmore GmbH. El modelo se basa en el maniquí de prueba de choque lateral para hombres adultos del percentil 50 de EuroSID-2 (ES-2), de acuerdo con la normativa 95 de la CEPE. Ha sido validado para las pruebas de certificación descritas en el reglamento. Los resultados de la validación del maniquí ES-2 se encuentra en la documentación. El modelo de elementos finitos LSTC EuroSID-2 (ES-2) se encuentra en las unidades de mm, ms, kg y kN [31].

Las dimensiones del maniquí según la [8], se muestra en la Figura 1.25.

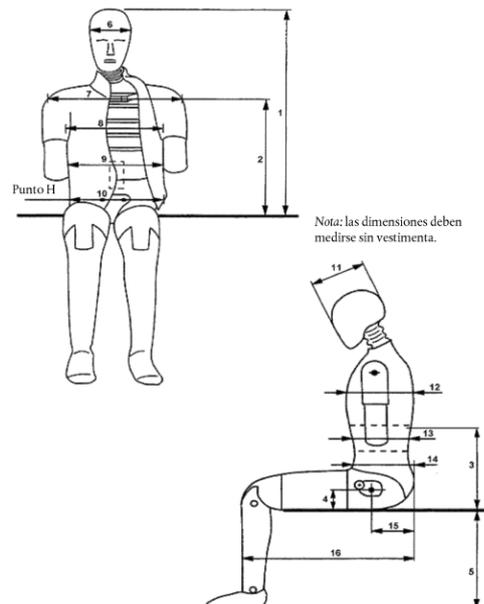


Figura 1.25: Medidas de las dimensiones principales del maniquí.

Fuente: [8]

Las dimensiones principales del maniquí ES-2, se ilustra en la

Tabla 1.7.

Tabla 1.7: Dimensiones principales del maniquí ES-2.

N°	Parámetro	Dimensión (mm)
1	Altura sentada del maniquí	909 ± 9
2	De la butaca a la unión del hombro	565 ± 7
3	De la butaca a la cara menor de la caja a la espina dorsal	351 ± 5
4	De la butaca a la unión de la cadera (mital del perno)	100 ± 3
5	De la planta a la butaca, sentado	442 ± 9
6	Holgura de la cabeza	155 ± 3
7	Holgura del brazo/hombro	470 ± 9
8	Holgura del tórax	327 ± 5
9	Holgura del abdomen	290 ± 5
10	Holgura de la pelvis	355 ± 5
11	Fondo de la cabeza	201 ± 5
12	Fondo del tórax	276 ± 5
13	Fondo del abdomen	199 ± 5
14	Fondo de la pelvis	240 ± 5
15	De la parte del extremo de los glúteos a la unión de la cadera	155 ± 5

16	De la parte del extremo de los glúteos a la parte delantera de la rodilla	606 ± 9
----	---	---------

Fuente: [8]

En tanto que las masas componentes del maniquí según se observa en la Tabla 1.8.

Tabla 1.8: Masas de los componentes del maniquí ES-2.

Componente	Masa (kg)	Tolerancia ± (kg)	Principales elementos
Cabeza	4.0	0.2	Cabezal completo, que incluye acelerómetro triaxial y celda de carga en la parte superior del cuello o pieza nueva.
Cuello	1.0	0.05	Cuello, a excepción de la ayuda cervical.
Tórax	22.4	1.0	Soporte cervical, capuchón escapular, hombros, pasadores de sujeción de brazo, caja de columna dorsal, placa de soporte del torso, módulos de costillas, transductores de deformación de costillas, celda de carga de hoja de soporte de torso.
Brazo (cada uno)	1.3	0.1	Brazo superior, incluida la placa de posicionamiento del brazo (cada brazo).
Abdomen y columna lumbar	5.0	0.25	Recubrimiento tisular de la región media y la columna lumbar.
Pelvis	12.0	0.6	Bloque de sacro, placa de montaje de la columna lumbar, articulaciones esféricas de la cadera, soportes femorales superiores, alas ilíacas, transductor de fuerza pélvica, delineador de carne pélvica, 1/3 del vestido.

Pierna (cada una)	12.7	0.6	Pie, pierna y muslo con el tejido oculto hasta la intersección con la parte superior del fémur (cada pierna).
Componente	Masa (kg)	Tolerancia ± (kg)	Principales elementos
Maniquí completo	72.0	1.2	

Fuente: [8]

Acelerómetros del maniquí ES-2.

En la tabla se muestra la ubicación de los acelerómetros del maniquí, los acelerómetros sirven para la extracción de los criterios de lesiones producidos en un accidente.

Tabla 1.9: Acelerómetros del maniquí ES-2.

Ubicación	Componente de aceleración	Acelerómetro-ID	Nodo del acelerómetro
Cabeza	X- aceleración	1	10027
	Y- aceleración	2	10019
	Z- aceleración	3	10029
Columna vertebral superior	X- aceleración	4	10021
	Y- aceleración	5	10001
	Z- aceleración	6	10022
Columna vertebral inferior	X- aceleración	7	10023
	Y- aceleración	8	10003

	Z- aceleración	9	10024
Clavícula	Y- aceleración	10	10020
Ubicación	Componente de aceleración	Acelerómetro-ID	Nodo del acelerómetro
Clavícula adaptada, brazo izquierdo	Y- aceleración	11	10017
Costilla superior	Y- aceleración	12	10011
Costilla media	Y- aceleración	13	10009
Costilla inferior	Y- aceleración	14	10007
Pelvis	X- aceleración	15	10025
	Y- aceleración	16	10013
	Z- aceleración	17	10026

Fuente: [31]

1.3.13.4 Acelerómetros en maniquís en pruebas de impacto.

Son elementos encargados de medir la aceleración de una determinada dirección, se emplean para determinar la probabilidad de lesión, ubicados en todas las zonas de impacto posibles, debiendo existir un acelerómetro en el pecho, la pelvis, las piernas, pies y la cabeza del maniquí, donde se mide en las direcciones delantera-en popa, arriba – abajo; de izquierda y derecha, ver la Figura 1.26 [28].

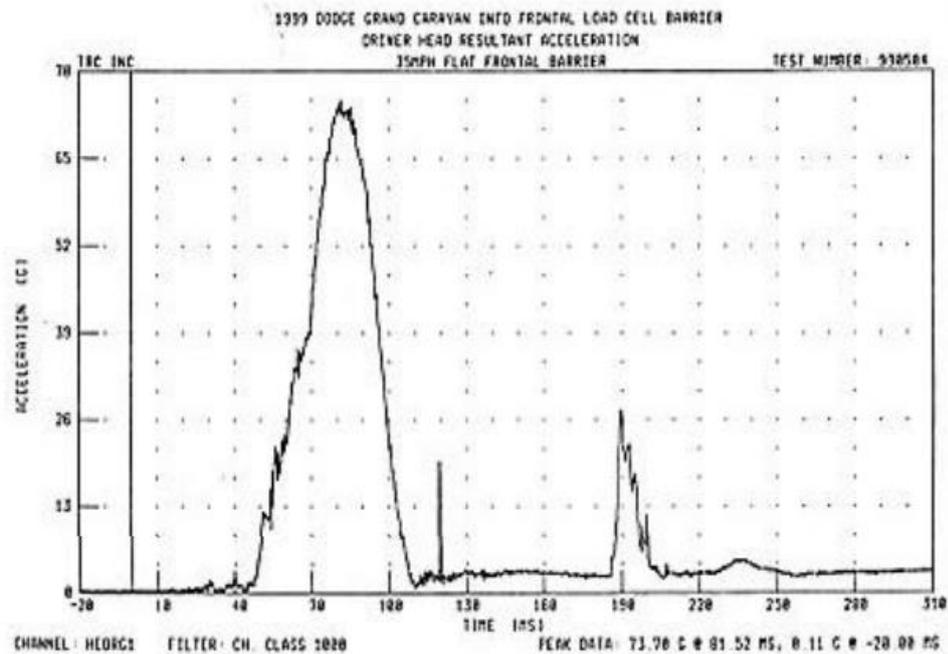


Figura 1.26: Aceleraciones durante pruebas de impacto.

Fuente: [28]

1.3.13.5 Validación de modelos computacionales de maniqués de impactos.

La validación de modelos computacionales de maniqués de impacto es:

a) Verificación de conexiones:

- Unión del cuello y cabeza, que debería generarse una junta de tipo Spherical.
- Rigidez del cuello, con un Spring.
- Unión del barco derecho y cuerpo, que debería generarse una junta de tipo Spherical.
- Unión del barco izquierdo y cuerpo, que debería generarse una junta de tipo Spherical.
- Movimiento de la rodilla derecha, que debería originarse tipo cilíndrica.
- Movimiento de la rodilla izquierda, que debería generare tipo cilíndrica.
- Movimiento del tobillo, que debería generarse tipo cilíndrico.

b) Pruebas de trineo [32].

1.3.14 Introducción al programa computacional LSDYNA de LSTC.

LS-DYNA es un programa de simulación multifísica de propósito general moderno desarrollado por Livermore Software Technology Corporation (LSTC) [33].

Es una herramienta CAE avanzada que integra los datos en el vínculo del proceso estructural, la cual es un habilitador, para facilitar esta transformación digital al tiempo que impulsa la economía de energía, mejorando la seguridad y el desempeño en el diseño moderno y análisis [33].

1.3.14.1 Principio de elementos finitos utilizando método de análisis estructural explícito dinámico no lineal.

Los principios de análisis estructural explícito dinámico no lineal se da en función de las cargas simuladas de impacto, útiles para reducir el valor de costos y tiempos requeridos en ensayos de choque analizando grandes deformaciones de elementos explícitos bidimensionales o tridimensionales, donde el contacto entre superficies, tarea de materiales y condiciones límite consiguen la adquisición de un modelo y una disposición discreta más cercana al modelo real genuino, a través de una post-preparación que permite la investigación y demostración de resultados, mostrando valores de desplazamiento, velocidades, aceleraciones, esfuerzos, etc, como se ilustra en la Figura 1.27 [34].



Figura 1.27: Simulación de impacto.

Fuente: [34]

1.3.15 Cinturón de seguridad.

1.3.15.1 Reglamentos y normativas del cinturón de seguridad.

El reglamento aplicado para el empleo de cinturones de seguridad es:

- NTE INEN 1668: Vehículos de transporte gubernamental de ocupantes intrarregional, interprovincial e intraprovincial. Exigencias.

1.3.15.2 Tipos de cinturón de seguridad.

Los tipos de cinturón de seguridad son:

- **Cinturón de dos puntos.** Es el cinturón empleado donde su mecanismo se basa en el anclaje en los dos lados de la cadera [35].
- **Cinturón de tres puntos.** Es el cinturón que manipula además del método del cinturón de dos puntos, un tercer punto de detención por arriba de uno de los hombros [35].
- **Cinturón de cuarto puntos.** Aumenta el mecanismo del cinturón de tres puntos con un nuevo punto de sujeción, utilizado para el anclaje de las caderas y el de los dos hombros, usándose a modo de arnés [35].
- **Cinturón de cinco puntos.** Añadiendo un nuevo punto de sujeción al cinturón de cuatro puntos, este cinturón posee un punto más, con un anclaje entre las piernas, dejando paso a los cinturones habituales [35].
- **Cinturón en X.** Este tipo de cinturón de seguridad se asemeja mucho al cinturón de cuatro puntos, empleado con un anclaje en diagonal por encima del hombro que queda libre, formando una X sobre el torso del pasajero; sujetando en la zona de la cadera y no en el centro como ocurre con el de cuatro puntos [35].

- **Cinturón ergonómico.** Es aquel cinturón de seguridad que se adapta a la figura del pasajero, como los que utilizan un sistema similar a una faja para sujetar al pasajero [35].
- **Cinturones para perros.** Son útiles para llevar animales en el coche, de tipo arneses [35].

1.3.15.3 Cinturón de seguridad para buses interprovinciales.

En los buses de pasajeros interprovincial e intraprovincial deben colocarse cinturones de seguridad de tres puntos o de dos puntos autotensables en los asientos ubicados en las filas correspondientes a las puertas de salidas, como se observa en la Figura 1.28 [21].



Figura 1.28: Cinturón de seguridad.

Fuente: [21]

1.3.16 Lesiones producidas por accidentes de tránsito.

1.3.16.1 Daños en la cabeza de acuerdo al HIC.

Para conocer la medida de daño idéntica al valor registrado por el HIC, se debe inspeccionar el código AIS (Escala abreviada de lesiones). De acuerdo con estas cualidades, se expone una progresión de daños que el Euro NCAP otorga un grado de

daño al cráneo y otorga un valor en un rango de matices. La Tabla 1.10 muestra esta relación.

Tabla 1.10: Daños en el cuerpo.

HIC	AIS Code	Nivel de daño cerebral	Nivel de daño en el cráneo	Valoración EURONCAP
<150	0/1	Sin trastorno	Sin fractura	Verde
150 - 500	1	Suave trastorno	Sin fractura	Verde
500 - 1800	2	Trastorno severa	500 – 900 pequeña fractura	<650 verde
				650 – 767 amarillo
	3		767 – 883 naranja	
			4	883 – 1000 marrón
			5	>1000 rojo
>1800	6	Coma cerebral	Vida delicado por la fractura	rojo

Fuente: [36]

1.3.16.2 Mecanismo de lesión.

En los accidentes automovilísticos, en particular los que consisten en impactos, pueden diseccionarse en tres efectos progresivos completamente separados:

- a) **Impacto con el vehículo:** el efecto principal se produce cuando el vehículo choca con el objeto o con otra unidad de tráfico.
- b) **Impacto con el cuerpo externo:** el efecto posterior se produce cuando el inquilino del vehículo golpea con su cuerpo cualquier estructura dentro de la cabaña.
- c) **Impacto corporal interno:** el tercer efecto se desencadena dentro del cuerpo del inquilino, cuando los órganos (cerebro, corazón, hígado, etc.) se balancean con las estructuras óseas, por ejemplo, el cráneo, el esternón, las costillas, la columna vertebral o la pelvis [37].

En el caso que se considere los diversos tipos de presión a los que pueden ser oprimidos ciertos órganos o partes del cuerpo, los instrumentos de lesión vistos en las víctimas pueden ser caracterizados en uno de los cinco acompañantes, ya sea solos o mezclados:

- **La flexión:** normalmente crea grietas cruzadas.
- **Extensión:** puede crear grietas cruzadas y separaciones articulares.
- **Tracción:** en su mayoría produce desgarros o desprendimientos cutáneos y sólidos.
- **Compresión:** Esto se debe a la utilización de una potencia de forma longitudinal. Es un instrumento que revela las roturas debidas a la explosión del cuerpo vertebral o la grieta diafragmática debido a una presión estomacal exorbitante. Es la lesión o rotura de los tejidos por la utilización de una potencia, que ocurre cuando se supera el límite de los tejidos para ingerir energía sin entregar modificaciones primarias críticas.
- **Torsión:** normalmente entrega grietas o torceduras de espiroides. Ejemplo común del esquiador, cuyo esquí se agarra fijo, entregando un giro abrupto de su cuerpo en la pierna que gira como un pivote [37].

1.3.17 Ensayo de certificación del maniquí de colisión lateral.

Según el lado del vehículo a ser afectado, las partes del maniquí deben afirmarse en el lado izquierdo o derecho que vayan hacer impactado. La disposición del maniquí en cuanto a la dirección del montaje de los módulos costales y el área de los transductores de potencia del estómago deben ajustarse al lado a ser afectado. Toda la

instrumentación se alinearán según los requisitos previos de la documentación, deben cumplir con el particular del registro del canal. En cualquier caso, se necesitan mínimo diez canales para dar su consentimiento a este reglamento, para el estudio se analiza: aceleración de la cabeza, desplazamiento de la caja torácica, cargas del abdomen y carga púbica de la sínfisis, ver la Figura 1.29 [8].

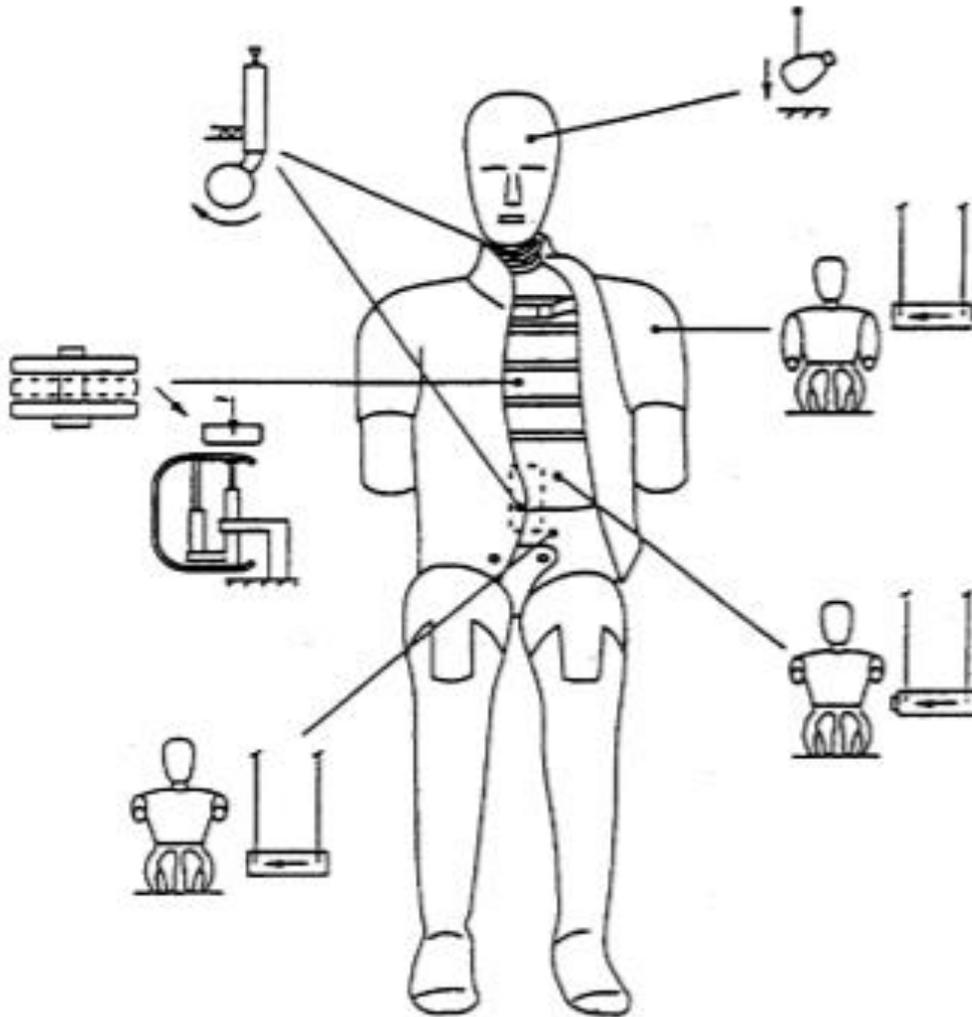


Figura 1.29: Visión general de la colocación para el ensayo de certificación del dummy de colisión lateral.

Fuente: [8]

1.3.17.1 Calibración de la cabeza.

El subconjunto de la cabeza, incluyendo la parte de la célula de acumulación en el punto más alto del cuello, se asegura en una prueba de caída de una altura de 200 ± 1 mm en una superficie de efecto nivelada e inflexible.

El ángulo entre la superficie de efecto y el plano sagital medio de la cabeza debe ser $35 \pm 1^\circ$, con el objetivo de que se pueda hacer un impacto contra el punto más alto del lado de la cabeza. La mayor aceleración de la cabeza, separada con CFC 1 000 debería estar en el rango de 100 y 150 m/s^2 . La conducta de la cabeza puede ser aclimatada para cumplir con el prerrequisito cambiando los atributos de fricción de la intersección entre la piel y el cráneo, ver la Tabla 1.11 [8].

Tabla 1.11: Velocidad del péndulo – tiempo para el ensayo de certificación del cuello.

Tiempo límite superior (s)	Velocidad (m/s)	Tiempo límite inferior (s)	Velocidad (m/s)
0.001	0.0	0	-0.05
0.003	-0.25	0.0025	-0.375
0.014	-3.2	0.0135	-3.7
		0.017	-3.7

Fuente: [8]

1.3.17.2 Calibración del tórax.

Cada módulo costero se asegura de forma independiente. El módulo costal se coloca verticalmente en un asiento de prueba de caída y la cámara costal se conecta inflexiblemente al asiento de prueba de caída. El impactador es un cuerpo de caída libre de $7,78 \pm 0,01$ kg, con una sección plana y un ancho de 150 ± 2 mm. La línea

central del impactador debe estar alineada con la del marco de dirección de las costillas. La potencia de efecto se basa en las estaturas de caída de 815, 204 y 459 mm. Estas estaturas producen tasas de aproximadamente 4, 2 y 3 m/s, por separado.

La fuerza de caída del efecto debe aplicarse con una exactitud del 1%. El desplazamiento de las costillas debe estimarse, por ejemplo, mediante métodos para el transductor de reubicación de costillas. Los requisitos previos para la confirmación de las costillas aparecen en la Tabla 1.12 de esta adicción [8].

Tabla 1.12: Certificación del módulo costal completo.

Secuencia de ensayo	Altura de caída (exactitud del 1%) mm	Desplazamiento mínimo (mm)	Desplazamiento máximo (mm)
1	815	46.0	51.0
2	204	23.5	27.5
3	459	36.0	40.0

Fuente: [8]

1.3.17.3 Calibración del abdomen.

El maniquí debe estar situada en una superficie plana y horizontal, sin respaldo. El pecho debe ponerse en posición vertical y los brazos y piernas en posición plana. El impactador es un péndulo con una masa de $23,4 \pm 0,2$ kg y una distancia transversal de $152,4 \pm 0,25$ mm, con un barrido de borde de 12,7 mm. El impactador está suspendido de los pivotes sin flexión por ocho cables de alambre, con su línea central en cualquier caso 3,5 m por debajo de estos pivotes, ver Figura 1.30.

Los registros de tiempo de potencia estimados por los tres transductores de potencia estomacal deben ser añadidos y separados utilizando CFC 600 de ISO 6487:2000. La potencia más extrema de tal expansión debe ser de 2,2 a 2,7 kN y debe adquirirse en algún punto del rango de 10,0 y 12,3 ms.

Izquierda: suspensión con cuatro cables (sin los cables transversales)

Derecha: suspensión con ocho cables



Figura 1.30: Suspensión del impactador pendular de 23,4 kg.

Fuente: [8]

1.3.17.4 Calibración de la pelvis.

El impactador para la calibración de la pelvis es el mismo que para la calibración del abdomen como se muestra en la Figura 1.30.

El impactador debe tener la opción de oscilar abiertamente contra la pelvis del simulacro a una velocidad de efecto de $4,3 \pm 0,1$ m/s. La mayor potencia del impactador, obtenida a partir de la aceleración del impactador separada con CFC 180 y duplicada por la masa del impactador, debería ser de 4,4 a 5,4 kN y debería adquirirse en algún punto del rango de 10,3 y 15,5 ms.

1.4 HIPÓTESIS.

El análisis mediante el método de elementos finitos de una sección de la superestructura de un autobús interprovincial sometida a volcadura, verificará el cumplimiento de la normativa R95 de la comisión económica para Europa.

1.4.1 Señalamiento de variable de la hipótesis.

1.4.1.1 Variable Independiente.

Análisis mediante el método de elementos finitos de una sección de la superestructura de un autobús interprovincial sometida a volcadura.

1.4.1.2 Variable Dependiente.

Cumplimiento de la normativa R95 de la comisión económica para Europa.

1.4.1.3 Término de relación.

Verificará.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES

Los materiales y equipos utilizados en este estudio se describen a continuación, en general se utilizaron la sección de una superestructura de un autobús interprovincial que se describe en la Tabla 2.1; un asiento de acuerdo a la norma INEN 043 que se representa en la Tabla 2.2 y un maniquí ES-2.

Tabla 2.1: Materiales y perfiles utilizados en el diseño de la estructura de la carrocería.

Material de fabricación	Gráfico	Aplicación en la carrocería	Características técnicas	Norma de fabricación
Tubería estructural	Cuadrado: 50x50x2	Largueros del piso, ventanas, refuerzo lateral.	Esfuerzo de fluencia: $f_y = 2400$ Kg/cm ²	INEN 2415 acero estructural ASTM – A36
	Rectangular: 50x100x2	Largueros del piso, refuerzo inferior y soporte frontal	Módulo de elasticidad: $E = 200$ GPa	
Perfil estructural	Perfiles en CU: 80X40X2	Se utiliza para los pisos y parte inferior	Módulo de elasticidad por corte: $G = 80$ GPa	INEN 1623 acero estructural ASTM – A36

Fuente: [38]

En la Tabla 2.1 se describe la tubería estructural y los perfiles utilizados para el diseño de la sección de la superestructura, con sus respectivas características y normas de acuerdo a sus aplicaciones.

Tabla 2.2: Materiales utilizados en el diseño del asiento.

Descripción	Detalle	Material
Anclaje de la pata	Platina de 30x3 mm	ASTM A-36
Anclaje ángulo	Ángulo 30x30x2 mm	
Espaldar	Tubo negro redondo de 25.4 x 1.50 mm	ASTM A 500 Gr A
Base	Tubo negro cuadrado 25x25x2 mm	
Cojín	Perfil C negro de 25x25x2 mm	

Fuente: [39]

En la Tabla 2.2 se enlista los materiales utilizados para el diseño del asiento y el anclaje en la estructura conjuntamente con el material utilizado.

