



Modelado de la carrocería del vehículo escolar Volkswagen 9-150 IBIMCO para simular un vuelco

Alvaro Acero, Henry David y Farinango Pichucho, Byron Santiago

Departamento de Ciencias de La Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniero Automotriz

Ing. Mena Palacios, Jorge Stalin

10 de agosto del 2022

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



ALVARO_FARINANGO_TESIS VUELCO.pdf

Scanned on: 20:17 August 11, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	736
Words with Minor Changes	233
Paraphrased Words	166
Omitted Words	0

JORGE STALIN
MENA PALACIOS

Ing. Mena Palacios, Jorge Stalin

C.C.: 1803725900



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de integración curricular: **Modelado de la carrocería del vehículo escolar Volkswagen 9-150 IBIMCO para simular un vuelco** fue realizado por los señores **Alvaro Acero, Henry David y Farinango Pichucho, Byron** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 10 de agosto del 2022

Firma:



JORGE STALIN
MENA PALACIOS

Ing. Mena Palacios, Jorge Stalin
C.C.: 1803725900



Departamento De Ciencias De La Energía Y Mecánica

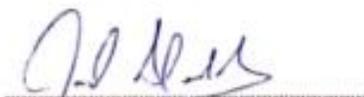
Carrera De Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, Alvaro Acero, Henry David con cédula de ciudadanía número 1726761719 y Farinango Pichucho, Byron Santiago, con cédula de ciudadanía número 1725034720, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: Modelado de la carrocería del vehículo escolar Volkswagen 9-150 IBIMCO para simular un vuelco es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 10 de agosto del 2022

Firma:



Alvaro Acero, Henry David

C.C.: 1726761719



Farinango Pichucho, Byron Santiago

C.C.: 1725034720



Departamento De Ciencias De La Energía Y Mecánica

Carrera De Ingeniería Automotriz

Autorización de publicación

Nosotros, **Alvaro Acero, Henry David**, con cédula de ciudadanía número **1726761719** y **Farinango Pichucho, Byron Santiago**, con cédula de ciudadanía número **1725034720**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Modelado de la carrocería del vehículo escolar Volkswagen 9-150 IBIMCO para simular un vuelco** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 10 de agosto del 2022

Firma

Alvaro Acero, Henry David

C.C.: 1726761719

Farinango Pichucho, Byron Santiago

C.C.: 1725034720

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a Dios, quien me ha permitido llegar hasta este momento muy importante en mi formación profesional, me ha dado el privilegio de tener a toda mi familia con salud y vida.

Dedico este logro a mi madre Rocío Acero, a mi padre Raúl Alvaro, mis hermanos Gustavo, Mercy, Daniela y Genesis, a mi hermosa hija Ariana y a la mujer que ha estado conmigo Teresa pues sin sus palabras de aliento, apoyo no hubiera logrado culminar.

Henry Alvaro

Dedicatoria

A Dios, a mis padres y a mi hermana, quienes han sido la guía y el camino para poder culminar mi carrera universitaria, con su ejemplo, consejos y enseñanzas, ustedes nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga, con sus palabras de aliento y apoyo incondicional siempre logre salir adelante, aun cuando todo se complicaba, todos mis logros se los dedico a ustedes.

Los amo.

Santiago Farinango

Agradecimiento

Agradecido con mi Dios, quien supo cuidarme en esta trayectoria de mi vida, darme fuerzas para culminar la universidad y no abandonarme a pesar de que me eh alejado de su casa.

Gracias mami Rosquita, por el amor incondicional y apoyo económico en toda mi etapa universitaria, a mi padre Rulo quien me supo dar la confianza y no abandonarme muchas gracias a Uds. porque sin ustedes no lo hubiera logrado.

A mi hija Ariana quien fue una inspiración, ya que en tiempos difíciles y a pesar de que andaba ajetreado siempre estuvo ahí llamándome, gracias por preocuparte por mí.

A la mujer que me acompaño en este logro mi Teresa de igual manera quiero expresar mi agradecimiento por preocuparte por mí y jamás no abandonarme a pesar de la distancia, la espera al fin será recompensada.

A mi tutor de tesis Ing. Stalin Mena quien supo guiarnos en el desarrollo del proyecto, gracias a la exigencia que nos impuso logramos enfocarnos y culminar de la mejor manera.

Henry Alvaro

Agradecimiento

A Dios por darme fortaleza y sabiduría para poder alcanzar mis objetivos

A mi padre, José Farinango y mi madre, Rosa Pichucho, ya que sin su apoyo incondicional y confianza no hubiese podido terminar esta carrera y son quienes a lo largo de toda mi vida han motivado mi formación académica, su tenacidad y lucha interminable han hecho de ellos un gran ejemplo a seguir por mí y mi hermana, me siento el ser más afortunado de este mundo por tenerlos, gracias por todo su amor.

A mis profesores por ser la guía en mi formación académica y haberme enseñado valores.

A el ingeniero Stalin Mena por ser mi tutor en este proyecto para lograr mi titulación, ya que estuvo presente en todo momento y haber sido esa persona que con sus directrices pudo explicarme aquellos detalles para poder terminar este proyecto.

A mi novia por escucharme, brindarme su apoyo y amor a lo largo de toda mi carrera quien estuvo presente en los momentos difíciles.

Santiago Farinango

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	8
Índice de contenidos.....	10
Índice de tablas.....	15
Índice de figuras	16
Resumen	19
Abstract	20
Capítulo I: Marco metodológico de la investigación	21
Antecedentes investigativos.....	21
Planteamiento del problema	23
Descripción resumida del proyecto	24
Justificación e importancia	25
Objetivos.....	25
<i>Objetivo general</i>.....	25

<i>Objetivos específicos</i>	26
VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	27
<i>Variables independientes</i>	27
<i>Variables dependientes</i>	28
Capítulo II: Fundamento teórico	29
Tipos de carrocerías.....	29
<i>Vehículos urbanos</i>	29
<i>Vehículos de transporte escolar</i>	30
<i>Vehículos de transporte intraprovincial e interprovincial</i>	32
Carrocería de buses	32
<i>Partes de la carrocería de buses.</i>	33
<i>Seguridad pasiva en carrocería de buses.</i>	34
<i>Zonas de absorción de impactos.</i>	35
Normativa nacional e internacional	35
<i>Rte inen 041 vehículos de transporte comercial de pasajeros escolar e institucional</i>	36
<i>Nte inen 1323 vehículos automotores, carrocerías de buses, requisitos</i>	36
<i>Nte inen 1996 servicio de transporte escolar</i>	36
<i>Reglamento No 66 de la comisión económica de las naciones unidas para europa</i>	36
Materiales y perfiles utilizados en la fabricación de la estructura de las carrocerías.....	37
<i>Acero.</i>	37

<i>Tipos de perfiles utilizados en la industria carrocera.</i>	37
Espacio de supervivencia	37
Ensayos de volteo	41
<i>Prueba de volteo en vehículo completo a escala real.</i>	42
<i>Dirección del ensayo de vuelco</i>	44
La plataforma de basculamiento	44
<i>Prueba de vuelco de secciones de la carrocería</i>	46
<i>Pruebas cuasi-estáticas de la sección de un cuerpo</i>	47
<i>Cálculo cuasi-estático basado en la prueba de componentes</i>	47
Simulación computarizada de prueba de vuelco	49
<i>Software cad</i>	49
<i>Software cae</i>	50
<i>Mallado</i>	51
<i>Método jacobiano.</i>	51
<i>Centro de gravedad</i>	52
<i>Problemas no lineales</i>	59
<i>Esfuerzo</i>	60
<i>Deformación</i>	61
<i>Tensión de von-mises</i>	61
Capitulo III: Modelado computacional	62