2.2 MÉTODOS.

En el presente proyecto de investigación se comienza con la recopilación de datos de la superestructura utilizando la normativa NTE INEN 1668, con los datos definidos se realiza el diseño y el modelado CAD de la sección, una vez ya diseñado se exporta la geometría al ANSYS. Después se coloca los parámetros de mallado verificando la calidad de malla de la superestructura para posteriormente modelar la plataforma del ensayo de vuelco y añadir los maniqués correspondientes en la estructura, continuamente se ubica el contacto entre los cuerpos.

Seguidamente se registra las condiciones de frontera, se asigna el material y espesor a la estructura y al cinturón de seguridad, se calcula la velocidad angular con la que se impacta la superestructura al piso, con las fórmulas especificadas en el Reglamento R 66 de las Naciones Unidas para Europa. Luego se otorgan los parámetros iniciales y por último se colocan los controles de la simulación activando los comandos accuracy, energy, hourglass, shell, termination, timestep, database y binary-D3plot y se procede a correr el programa para realizar el análisis de resultados.

2.2.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.

2.2.1.1 Investigación teórica.

Se aplica este tipo de investigación ya que se genera referencias teóricas en las regiones lógicas y especializadas sobre impactos en estructuras de transporte, pautas de planificación, programas de PC que completarán pruebas virtuales y heridas causadas en percances de vuelco. Se utilizó este procedimiento para mejorar la relación pasajero/seguridad. Este tipo de investigación contiene información extensa y desarrollada para procesos de análisis, desde la recolección de los datos hasta la conclusión objetiva de una hipótesis.

2.2.1.2 Investigación descriptiva.

Se establece este tipo de investigación debido a que se efectúa una descripción del procedimiento, dimensionamiento, funcionamiento, seguridad de los ocupantes de transporte público interprovincial, además se compara entre varios resultados obtenidos, las características durante el ensayo de vuelco, necesarias para un análisis completo de respuestas.

2.2.1.3 Investigación explicativa.

Se trata de una investigación explicativa porque la hipótesis planteada se comprobará en base a las distintas simulaciones desarrolladas, con los resultados alcanzados se va a efectuar una exposición detallada para la implementación de dispositivos, proteger la existencia de los habitantes y seguir las pautas vigentes.

2.2.1.4 Investigación experimental.

Se emplea la investigación experimental ya que se aplica diseños en los que se manipulan una o varias variables independientes, mediante la simulación del comportamiento mecánico de la sección de la superestructura colocada los cuatro maniquís, con el fin de describir y analizar lo que ocurriría los pasajeros en condiciones de un vuelco de autobús interprovincial.

2.2.2 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

2.2.2.1 Documental.

Se efectúa un plan de recolección de información documental, debido a que la información empelada viene dada por una base bibliográfica. La variedad de información de libros, distribuciones, artículos, exámenes, hojas especializadas, reglas y pautas, así como arreglos de información., del resultado de las diferentes simulaciones realizadas en el vuelco del autobús.

2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

2.3.1 Variable Independiente.

Análisis mediante el método de elementos finitos de una sección de la superestructura de un autobús interprovincial sometida a volcadura.

Tabla 2.3: Variable independiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El ensayo es un evento controlado de vuelco del autobús, el automotor se ubica en una plataforma basculante que se encuentra elevada a 800 mm de altura del suelo, la plataforma conjuntamente con el autobús gira con respecto a un eje inferior de giro a una velocidad angular de 0.087 rad/s hasta que el autobús pierda estabilidad lateral y se vuelque hasta impactar contra el piso.	Ancho de la ventana	Ancho mínimo	1200 mm	NTE INEN 1668
		Ancho máximo	160 mm	
	Maniquí	Cinturón de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Sin cinturón • Cinturón de seguridad de 2 puntos • Cinturón de seguridad de 3 puntos 	Estudios bibliográficos

2.3.2 Variable Dependiente.

Cumplimiento de la normativa R95 de la comisión económica para Europa.

Tabla 2.4: Variable dependiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Los criterios de comportamiento en los vehículos equipados con motor eléctrico, deberán cumplir un ensayo de colisión, a condición de que los componentes eléctricos no influyan en el rendimiento de protección de los ocupantes del tipo de vehículo. El ensayo de colisión deberá ajustarse a ciertas condiciones.	Criterio de comportamiento del maniquí en el ensayo de colisión.	Cabeza	Inferior o igual a 1 000	Reglamento R95 (CEPE/ONU). Análisis a través del método por elementos finitos. Observación directa del programa
		Tórax	Inferior o igual a 42 mm.	
		Pelvis	inferior o igual a 6 kN.	
		Abdomen	menor o igual a 2,5 kN de fuerza interna	

2.4 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

A continuación, se presenta el diagrama de procesos, para el tratamiento de la información y la realización del análisis.

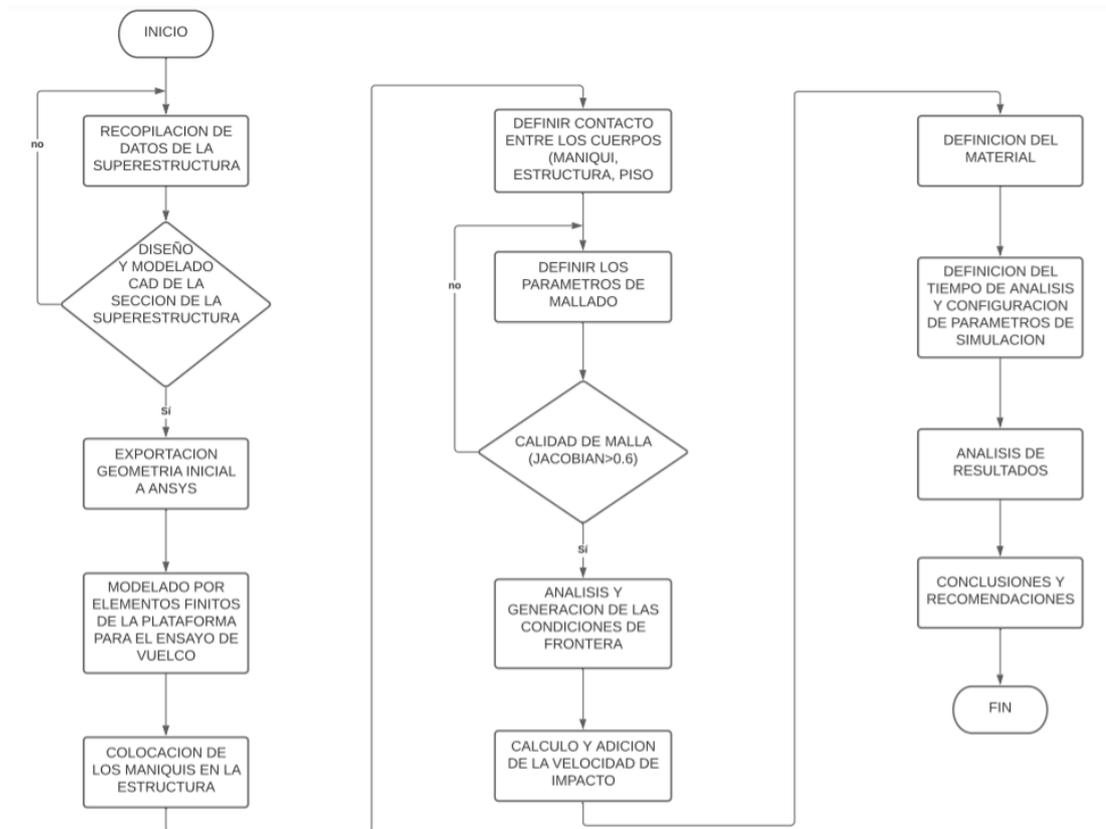


Figura 2.1: Diagrama de procesos.

Fuente: Autor

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

3.1.1 Datos de la superestructura.

Se diseñó la sección de la superestructura del bus interprovincial según la regulación NTE INEN 1668, que trata de los vehículos de transporte gubernamental de ocupantes intrarregional, interprovincial e intra provincial, tal como se observa en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Medidas de la estructura según la norma INEN 1668.

DENOMINACIÓN	DIMENSIÓN	UNIDADES
Chasis	HINO AKBJRSA	
Distancia entre ejes	5800	mm
Largo total del vehículo	10250 a 13300	mm
Ancho total del vehículo	2600	mm
Altura total del vehículo	3800	mm
Voladizo delantero	2000 a 2900	mm
Voladizo posterior máximo	66% de la distancia entre ejes	mm
Número de ventanas	8	
Altura máxima de las ventanas de los usuarios	1000	mm
Largo de ventana	1500	mm
Distancia entre la parte mas saliente del parachoques frontal y el chasis	300	mm
Distancia entre la parte mas saliente del parachoques posterior y el chasis	300	mm
Altura de parachoques delantero desde la calzada	500	mm
Altura de parachoques posterior desde la calzada	600	mm
Altura mínima de la puerta desde el estribo	2000	mm
Ancho libre de la puerta	700 a 1500	mm
Posición de la puerta de ingreso y salida de pasajeros	delante del eje delantero	
Número de puertas	1	
Número de escotillas	2	
Área total mínima de escotilla	0.35	m ²
Distancia entre escotillas	2000	mm
Alto de cajuelas	1050	mm
Número de cajuelas	4	
Altura interna del vehículo	1900	mm
Ancho superior de cercha	2400	mm
Ancho inferior de faldón	2400	mm
Altura del piso a borde de la ventana	700	mm

Fuente: [21]

3.1.2 Características de la sección de la superestructura.

El autobús en estudio está compuesto de dos partes principales el chasis y la carrocería que son ensambladas para formar el autobús. Las dimensiones de la carrocería montada se indican en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Medidas utilizadas de acuerdo a la normativa INEN 1668.

DENOMINACIÓN	DIMENSIÓN	UNIDADES
Ancho de ventana	1200 - 1600	mm
Altura máxima de las ventanas de los usuarios	1000	mm
Altura del piso a borde de la ventana	700	mm
Ancho total del vehículo	2550	mm
Altura total del vehículo	3200	mm
Alto de cajuelas	1050	mm
Altura interna del vehículo	2000	mm

Fuente: [21]

Las medidas que aparecen en la Tabla 3.2 son el resultado de aplicar las condiciones mínimas establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1668, que incorporan las medidas exteriores, por ejemplo, la altura máxima de las ventanas, largo de ventana, altura del piso al borde de la ventana, ancho total del vehículo, altura total del vehículo, alto de cajuelas, altura interna del vehículo, así como las medidas interiores, por ejemplo, la altura del pasillo del techo, la distancia entre asientos y otras. Como se muestra en la Figura 3.1.

Para seguir el proceso de homologación con el ente de control Agencia Nacional de Tránsito se debe cumplir con dichos requisitos, y por lo tanto no se pueden hacer replicas, ni comercializar dentro del país.

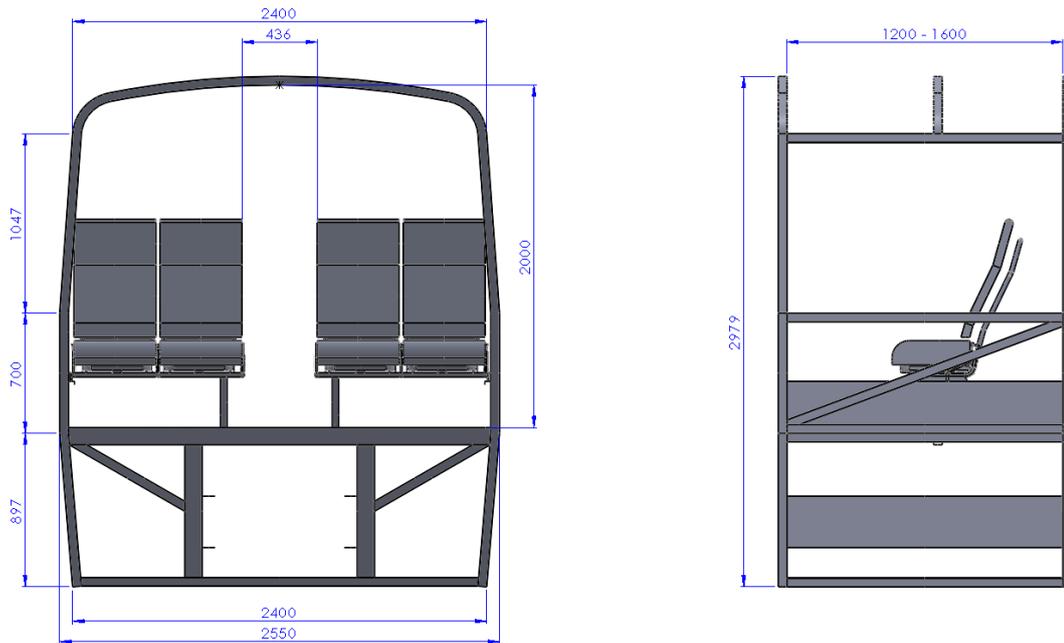


Figura 3.1: Estructura dibujada en el software de diseño.

Fuente: Autor

3.2 ENSAYO DE CALIBRACIÓN DEL MANIQUÍ.

3.2.1 Calibración del tórax.

Con el objetivo de encontrar el porcentaje de error de los resultados reportados en este proyecto y para validar el comportamiento del tórax del modelo computacional, que se utilizó en las simulaciones anteriores se debe seguir los procedimientos de calibración con los requisitos expuestos en el reglamento UNECE/CEPE R95 y SAE J211a Channel Class 180, que indica que la caja torácica debe tener un comportamiento igual o parecido a los siguientes resultados expuesto en la Figura 3.2 donde se observa el impacto de un péndulo a distintas velocidades [8, 40].

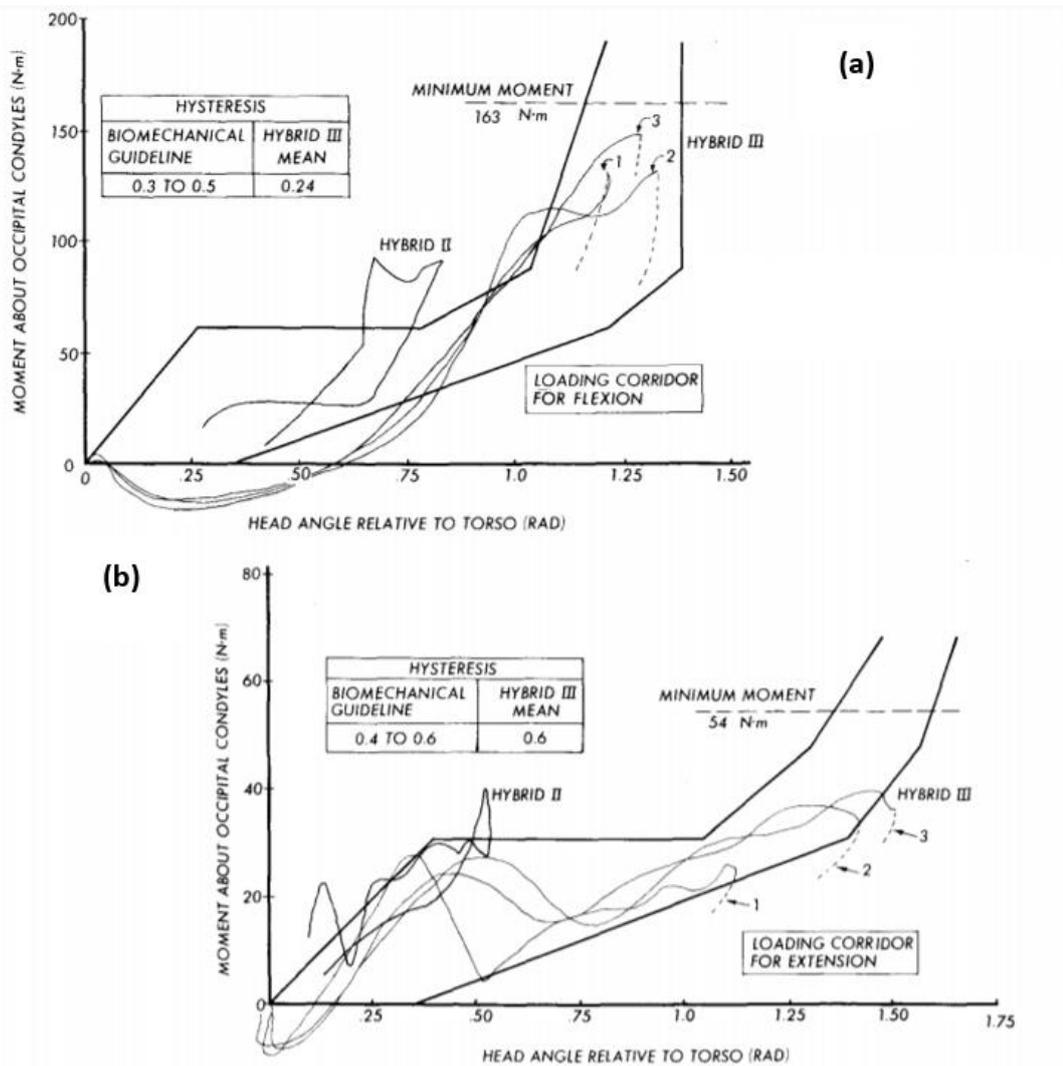


Figura 3.2: Diagrama de líneas referenciales para calibración del tórax deformación vs fuerza. (a) Las lecturas del ángulo de torsión del cuello se comparan con el corredor de respuestas biomecánicas de mertz. (b) Las lecturas del ángulo de torsión de la extensión del cuello se comparan con el corredor de respuesta biomecánica de mertz.

Fuente: [40]

El ensayo de calibración consiste en impactar un péndulo de peso 23.4 Kg a la caja torácica del maniquí con dos velocidades una de 4.3 m/s y otra de 6.7 m/s, como se muestra en la Tabla 3.3, una vez culminado el impacto por medio de los acelerómetros del maniquí se mide la deformación de la caja torácica y la fuerza de impacto, las mismas se visualizan con una resolución de un fotograma por milisegundo, con estos resultados se compara con las curvas patrones y se estima una incertidumbre de medición del programa [40].

Tabla 3.3: Condiciones de simulación de impacto de péndulo.

Condición	Ensayo 1	Ensayo 2	Observaciones
Velocidad del péndulo	4.3 m/s	6.7 m/s	
Masa del péndulo	23.4 Kg	23.4 Kg	
Altura del péndulo	942.79 mm	2288.9 mm	Ec=Ep

Fuente: Autor

En la Tabla 3.3 se muestra un resumen de las condiciones para los dos ensayos respectivamente, donde se observa la velocidad, masa y altura del péndulo. Para el cálculo de la altura del péndulo se toma como referencia la relación entre la energía cinética con la energía potencial, con la ecuación calculamos la altura para los dos.

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

$$E_c = E_p$$

$$\frac{1}{2} \times m \times v^2 = m \times g \times h$$

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

m= Masa del péndulo.

v= Velocidad final del péndulo antes de impactar con el pecho del maniquí.

g= Gravedad gravitacional de la tierra.

h= Altura del péndulo medida desde el eje de giro.

Ec= Energía cinética.

Ep= Energía potencial.

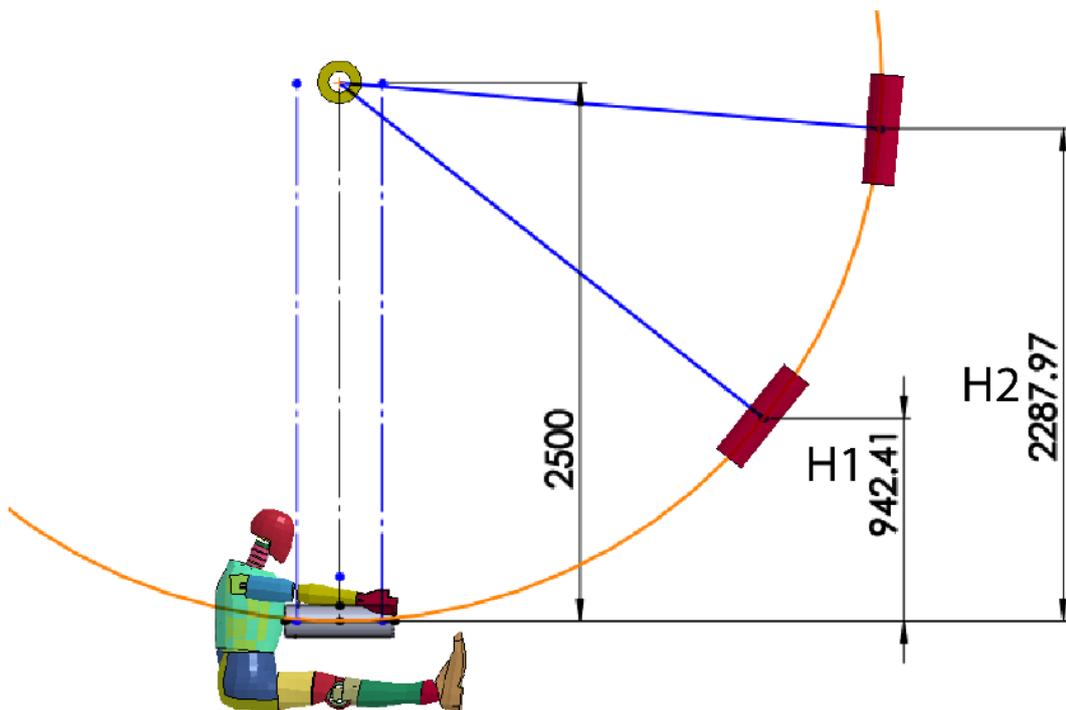


Figura 3.3: Descripción de disposición de péndulos en la simulación de impacto.

Fuente: Autor

En la Figura 3.3 se observa el ensayo 1 donde se coloca el maniquí con el péndulo con una altura $H1$ con una velocidad de 4.3 m/s, también se muestra el ensayo 2 donde le péndulo tiene una altura $H2$ con una velocidad de 6.7 m/s.

3.2.2 Ensayo para la calibración del tórax del maniquí.

Se realizará dos ensayos la primera con una velocidad de 4.3 m/s y otra con una velocidad de 6.7 ms. Donde se analizará la curva de velocidad, el desplazamiento del tórax, la relación de fuerza del péndulo versus desplazamiento y el balance de energías.

a. Desplazamiento del tórax.

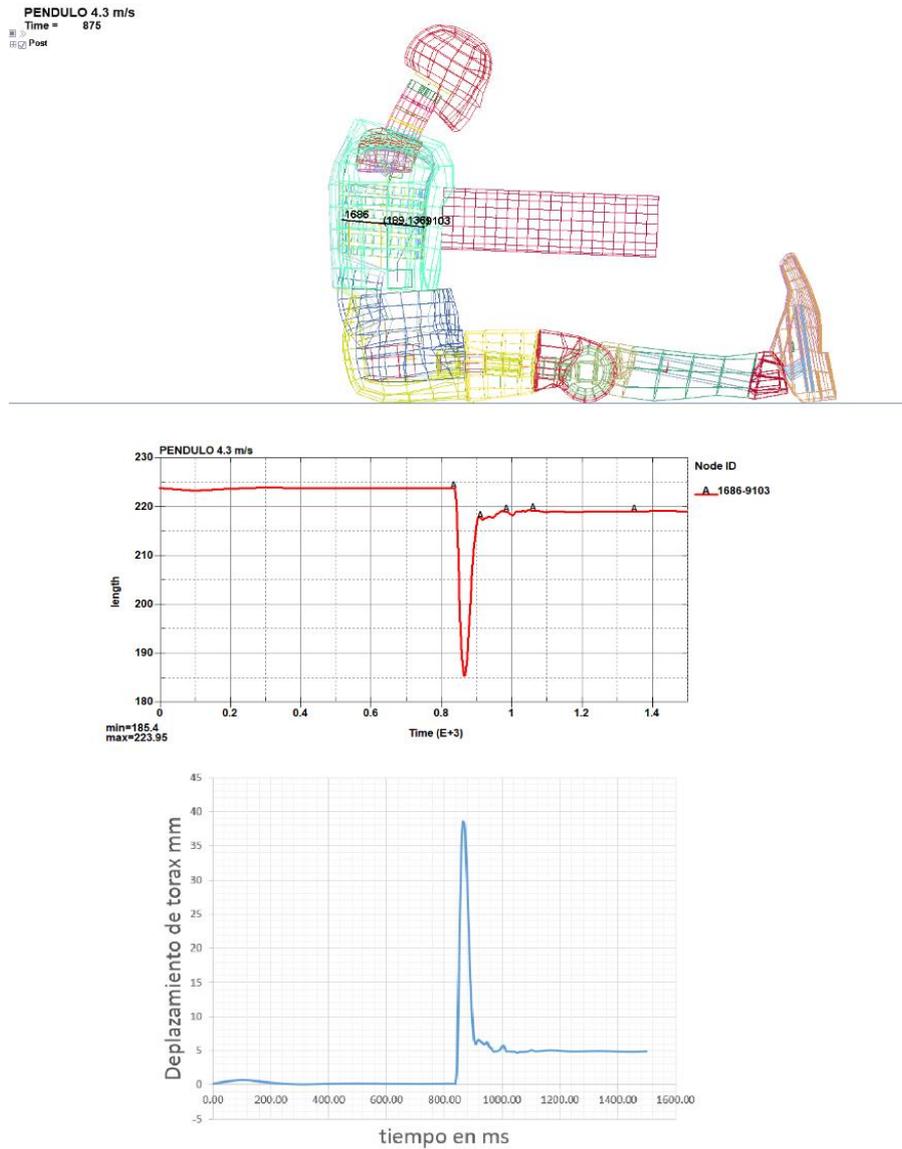


Figura 3.4: Desplazamiento del tórax con una velocidad del péndulo de 4.3 m/s.

Fuente: Autor

En la Figura 3.4 se muestra el impacto del péndulo contra el maniquí, desde la altura H1 que es de 942 mm, con una velocidad de 4.3 m/s. Para el cálculo de la deformación del tórax se toma en cuenta la deformación de las costillas y las longitudes máximas y mínimas de las costillas, obteniendo como resultado un desplazamiento mínimo de 185.4 mm y un máximo de 223.95 mm en un tiempo de 875 milisegundos.

Relacionamos las longitudes de deformación y obtenemos un desplazamiento máximo en el tórax de 38.55 mm para impacto de péndulo a velocidad de 4.3 m/s.

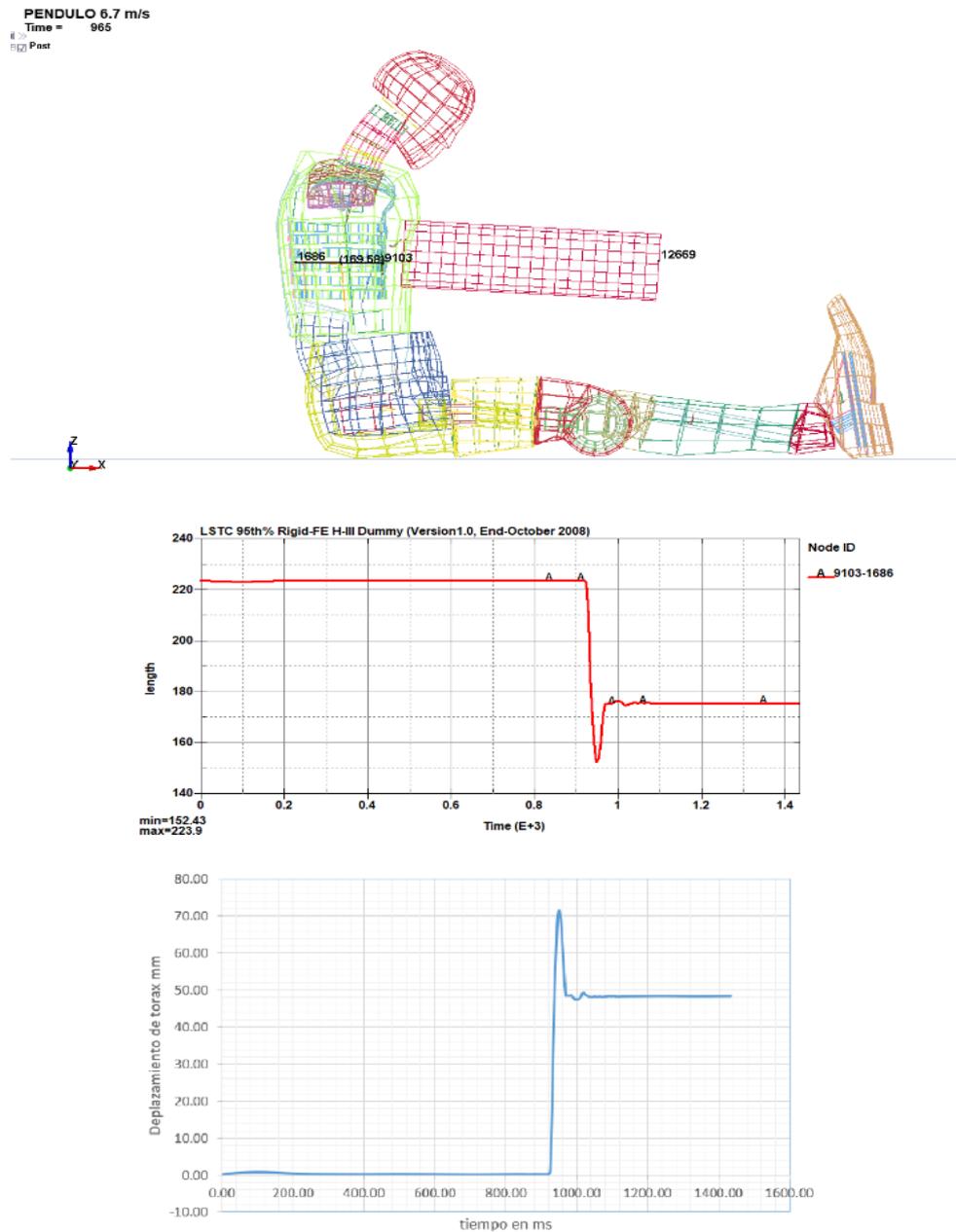


Figura 3.5: Desplazamiento del tórax con una velocidad del péndulo de 6.7 m/s.

Fuente: Autor

En la Figura 3.5 se muestra el impacto del péndulo contra el maniquí, desde la altura H2 que es de 2287 mm, con una velocidad de 6.7 m/s. Para el cálculo de la deformación del tórax se toma en cuenta la deformación de las costillas y las longitudes máximas y mínimas de las costillas, obteniendo como resultado un

desplazamiento mínimo de 152.43 mm y un máximo de 223.9 mm, en un tiempo de 965 milisegundos.

Relacionamos las longitudes de deformación y obtenemos un desplazamiento máximo en el tórax de 71.47 mm para impacto de péndulo a velocidad de 6.7 m/s.

b. Fuerza del péndulo.

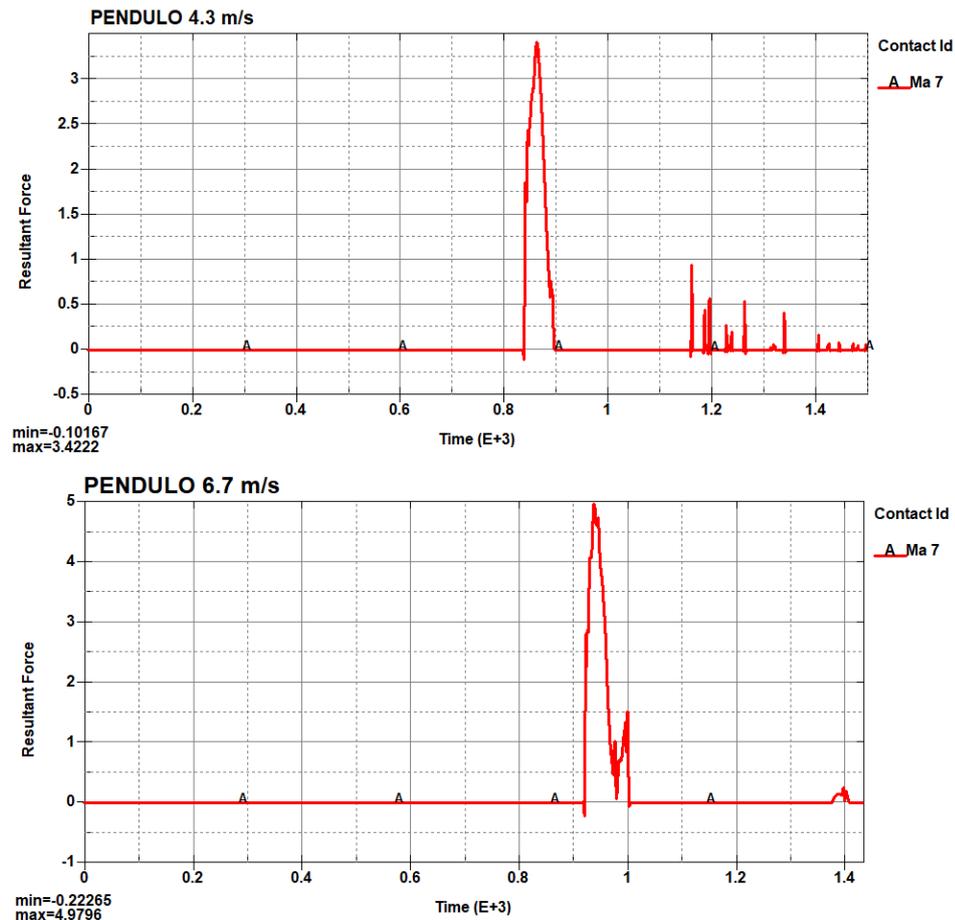


Figura 3.6: Fuerza del péndulo versus tiempo con una velocidad de 4.3 m/s y 6.7 m/s.

Fuente: Autor

En la Figura 3.6 se muestra la fuerza del péndulo versus el tiempo calculado en el contacto del péndulo con el tórax, en la primera figura se muestra la fuerza resultante que es de 3.4 kN con una velocidad máxima de 4.3 m/s, en un tiempo de

0.87. En la segunda figura se ilustra la fuerza resultante de 5 kN con una velocidad máxima de 6.7 m/s, en un tiempo de 0.96.

Según la [41] la fuerza de resistencia estándar se encuentra en el rango de 5525 + 350 Newton, con una desviación de la línea central del pecho debe ser de 68 + 5 mm. Como se puede observar las fuerzas resultantes del péndulo en ambos casos se localizan dentro del rango aceptable.

c. Fuerza de impacto del péndulo versus desplazamiento del tórax.

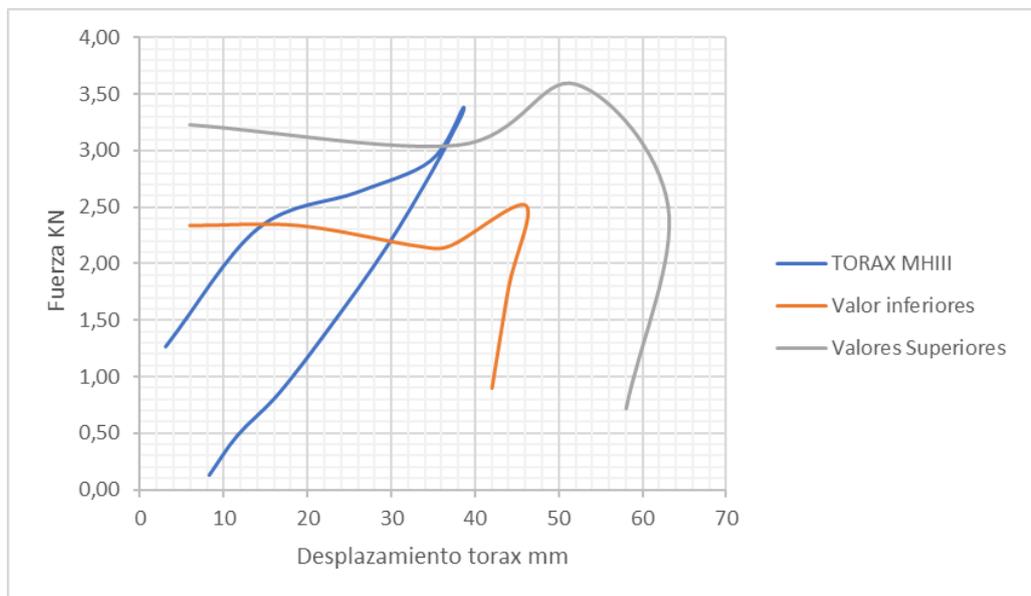


Figura 3.7: Fuerza versus desplazamiento del tórax con una velocidad del péndulo de 4.3 m/s.

Fuente: Autor

En la Figura 3.7 se observa las curvas de la base de datos desarrollados por Neathery [40], donde se relaciona la fuerza en kN resultado del impacto del péndulo con una velocidad de 4.3 m/s versus el desplazamiento del tórax. Cada curva representa la respuesta media obtenida en pruebas repetidas realizadas en cada tórax. Las curvas referenciales se representan de distintos colores como son de color naranja los valores inferiores, de color gris los valores superiores y de color azul los valores obtenidos en el ensayo.

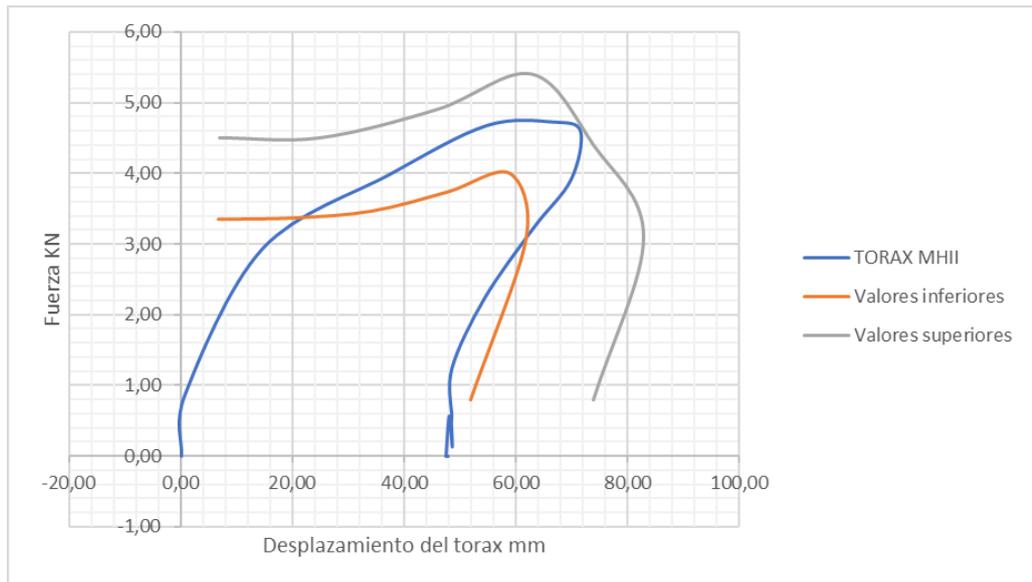


Figura 3.8: Fuerza versus desplazamiento del tórax con una velocidad del péndulo de 6.7 m/s.

Fuente: Autor

En la Figura 3.8 se observa las curvas de la base de datos desarrollados por Neathery [40], donde se relaciona la fuerza en kN resultado del impacto del péndulo con una velocidad de 6.7 m/s versus el desplazamiento del tórax. Cada curva representa la respuesta media obtenida en pruebas repetidas realizadas en cada tórax. Las curvas referenciales se representan de distintos colores como son de color naranja los valores inferiores, de color gris los valores superiores y de color azul los valores obtenidos en el ensayo.

d. Balance de energía.

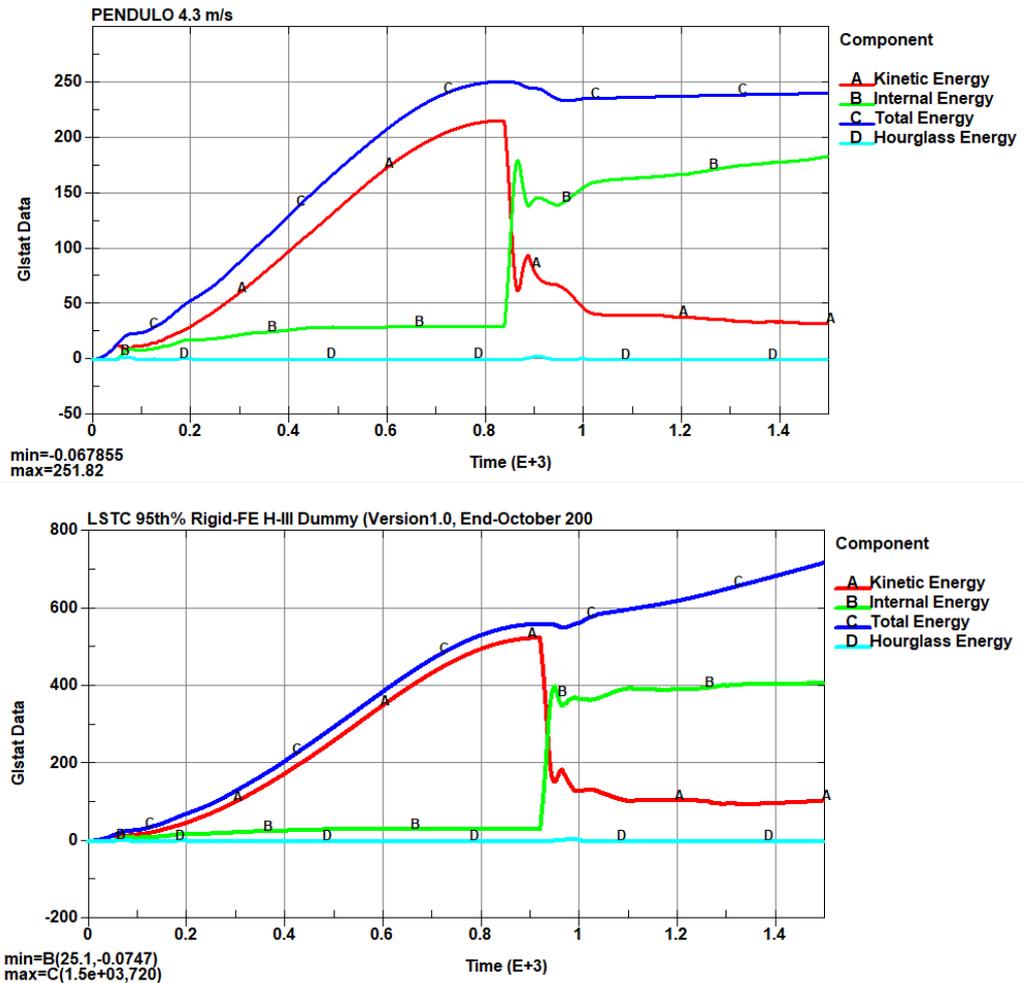


Figura 3.9: Diagrama de energías con una velocidad del péndulo de 4.3 m/s y 6.7 m/s.

Fuente: Autor

En la Figura 3.9 se observa el balance de energías correspondiente a cada simulación con una velocidad de 4.3 m/s y de 6.7 m/s. Las energías que se analizan son la energía cinética, la energía interna, la energía de hourglass y la energía total.

Para corroborar si la simulación está bien realizada se compara las energías correspondientes, como se muestra en la Figura 3.9, la energía total permanece constante. La energía dinámica disminuye y se transforma en energía interior después de algún tiempo lo cual es una de las indicaciones para obtener resultados de análisis correctos.

e. Incertidumbre de la medición.

La máxima deformación permitida en el reglamento para el tórax es de 83 mm, el valor fue tomado de la Figura 3.8. La deformación obtenida máxima es de 71.47 mm con una velocidad de 6.7 m/s, por lo cual los resultados tienen un error de ± 11.53 mm.

El comportamiento del sistema se comprueba con los resultados de las pruebas para afirmar una relación entre los dos. La fuerza estándar de resistencia se encuentra en un rango de $5525 + 350$ Newtons, la desviación de la línea central del pecho en comparación con la columna debe ser de $68 + 5$ mm. La fuerza máxima resultante de las simulaciones fue 5 kN mientras que la desviación máxima de la línea central fue 71.47 mm. por lo cual se declara que los resultados pueden tener un error en la fuerza resultante de ± 875 N y en la deformación de las costillas de ± 1.53 mm [41].

3.2.3 Calibración de la cabeza.

Para las simulaciones que se realizaron con el cinturón de seguridad se debe estimar la incertidumbre, debido a que en el presente proyecto no se consideraron los mecanismos de pretensores y retractores del cinturón de seguridad, como el estudio es muy amplio, otro factor que no se consideró es el material compuesto de tipo de tela tejida que tiene los cinturones. El cinturón de seguridad utilizado en los análisis fue de material elástico-plástico isotrópico.

Para ver el error que podría producir las propiedades de los cinturones implementados en este estudio se realizó un proceso de validación para estimar la incertidumbre de los resultados reportados.

a. Aceleración estándar de 35 mph.

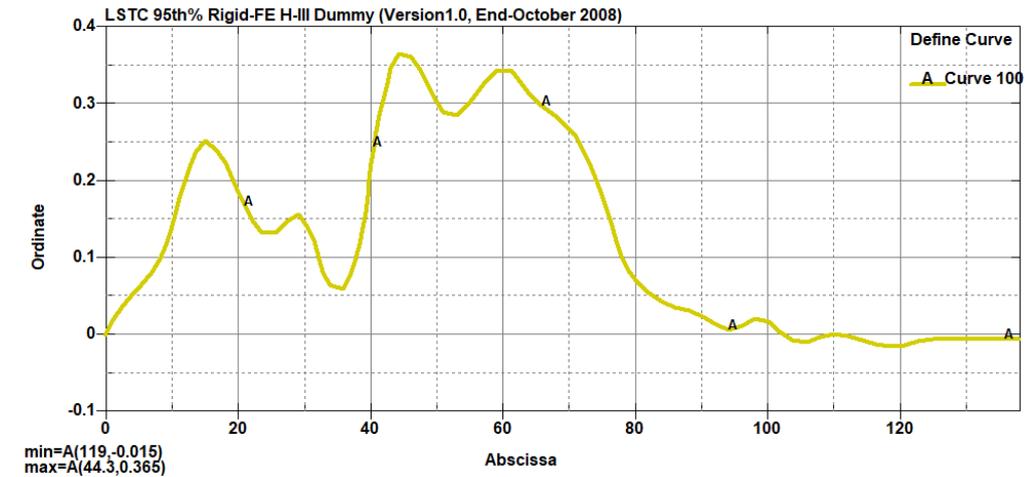


Figura 3.10: Pulso de aceleración estándar de 35mph, valores de abscisa tiempo en ms vs aceleración en mm/ms².

Fuente: Autor

En la Figura 3.10 se muestra el patrón de comparación que se utilizó en los resultados obtenidos de la validación del maniquí descrito en [42] específicamente se utilizaron los valores obtenidos de fuerzas G en la cabeza y desplazamiento de tórax. Se realizó una simulación de frenado de trineo con el maniquí en posición de conducción de un auto el mismo fue impulsado por una aceleración estándar de 35 mph la cual viene descrita en el estudio [42].



Figura 3.11: Secuencia de movimiento del maniquí aplicando pulso de aceleración a 35mph.

Fuente: Autor

En la Figura 3.11 se observa una secuencia de imágenes en el tiempo de la simulación, estas pruebas de trineo se realizaron solo con un ocupante con cinturón de seguridad, el ensayo se realizó con el impulso de un trineo de aceleración de 35 mph, se puede ver que gracias al cinturón de seguridad impide completamente la expulsión del maniquí, pero si existe una deformación en el cuello por el impactó.

b. Aceleración en Gs versus tiempo en ms.

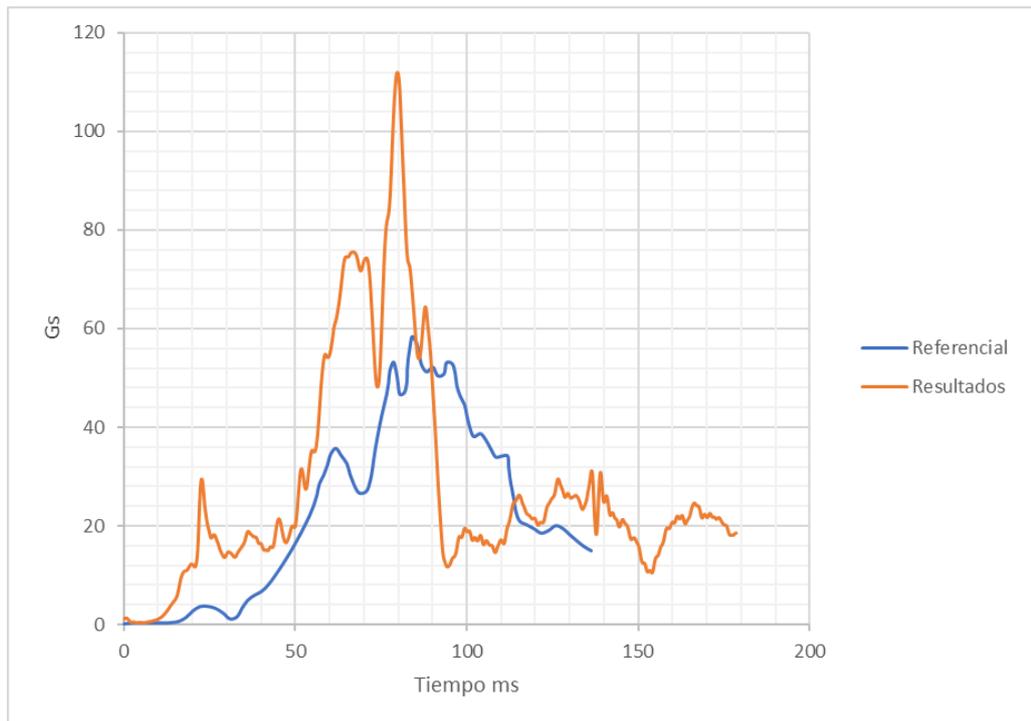


Figura 3.12: Aceleración en Gs de la cabeza versus tiempo ms.

Fuente: Autor

En la Figura 3.12 se ilustra el tiempo en ms vs Fuerzas de aceleración en Gs, donde la curva en azul tiene un valor máximo 58.43 Gs, valor referencial tomado de ensayo real de trineo de frenado del maniquí con cinturones de seguridad con pretensores, retractores y materiales compuestos del cinturón de seguridad [42]. En cambio, la curva en naranja tiene un valor máximo de 111.8 Gs, valor calculado con el maniquí utilizado en este proyecto, mismo que no cuenta con pretensores y retractores y además cuenta con un material de tipo elástico-plástico isotrópico.