Proceso para simulación.....	62
Construcción del modelo.....	62
<i>Chasis</i>	63
<i>Superestructura</i>	66
<i>Paneles laterales.</i>	66
<i>Panel posterior.</i>	68
<i>Panel frontal superior.</i>	70
Entorno cae para la simulación de ensayos	72
<i>Modelado de los componentes para la determinación de soldadura.</i>	73
Mallado para análisis mef.....	75
Interfaz de pre-procesador.	75
Asignación del material en cartas de control.....	76
Simulación determinación de la resistencia al impacto	77
Simulación de plataforma para ensayo de vuelco.	81
<i>Banco de ensayo</i>	81
<i>Centro de gravedad</i>	82
<i>Cálculo del ángulo de vuelco</i>	83
Radio de giro	86
Simulación de impacto	87
Capitulo IV: Análisis de resultados.....	89

Análisis del espacio de supervivencia	89
Análisis de energía.....	91
Velocidad.....	93
Análisis de esfuerzos	94
Desplazamientos	96
Capitulo V: Conclusiones y recomendaciones	98
 Conclusiones	98
 Recomendaciones	100
Bibliografía	101
Anexos.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Variable independiente. (Implementación de software)</i>	27
Tabla 2.	<i>Variable dependiente (Comportamiento de la superestructura del vehículo)</i>	28
Tabla 3.	<i>Variable dependiente (Comportamiento de la superestructura del vehículo)</i>	31
Tabla 4.	<i>Dimensiones de Chasis Volkswagen 9-150</i>	65
Tabla 5.	<i>Pesos de Chasis Volkswagen 9-150</i>	66
Tabla 6.	<i>Clasificación y propiedades mecánicas de los tubos NTE INEN 2415</i>	77
Tabla 7.	<i>Sistema de unidades para Ls-Prepost</i>	78
Tabla 8.	<i>Propiedades mecánicas para cartas de control</i>	79
Tabla 9.	<i>Keyword de entrada para espesores de elementos</i>	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	<i>Árbol de planteamiento del problema</i>	23
Figura 2.	<i>Carrocería para buses.</i>	33
Figura 3.	<i>Partes de una carrocería.</i>	34
Figura 4.	<i>Especificación del contorno de la estructura</i>	38
Figura 5.	<i>Espacio de supervivencia lateral</i>	39
Figura 6.	<i>Vista longitudinal del espacio de supervivencia.</i>	40
Figura 7.	<i>Especificación de trayectoria de centro de gravedad.</i>	43
Figura 8.	<i>Normativa para plataforma de pruebas de vuelco.</i>	45
Figura 9.	<i>Zonas plásticas de la estructura.</i>	48
Figura 10.	<i>Energía absorbida por sección de carrocería</i>	48
Figura 11.	<i>Calidad de malla asimétrica</i>	52
Figura 12.	<i>Centro de gravedad en posición longitudinal</i>	54
Figura 13.	<i>Centro de gravedad en posición transversal</i>	55
Figura 14.	<i>Determinación de la altura del centro de gravedad</i>	57
Figura 15.	<i>Punto de equilibrio inestable</i>	58
Figura 16.	<i>Determinación del movimiento vertical del centro de gravedad</i>	59
Figura 17.	<i>Curva esfuerzo-deformación</i>	60
Figura 18.	<i>Proceso para Simulación</i>	62
Figura 19.	<i>Chasis Volkswagen 9-150</i>	63

Figura 20.	<i>Chasis de Volkswagen 9-150 (Modelado)</i>	64
Figura 21.	<i>Vista lateral del bus Volkswagen 9-150</i>	67
Figura 22.	<i>Vista lateral del modelado de la superestructura del bus Volkswagen 9-150</i>	67
Figura 23.	<i>Vista posterior del bus Volkswagen 9-150</i>	68
Figura 24.	<i>Vista posterior del bus Volkswagen 9-150</i>	68
Figura 25.	<i>Vista posterior del modelado de la superestructura del bus Volkswagen 9-150</i>	69
Figura 26.	<i>Vista posterior del bus Volkswagen 9-150</i>	70
Figura 27.	<i>Vista lateral y frontal del bus Volkswagen 9-150</i>	71
Figura 28.	<i>Vista lateral y frontal del modelado de la superestructura del bus</i>	71
Figura 29.	<i>Vista lateral y frontal del bus Volkswagen 9-150</i>	72
Figura 30.	<i>Uniones entre perfiles</i>	73
Figura 31.	<i>Trazos para las diferentes uniones</i>	74
Figura 32.	<i>Generación de malla</i>	75
Figura 33.	<i>Calidad de malla Criterio jacobiano</i>	76
Figura 34.	<i>Keyword de entrada para propiedades mecánicas del material</i>	79
Figura 35.	<i>Plataforma de basculamiento</i>	81
Figura 36.	<i>Centro de gravedad</i>	82
Figura 37.	<i>Angulo de viraje</i>	83
Figura 38.	<i>Angulo de pérdida de estabilidad lateral</i>	84
Figura 39.	<i>Angulo previo al impacto</i>	85

Figura 40.	<i>Radio de giro</i>	86
Figura 41.	<i>Simulación de impacto con un tiempo de 0 ms</i>	87
Figura 42.	<i>Simulación de impacto con un tiempo de 25 ms</i>	87
Figura 43.	<i>Simulación de impacto con un tiempo de 150 ms</i>	88
Figura 44.	<i>Posición antes de impactarse.....</i>	90
Figura 45.	<i>Posición al momento del impacto</i>	90
Figura 46.	<i>Balance de energías.....</i>	92
Figura 47.	<i>Esfuerzos de Von-Mises antes de impactarse</i>	94
Figura 48.	<i>Esfuerzos de Von-Mises al momento del impacto.....</i>	95
Figura 49.	<i>Esfuerzos de Von-Mises después del impacto</i>	95
Figura 50.	<i>Resultado de desplazamiento antes de impactarse.</i>	96

Resumen

El presente proyecto se trata del modelamiento y análisis de la carrocería del vehículo escolar Volkswagen 9-150 sometido a pruebas de vuelco para determinar si el espacio de supervivencia es invadido durante todo el ensayo. Se selecciona como sujeto de investigación el vehículo de transporte de pasajeros perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas, Este proyecto presenta la información y los resultados del análisis, la estructura se basa en la simulación del método de elementos finitos (FEM) que actúa sobre la carrocería del bus institucional, y se verifica el diseño planificado, además se analizará la máxima resistencia mecánica y tensión, de este modo los resultados obtenidos permitirá extraer conclusiones que permitan la industria carrocera en Ecuador fabricar estructuras más duraderos y más seguros de autobuses requeridos por la norma y las regulaciones ecuatorianas e con respecto al transporte de pasajeros, el proyecto se desarrollará en dos etapas la primera es la medición y verificación de la estructura del bus de acuerdo con las normativas nacionales para luego simularlo y evaluarlo mediante un ensayo de vuelco regulado por el Reglamento 66 de las naciones unidas para concluir el estudio, además se toma como referencias la normativa NTE INEN 1323 que establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses, y el reglamento RTE INEN 041, el cual establece los requisitos que debe cumplir los vehículos para el transporte escolar de pasajeros.

Palabras clave: Análisis MEF, vuelco, análisis estructural, espacio de supervivencia.