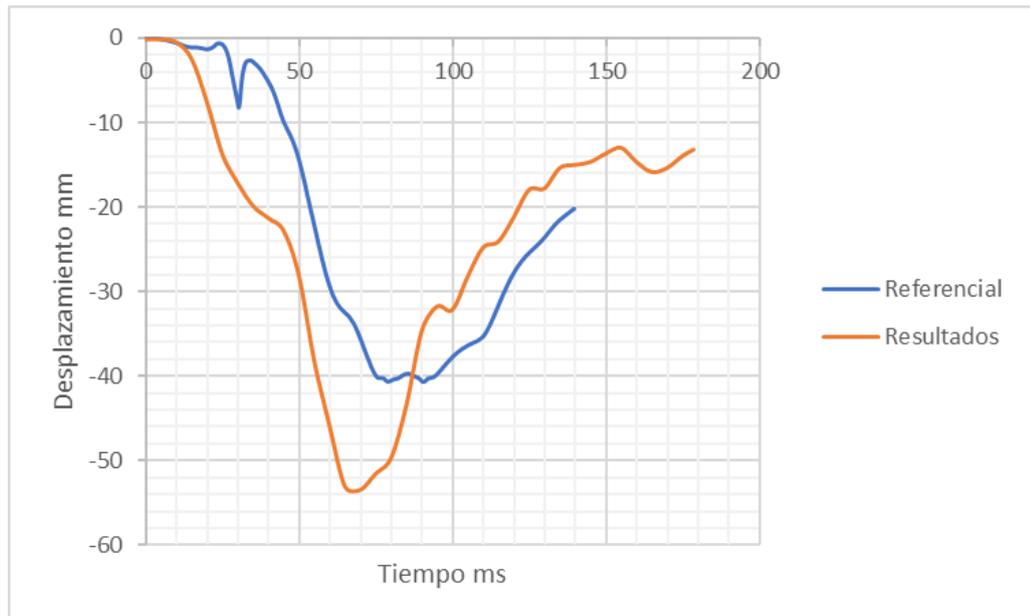


Figura 3.13: Desplazamiento del tórax en mm versus tiempo ms.

Fuente: Autor

En la Figura 3.13 se observa el desplazamiento en mm versus el tiempo en ms, donde la curva en azul tiene un valor máximo 40.62 mm, valor referencial tomado de ensayo real de trineo de frenado del maniquí con cinturones de seguridad con pretensores, retractores y materiales compuestos de cinturón de seguridad. En cambio, la curva en naranja obtiene un valor máximo de 53.44 mm, valor calculado con el maniquí utilizado en este proyecto, mismo que no cuenta con pretensores y retractores y además cuenta con un material de tipo elástico-plástico isotrópico.

c. Balance de energía.

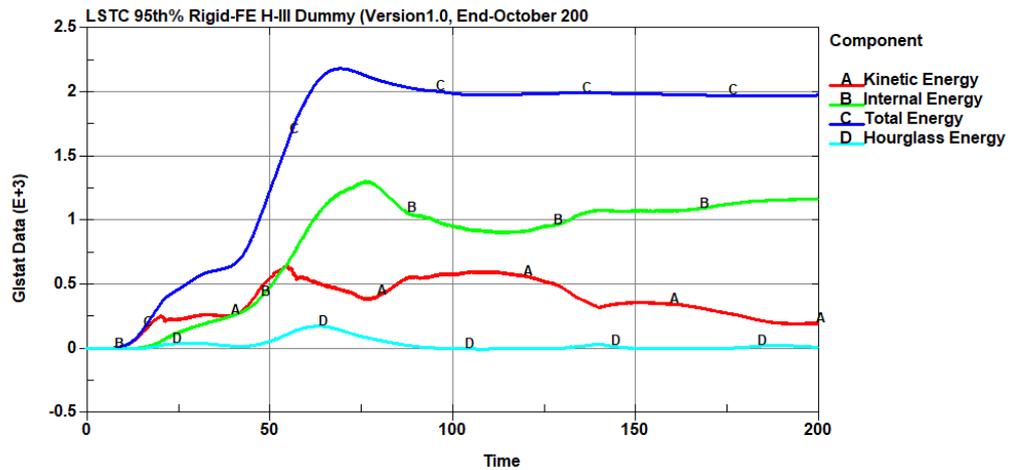


Figura 3.14: Diagrama de energías con velocidad de 35 mph.

Fuente: Autor

En la Figura 3.14 se observa el balance de energías correspondiente a la calibración de la cabeza con una velocidad de 35 mph. las energías que se analizan son la energía cinética, la energía interna, la energía de hourglass y la energía total.

Para corroborar si la simulación está bien realizada se comparan las energías correspondientes, como se muestra, la energía total permanece constante, La energía dinámica disminuye y se transforma en energía interior después de algún tiempo lo cual es una de las indicaciones para obtener resultados de análisis correctos.

d. Incertidumbre de la medición.

La máxima aceleración en Gs permitida en el reglamento para la cabeza es de 58.43 Gs, el valor fue tomado de la figura 3.28. La deformación obtenida máxima es de 111.8 Gs con una velocidad de 35 mph, por lo cual los resultados tienen un error de +- 53.37 Gs.

La máxima deformación en mm permitida en el reglamento para el tórax es de 40.62 mm, el valor fue tomado de la Figura 3.13. La deformación obtenida máxima

es de 53.44 mm, con una velocidad de 35 mph, por lo cual los resultados tienen un error de +- 12.82 mm.

3.3 ANÁLISIS MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.

3.3.1 Exportación geometría inicial a ANSYS.

Utilizando el programa ANSYS LS-DYNA, importamos el modelo de la estructura de la carrocería con el área de supervivencia como se observa en la Figura 3.15, las medidas del área de supervivencia se encuentran en el Reglamento R66 de las Naciones Unidas para Europa.

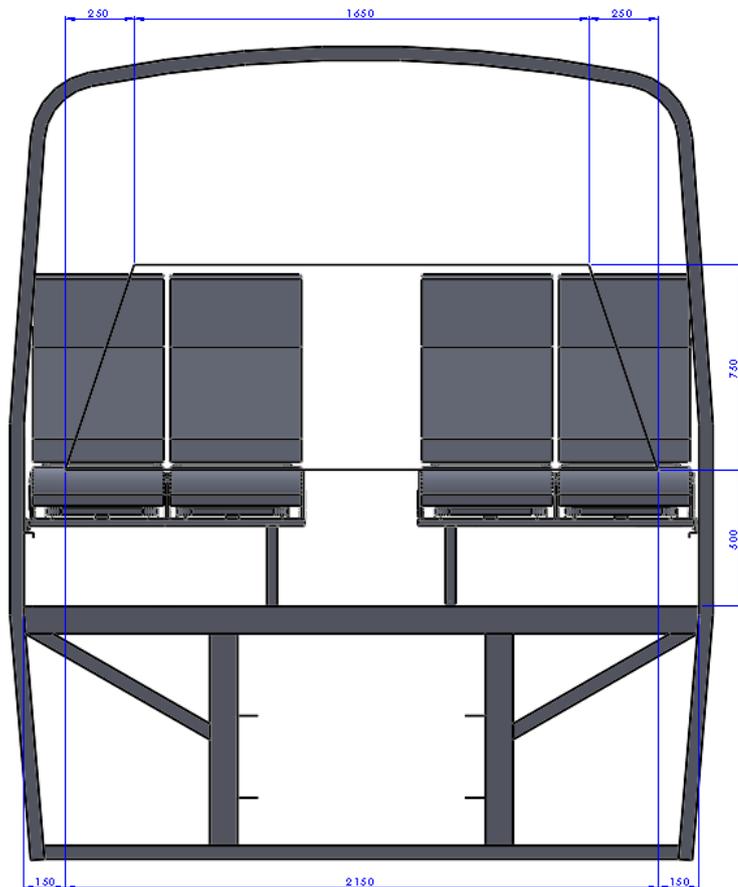


Figura 3.15: Colocación del área de supervivencia.

Fuente: Autor

Luego se coloca una topografía compartida, es decir, coser caras independientes en un caparazón, posterior a eso insertamos los 4 maniqués correspondientes, como se muestra en la Figura 3.16.

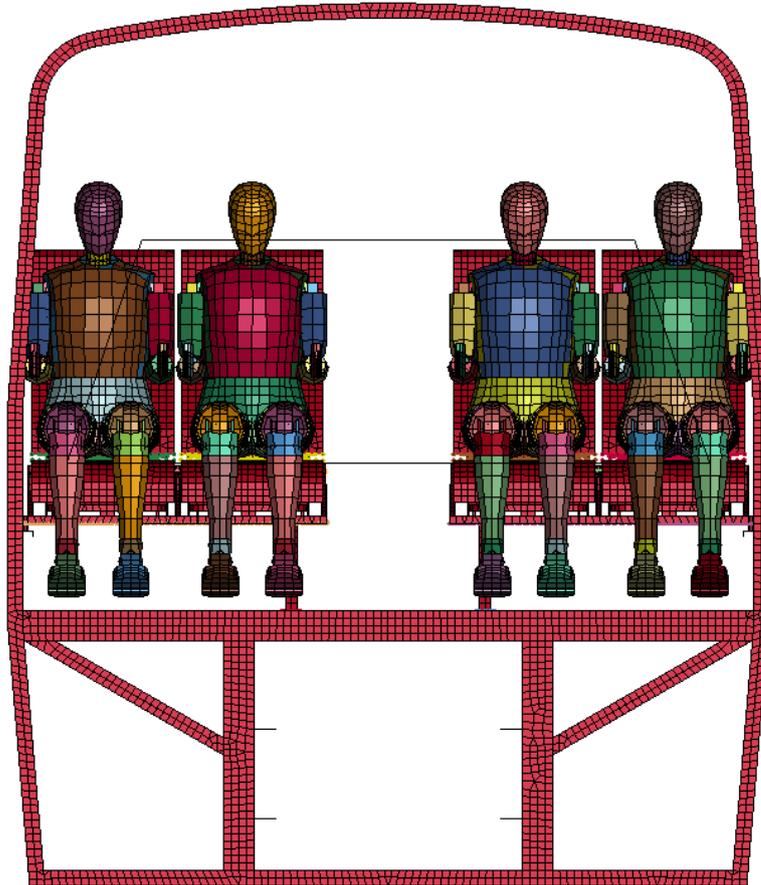


Figura 3.16: Exportación de geometría inicial.

Fuente: Autor

3.3.2 Validación del mallado.

El mallado de la superestructura fue validado exitosamente con el parámetro del Jacobiano. El tipo de elemento que se utiliza son cuadrangulares y rectangulares, se define también el tamaño de elemento con un máximo de 30 mm y un mínimo de 25mm, es fácil de entender que a más pequeño el tamaño de malla mayores son los recursos de hardware que se necesitará o mayor tiempo se tomará el análisis.

Luego de definir los parámetros de malla se verifica la calidad de la misma con los parámetros requeridos, la Figura 3.17 indica los iconos y ventanas con las que ANSYS evalúa los parámetros de calidad de la malla, los principales valores a considerar son el Jacobiano.

Calidad de malla según el 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 3.17: Calidad de malla Criterio jacobiano.

Fuente: [12]

A lo largo del tiempo de mallado de la carrocería, las partes cuadriláteras se utilizan como segmentos principales en la discretización de la construcción y los triángulos opcionales en los locales, donde la celosía debe fructificar, por ejemplo, en las formas de las curvas de la carrocería.

Cuando finaliza el ciclo de mallado, el jacobiano para el ancho de ventana de 1200 mm es 0,61 y para el ancho de ventana de 1600 mm es 0,63, donde el alcance de la grandeza es de 0,6 a 1. En la Figura 3.18, se muestra estos datos conseguidos en el ciclo de mallado de la estructura.

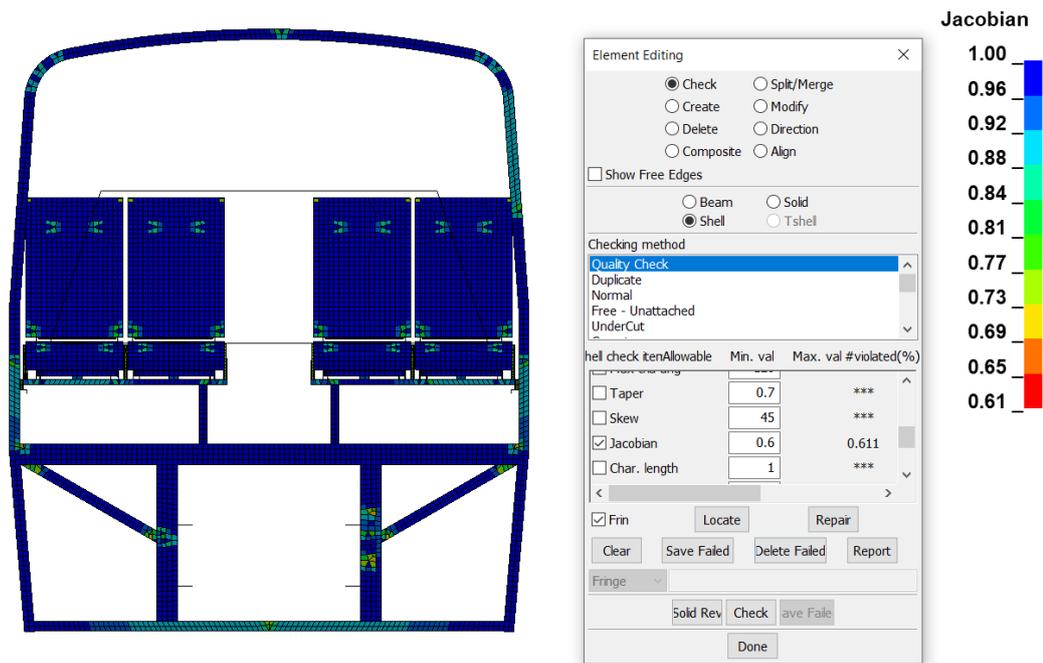


Figura 3.18: Verificación de la calidad de la malla.

Fuente: Autor

3.3.3 Plataforma para el ensayo de vuelco.

Se presenta la ubicación de la sección de la superestructura, ubicando su posición respecto al plano XY. Colocamos la plataforma y tenemos en cuenta las dimensiones según el reglamento R66 de las Naciones Unidas, como se muestra en la Figura 3.19. La realización de la plataforma para el ensayo de vuelco y mallado de la misma, tiene un valor de 200 debido a que no se necesita un buen mallado.

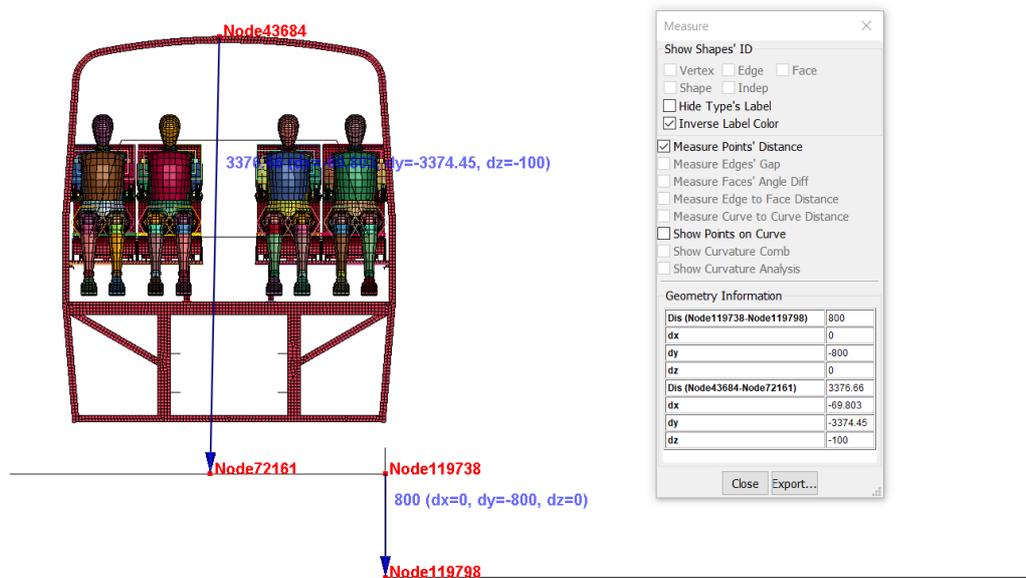


Figura 3.19: Plataforma y colocación de la sección de la superestructura.

Fuente: Autor

Para comenzar con la simulación del volcamiento, se coloca la estructura en su posición inicial inestable, para esto se requiere calcular el ángulo de inestabilidad lateral, por gastos computacionales la simulación se elabora cuando la superestructura comienza a impactar el piso, asimismo se necesita establecer la velocidad con la que choca contra el piso.

3.3.4 Asignación de la curva esfuerzo-deformación del material ASTM A 500.

Los valores ingresados de la curva esfuerzo-deformación de la zona no lineal del acero ASTM A500 se muestra en la Tabla 3.4. Para la aprobación del material, se ha considerado tomar datos del ensayo flexible genuino y recreado del estudio de Remache [39], ya que el material que se utiliza en esta investigación es el mismo que se utilizará en el estudio actual.

Tabla 3.4: Comparación de resultados entre ensayo real vs ensayo simulado.

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

Fuente: [39]

Como se observa en la Tabla 3.4, el porcentaje de error es de 3,832 % siendo un valor menor que el recomendado, el mismo que es de 5%.

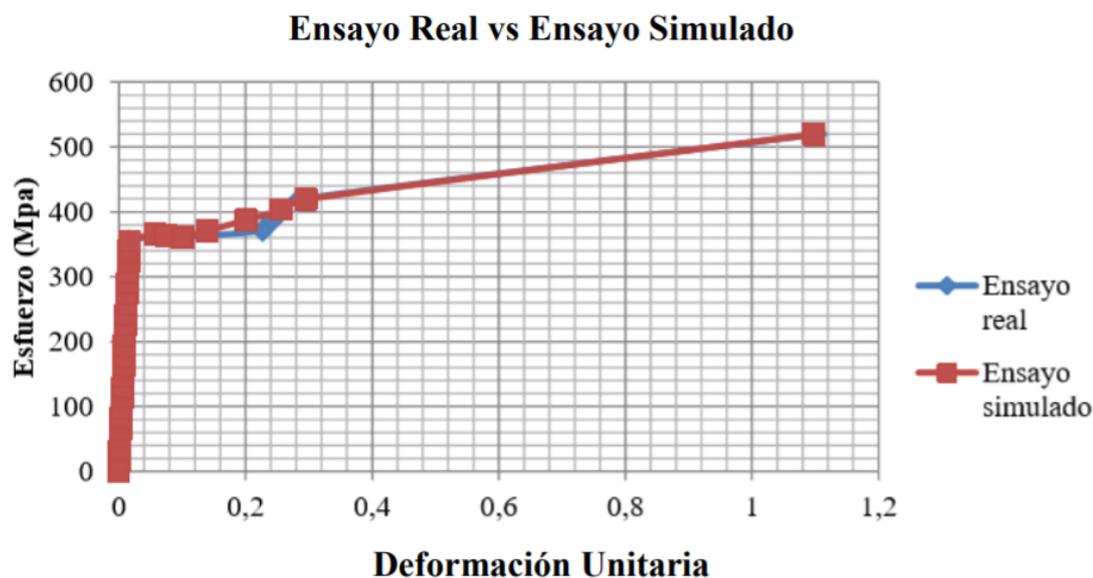


Figura 3.20: Diagrama esfuerzo deformación de los datos reales y simulados.

Fuente: [39]

En la Figura 3.20 se demuestra los resultados de la Tabla 3.4 que corresponde a las curvas esfuerzo-deformación unitaria de los resultados del ensayo real y el ensayo simulado, la curva del ensayo simulado es muy aproximado a la curva de ensayo real, por ende, los resultados serán correctos.

3.3.5 Asignación del material para la estructura y para el cinturón de seguridad.

En la simulación el material a utilizar para la estructura es el tipo 0.24 MAT_PEICEWISE_LINEAR_PLASTIC (Plasticidad Isotrópica lineal por piezas).

Este tipo de material incluye efectos de velocidad de deformación y no usa una ecuación de estado, se tiene en cuenta aspectos como es la deformación plástica. Los valores que se introducen en el ANSYS se muestran en el ANEXO 1 (Tabla de Istdyna propiedades del acero) [43].

En la simulación el material a utilizar para el cinturón de seguridad de 2 y 3 puntos es el tipo 0.01 ELASTIC (Elástico).

El material es de comportamiento elastoplástico, es decir, que la tensión es lineal y depende de la deformación hasta que supere el límite elástico y el material entre en

plasticidad. Los parámetros que especifican la conducta del material empleado en el modelo se encuentran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Parámetros del material del cinturón de seguridad.

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
Limite elástico	σ	0.15	GPa

Fuente: [44]

3.3.6 Asignación de la sección.

Son las propiedades que van a tener cada una de las partes. Se asigna el espesor de 2 mm porque el tubo es de 50x50x2.

Una vez insertado el material y la sección, se procede a determinar la masa de la sección de la superestructura como se muestra en la Figura 3.21.

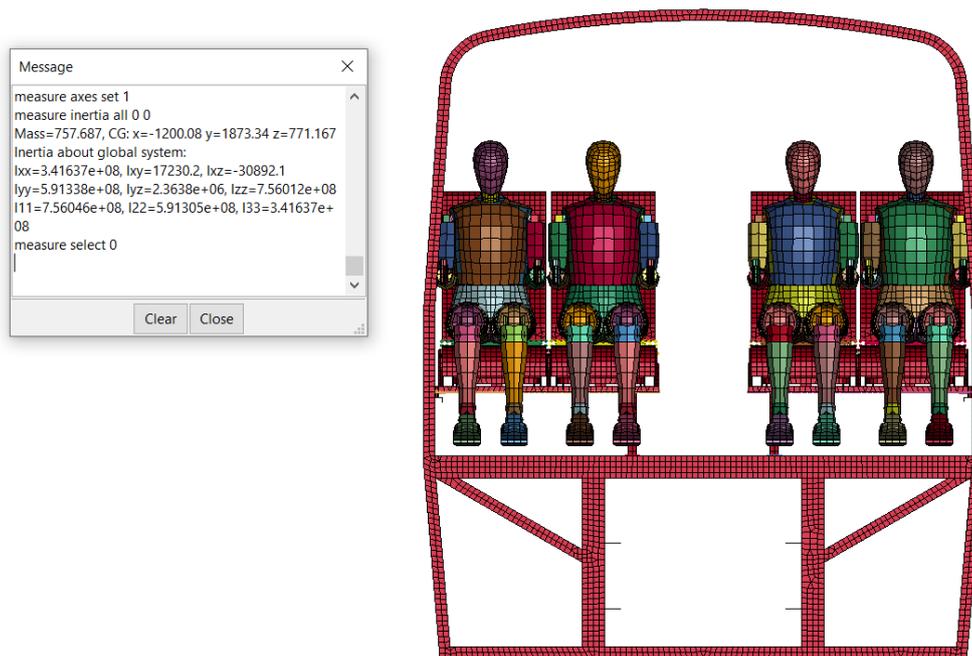


Figura 3.21: Cálculo de la masa de la estructura.

Fuente: Autor

Una vez introducido el material y espesor en el programa, se efectúa automáticamente la masa total de la sección de la superestructura, el valor de la masa para el ancho de ventana de 1200 mm es de 357.319 Kg y para el ancho de ventana de 1600 mm es de 390.112 Kg. Una vez colocado los 4 maniqués, se tiene una masa total para el ancho de ventana de 1200 mm es de 757.687 Kg y para el ancho de ventana de 1600 mm es de 790.48 Kg, cada maniqué tiene un peso aproximado de 72 Kg.

3.3.7 Cálculo de la velocidad.

3.3.7.1 Cálculo del ángulo de inestabilidad lateral teórico.

En el reglamento R 66 describe el procedimiento del cálculo del ángulo de inestabilidad, donde necesitamos el centro de gravedad de la superestructura como se muestra en la Figura 3.22.

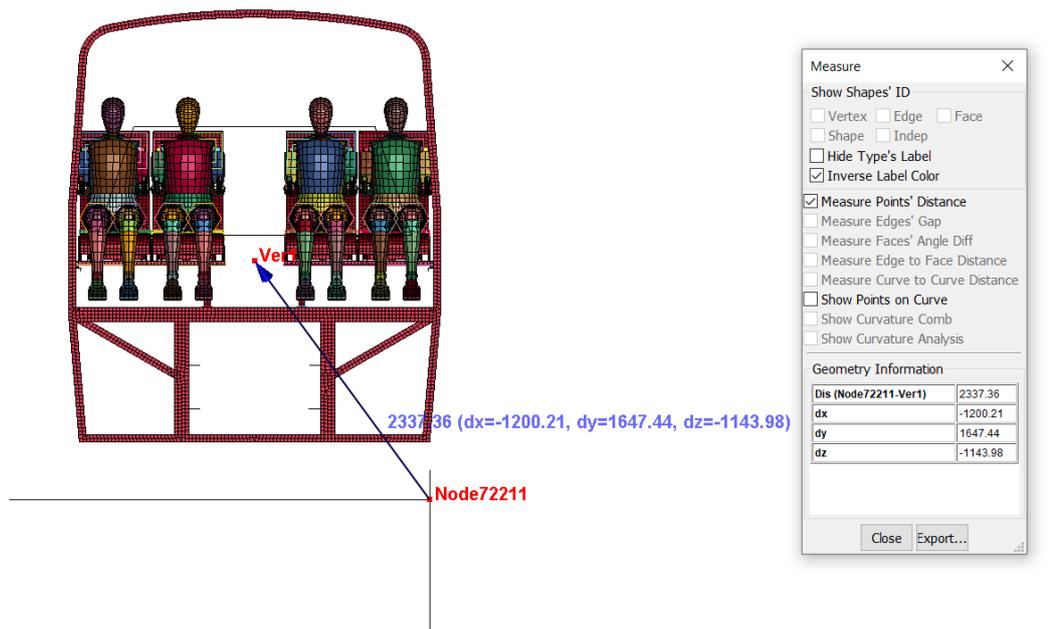


Figura 3.22: Centro de gravedad de la superestructura.