Abstract

This project deals with the modeling and analysis of the bodywork of the Volkswagen 9-150 school vehicle subjected to rollover tests to determine if the survival space is invaded throughout the test. The passenger transport vehicle belonging to the University of the Armed Forces is selected as the research subject. This project presents the information and the results of the analysis, the structure is based on the simulation of the finite element method (FEM) that acts on the body of the institutional bus, and the planned design is verified, in addition the maximum mechanical resistance and tension will be analyzed, in this way the results obtained will be able to draw conclusions that allow the bodywork industry in Ecuador to manufacture more durable and safer structures for buses required by the Ecuadorian norm and regulations and with respect to the transport of passengers the project will be developed in two stages, the first is the measurement and verification of the structure of the bus in accordance with national regulations to then simulate and evaluate it through a rollover test regulated by Regulation 66 of the United Nations to conclude the study, in addition The NTE INEN 1323 regulation, which establishes the general requirements for the design, manufacture and assembly of bus bodies, and the RTE INEN 041 regulation, which establishes the requirements that must be met by vehicles for school passenger transport, are taken as references.

Keywords: FEM analysis, overturn structural análisis, survival space.

Capítulo I

Marco Metodológico De La Investigación

Antecedentes Investigativos

(Fabara Villacreses & Garcés Naranjo, 2003) “Aseveran que cuando una vía entra en operación, empieza el movimiento de vehículos y personas, pero este movimiento no es ordenado, ni sincronizado, tampoco las vías están en capacidad de alojar volúmenes ilimitados, produciéndose entonces el denominado problema del tránsito, que tiene dos consecuencias básicas: congestión y accidentes, siendo el vuelco uno de los principales causantes de pérdidas humanas.”

El ensayo de vuelco es una forma de prueba destructiva que se realiza con un vehículo completo a escala real para probar la resistencia exigida a los elementos de la superestructura, el cual se ejecutará mediante un banco de ensayo compuesto por la plataforma basculante con medidas regidas al Reglamento 66 de la UNECE, al cual se le aplicará el ángulo en el que el vehículo pierde la estabilidad que produce que se voltee.

La superestructura Se entenderá como los componentes de la carrocería que soportan la carga, con arreglo a la definición del fabricante, contienen las partes y elementos coherentes que contribuyen a la resistencia y la capacidad de absorción de energía de la carrocería y preservan el espacio de supervivencia en el ensayo de vuelco. (CEPE, 2007)

(Esmeraldas Meneses, 2016) Menciona en su investigación: “La ingeniería se basa en la observación de fenómenos o problemas que se presentan de forma periódica para brindar una solución efectiva; en el caso particular de la ingeniería automotriz, se proyecta a aplicar conocimientos de diseño para generarse eventos, como el comportamiento de una estructura ante un accidente de tránsito. Existen normas internacionales aceptadas que exigen requerimientos mínimos de diseño de carrocerías

y métodos de ensayo para reproducir eventos específicos, de las cuales el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) hace uso.

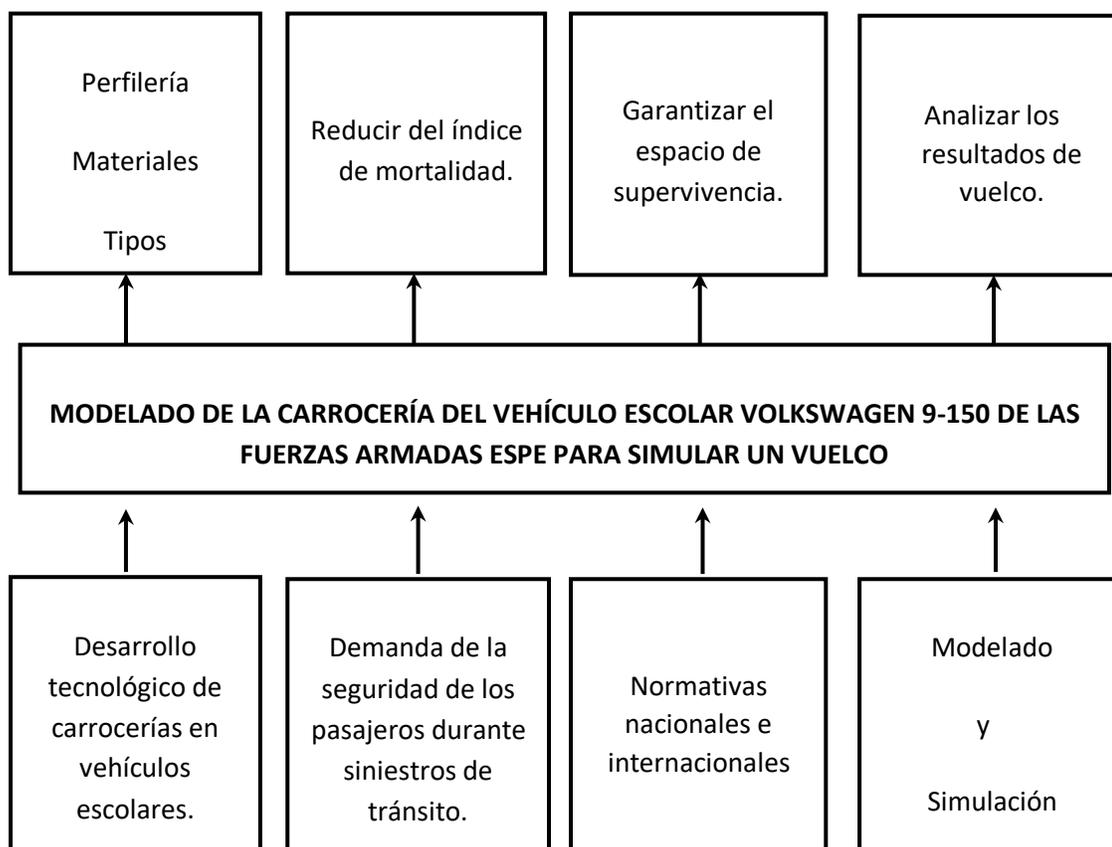
Las pruebas de vuelco, se realizan con el fin de garantizar el espacio de supervivencia para que el conductor, los viajeros y el personal tengan más posibilidades de sobrevivir en caso de que ocurra un accidente.

La superestructura del vehículo tendrá la resistencia suficiente como para garantizar que el espacio de supervivencia no resulte dañado durante el ensayo de vuelco del vehículo completo ni una vez finalizado este; es decir ninguna parte del vehículo que se encuentre fuera del espacio de supervivencia al inicio del ensayo (por ejemplo, montantes, anillas de seguridad o rejillas portaequipajes) invadirá el espacio de supervivencia durante el ensayo; a la hora de evaluar la invasión del espacio de supervivencia se ignorarán todas las partes estructurales que originalmente se encuentren en dicho espacio. Para este tipo de ensayos ninguna parte del espacio de supervivencia deberá sobresalir del contorno de la estructura deformada; el contorno de la estructura deformada se determinará secuencialmente, entre cada montante de ventana o puerta adyacente; el contorno entre dos montantes deformados será una superficie teórica, determinada por líneas rectas, que conecte los puntos del contorno interior de los montantes que se encontraban a la misma altura sobre el nivel del piso antes del ensayo de vuelco. (CEPE, 2011)

Planteamiento Del Problema

Figura 1.

Árbol de planteamiento del problema



Nota. En la figura se muestra las problemáticas y soluciones que se desarrollará mediante este proyecto de investigación.

Gracias a los nuevos avances tecnológicos en la industria automotriz, en el diseño y construcción de carrocerías existe la necesidad de investigar nuevos materiales innovadores aplicados en perfiles de varias geometrías, cuyas propiedades mecánicas otorgan la resistencia necesaria para proteger a sus ocupantes en caso de colisiones.

Existe la necesidad de mayor seguridad en los pasajeros en caso de colisiones por la cual se busca que las empresas carroceras mejoren las características de deformación de las estructuras en caso de impactos frontales o posteriores para reducir la tasa de mortalidad en los accidentes de tránsito.

El conjunto estructural del bus escolar este sujeto a normativas nacionales de fabricación como NTE INEN 1323 – RTE INEN 041: 2013 e internacionales como la ECE R66 en el caso de vuelco, las cuales aseguran la protección de los pasajeros, manteniendo el espacio de supervivencia aislada, brindando seguridad a sus ocupantes.

Para garantizar la estructura expuestas a colisiones se realiza modelado CAD y simulación de vuelco mediante el uso de un software CAE, para analizar la resistencia, deformaciones y desplazamientos de los materiales que constituyen la carrocería.

Con lo planteado, el problema a investigar es MODELADO DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO ESCOLAR VOLKSWAGEN 9-150 DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE PARA SIMULAR UN VUELCO.

Descripción resumida del proyecto

Se realizará la fundamentación teórica científica del diseño y simulación de la carrocería del bus escolar Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, mediante consultas bibliográficas de diferentes tipos de carrocerías para el transporte de pasajeros, normas vigentes en el país para el diseño y construcción de carrocerías y los defectos en superestructuras provocados por vuelco.

Se modelará la superestructura de la carrocería del bus que pertenece a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE modelo Volkswagen 9-150 de transporte escolar, a través de herramientas computacionales de diseño asistida por computador CAD y su posterior simulación de vuelco en

software computacional de ingeniería asistida por computador CAE, con el fin de realizar la experimentación de procesos de colisiones de la carrocería del mismo.

Mediante la simulación de vuelco que se desarrollara a la carrocería del bus escolar, se va a obtener resultados que refleja el software y así realizar un análisis ingenieril analítico, gráfico y estadístico.

Justificación e importancia

Debido al alto índice de accidentes que ocurren en el Ecuador y siendo el vuelco, una de las principales causas de mortalidad en siniestros se realizara este Proyecto de Integración Curricular, el cual se enfoca en la simulación de ensayos de vuelco basándose en el (Reglamento No 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa), donde verificaremos si la superestructura de dicho automotor no invade el espacio de supervivencia de los ocupantes, manteniendo así la posibilidad de que sobrevivan en caso de vuelco.

La Universidad de las Fuerzas Armadas podrá servirse de los resultados obtenidos mediante el software pudiendo garantizar la seguridad de los estudiantes que se trasladan diariamente en este medio de transporte.

Objetivos

Objetivo general

Realizar el modelado de la carrocería del vehículo escolar Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE para simular un vuelco.

Objetivos específicos

- Realizar la fundamentación teórica científica del diseño y construcción de la carrocería del bus escolar Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, mediante las consultas bibliográficas de diferentes tipos de carrocerías para el transporte de pasajeros, normas vigentes en el país para el diseño y construcción de carrocerías y los defectos que puedan presentarse en superestructuras provocados por vuelco.
- Modelar la superestructura de la carrocería del bus de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE modelo Volkswagen 9-150 transporte escolar, a través de herramientas computacionales de diseño asistido por computador CAD y su posterior simulación de ensayos de vuelco en software computacional CAD CAE, con la finalidad de verificar si este modelo de bus cumple con el Reglamento No 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.
- Ejecutar las simulaciones de ensayos de vuelco a la carrocería del bus escolar, para obtener los datos que refleja el software y así realizar un análisis ingenieril, analítico, gráfico y estadístico.

Metas del proyecto

- Recopilar información científica para el diseño y construcción de carrocerías basados en normas nacionales e internacionales.
- Modelar geométricamente la estructura del bus tipo escolar basados en las normas nacionales NTE INEN 1323: 2009, INEN 1668 y la NTE INEN 2664: 2013.
- Obtener datos de la simulación de ensayos de vuelco que permite evaluar y analizar las consideraciones de la geometría y materiales de construcción de la carrocería del bus escolar.

- Elaborar un análisis de resultados de las pruebas realizadas en la simulación que permita generar datos útiles para emitir conclusiones ingenieriles sobre la configuración y materiales del bus Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Hipótesis

¿La superestructura del vehículo escolar Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE cumple con el Reglamento No 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa?

Variables de la investigación

Variables independientes

Tabla 1.

Variable independiente. (Implementación de software)

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítems	Técnica	Instrumentos
Los resultados de la simulación de ensayos utilizando software CAE	Tecnológico	Tensiones	Presión	Experimental	Software CAE
		Desplazamientos	Longitud		
		Deformación unitaria	Adimensional		
		Factor de Seguridad	Adimensional		

Nota. Esta tabla expresa las variables independientes que se aspira investigar mediante el software CAE, con el motivo fundamental de recopilar información.

Variables Dependientes**Tabla 2.***Variable dependiente (Comportamiento de la superestructura del vehículo)*

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítems	Técnica	Instrumentos
Comportamiento de la superestructura del bus ante impactos lateral izquierdo y lateral derecho	Parámetros de información	Tensiones Desplazamientos Deformación unitaria Factor de Seguridad	Presión Longitud Adimensional Adimensional	Experimental Prueba de laboratorio Medición	Protocolo de prueba

Nota. Esta tabla muestra bajo que parámetros se analizara el comportamiento de la superestructura.

Capítulo II

Fundamento teórico

Este capítulo proporciona la información necesaria para proporcionarla, factores a analizar, incluyendo el acero como materia prima, propiedades mecánicas para conocer el comportamiento de los materiales en ingeniería del chasis del autobús. Otra variable que se investigó es la resistencia de la estructura, para capturar la información proporcionada sobre las regulaciones relevantes, normas, parámetros y requisitos necesarios para realizar el ensayo.

Tipos de carrocerías

Vehículos urbanos

“Los aspectos fundamentales del bus y minibús urbano son: motor, chasis, carrocería, organización externa, organización interna, detalles exteriores e interiores y elementos de seguridad y control.” (NTE INEN 2205, 2010), por su parte la normativa para buses urbanos establece los requisitos de modo que proporcionen los elementos mínimos de seguridad y confort a los pasajeros. La norma también define a los buses de transporte público como vehículos con capacidad igual o superior a 60 pasajeros y los minibuses de transporte público a los vehículos con capacidad menor a 60 pasajeros.

Es decir, el chasis será de diseño original para transporte de viajeros, sin modificaciones, adiciones o ampliaciones al diseño original no autorizadas por el fabricante, y conforme a la NTE INEN aplicable. El chasis utilizado en autobuses urbanos y minibuses debe ser aprobado por el fabricante del chasis como estructura de pasajeros.

La normativa NTE INEN 2205 establece los requisitos mínimos de seguridad que deben poseer un bus y un minibús urbano, además detalla las especificaciones del interior.

Vehículos de transporte escolar

Vehículos utilizados para el transporte de alumnos tales como: infantes, preescolares, básicos, especiales o variados y que tengan colores especiales reconocibles.

Para la homologación según el Decreto Ejecutivo 1196 dice que un vehículo de transporte escolar consiste en el traslado de estudiantes desde sus domicilios hasta la institución educativa y viceversa; y en las mismas condiciones al personal de una institución o empresa pública o privada. Deberán cumplir con las disposiciones del reglamento emitido para el efecto por la ANT y las ordenanzas que emitan los GADs. En casos excepcionales donde el ámbito de operación sea interregional, interprovincial o intraprovincial, su permiso de operación deberá ser otorgado por el organismo que haya asumido la competencia en las circunscripciones territoriales donde preste el servicio, o en su ausencia, por la Agencia Nacional de Tránsito. Como parte de las normas de prevención y seguridad para el traslado de niños, niñas y adolescentes, los vehículos de transporte escolar estarán sujetos a límites de velocidad y condiciones de manejo, el uso de señales y distintivos que permitan su debida identificación y permitan alertar y evitar riesgos durante su operación y accidentes de tránsito, así como contar con espacios adecuados, dispositivos homologados de seguridad infantil y cinturones de seguridad según el tipo de pasajeros. (Decreto Ejecutivo 1196, 2012).