Fuente: Autor

El ángulo de inestabilidad es calculado por medio de sumatoria de fuerzas como se muestra en la Figura 3.22.

Datos del centro de gravedad: $X_{cg}= 1200.21$
 $Y_{cg}= 1647.44$

Donde:

X_{cg} = Distancia en x del centro de gravedad.

Y_{cg} = Distancia en y del centro de gravedad.

En la Figura 3.22, se muestra el diagrama de cuerpo libre, con el que podemos efectuar el cálculo del ángulo de inestabilidad lateral teórico.

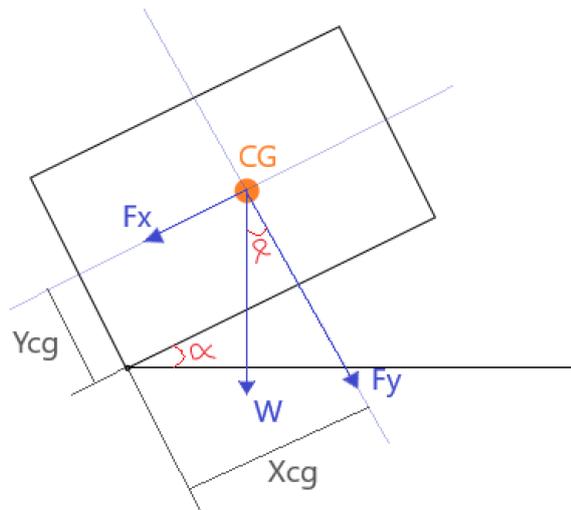


Figura 3.23: Diagrama de cuerpo libre.

Fuente: Autor

Donde:

W = Peso de la estructura.

F_x = Fuerza en x de la estructura.

F_y = Fuerza en y de la estructura.

α = Ángulo de inestabilidad lateral teórico.

El ángulo de inestabilidad con la que se va a comenzar la estructura a caer contra el piso se determina por:

$$W = mg$$

$$F_x = mg \text{Sen} \alpha$$

$$F_y = mg \text{Cos} \alpha$$

$$\sum M_o = 0$$

$$-F_y \cdot X_{cg} + F_x \cdot Y_{cg} = 0$$

$$-mg \text{Cos} \alpha \cdot X_{cg} + mg \text{Sen} \alpha \cdot Y_{cg} = 0$$

$$X_{cg} = \frac{-mg \text{Sen} \alpha \cdot Y_{cg}}{-mg \text{Cos} \alpha}$$

$$X_{cg} = \text{Tg} \alpha \cdot Y_{cg}$$

$$\alpha = \text{Tg}^{-1} \left(\frac{X_{cg}}{Y_{cg}} \right)$$

$$\alpha = Tg^{-1}\left(\frac{1200.21}{1647.44}\right)$$

$$\alpha = 36.07^\circ$$

Una vez calculado el ángulo, se procede a colocar dicha cantidad estimada de 36.07° para el ancho de ventana de 1200 mm y el ángulo de inestabilidad para el ancho de ventana de 1600 mm es de 36.45°, como se muestra en la Figura 3.24.



Figura 3.24: Ángulo de inestabilidad lateral teórico en la plataforma.

Fuente: Autor

3.3.7.2 Cálculo de la velocidad lineal.

Para el cálculo de la velocidad, es preciso, abordar primero la fórmula de la energía de referencia (ER), la cual es la energía potencial del tipo de vehículo que se va a homologar, medida en relación con el nivel inferior horizontal de la cuneta en la posición inicial, inestable, del proceso de vuelco como se muestra en la Figura 3.25.

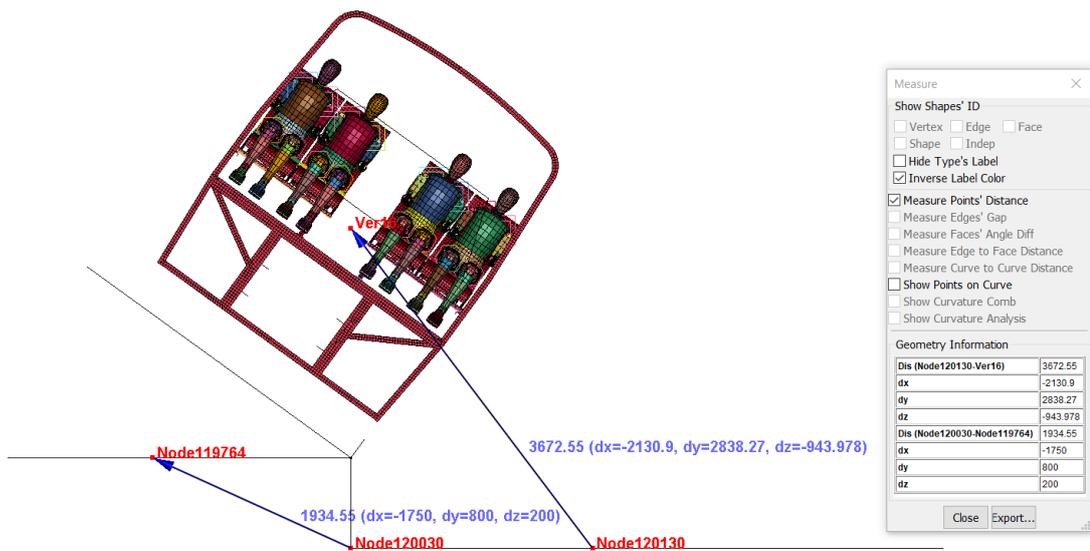


Figura 3.25: Posición inicial inestable para el ensayo de impacto.

Fuente: Autor

La energía de referencia previa al impacto de la superestructura con el piso es calculada con la formula tomada del reglamento R66 [27].

$$E_R = M \cdot g \cdot h_1$$

Donde:

M= Masa total del vehículo en orden de marcha.

g= Constante gravitacional.

h1= Es la altura medida en metros desde el centro de gravedad en el estado inicial inestable del automóvil con respecto al plano menor horizontal como se observa en la Figura 3.25.

Datos:

g= 9.806e-03 mm/ms².

h1= 2838.27 mm.

La velocidad a la que se va impactar la sección de la superestructura viene dada por la siguiente expresión:

Energia cinetica = Energia de referencia

$$\frac{1}{2}mV_{im}^2 = m \cdot g \cdot h_1$$

$$V_{im}^2 = \frac{2(\cancel{m} \cdot g \cdot h_1)}{\cancel{m}}$$

$$V_{im} = \sqrt{2(g \cdot h_1)}$$

$$V_{im} = \sqrt{2(9.806e - 03 * 2838.27)}$$

$$V_{im} = 7.46 \frac{mm}{ms}$$

La velocidad de impacto para el ancho de ventana de 1200 mm es de 7.46 mm/ms y para el ancho de ventana de 1600 mm es de 7.43 mm/ms.

La velocidad angular con la que se impacta la superestructura al piso se determina por:

$$W_{im} = \frac{V_{im}}{r}$$

W_{im}= Velocidad angular con la que impacta la superestructura con el piso respecto al centro de gravedad.

r= Es el radio de giro, esta expresión representa la distancia desde el punto de giro hasta el centro de gravedad de la posición final, como se muestra en la Figura 3.26.

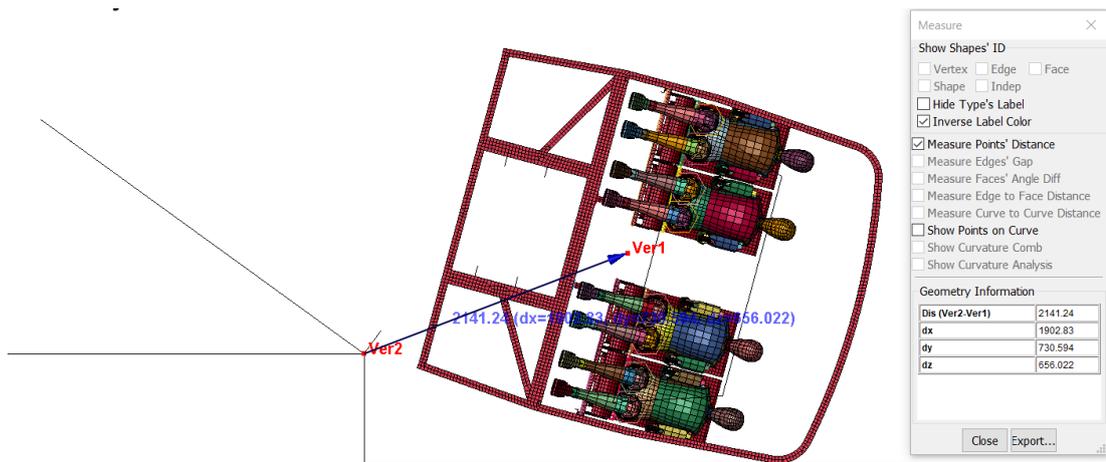


Figura 3.26: Cálculo del radio de giro.

Fuente: Autor

Se puede visualizar en la Figura 3.26 el valor del radio de giro es de 1902.83 mm, con este valor, se puede calcular la velocidad requerida.

$$W_{im} = \frac{7.46 \frac{mm}{mms}}{1902.83 mm}$$

$$W_{im} = 3.926e - 3 \frac{rad}{ms}$$

$$W_{im} = 3.92 \frac{rad}{s}$$

La velocidad angular para el ancho de ventana de 1200 mm es de 3.92 rad/s y para el ancho de ventana de 1600 mm es de 3.95 rad/s.

3.3.8 Simulación del ensayo de vuelco.

3.3.8.1 Asignación de parámetros iniciales.

Para realizar la simulación, es necesario asignar las partes fijas, que es el piso para el impacto, como se visualiza en la Figura 3.27.

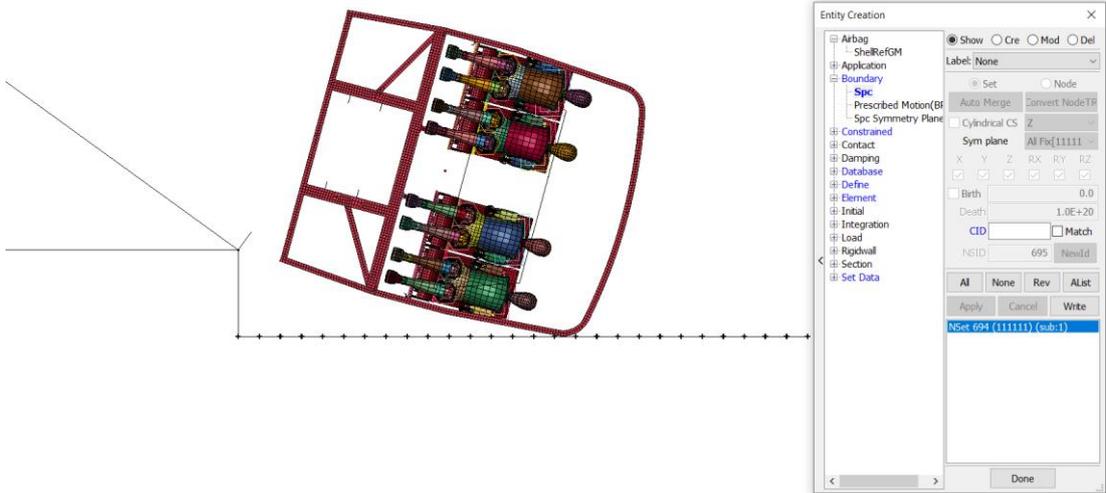


Figura 3.27: Selección de partes fijas.

Fuente: Autor

Consecutivamente se coloca la velocidad angular calculada para el ancho de ventana de 1200 mm es de 3.92 rad/s, a la sección de la superestructura y a los maniqués correspondientes como se observa en la Figura 3.28.

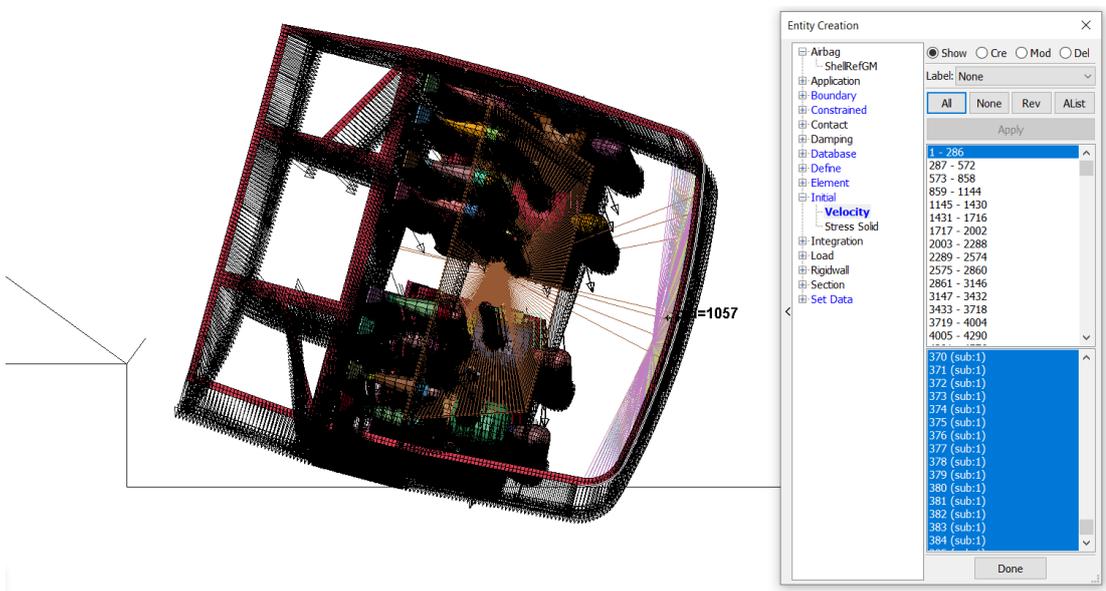


Figura 3.28: Colocación de la velocidad angular.

Fuente: Autor

3.3.8.2 Generación de los contactos y controles en el proceso de la simulación.

Para la simulación el contacto a utilizar es el tipo AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE. Se crea el contacto que va a tener la estructura con el piso. Colocando el coeficiente de fricción estática y dinámica Acero con Acero como se muestra en el Anexo 2.

También se coloca el contacto que van a tener los maniquís con la estructura y entre ellos, con un coeficiente de fricción estática y dinámica de 0.3.

Para los controles de la simulación activamos los comandos:

- Accuracy, para que los resultados del estrés sean precisos.
- Energy. para que calcule todas las energías.
- Hourglass, verificar la energía interna.
- Shell, control de la malla al momento de la simulación.
- Termination, tiempo de simulación que va hacer de 0.80 segundos, como es un impacto se demora poco, por esa razón el tiempo de simulación es bajo.
- Timestep, valor de los ciclos que va hacer de $-1E-3$ segundos por ciclo.
- Database, son los resultados que se quiere ver y el tiempo. Activamos el GLSTAT y el MATSUM en un tiempo de 0.001 segundos, para el cálculo de todas las energías.
- Binary-D3plot, es el tiempo de los resultados que va hacer de 0.5 segundos.

Se coloca los mismos parámetros iniciales, contactos y controles en el proceso de la simulación, para el ancho de ventana mínima de 1200 mm y para el ancho de ventana máxima de 1600 mm.

3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Para comprobar la exactitud de los resultados del ciclo de la simulación, lo principal a comprobar es si la energía total se mantiene estable durante el período de tiempo de reproducción. En la Figura 3.29 se muestra el gráfico que muestra las diversas distribuciones de energía obtenidas de la simulación del vuelco de la estructura del

autobús. Como se muestra en esta figura, la energía total permanece constante, que es una de las señales para obtener resultados de investigación correctos. Se puede ver muy bien que la energía única disminuye y se transforma en energía interna después de algún tiempo y del reloj de arena la energía sigue siendo insignificante [3].

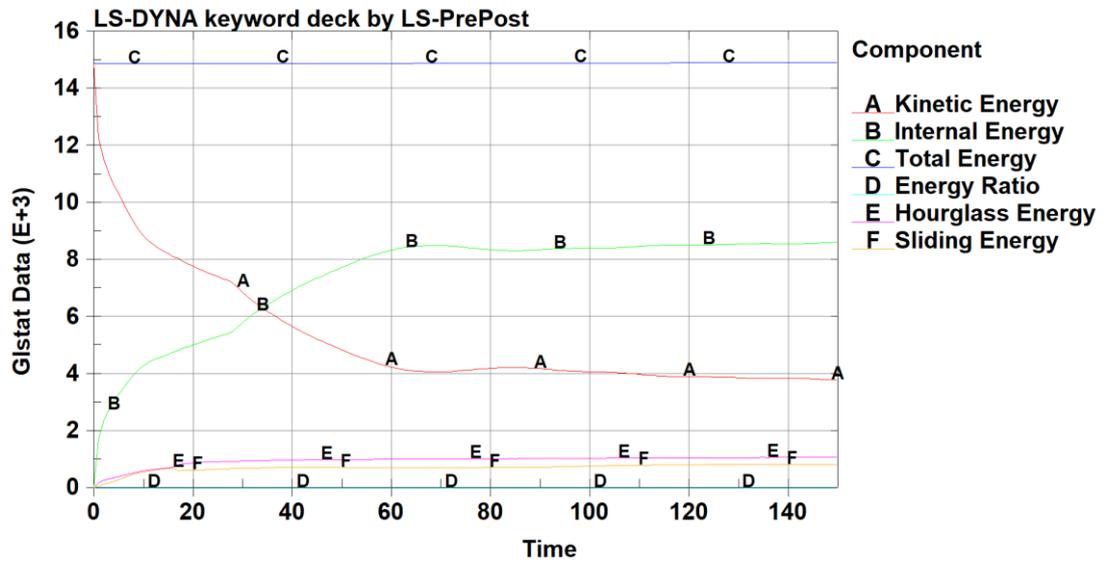


Figura 3.29: Distribución de la energía en función del tiempo.

Fuente: Autor

Se utilizaron un total de 4 maniqués en el análisis de vuelco. Los maniqués se colocaron en las secciones más débiles que corresponde a la parte delantera y a la parte trasera del autobús, para el estudio la posición de los maniqués está colocada en la parte delantera del autobús. En la Figura 3.30 se muestra las etiquetas de los maniqués de van desde el M1 al M4, donde se encuentran sentados en el modelo de autobús. La colocación de los maniqués en los asientos se hizo automáticamente usando el programa LS-DYNA.

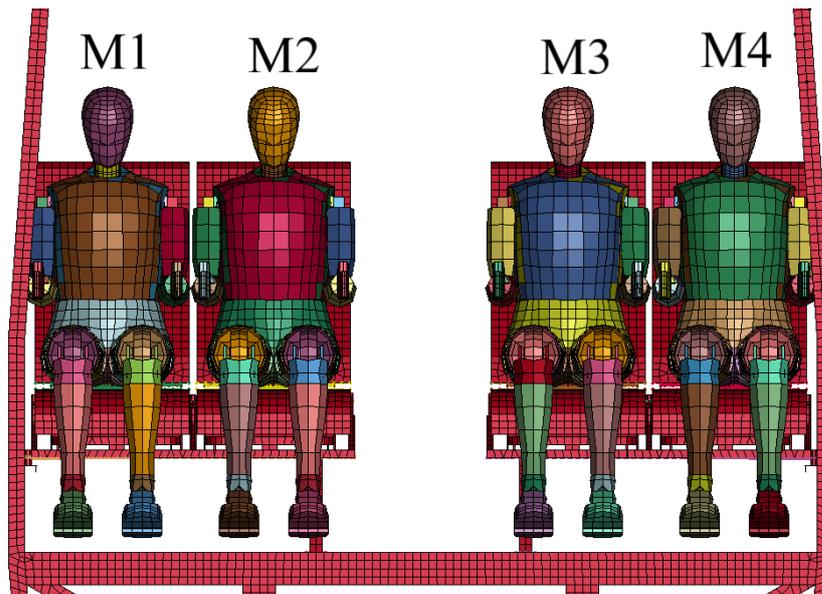


Figura 3.30: Disposición de los maniqués.

Fuente: Autor

Para este estudio se evaluó 2 tipos de cinturón de seguridad que son: cinturón de seguridad de dos puntos o de regazo, es decir, se colocaron para ajustarse a los contornos del muslo y cinturón de seguridad de tres puntos o de hombro, es decir, cerca de los hombros del maniquí de manera que se ajusten a los contornos del pecho y la parte superior del cuerpo, como se muestra en la Figura 3.31.

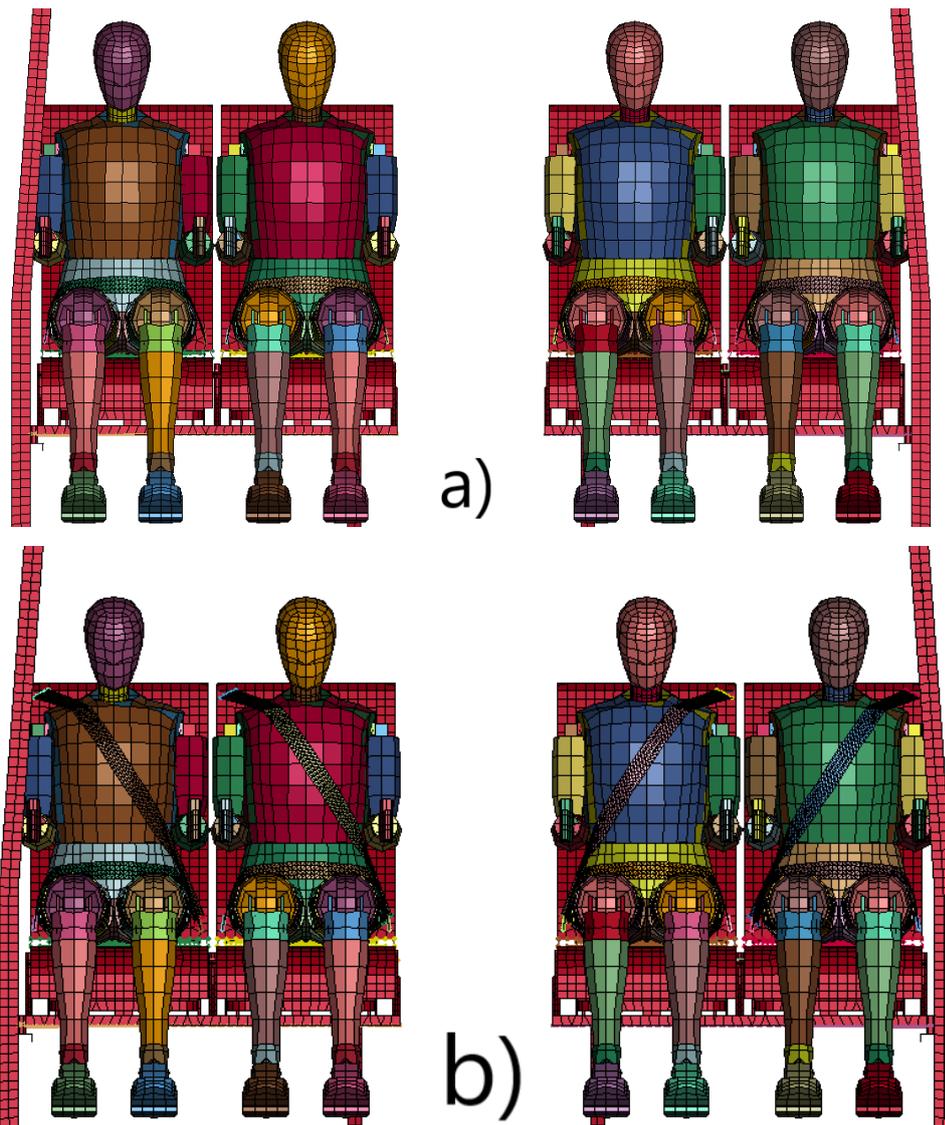


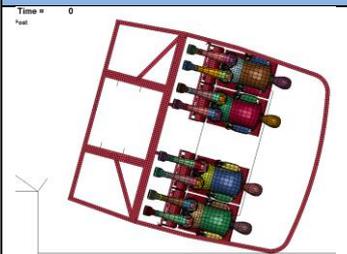
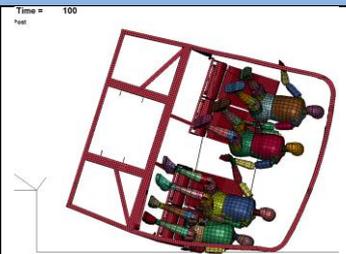
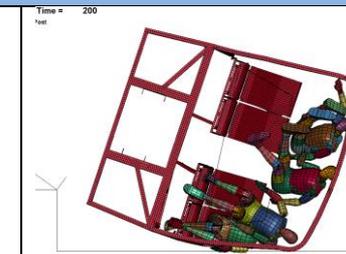
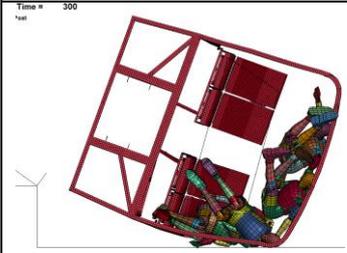
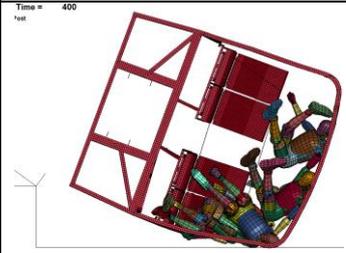
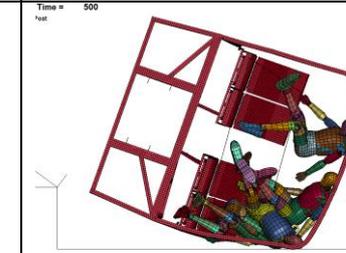
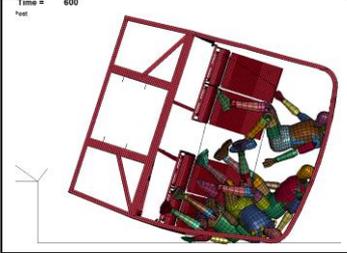
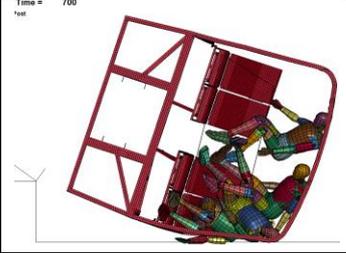
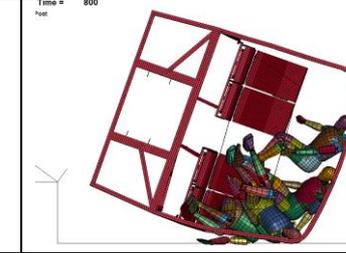
Figura 3.31: Colocación del cinturón de seguridad al maniquí y al asiento; a) Cinturón de seguridad de dos puntos o de regazo; b) Cinturón de seguridad de tres puntos.