El Servicio de transporte de estudiantes consiste en transportar a los estudiantes de casa a la escuela o también de una sede a otra como lo hace el bus que se tomó de referencia para el análisis.

Las normas técnicas ecuatorianas definen los requisitos que deben cumplir los vehículos de pasajeros, con el fin de proteger la vida y seguridad de los ocupantes, el medio ambiente, los bienes, y prevenir actos de fraude, mentiras que puedan inducir a error al fabricante o al usuario.

El Reglamento Técnico Ecuatoriano de transporte escolar clasifica a los vehículos según lo indicado en la tabla 3.

Tabla 3.

Variable dependiente (Comportamiento de la superestructura del vehículo)

Denominación	Número de ocupantes incluidos el conductor
Furgoneta	Desde 12 hasta 18
Microbús	Desde 19 hasta 26
Minibús	Desde 27 hasta 25
Bus	A partir de 36

Nota. Tomado de (INEN 1323, 2009).

La tabla muestra la especificación de tipos de transporte escolar y se divide según la cantidad de ocupantes incluido el conductor.

La carrocería de los microbuses y minibuses no sobresaldrá más de 75 mm por cada lado del ancho máximo del chasis, y el ancho máximo del vehículo será de 2600 mm medidos en la parte más saliente del chasis.

Vehículos de transporte intraprovincial e interprovincial

Vehículos automotores diseñados y equipados para el transporte de pasajeros intrarregional, interprovincial e interprovincial de un solo piso, sean importados o ensamblados o fabricados en el país. (NTE INEN 1668, 2015)

Bus intrarregional. Diseñado y equipado para viajes dentro de una misma región.

Bus interprovincial. Diseñado y equipado para viajes dentro de una misma provincia.

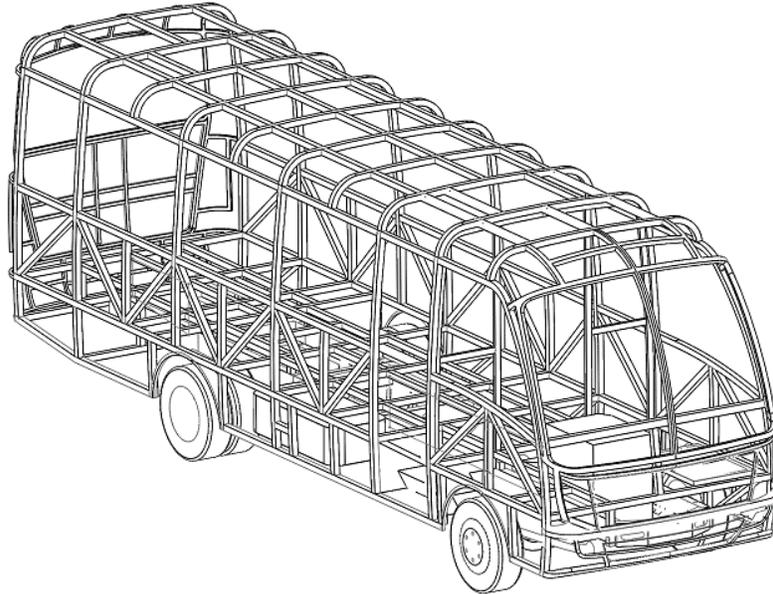
Bus interprovincial. Diseñado y equipado para viajes entre provincias.

Carrocería de buses

De acuerdo a (NTE INEN 2205, 2010) es el “Conjunto de estructura, elementos de seguridad y confort que se adiciona al chasis de forma fija, para el transporte de personas.”

Figura 2.

Carrocería para buses.



Nota. Se observa el modelado de la superestructura del bus de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE con chasis Volkswagen 9-150.

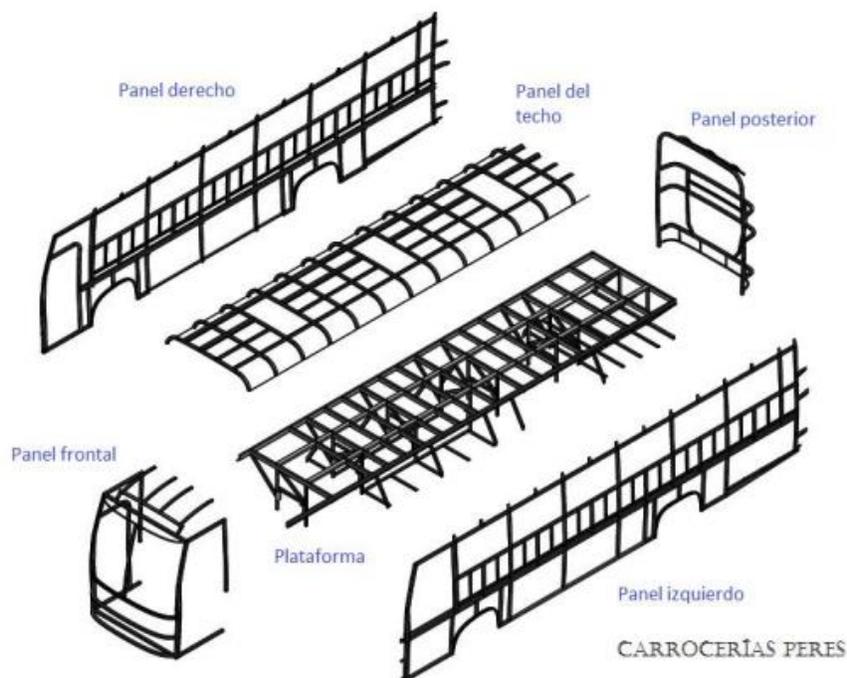
En efecto la estructura del autobús está formada por perfiles, ángulos, soldaduras, chapa metálica, etc. La cual será vital e importante para la seguridad pasiva, por lo que debe ser diseñado para absorber la mayor cantidad de energía posible en el caso que se produzca una colisión, además que ninguna de estos elementos invada la zona de supervivencia.

Partes de la carrocería de buses.

Los componentes de la carrocería que soportan la carga, con arreglo a la definición del fabricante, contienen las partes y elementos coherentes que contribuyen a la resistencia y la capacidad de absorción de energía de la carrocería y preservan el espacio de supervivencia. (CEPE, 2011)

Figura 3.

Partes de una carrocería.



Nota. Tomado de (Esmeraldas Meneses, 2016).

La figura muestra la carrocería está conformado por diferentes paneles como el frontal, laterales, techo, piso y trasero en los cuales se va a sujetar la chapa metálica, posteriormente asientos, elementos eléctricos, mecánicos y pesos adicionales de modo que la carrocería debe ser firme a fin de asegurar resistencia a ante condiciones de conducción y colisiones.

Seguridad pasiva en carrocería de buses.

La carrocería está considerada dentro de la seguridad pasiva de un vehículo ya que al recibir una carga producto de un impacto esta tiende a deformarse y absorber la energía producida por el impacto salvaguardando la integridad de los ocupantes.

El chasis del automóvil no es solo una estructura metálica sobre la que se colocan otros componentes que componen el autobús, sino que también debe garantizar el buen funcionamiento del vehículo, como las que surgen en las curvas cuando se viaja a altas velocidades. Bastante alto. No es un simple juego de formas, su estructura se ha desarrollado como un paraguas de seguridad, con una estructura que conduce los flujos para introducir fuerza de forma calculada.

Zonas de absorción de impactos.

Las denominadas zonas de absorción de impacto o zonas de deformación permiten absorber la energía controladamente al producirse un impacto gracias a su diseño de construcción.

- Zona Central: esta zona se caracteriza por que debe ser la zona más rígida de la estructura además de ser indeformable ya que conforma el habitáculo de los pasajeros
- Zona frontal y trasera: Es la encargada de absorber la energía cinética producto de un impacto y transformarla por principio de conservación en energía de deformación y calor.

Normativa Nacional e Internacional

A lo largo de los años y con los avances tecnológicos ya las mejoras en el diseño, construcción y procesos de fabricación de carrocerías, se ha vuelto cada vez más importante establecer requisitos mínimos para garantizar, de alguna forma, la fiabilidad y seguridad de las carrocerías para lo cual se deben ajustar a las normas y reglamentos nacionales e internacionales vigentes. “Prescripciones Técnicas Uniformes Relativas a la Homologación de Vehículos Grandes de Pasajeros con Respecto a la Resistencia de su Superestructura”.

Los requisitos conceptuales y de diseño de carrocería utilizados para este proyecto serán la especificación (NTE INEN 1323, 2009) y para la simulación de movimiento de los requisitos de ensayos de

bote de volteo están especificados en la normativa R66 de la comisión económica de las Naciones Unidas para Europa bajo el título "Prescripciones técnicas de uniformes relativas a la homologación de vehículos grandes de pasajeros con respecto a la resistencia de sus de su superestructura. "

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

Lo que quiere decir este Reglamento Técnico ecuatoriano es que establece los requisitos que deben cumplir los vehículos que brindan transporte a pasajeros en instituciones educativas y que deben proteger la vida y seguridad de los pasajeros

NTE INEN 1323 Vehículos automotores, carrocerías de buses, requisitos

Esta norma especifica los requisitos generales que deben cumplir las carrocerías de buses, aplica para carrocerías importadas y de fabricación nacional, la normativa pone a disposición considerar para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses, para su homologación.

NTE INEN 1996 Servicio de transporte escolar

Esta norma establece los requisitos mínimos que debe cumplir el servicio de transporte de estudiantes en vehículos utilizados exclusivamente para la prestación de dicho servicio, así como las obligaciones y responsabilidades asignadas al conductor, al acompañante y al propietario del vehículo.
(NTE INEN 1992, 1996)

Reglamento No 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU)

El presente Reglamento se aplica a los vehículos de un solo piso, rígidos o articulados, diseñados y construidos para el transporte de más de 22 viajeros, sentados o de pie, además del conductor y los miembros del personal.

Materiales y perfiles utilizados en la fabricación de la estructura de las carrocerías

Acero.

De acuerdo a (Aranda Pazmiño & Dután Amay, 2009) El acero “es ampliamente utilizado por sus excelentes propiedades mecánicas y bajos costos, y resulta de la aleación de hierro y carbono (menor al 2%, generalmente entre 0,2 a 0,3%)”.

Las propiedades físicas y mecánicas del acero varían según su composición y el tipo de tratamiento térmico, químico o mecánico que se le aplica, lo que aumenta su aplicabilidad; Hace años, se prefería el grado de acero ASTM A36", pero ahora el ASTM A500 es popular porque tiene las mismas propiedades que los aceros anteriores, excepto por una mejor resistencia a la corrosión, este material es el más utilizado y de fácil acceso para las empresas carroceras del país.

Tipos de perfiles utilizados en la industria carrocera.

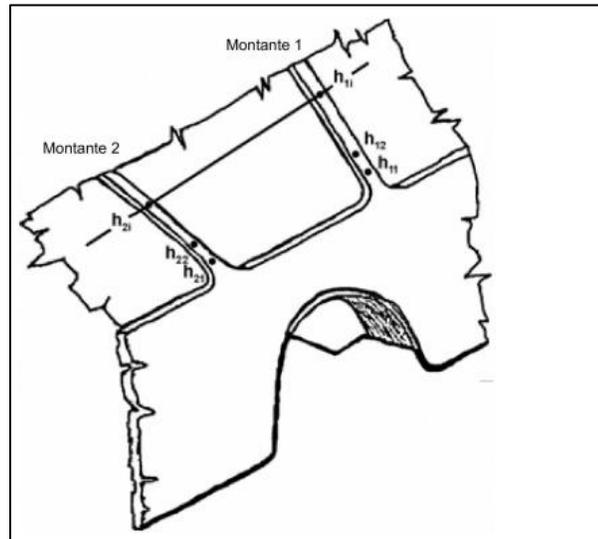
Según la (NTE INEN 2415, 2013) establece los requisitos que deben cumplir los tubos de acero al carbono, negros, galvanizados y conformados en frío y soldados (con acoplamientos) redondos, cuadrados, rectangulares o de sección especial para aplicaciones especiales, uso estructural y uso general. Esta norma se aplica a tuberías con una circunferencia de hasta 2235 mm y un espesor de pared de hasta 22 mm.

Espacio de supervivencia

Es el volumen que se obtiene en el compartimento de ocupantes, desplazando en línea recta el plano vertical y transversal indicado en las figuras, de manera que se pase el punto SR desde el punto SR del último asiento exterior a través del punto SR de cada asiento exterior intermedio hasta el punto SR del primer asiento exterior del ocupante. (INEN 1323, 2009)

Figura 4.

Especificación del contorno de la estructura



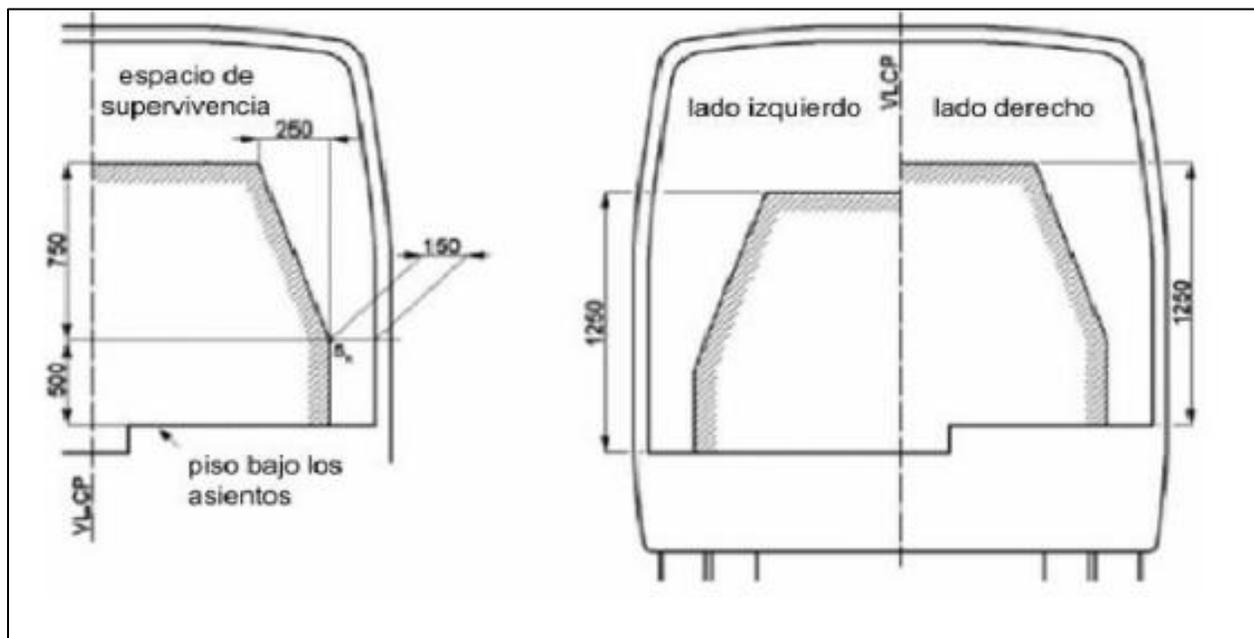
Nota. Tomado de (CEPE, 2011).