Fuente: Autor

Cabe señalar que para la simulación solo se tomó una sección de la superestructura del autobús y no incluía las partes internas de la estructura. Debido a que la presencia de todas las piezas del autobús tendría un efecto en los valores de comportamientos como son de la cabeza, tórax, pelvis y abdomen. Se recomienda que en futuros estudios se tome en cuenta las partes recortadas, también el aumento del número de maniqués en el vehículo y mejoras en el cinturón de seguridad.

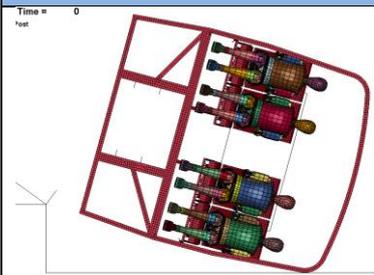
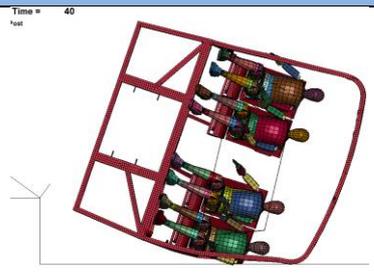
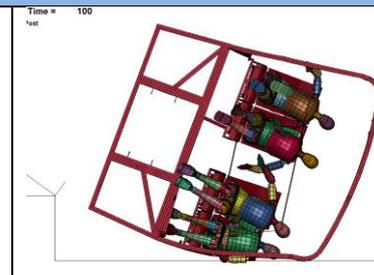
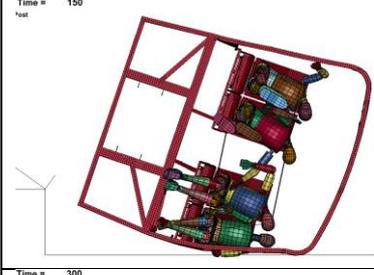
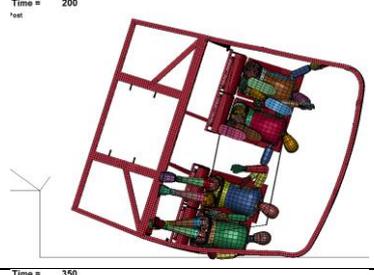
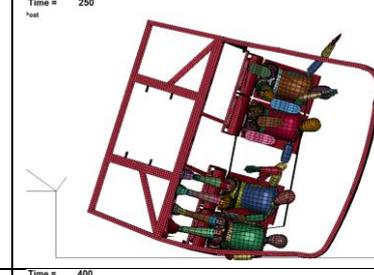
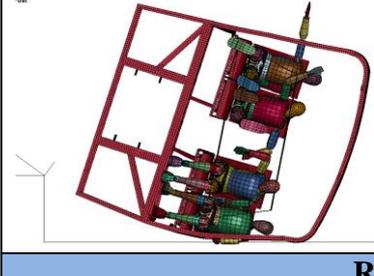
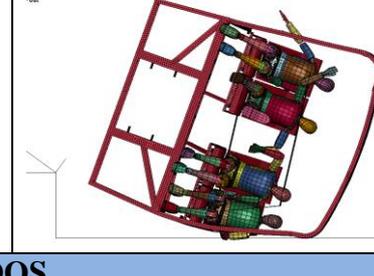
3.4.1 Simulación de la sección de la superestructura con un ancho de ventana mínimo de 1200 mm.

Tabla 3.6: Imágenes secuenciales que muestran el comportamiento de los maniqués sin cinturón de seguridad con ancho de ventana de 1200 mm.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ensayo de vuelco N°	1	Muestra de:	Sección de la superestructura del bus interprovincial según la normativa NTE INEN 1668
Norma Aplicada	Reglamento UNECE/CE PE R95	Tiempo de procesamiento	6 horas 06 minutos
Velocidad de impacto	3.92 rad/s	Tiempo de impacto	800 milisegundos
RESULTADOS DEL ENSAYO			
			
			
			
RESULTADOS REGISTRADOS			
El espacio de supervivencia es invadido por la superestructura del autobus.			NO

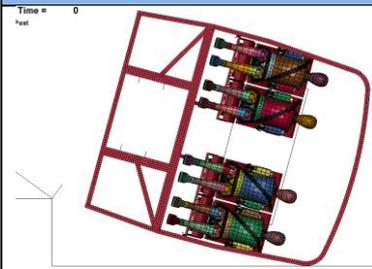
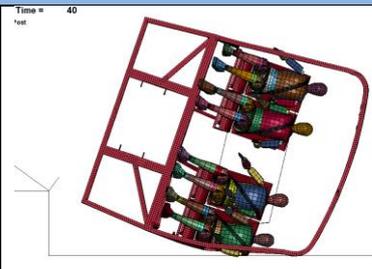
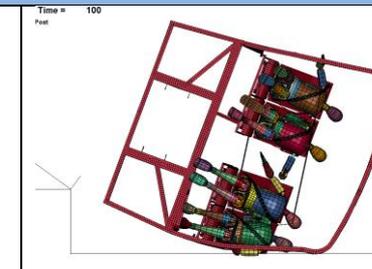
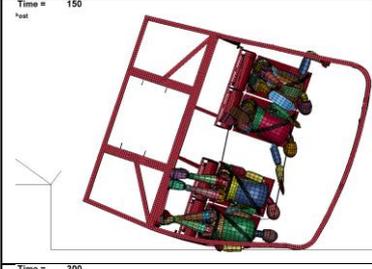
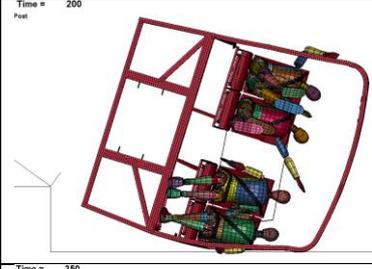
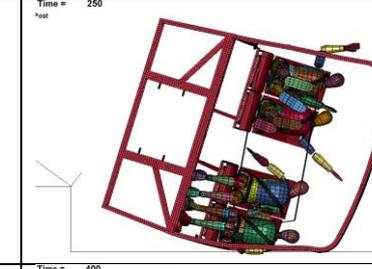
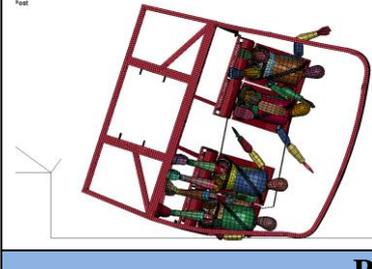
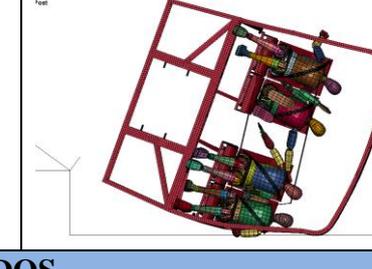
Fuente: Autor

Tabla 3.7: Imágenes secuenciales que muestran el comportamiento de los maniqués con cinturón de seguridad de dos puntos con ancho de ventana de 1200 mm.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Ensayo de vuelco N°	de 2	Muestra de:	Sección de la superestructura del bus interprovincial según la normativa NTE INEN 1668	
Norma Aplicada	Reglamento UNECE/CE PE R95	Tiempo de procesamiento	de 3 horas 53 minutos	
Velocidad al momento de impacto	3.92 rad/s	Tiempo de impacto	400 milisegundos	
RESULTADOS DEL ENSAYO				
				
				
				
RESULTADOS REGISTRADOS				
El espacio de supervivencia es invadido por la superestructura del autobus.			NO	

Fuente: Autor

Tabla 3.8: Imágenes secuenciales que muestran el comportamiento de los maniqués con cinturón de seguridad de tres puntos con ancho de ventana de 1200 mm.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Ensayo de vuelco N°	de 3	Muestra de:	Sección de la superestructura del bus interprovincial según la normativa NTE INEN 1668	
Norma Aplicada	Reglamento UNECE/CE PE R95	Tiempo de procesamiento	de 3 horas 5 minutos	
Velocidad al momento de impacto	3.92 rad/s	Tiempo de impacto	400 milisegundos	
RESULTADOS DEL ENSAYO				
				
				
				
RESULTADOS REGISTRADOS				
El espacio de supervivencia es invadido por la superestructura del autobus.			NO	

Fuente: Autor

3.4.2 Simulación de la sección de la superestructura con un ancho de ventana máximo de 1600 mm.

Tabla 3.9: Imágenes secuenciales que muestran el comportamiento de los maniqués sin cinturón de seguridad con ancho de ventana de 1600 mm.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Ensayo de vuelco N°	4	Muestra de:	Sección de la superestructura del bus interprovincial según la normativa NTE INEN 1668
Norma Aplicada	Reglamento UNECE/CE PE R95	Tiempo de procesamiento	7 horas 05 minutos
Velocidad de impacto	3.95 rad/s	Tiempo de impacto	800 milisegundos
RESULTADOS DEL ENSAYO			
Time = 0 Post	Time = 100 Post	Time = 200 Post	
Time = 300 Post	Time = 400 Post	Time = 500 Post	
Time = 600 Post	Time = 700 Post	Time = 800 Post	
RESULTADOS REGISTRADOS			
El espacio de supervivencia es invadido por la superestructura del autobus.			NO

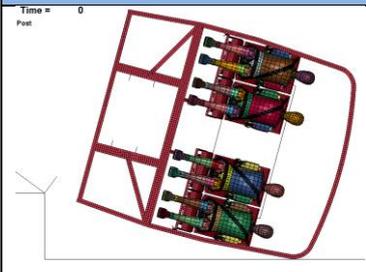
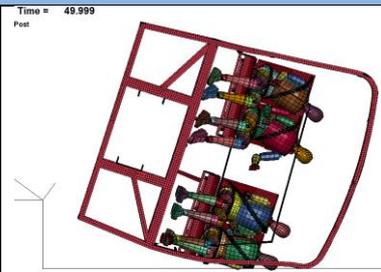
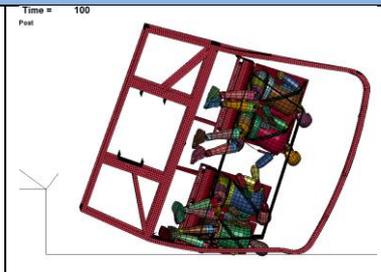
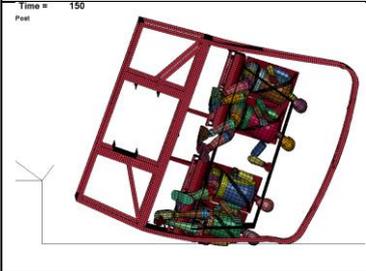
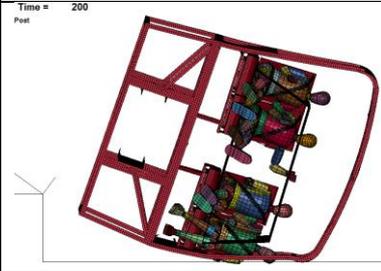
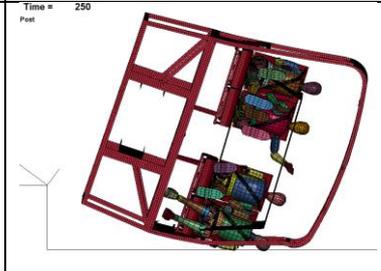
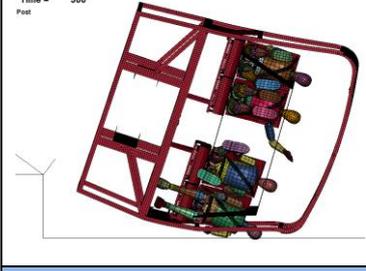
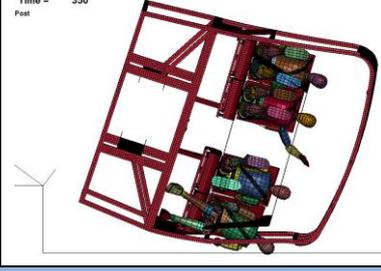
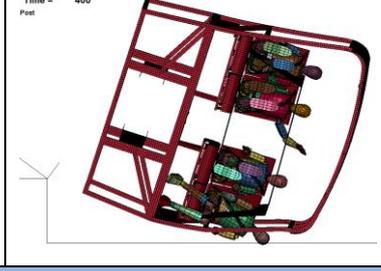
Fuente: Autor

Tabla 3.10: Imágenes secuenciales que muestran el comportamiento de los maniqués con cinturón de seguridad de dos puntos con ancho de ventana de 1600 mm.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Ensayo de vuelco N°	de 5	Muestra de:	Sección de la superestructura del bus interprovincial según la normativa NTE INEN 1668	
Norma Aplicada	Reglamento UNECE/CE PE R95	Tiempo de procesamiento	de 3 horas 32 minutos	
Velocidad al momento de impacto	3.95 rad/s	Tiempo de impacto	400 milisegundos	
RESULTADOS DEL ENSAYO				
RESULTADOS REGISTRADOS				
El espacio de supervivencia es invadido por la superestructura del autobus.				NO

Fuente: Autor

Tabla 3.11: Imágenes secuenciales que muestran el comportamiento de los maniqués con cinturón de seguridad de tres puntos con ancho de ventana de 1600 mm.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Ensayo de vuelco N°	de 6	Muestra de:		Sección de la superestructura del bus interprovincial según la normativa NTE INEN 1668
Norma Aplicada	Reglamento UNECE/CE PE R95	Tiempo de procesamiento	de 4 horas 12 minutos	
Velocidad al momento de impacto	3.95 rad/s	Tiempo de impacto		400 milisegundos
RESULTADOS DEL ENSAYO				
				
				
				
RESULTADOS REGISTRADOS				
El espacio de supervivencia es invadido por la superestructura del autobus.				NO

Fuente: Autor

En la Tabla 3.6 y en la Tabla 3.9 se observa las imágenes secuenciales seleccionadas para los maniqués sin cinturón de seguridad. En el análisis se ilustra el comportamiento del vuelco donde primero el autobús entra en contacto con el suelo, posteriormente comienza a absorber energía por deformación elasto plástica a través de la flexión. Debido a que los maniqués no tienen cinturón de seguridad, los maniqués M1 y M2 van a salir volando y golpean al techo, a la estructura del autobús y a los demás maniqués. Lo que se produce es una expulsión total de los pasajeros, lo que comúnmente sucede en un accidente de vuelco.

En la Tabla 3.7 y en la Tabla 3.10 se observa las imágenes secuenciales seleccionadas para los maniqués con cinturón de seguridad de dos puntos. En el estudio el maniqué M4 es golpeado por el maniqué M3. Los pasajeros que se encuentran sentados cerca de la ventana del lado del vuelco, como es el caso del maniqué M4, usualmente se golpean contra la ventana o los pilares laterales del autobús. En el caso del ancho de ventana máximo el maniqué M4 entra en contacto con el piso. El uso del cinturón de seguridad efectivamente dio un resultado positivo en la protección de los pasajeros M1 y M2 que se encuentran sentados en la parte superior de la estructura, donde se impide parcialmente la expulsión de los pasajeros.

En la Tabla 3.8 y en la Tabla 3.11 se observa las imágenes secuenciales seleccionadas para los maniqués con cinturón de seguridad de tres puntos. En el estudio el uso del cinturón de seguridad de tres puntos, impide completamente la expulsión de los pasajeros. En el caso de la Tabla 3.11 se observa que existe contacto entre el maniqué M4 con el piso.

3.4.3 Criterio de comportamiento de la cabeza HIC.

El criterio de comportamiento de la cabeza observada en la simulación del vuelco, para el caso de los maniqués sin cinturón de seguridad para los dos casos analizados se indican en la Tabla 3.12. Como se aprecia casi todos los valores de HIC son superiores a 1000, lo que indican lesiones graves para todos los pasajeros.

En el caso del ancho de ventana de 1200 mm, el maniquí M1 sale volando y entra en contacto con el techo en 110 ms. El maniquí M2 entra en contacto con el techo en 150 ms; mientras que el maniquí M3 entra en contacto con el techo en 230 ms y el maniquí M4 choca con el suelo en 75 ms. Para el caso del ancho de ventana de 1600 mm, el maniquí M1 sale volando y entra en contacto con el techo en 215 ms. El maniquí M2 entra en contacto con el techo en 225 ms; mientras que el maniquí M3 entra en contacto con el techo en 255 ms y el maniquí M4 choca con el suelo en 120 ms.

Como se observa en la Tabla 3.12, en general el índice de comportamiento de la cabeza HIC es mayor para los maniqués M1 y M4. En comparación el maniquí M1 con el M4, el maniquí M1 sale volando y posee mayor velocidad al impactarse con el techo y con el maniquí M2, en cambio el maniquí M4 no tiene mucha velocidad, pero al chocarse con el suelo el índice supera el recomendado por el reglamento R95.

Tabla 3.12: Valores del Criterio de comportamiento de la cabeza HIC sin cinturón de seguridad.

Dummy	HIC 36		Descripción
	Ancho de ventana mínima 1200 mm	Ancho de ventana máxima 1600 mm	
M1	1426	1826	Contacto con el techo del autobús > 1000 Inaceptable
M2	1016	1428	Contacto con el Dummy M1 y con el techo del autobús > 1000 Inaceptable
M3	908.7	640.4	Contacto con el Dummy M4 y con el techo del autobús < 1000 Aceptable
M4	1605	1824	Contacto con el suelo y con el Dummy M3. > 1000 Inaceptable

Fuente: Autor

El criterio de comportamiento de la cabeza observada en la simulación del vuelco, para el caso de los maniquís con cinturón de seguridad de dos puntos se indican en la Tabla 3.13. Como se aprecia todos los valores de HIC son menores a 1000, en los dos casos con ancho de ventana de 1200 mm y 1600 mm, es decir que se encuentran en el rango aceptable del reglamento R95. El índice de comportamiento de la cabeza HIC es mayor para los maniquís M1 y M2. Debido a que tiene mayor desplazamiento en 400 ms, sin embargo, no saldrán volando, ni poseen contacto con el techo ni el piso.

Tabla 3.13: Valores del Criterio de comportamiento de la cabeza HIC con cinturón de seguridad de dos puntos.

Ancho de ventana mínima 1200 mm		
Maniquí	HIC 36	Descripción
M1	362.5	< 1000 Aceptable
M2	350.3	< 1000 Aceptable
M3	335.3	< 1000 Aceptable
M4	334.3	< 1000 Aceptable
Ancho de ventana máxima 1600 mm		
M1	355.8	< 1000 Aceptable
M2	348.5	< 1000 Aceptable
M3	338.3	< 1000 Aceptable
M4	334.2	< 1000 Aceptable

Fuente: Autor

El criterio de comportamiento de la cabeza observada en la simulación del vuelco, para el caso de los maniquís con cinturón de seguridad de tres puntos se indican en la Tabla

3.14. Como se aprecia todos los valores de HIC son menores a 1000, en los dos casos con ancho de ventana de 1200 mm y 1600 mm, es decir que se encuentran en el rango aceptable del reglamento R95. El índice de comportamiento de la cabeza HIC es mayor para los maniquís M1 y M2, es debido a que tendrán mayor fuerza al volcarse.

Tabla 3.14: Valores del Criterio de comportamiento de la cabeza HIC con cinturón de seguridad de tres puntos.

Ancho de ventana mínima 1200 mm		
Maniquí	HIC 36	Descripción
M1	353.2	< 1000 Aceptable
M2	349.8	< 1000 Aceptable
M3	336	< 1000 Aceptable
M4	340.7	< 1000 Aceptable
Ancho de ventana máxima 1600 mm		
M1	347.7	< 1000 Aceptable
M2	345.2	< 1000 Aceptable
M3	330	< 1000 Aceptable
M4	336	< 1000 Aceptable

Fuente: Autor

Los resultados del análisis mostraron que el HIC es mucho mayor cuando no se posee cinturón de seguridad, pero cuando se coloca el cinturón de seguridad de dos y tres puntos los valores son aceptable y no varían mucho en los resultados.

3.4.4 Criterio de comportamiento del tórax.

El criterio de comportamiento del tórax observada en la simulación del vuelco, para el caso de los maniqués sin cinturón de seguridad, en los dos casos con ancho de ventana de 1200 mm y 1600 mm, se indican en la Tabla 3.15. Como se aprecia todos los valores de las deformaciones de las seis costillas en su punto más crítico son menores a 42 mm, es decir que se encuentran en el rango aceptable del reglamento R95.

Los maniqués M1 y M2 posee los valores más altos de deformaciones de las costillas en comparación con los demás maniqués, esto se debe a que el maniqué M1 y M2 choca con mayor fuerza de contacto contra el techo, mientras que el maniqué M4 entra en contacto con el suelo y con el maniqué M3.

Tabla 3.15: Variación de longitud al evaluar el criterio de comportamiento del tórax sin cinturón de seguridad.

Ancho de ventana mínima 1200 mm							
Dummy	Costilla (mm)						Descripción
	1	2	3	4	5	6	
M1	13.9	12.18	12.77	11.01	10.51	11.31	< 42 Aceptable
M2	14.2	11.92	11.48	12.02	10.99	11.11	< 42 Aceptable
M3	5.89	4.27	6.51	8.10	8.56	7.86	< 42 Aceptable
M4	8.88	9.8	11.17	13.98	12.33	10.9	< 42 Aceptable

Ancho de ventana máxima 1600 mm							
M1	9.97	9.13	8.57	8.69	7.98	9.32	< 42 Aceptable
M2	11.03	8.23	8.18	8.05	8.02	7.84	< 42 Aceptable
M3	3.85	2.65	2.27	2.35	2.70	2.69	< 42 Aceptable
M4	5.57	3.41	3.80	3.03	3.32	3.19	< 42 Aceptable

Fuente: Autor

El criterio de comportamiento del tórax observada en la simulación del vuelco, para el caso de los maniqués con cinturón de seguridad de dos puntos, en los dos casos con ancho de ventana de 1200 mm y 1600 mm, se indican en la Tabla 3.16. Como se aprecia todos los valores de las deformaciones de las seis costillas en su punto más crítico son menores a 42 mm, es decir que se encuentran en el rango aceptable del reglamento R95. El maniqué M1 y M2 posee los valores más altos de deformaciones de las costillas en comparación con los demás maniqués, esto se debe a que existe un alargamiento del tórax al momento del volcamiento y por la velocidad.

Tabla 3.16: Variación de longitud al evaluar el criterio de comportamiento del tórax con cinturón de seguridad de dos puntos.

Ancho de ventana mínima 1200 mm							
Dummy	Costilla (mm)						Descripción
	1	2	3	4	5	6	
M1	8.32	9.62	9.02	9.87	8.47	10.18	< 42 Aceptable

M2	4.92	6	6.15	6.29	5.3	7.31	< 42 Aceptable
M3	6.15	6.86	6.29	7.01	6	8.84	< 42 Aceptable
M4	5.87	5.26	4.38	4.18	3.59	4.92	< 42 Aceptable
Ancho de ventana máxima 1600 mm							
M1	5.63	5.81	6.18	6.28	5.12	8.07	< 42 Aceptable
M2	6.74	7.74	7.72	7.93	6.65	10.36	< 42 Aceptable
M3	5.14	4.96	5.03	4.76	4.52	6.35	< 42 Aceptable
M4	4.62	4.01	4.16	3.91	3.76	4.88	< 42 Aceptable

Fuente: Autor

El criterio de comportamiento del tórax observada en la simulación del vuelco, para el caso de los maniqués con cinturón de seguridad de tres puntos, en los dos casos con ancho de ventana de 1200 mm y 1600 mm, se indican en la Tabla 3.17. Como se aprecia todos los valores de las deformaciones de las seis costillas en su punto más crítico son menores a 42 mm, es decir que se encuentran en el rango aceptable del reglamento R95. El maniqué M1 y M2 posee los valores más altos de deformaciones de las costillas en comparación con los demás maniqués, esto se debe a la posición del cinturón de seguridad.

Tabla 3.17: Variación de longitud al evaluar el criterio de comportamiento del tórax con cinturón de seguridad de tres puntos.