En la normativa 1323 especifica que durante una prueba de resistencia estructural o una vez finalizada, la estructura del casco deberá resistir de manera que el espacio existente dentro del alcance del Reglamento 66 no se vea comprometido.

Cuando los dos lados del vehículo no sean simétricos con respecto a la disposición del piso y, por tanto, la altura de los puntos SR sea diferente, se tomará como plano central longitudinal vertical del vehículo el escalón situado entre las dos líneas del piso del espacio de supervivencia. (CEPE, 2011)

Figura 5.

Espacio de supervivencia lateral

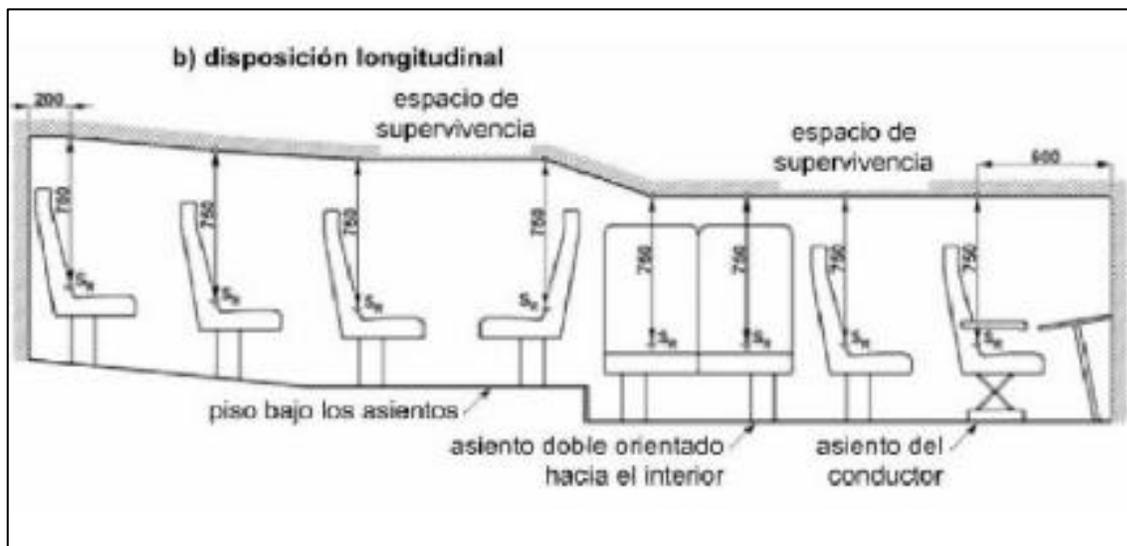


Nota. En la figura se muestra la vista transversal de las dimensiones que se considera para el espacio de supervivencia. Tomado de (INEN 1323, 2009).

El envoltorio del espacio de supervivencia del vehículo se determinará creando en el interior del vehículo un plano transversal vertical que tenga los márgenes descritos en las figuras y desplazándolo por la longitud del vehículo como se describe a continuación: (CEPE, 2011)

Figura 6.

Vista longitudinal del espacio de supervivencia.



Nota. Tomado de (INEN 1323, 2009).

En la figura se muestra la vista longitudinal para la simulación del espacio de supervivencia a considerar.

El punto SR estará situado en el respaldo de cada asiento exterior orientado hacia adelante o hacia atrás (o en la posición supuesta del asiento), 500 mm por encima del piso situado debajo del asiento y a 150 mm de la superficie interior de la pared lateral; no se tendrán en cuenta los pasos de rueda ni demás variaciones de la altura del piso; estas dimensiones también se aplicarán a los asientos orientados hacia el interior, en sus planos centrales.

Cuando los dos lados del vehículo no sean simétricos con respecto a la disposición del piso y, por tanto, la altura de los puntos SR sea diferente, se tomará como plano central longitudinal vertical del vehículo el escalón situado entre las dos líneas del piso del espacio de supervivencia.

La posición más atrasada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado 200 mm por detrás del punto SR del asiento exterior más atrasado o la cara interna de la pared trasera del vehículo cuando esté situada a menos de 200 mm por detrás del punto SR; la posición más adelantada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado 600 mm por delante del punto SR del asiento más adelantado (ya sea de viajero, conductor o miembro del personal) del vehículo, colocado en su posición más adelantada; si el asiento más adelantado y el más atrasado en los dos lados del vehículo no se encuentran en los mismos planos transversales, la longitud del espacio de supervivencia en cada lado será diferente;

El espacio de supervivencia entre el plano más atrasado y el más adelantado del compartimento o compartimentos de viajeros, del personal y del conductor es continuo y se determina desplazando, por toda la longitud del vehículo, a lo largo de líneas rectas y a través de los puntos SR situados a ambos lados del vehículo, el plano transversal vertical definido; detrás del punto Sr del asiento más atrasado y delante del punto Sr del asiento más adelantado las líneas rectas son horizontales;

Ensayos de volteo

El vuelco lateral se produce con menor frecuencia en comparación con otro tipo de accidentes que involucran autobuses, pero cada accidente en promedio presenta aproximadamente 25 víctimas mortales, frente al promedio de choque frontal de 14 víctimas en promedio (Matolcsy, 2007)

Los accidentes por vuelco pueden dividirse de la siguiente manera: giró con un $\frac{1}{4}$ de vuelta, giro a un lado por zanja con rotación entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ de vuelta, vuelco en carretera con una rotación entre $\frac{1}{2}$ y 2 vueltas, vuelco grave con más de 2 rotaciones, y vuelco combinado con una colisión previa, caída a un precipicio o incendio luego del vuelco. (Matolcsy, 2007)

Para la homologación de la superestructura existen 5 pruebas equivalentes internacionalmente aceptadas y que tienen la misma validez de aplicación, y son (CEPE, 2011)

- Prueba de volteo en vehículo completo a escala real
- Prueba de vuelco de secciones de la carrocería
- Prueba cuasi-estática de secciones de cuerpo
- Cálculo cuasi-estático basado en la prueba de componentes, y
- Simulación por ordenador del ensayo básico de vuelco.