Ancho de ventana mínima 1200 mm							
Dummy	Costilla (mm)						Descripción
	1	2	3	4	5	6	
M1	10.6	10.38	9.71	9.82	9.13	9.50	< 42 Aceptable
M2	8.13	6.62	6.55	6.31	5.63	5.83	< 42 Aceptable
M3	7.62	6.48	6.37	6.15	6.02	5.71	< 42 Aceptable
M4	4.67	3.63	4.24	4.59	4.44	4.68	< 42 Aceptable
Ancho de ventana máxima 1600 mm							
M1	8.94	7.33	7.43	7.15	6.44	7.16	< 42 Aceptable
M2	10.7	11.9	11.09	10.98	9.67	11	< 42 Aceptable
M3	10.22	11.22	10.98	10.47	9.93	9.01	< 42 Aceptable
M4	5.72	5.81	5.70	5.92	5.99	5.55	< 42 Aceptable

Fuente: Autor

Los resultados del análisis mostraron que las deformaciones de las costillas en los tres casos son favorables, esto se debe a que no existe algo directamente que los impacte como puede ser un poste u otro vehículo.

3.4.5 Criterio de comportamiento de la pelvis.

El criterio de comportamiento de la pelvis observada en la simulación del vuelco, para el caso de los maniqués sin cinturón de seguridad, en los dos casos con ancho de ventana de 1200 mm y 1600 mm, se indican en la Tabla 3.18. Como se aprecia todos los valores de la pelvis derecha e izquierda son inferiores a 6 kN, excepto el maniqué M1 que indican lesiones graves en los pasajeros. El maniqué M1 posee valores altos debido a que sale volando y choca con el maniqué M2.

Tabla 3.18: Valores del Criterio de comportamiento de la pelvis sin cinturón de seguridad.

Ancho de ventana mínima 1200 mm			
Maniqué	Fuerza resultante kN		Descripción
	Pelvis derecha	Pelvis izquierda	
M1	5.36	6.76	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda > 6 kN Inaceptable
M2	5.53	5.13	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable
M3	4.6	5.06	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable
M4	3.8	4.88	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable

			Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable
Ancho de ventana máxima 1600 mm			
M1	5.34	6.63	Fuerza pelvis derecha > 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda > 6 kN Inaceptable
M2	5.05	5.62	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable
M3	4.52	5.57	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable
M4	4.68	5.77	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable

Fuente: Autor

El criterio de comportamiento de la pelvis observada en la simulación del vuelco, para el caso de los maniquís con cinturón de seguridad de dos puntos, en los dos casos con ancho de ventana de 1200 mm y 1600 mm, se indican en la Tabla 3.19. Como se aprecia todos los valores de la pelvis derecha e izquierda son inferiores a 6 kN, es decir que se encuentran en el rango aceptable del reglamento R95.

Tabla 3.19: Valores del Criterio de comportamiento de la pelvis con cinturón de seguridad de dos puntos.

Ancho de ventana mínima 1200 mm			
Maniquí	Fuerza resultante kN		Descripción
	Pelvis derecha	Pelvis izquierda	
M1	4.19	5.29	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable
M2	5.61	5.94	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable
M3	4.71	5.58	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable
M4	4.52	5.67	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable
Ancho de ventana máxima 1600 mm			
M1	4.94	5.55	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable
M2	4.89	5.01	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable
M3	5.05	5.76	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable
M4	4.59	5.56	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda < 6 kN Aceptable

Fuente: Autor

El criterio de comportamiento de la pelvis observada en la simulación del vuelco, para el caso de los maniqués con cinturón de seguridad de tres puntos, en los dos casos con ancho de ventana de 1200 mm y 1600 mm, se indican en la Tabla 3.20. Como se aprecia todos los valores de la pelvis derecha e izquierda son inferiores a 6 kN. Los valores no varían mucho con respecto a los que usan cinturón de seguridad de dos puntos, de echo algunos valores son más altos, esto se debe a que el cinturón de seguridad presionará con mayor fuerza en los puntos donde está conectado el cinturón del pecho.

Tabla 3.20: Valores del Criterio de comportamiento de la pelvis con cinturón de seguridad de tres puntos.

Ancho de ventana mínima 1200 mm			
Maniquí	Fuerza resultante kN		Descripción
	Pelvis derecha	Pelvis izquierda	
M1	5.78	5.04	Fuerza pelvis derecha > 6 kN Inaceptable Fuerza pelvis izquierda > 6 kN Aceptable
M2	4.61	5.83	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda > 6 kN Aceptable
M3	4.54	4.66	Fuerza pelvis derecha > 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda > 6 kN Aceptable
M4	4.52	5.53	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda > 6 kN Aceptable
Ancho de ventana máxima 1600 mm			
M1	4.63	5.73	Fuerza pelvis derecha > 6 kN Inaceptable Fuerza pelvis izquierda > 6 kN Aceptable

M2	4.53	5.7	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda > 6 kN Aceptable
M3	4.64	5.69	Fuerza pelvis derecha > 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda > 6 kN Aceptable
M4	4.71	5.77	Fuerza pelvis derecha < 6 kN Aceptable Fuerza pelvis izquierda > 6 kN Aceptable

Fuente: Autor

Los resultados del análisis mostraron que la fuerza en la pelvis izquierda es mayor en todos los casos, debido a que el volcamiento se realiza en la parte izquierda de los pasajeros, también depende el tipo de cinturón de seguridad que se utilice.

3.4.6 Criterio de comportamiento del abdomen.

El criterio de comportamiento del abdomen observada en la simulación del vuelco, para los maniqués sin cinturón de seguridad, en los dos casos con ancho de ventana de 1200 mm y 1600 mm, se indican en la Tabla 3.21. Como se aprecia todos los valores del abdomen son inferiores a 4.5 kN. El maniqué M1 posee un valor más alto de los demás maniqués debido a que cae de mucha altura.

Tabla 3.21: Valores del Criterio de comportamiento del abdomen sin cinturón de seguridad.

Ancho de ventana mínima 1200 mm		
Dummy	Fuerza resultante kN	Descripción
M1	4.03	< 4.5 kN Aceptable
M2	3.97	< 4.5 kN Aceptable
M3	3.57	< 4.5 kN Aceptable
M4	3.47	< 4.5 kN Aceptable
Ancho de ventana máxima 1600 mm		

Dummy	Fuerza resultante kN	Descripción
M1	4.26	< 4.5 kN Aceptable
M2	4.27	< 4.5 kN Aceptable
M3	3.52	< 4.5 kN Aceptable
M4	3.67	< 4.5 kN Aceptable

Fuente: Autor

El criterio de comportamiento del abdomen observada en la simulación del vuelco, para los maniquís con cinturón de seguridad de dos puntos, en los dos casos con ancho de ventana de 1200 mm y 1600 mm, se indican en la Tabla 3.22. Como se aprecia todos los valores del abdomen son inferiores a 4.5 kN, es decir, que se encuentran en el rango aceptable del reglamento R95.

Tabla 3.22: Valores del Criterio de comportamiento del abdomen con cinturón de seguridad de dos puntos.

Ancho de ventana mínima 1200 mm		
Dummy	Fuerza resultante kN	Descripción
M1	3.55	< 4.5 kN Aceptable
M2	3.69	< 4.5 kN Aceptable
M3	3.62	< 4.5 kN Aceptable
M4	3.59	< 4.5 kN Aceptable
Ancho de ventana máxima 1600 mm		
M1	3.67	< 4.5 kN Aceptable
M2	3.69	< 4.5 kN Aceptable
M3	3.69	< 4.5 kN Aceptable
M4	3.57	< 4.5 kN Aceptable

Fuente: Autor

El criterio de comportamiento del abdomen observada en la simulación del vuelco, para los maniqués con cinturón de seguridad de tres puntos, en los dos casos con ancho de ventana de 1200 mm y 1600 mm, se indican en la Tabla 3.23. Como se aprecia todos los valores del abdomen son inferiores a 4.5 kN. Los valores no varían mucho en todos los maniqués, esto se debe a que el cinturón de seguridad presionará con mayor fuerza en el abdomen.

Tabla 3.23: Valores del Criterio de comportamiento del abdomen con cinturón de seguridad de tres puntos.

Ancho de ventana mínima 1200 mm		
Dummy	Fuerza resultante kN	Descripción
M1	3.59	< 4.5 kN Aceptable
M2	3.64	< 4.5 kN Aceptable
M3	3.63	< 4.5 kN Aceptable
M4	3.65	< 4.5 kN Aceptable
Ancho de ventana máxima 1600 mm		
M1	3.7	< 4.5 kN Aceptable
M2	3.63	< 4.5 kN Aceptable
M3	3.66	< 4.5 kN Aceptable
M4	3.58	< 4.5 kN Aceptable

Fuente: Autor

Se analizaron los cuatro criterios de comportamiento del maniquí, en el caso de un vuelco de autobús interprovincial de acuerdo al reglamento R95. De forma general se observa que los criterios más críticos en el caso del volcamiento son el índice de comportamiento de la cabeza HIC y el comportamiento de la pelvis, debido a que tendrán mayor influencia en las lesiones de los pasajeros, ya que no existe algo externo que golpee directamente a los ocupantes.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Se modeló la sección estructural según la norma INEN 1668, la cual determina las dimensiones máximas y mínimas que deben cumplir los buses interprovinciales, se colocó como dato variante la dimensión del ancho de ventana mínimo y máximo. Se consideró que la sección estructural más común es la parte delantera, es decir junto al conductor, también se consideró una parte crítica para el análisis la sección posterior del bus.

Con las simulaciones se visualizó que los maniqués sin cinturón de seguridad M1 Y M2, saldrán expulsados de sus asientos, esta acción se asemeja a lo que sucede usualmente en un accidente de vuelco. Las simulaciones muestran que el uso del cinturón de seguridad, impide la expulsión de los pasajeros. El índice de comportamiento de la cabeza observado, en los dos casos, muestra que los maniqués sin cinturón de seguridad supera el límite recomendado por el Reglamento R95, a excepción del maniqué M3, lo cual indica trastorno severo y coma cerebral para casi todos los pasajeros, debido a que se impactan con el techo y el suelo.

Los resultados del análisis mostraron que las deformaciones de las costillas en los tres casos son favorables, ya que esta deformación no supera el valor recomendado por el Reglamento R95, esto se debe a que no existe algo que impacte directamente en la zona del tórax, como puede ser un poste u otro vehículo. Los resultados del comportamiento de la pelvis muestran que el maniqué M1 sin cinturón de seguridad, excede el valor recomendado en el Reglamento R95, esto se debe a que se impacta contra la estructura y los demás maniqués, sin embargo, la fuerza de la pelvis en las diferentes situaciones es aceptables. La fuerza resultante en la zona del abdomen

brinda valores inferiores al recomendado por el Reglamento R95, por consecuente, los valores son admitidos.

Globalmente se entiende que el uso del cinturón de seguridad de dos puntos y el de tres puntos, brinda un comportamiento similar en los maniquís al simular el vuelco de la estructura, lo cual muestra la importancia de emplear cualquiera de los dos tipos de cinturón de seguridad; ya que al no usar cinturón de seguridad se evidencia daños graves en los pasajeros, por lo que respecto a costos se recomendaría únicamente emplear cinturones de dos puntos.

En la calibración del tórax, los valores obtenidos de deformación tienen un margen de error de ± 11.53 mm, con una deformación en las costillas de ± 1.53 mm. En la calibración de la cabeza la fuerza de aceleración máximo permitido posee un rango de error de ± 53.37 Gs. Por consecuente los resultados obtenidos en los ensayos de simulación para las tres situaciones, van a tener una incertidumbre en los resultados, por no considerar los pretensores, retractores y materiales del cinturón de seguridad.

4.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda que en futuros estudios se tome en cuenta las partes recortadas, tales como ventanas, canastillas, autopartes en general; tomando en cuenta la capacidad del ordenador para efectuar las simulaciones para obtener resultados más precisos.

Se recomienda el aumento del número de maniquís en el vehículo, para poder entender el comportamiento de todo el autobús, no solamente de la parte crítica considerada en este estudio.

Se recomienda en futuras investigaciones siempre y cuando los recursos lo permitan, mejorar la simulación con respecto al comportamiento del cinturón de seguridad al momento del vuelco, a fin de que el cinturón de seguridad se asemeje más al comportamiento real.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Núñez Milán, Simulación de un ensayo de vuelco de un autobús mediante Ls-dyna, Madrid : Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2016.
- [2] C. H. Arroba, Estudio del comportamiento mecánico de una seccion de la superestructura del autobus interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante los programas Ansys Ls-Dyna y su incidencia e en el espacio de supervivencia, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Maestría en Diseño Mecánico, 2013.
- [3] M. A. Guler, A. O. Atahan y B. Bayram, Effectiveness of seat belt usage on the rollover crashworthiness of an intercity coach, Turkey: Paper Number 09-0205, Department of Mechanical Engineering .
- [4] C. A. Esmeraldas Meneses, Analisis estructural basado en simulacion por el metodo de elementos finitos de una carroceria de bus interprovincial sometida a prueba de impacto lateral para determinar la geometria y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros, Latacunga: Universidad de las fuerzas armadas ESPE, Departamento de ciencias de la energía y mecánica, 2016.
- [5] Agencia Nacional de Tránsito, Reglamento del procedimiento general de homologación vehicular y dispositivos de medición, control, seguridad y certificación de los vehículos comercializados, Quito, 2016.
- [6] N. T. E. N. I. 1323:2009, VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES..
- [7] R. n. 6. (CEPE/ONU), Prescripciones técnicas uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respecta a la resistencia de su superestructura, 2007.
- [8] CEPE R95, «ACTOS ADOPTADOS POR ÓRGANOS CREADOS MEDIANTE ACUERDOS INTERNACIONALES,» Diario Oficial de la Unión Europea , pp. 183 - 191, 2015.

- [9] Regulation No. 36, Uniform provisions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to their general construction, United Nations, 2008.
- [10] L. E. Villafuerte Buñay, Analisis estructural de una carroceria autoportante para un bus interprovincial mediante elementos finitos pra la produccion en serie, Latacunga : Universidad de las fuerzas armadas, Departamento de ciencias de la energia y mecanica, 2017.
- [11] J. Verdezoto, Diseño de una carroceria de un bus interprovincial en conformidad con el instituto ecuatoriano de normalizacion (Norma INEN 1323:2009) y validacion mediante mecanica computaacional, Quito: ESPE, 2015.
- [12] L. Villafuerte Buñay, Análisis estructural de una carroceria autoportante para un bus interprovincial mediante elementos finitos para la produccion en serie, Latacunga: Universidad de las Fuerzas armadas ESPE, Departamento de ciencias de la energia y mecanica , 2017.
- [13] A. Vinueza, «ECUABUS,». [En línea]. Available: <http://ecuabus.net/SilverSC.html>, 2014
- [14] L. Bonilla y F. Rojas, Diseño y construcción de una máquina dobladora semiautomática de tubos cuadrados de 50x50x2 mm utilizados como cerchas de las estructuras de carrocerías de buses, Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2014.
- [15] L. Andrade y P. Mendez, Estudio del diseño de una carroceria con analisis de esfuerzos estaticos y dinamicos de un autobus de la marca Patricio Cepeda calificada con norma ISO 9001-2008 mediante la aplicacion de un software para el calculo de las fuerzas., Latacunga: ESPE, 2012.
- [16] D. Jaque y A. Morales, Propuesta de reorganizacion tecnica-economica de los procesos de produccion para las carrocerias: interprovincial y bus-tipo en la empresa Varma S.A. de la ciudad de Ambato, Riobamba: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingenieria Industrial, 2010.

- [17] J. L. Gavidia, Modelo de gestión para la homologación integral del transporte público de autobuses en el Ecuador, Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Magister en gestión industrial y sistemas productivos, 2016.
- [18] RTE INEN 038, BUS URBANO, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010.
- [19] RTE INEN 041, VEHÍCULOS DE TRANSPORTE ESCOLAR, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013.
- [20] RTEN INEN 043, BUS INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL, Quito: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2010.
- [21] NTE INEN 1668, VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL. REQUISITOS, Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2015.
- [22] European New Car Assessment Programme , Assessment protocol - Adult occupant protection, Euro NCAP, 2020.
- [23] S. Rooppakhun y S. Bua-Ngam, Finite element analysis of High-Decker bus frontal impact based on ECE-Regulation No. 29, Advanced Materials Research, 2013.
- [24] Autocasion , «Autocasion,» 2006. [En línea]. Available: <https://www.autocasion.com/actualidad/noticias/compatibilidad-entre-vehiculos-en-caso-de-accidente>.
- [25] I. Perez, Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera, 2009.
- [26] A. Garcia , Estudio teórico y experimental del comportamiento de la superestructura de los vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros bajo la acción de vuelco lateral, Madrid: Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 1990.
- [27] CEPE R66, «Reglamento no 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU),» Diario Oficial de la Unión Europea, pp. 321 - 355, 2007.

- [28] R. Maldonado, Análisis y simulación del impacto frontal y lateral del auto del Proyecto Minibaja, Puebla: Universidad de las Américas Puebla, 2004.
- [29] FTSS UNECE, Drawing package of ES-2 dummy as specified in UNECE Regulation 95, Geneva: UNECE, 2009.
- [30] D. Siskos y N. Tzolas, Post-processing of the 2020 Euro NCAP frontal impact test in META, Germany: 12th European LS-DYNA, DYNAmore GmbH, 2019.
- [31] S. Stahlschmidt, R. D'Souza, U. Franz, M. Burger y C. Maurath, LSTD EuroSID-2 Finite Element Model, Estados Unidos : Livermore Software Technology Corp. DYNAmore GmbH, 2010.
- [32] R. Avilés, Estudio del impacto lateral del autobús urbano con carrocería IMPA para determinar la configuración de la estructura que cumpla con la normativa de la UNECE REGULACIÓN R098R02, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- [33] LSTC, «Computational and Multi-scale Mechanics Group,» 12 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.lstc-cmmg.org/>. [Último acceso: 30 Noviembre 2020].
- [34] S. López, Determinación de configuraciones estructurales de un frente de autobús interprovincial y su incidencia en la resistencia al impacto frontal mediante el método de elementos finitos, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [35] ZOILO RÍOS, «Tipos de cinturones de seguridad y sus usos,» 26 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.zoilorios.com/noticias/tipos-de-cinturones-de-seguridad-y-sus-usos>. [Último acceso: 30 Noviembre 2020].
- [36] S. Rivero, C. Torres y L. Martínez, Análisis de la seguridad en butacas de autobuses, México: Instituto Politécnico Nacional , 2019.
- [37] F. Toledo, A. Mera, J. García y S. Hidalgo, Manual de investigación y reconstrucción de accidentes de tráfico, Valencia: Universitat de València, Inforse.
- [38] Novacero, «Catálogo de producto laminados, tubos y perfiles,» [En línea]. Available:

<http://www.novacero.com/phocadownload/catalogo/Catalogo%20LAMINAS,TUBOS%20Y%20PERFILES.pdf>.

- [39] A. Remache, Estudio de los anclajes de asientos de autobus en un impacto frontal para determinar las deformaciones y esfuerzos máximos en la empresa MIVILTECH soluciones industriales S.A., Ambato-Ecuador : Ingeniería Mecánica, Tesis de grado, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [40] J. King Foster , J. Kortge y M. Wolanin, «Hybrid III - A biomechanically - based crash test dummy,» SAE International, n° 770938, p. 9, 2018.
- [41] A. Noureddine, A. Eskandarian y K. Digges, «Computer modeling and validation of a hybrid III dummy for crashworthiness simulation,» Mathematical and computer modelling, n° The George Washington University, p. 6, 2002.
- [42] M. Pradeep, P. Chung-Kyu, M. Dhafer, K. Cing-Dao, G. Sarba, M. Christoph y B. Dilip, «LSTC/NCAC Dummy model development,» LS-DYNA, vol. 11th International , p. 6, 2010.
- [43] LS-DYNA, «LS-DYNA Support,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.dynasupport.com/howtos/general/consistent-units>.
- [44] M. M. Guerrero, Estudio del efecto del cinturón de seguridad y del airbag en el ocupante de un vehículo en caso de colisión, Madrid : Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería Mecánica , Julio 2008.
- [45] Morocho, Julio; Inca, Cristian, Modelación matemática del bloque de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala bajo el análisis dinámico - no lineal, dentro del rango elástico, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [46] N. T. E. I. 1668, «Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial. Requisitos,» Primera revisión, Quito, 2015.
- [47] J.Cepeda, Modelación prueba de impacto y diseño robusto de rejilla de protección de bocinas automotrices para general motors de Mexico, Monterrey Mexico: Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Monterrey, 2011.

- [48] C. C. Liang y G. N. Le, Analysis of bus rollover protection under legislated standards using Ls- Dyna software simulation techniques, Taiwan: Mechanical and automation engineering, Da-Yeh University , 2009.
- [49] M. A. Guler, A. O. Atahan y B. Bayram, Effectiveness of seat belt usage on the rollover crashworthiness of an intercity coach, Turkey: Department of Mechanical Engineering, TOBB University of Economics and Technology, Paper Number 09-0205.
- [50] M. Padeep, C.-K. Park, D. Marzougui, C.-D. Kan, S. Guha, C. Maurath y D. Bhalsod, «LSTC/ NCAC Dummy Model Development,» 11th international LS-DYNA user conference occupant Safety, p. 12.

ANEXOS

Anexo 1: Tabla de Isdyna, propiedades del acero

MASS	LENGTH	TIME	FORCE	STRESS	ENERGY	DENSITY	YOUNG's	35MPH 56.33KMPH	GRAVITY
kg	m	s	N	Pa	J	7.83e+03	2.07e+11	15.65	9.806
kg	cm	s	1.0e-02 N			7.83e-03	2.07e+09	1.56e+03	9.806e+02
kg	cm	ms	1.0e+04 N			7.83e-03	2.07e+03	1.56	9.806e-04
kg	cm	us	1.0e+10 N			7.83e-03	2.07e-03	1.56e-03	9.806e-10
kg	mm	ms	kN	GPa	kN-mm	7.83e-06	2.07e+02	15.65	9.806e-03
g	cm	s	dyne	dyne/cm ²	erg	7.83e+00	2.07e+12	1.56e+03	9.806e+02
g	cm	us	1.0e+07 N	Mbar	1.0e+07 Ncm	7.83e+00	2.07e+00	1.56e-03	9.806e-10
g	mm	s	1.0e-06 N	Pa		7.83e-03	2.07e+11	1.56e+04	9.806e+03
g	mm	ms	N	MPa	N-mm	7.83e-03	2.07e+05	15.65	9.806e-03
ton	mm	s	N	MPa	N-mm	7.83e-09	2.07e+05	1.56e+04	9.806e+03
lbf-s ² /in	in	s	lbf	psi	lbf-in	7.33e-04	3.00e+07	6.16e+02	386
slug	ft	s	lbf	psf	lbf-ft	1.52e+01	4.32e+09	51.33	32.17
kgf-s ² /mm	mm	s	kgf	kgf/mm ²	kgf-mm	7.98e-10	2.11e+04	1.56e+04	9.806e+03
kg	mm	s	mN	1.0e+03 Pa		7.83e-06	2.07e+08		9.806e+03
g	cm	ms	1.0e+1 N	1.0e+05 Pa		7.83e+00	2.07e+06		9.806e-04

Anexo 2. Tabla de los coeficientes de fricción dinámicos y estraticos del libro de física general.

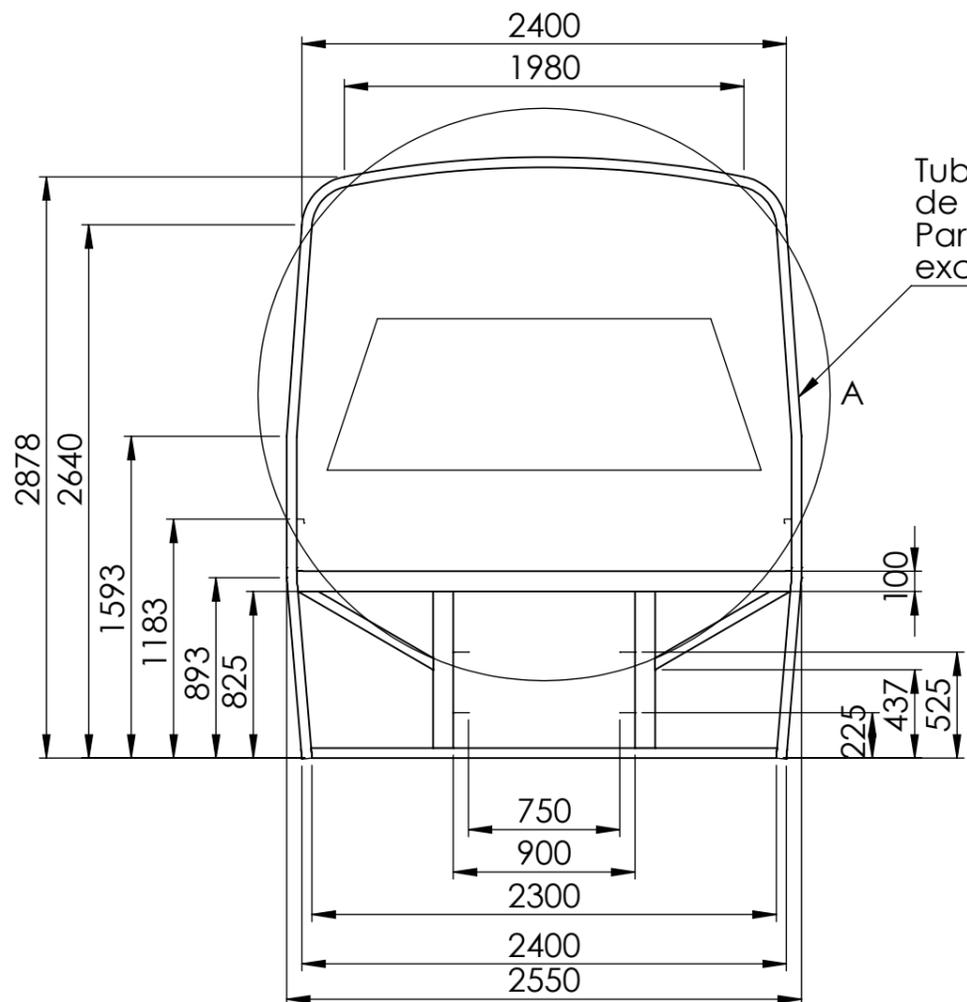
TABLA 5.1

Coeficientes de fricción

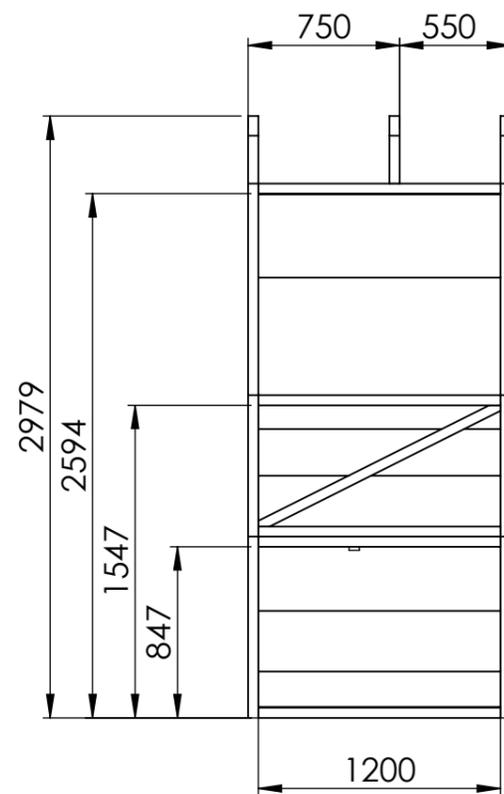
	μ_s	μ_k
Hule sobre concreto	1.0	0.8
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Vidrio sobre vidrio	0.94	0.4
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Madera sobre madera	0.25–0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Madera encerada sobre nieve seca	—	0.04
Metal sobre metal (lubricado)	0.15	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.

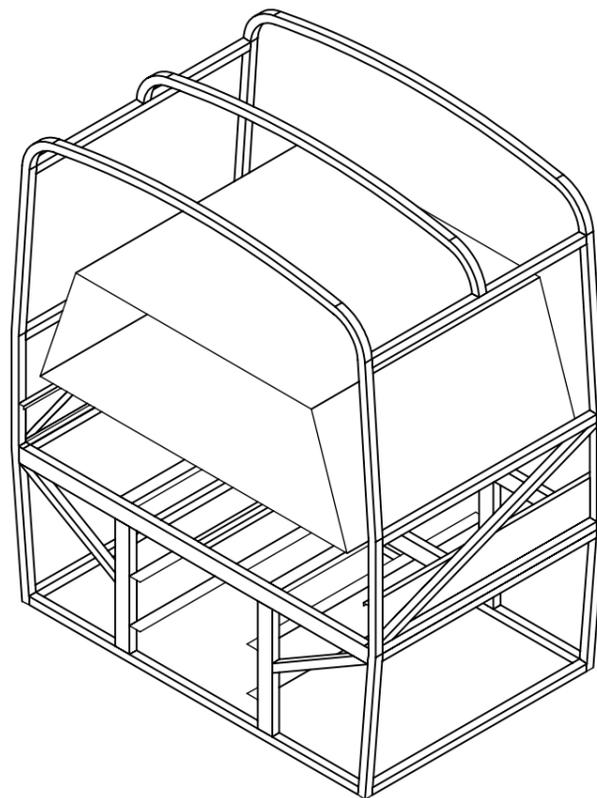
PLANOS



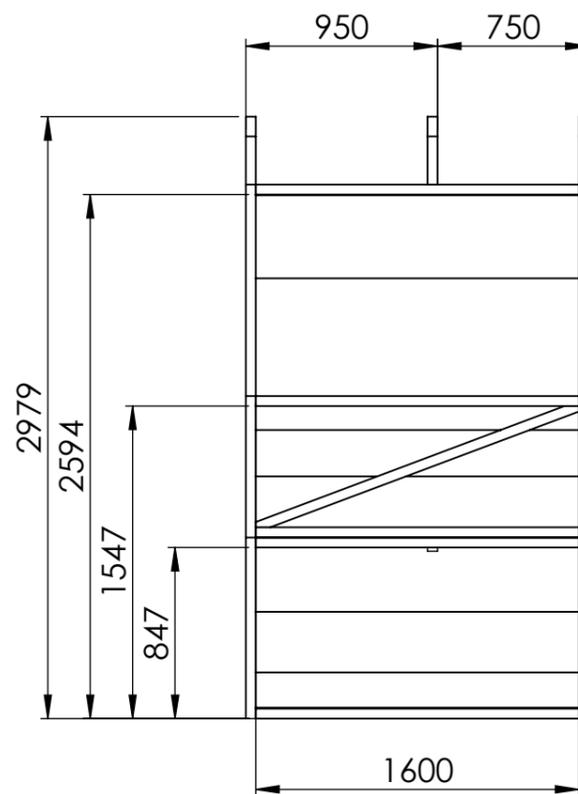
Tubo estructural cuadrado de 50x50x2
 Para toda la estructura excepto donde se diga lo contrario



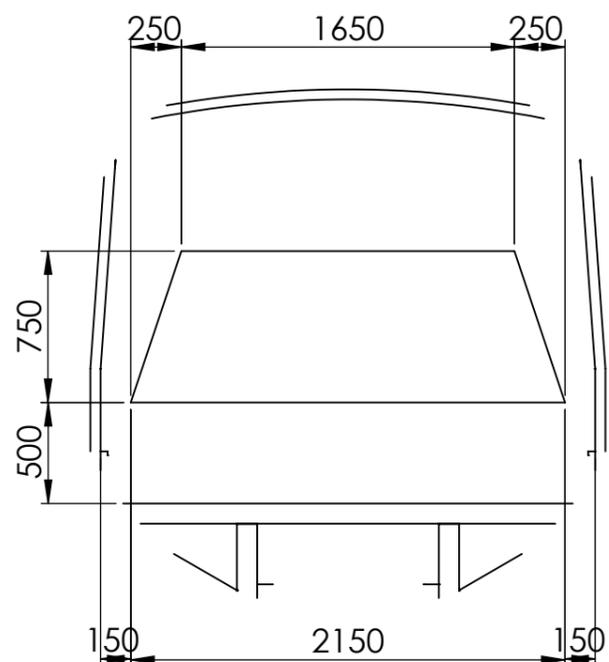
Estructura con ancho de ventana de 1200 mm



VISTA ISOMÉTRICA DE LA ESTRUCTURA CON ANCHO DE VENTANA DE 1600 mm
 ESCALA 1:35

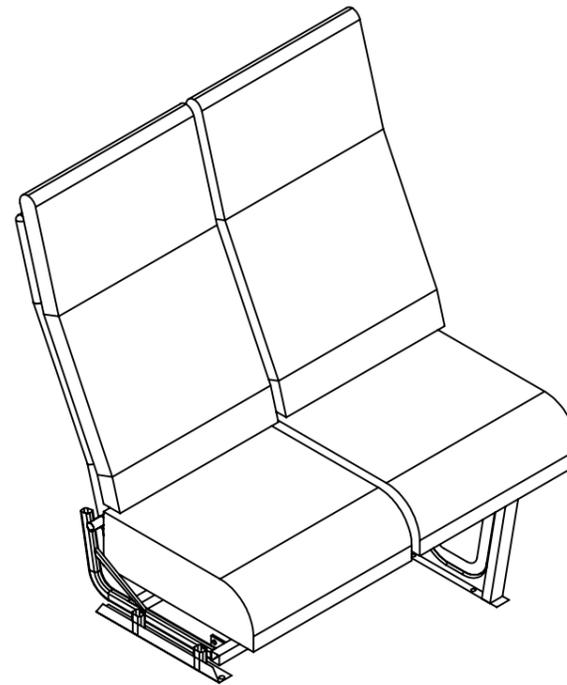
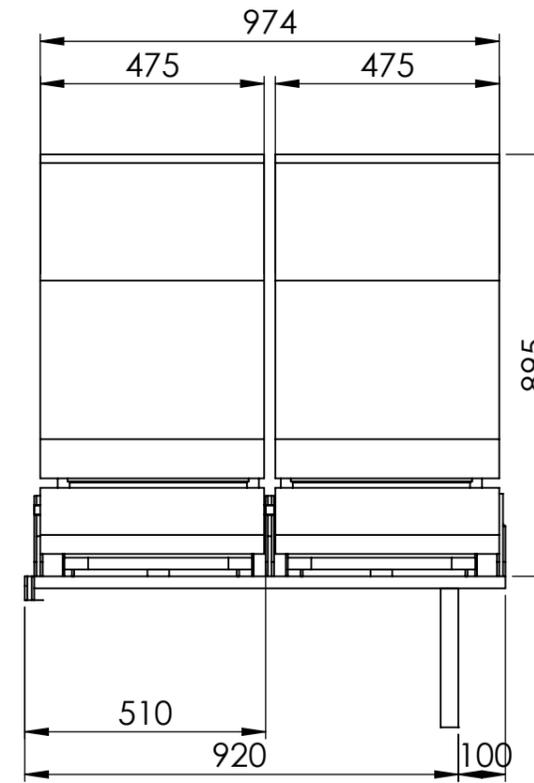
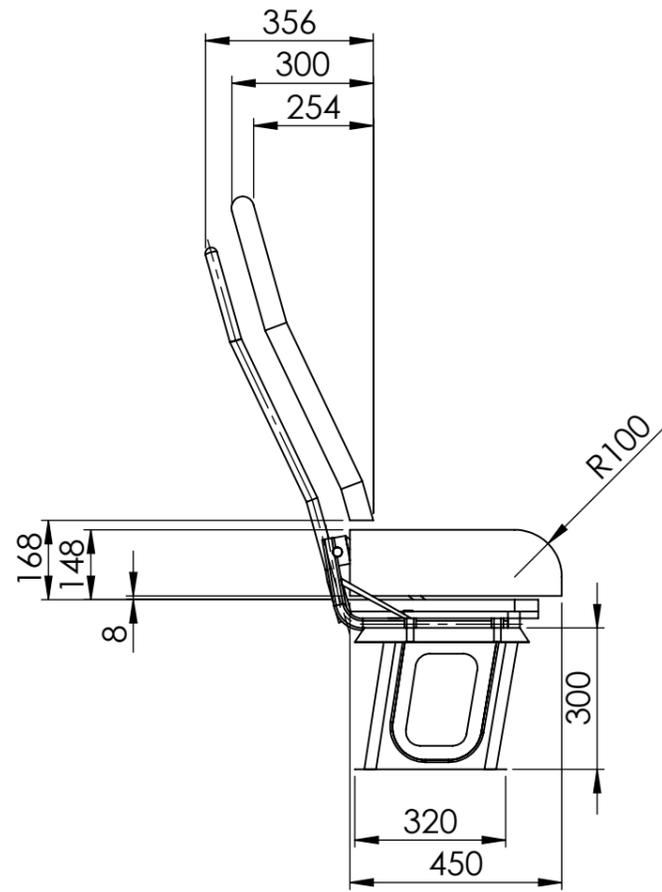


Estructura con ancho de ventana de 1600 mm

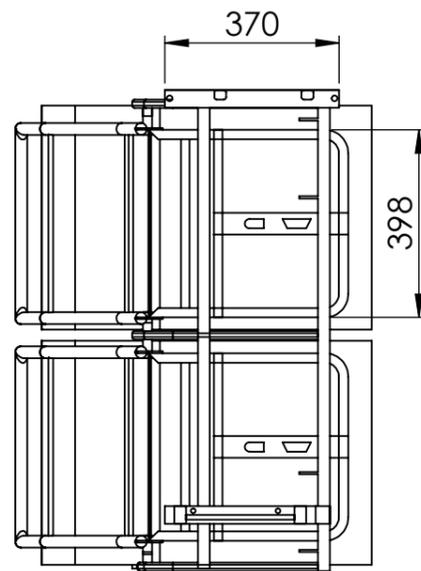


DETALLE A

				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				±1	220 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación: Sección de la superestructura de una bus interprovincial	Escala: 1:35
			Dib.	18/11/2020	Jessenia Niachimba		
			Rev.	28/7/2021	Ing. Cesar Arroba		
				Apro.	28/7/2021	Ing. Cesar Arroba	
				U.T.A		Número del dibujo:	HOJA 2 DE 3
				INGENIERIA MECANICA		Sustitución	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

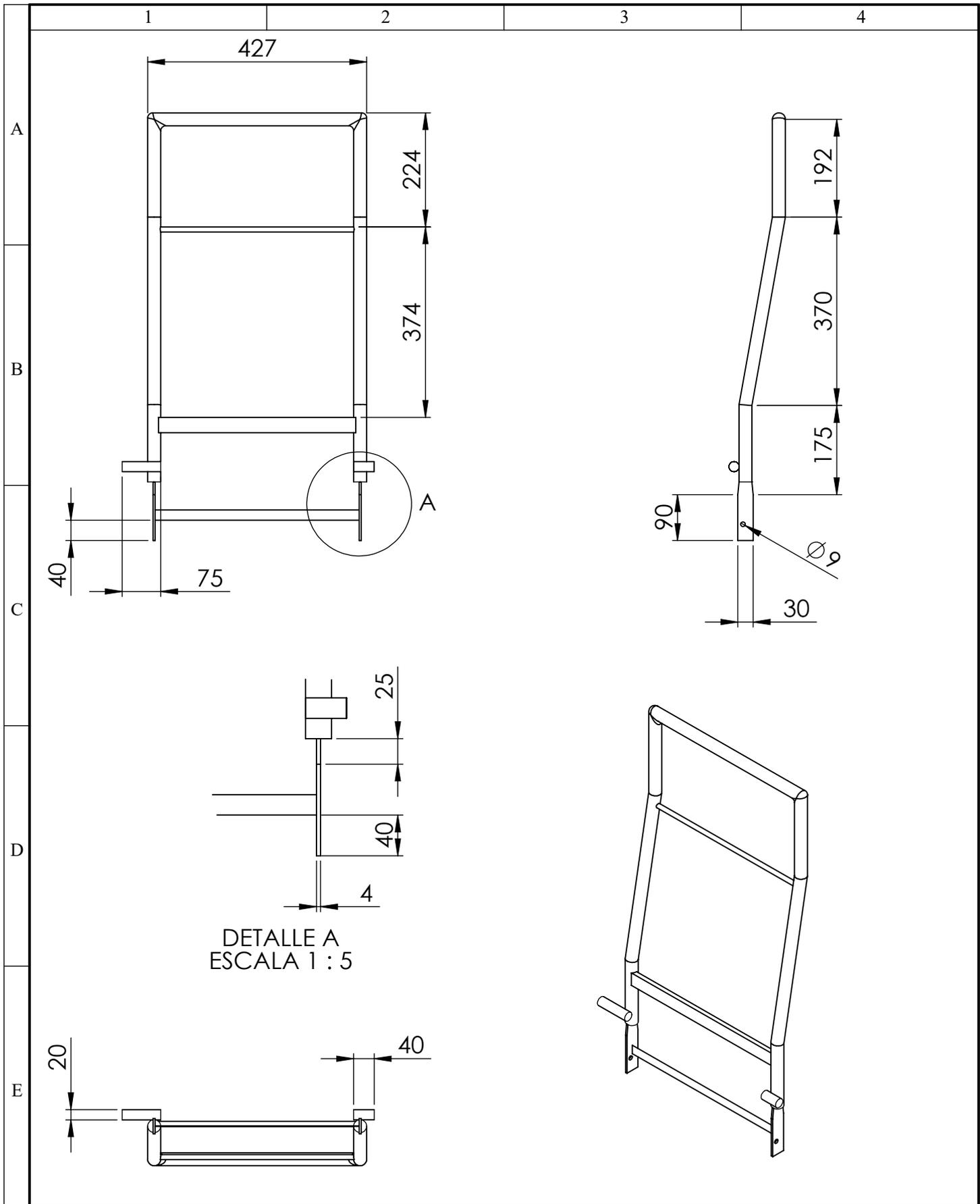


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:15



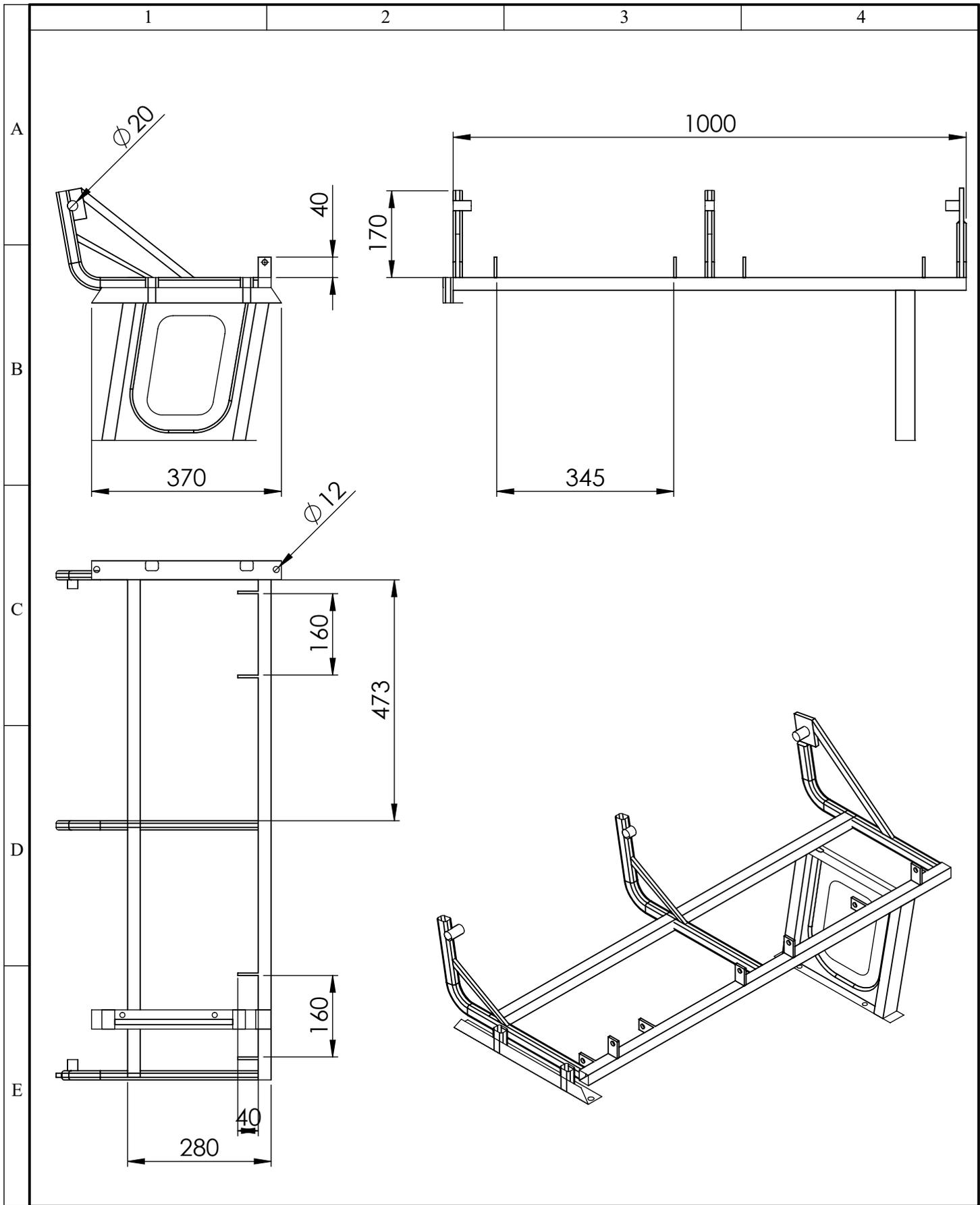
				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				±1	7.198 Kg	ACERO ASTM A-36	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dib.	20/2/2021	Jessenia Niachimba	
				Rev.	20/2/2021	Ing. Cesar Arroba	
				Apro.	20/2/2021	Ing. Cesar Arroba	ASIENTO
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número del dibujo:	03 de 06
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	
							Escala: 1:15



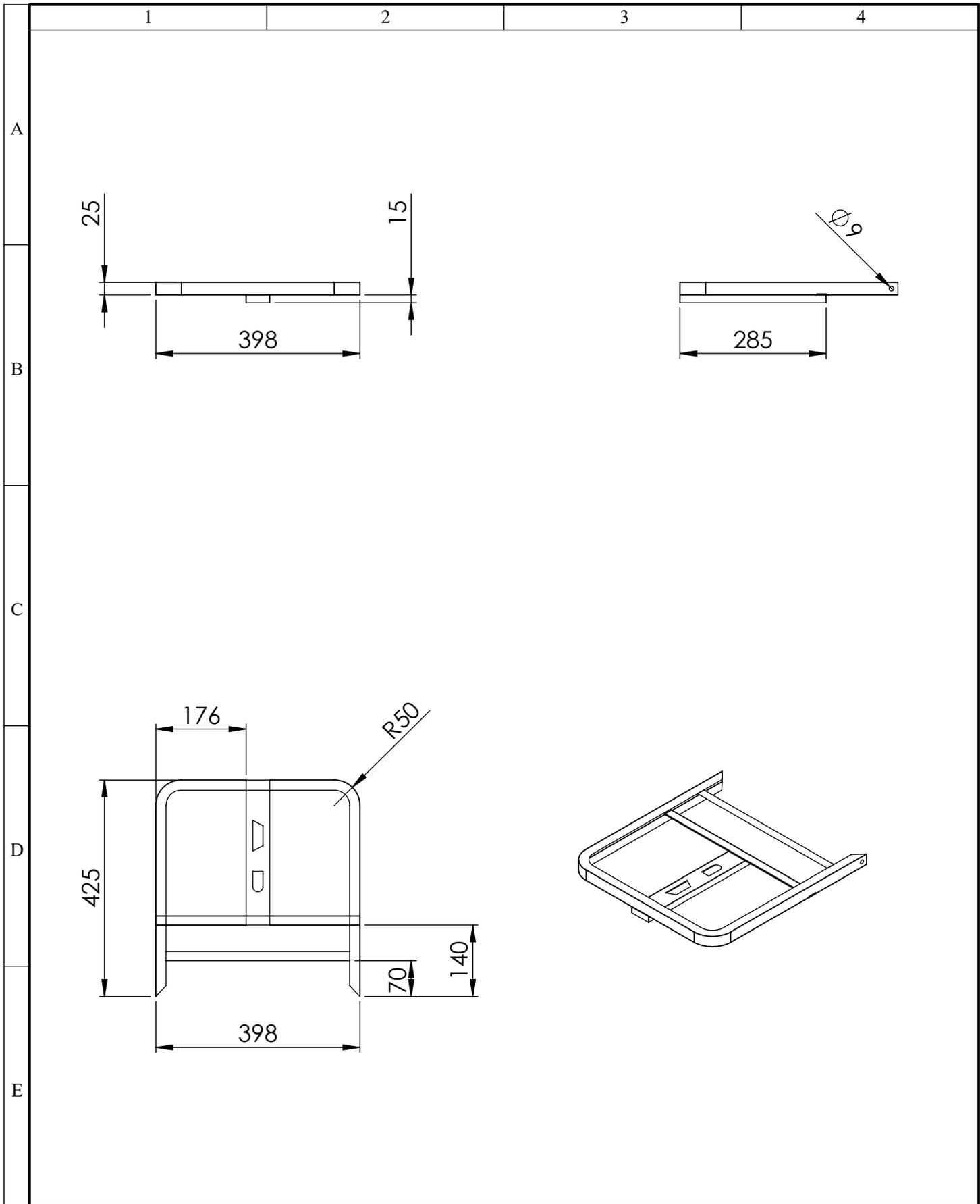


DETALLE A
ESCALA 1 : 5

				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	3.3 Kg	Acero ASTM A-36	
				Fecha	Nombre	Titulo:	Escala:
			Dibujó:	20/2/2021	Jessenia Niachimba		
			Revisó:	20/2/2021	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó:	20/2/2021	Ing. Cesar Arroba	1:10
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número de lámina:	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución	



				Tolerancia	Peso	Material:			
				± 1	3.3 Kg	Acero ASTM A-36			
				Fecha	Nombre	Titulo:	Escala:		
			Dibujó:	20/2/2021	Jessenia Niachimba			Base principal	1:10
			Revisó:	20/2/2021	Ing. Cesar Arroba				
			Aprobó:	20/2/2021	Ing. Cesar Arroba				
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número de lámina:	Registro:		
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			05 de 06			
						Sustitución			



				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	3.3 Kg	Acero ASTM A-36	
				Fecha	Nombre	Titulo:	
				Dibujó: 20/2/2021	Jessenia Niachimba	Escala:	
				Revisó: 20/2/2021	Ing. Cesar Arroba	1:10	
				Aprobó: 20/2/2021	Ing. Cesar Arroba	Registro:	
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número de lámina:	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			06 de 06	
						Sustitución	