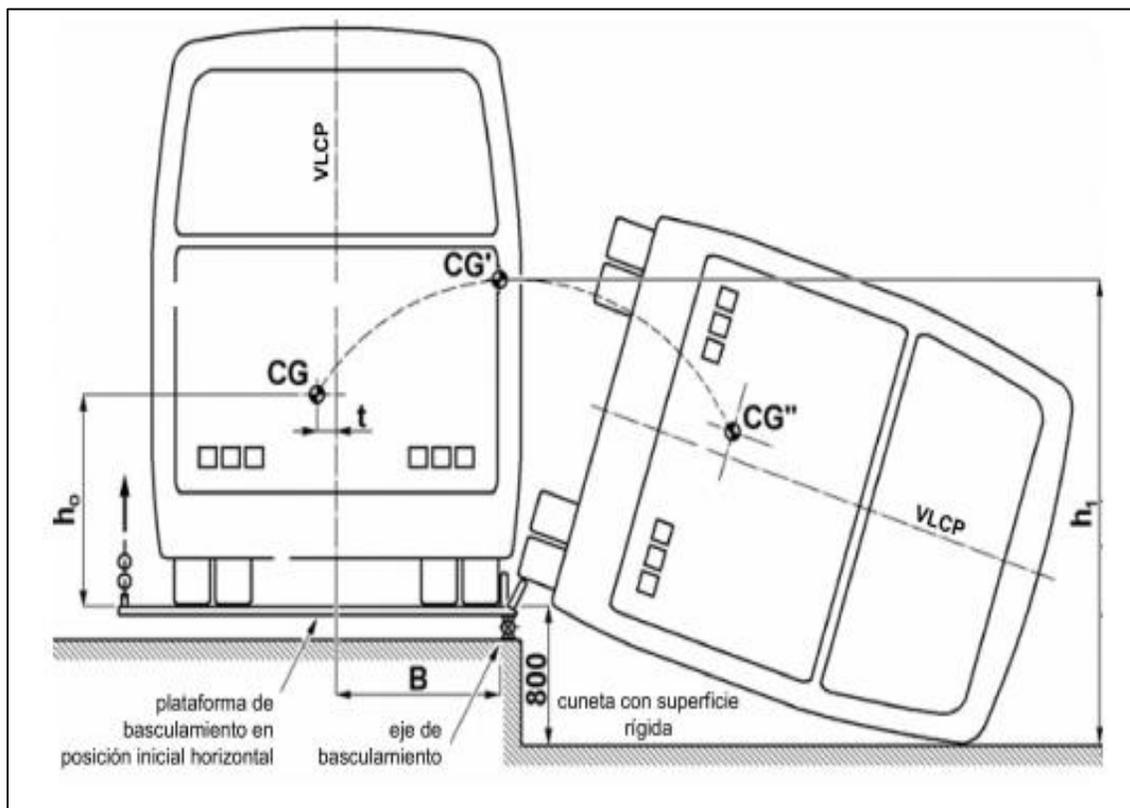
Prueba de volteo en vehículo completo a escala real.

La prueba de volteo en realidad es una prueba de inclinación en la cual el vehículo completo está situado en la plataforma de volteo, con la suspensión bloqueada e inclinado hasta su posición crítica de estabilidad. (CEPE, 2011)

Para simular los peores escenarios en la clase de vehículos y permitir futuros desarrollos en el diseño, el fabricante puede especificar más espacio habitable del que se requiere para una disposición de asientos particular.

Figura 7.

Especificación de trayectoria de centro de gravedad.



Nota. Tomado de (CEPE, 2011).

En la figura se muestra la trayectoria del centro de gravedad de la superestructura desde su posición inicial hasta antes del impacto. Como indica en El reglamento 66 primero se todo el vehículo se coloca sobre una plataforma basculante, la suspensión deberá estar bloqueada e inclinándose lentamente hasta una posición de equilibrio inestable. En el caso de un modelo de carrocería que no esté equipado con un asiento de seguridad, la prueba debe realizarse en condiciones de masa, Cuando el tipo de vehículo esté equipado con dispositivos de retención de pasajeros, el ensayo se realizará en condiciones de masa total efectiva del vehículo.

Dirección del ensayo de vuelco

El ensayo de vuelco se llevará a cabo en el lado del vehículo que sea más peligroso con respecto al espacio de supervivencia. La decisión la tomará el servicio técnico basándose en la propuesta del fabricante y teniendo en cuenta, como mínimo, los elementos siguientes:

- La excentricidad lateral del centro de gravedad y su efecto sobre la energía de referencia en la posición inicial, inestable, del vehículo.
- La asimetría del espacio de supervivencia.
- Las características de construcción diferentes y asimétricas de los dos lados del vehículo y el soporte que proporcionan los tabiques o habitáculos internos (por ejemplo, el ropero, el aseo o la cocina).
- El lado con menos soporte será el elegido como dirección del ensayo de vuelco.
- La plataforma de basculamiento será lo suficientemente rígida y la rotación estará lo suficientemente controlada como para garantizar el levantamiento simultáneo de los ejes del vehículo con una diferencia inferior a 1 en los ángulos de basculamiento de la plataforma, medidos debajo de los ejes.
- La diferencia de altura entre el plano inferior horizontal de la cuneta y el plano de la plataforma de basculamiento sobre la que está colocado el autobús será de 800 ± 20 mm.

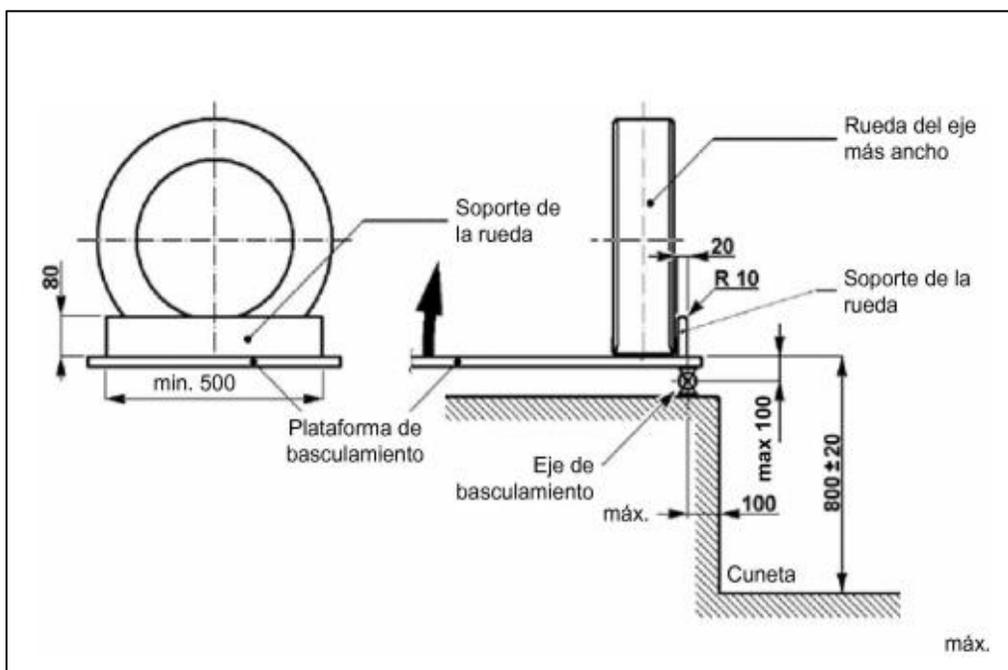
La plataforma de basculamiento

Se colocará de la manera siguiente con respecto a la cuneta su eje de rotación será de un máximo de 100 mm desde la pared vertical de la cuneta; su eje de rotación será de un máximo de 100 mm por debajo del plano de la plataforma de basculamiento horizontal.

La plataforma de basculamiento será lo suficientemente rígida y la rotación estará lo suficientemente controlada como para garantizar el levantamiento simultáneo de los ejes del vehículo con una diferencia inferior a 1 en los ángulos de basculamiento de la plataforma, medidos debajo de los ejes. (CEPE, 2011)

Figura 8.

Normativa para plataforma de pruebas de vuelco.



Nota. En la figura se muestra las especificaciones de medidas de posición de plataforma para la realización de pruebas de vuelco. Tomando de (CEPE, 2011).

Los pasos de rueda aplicarán presión a las ruedas cercanas al eje para evitar que el vehículo ruede hacia los lados al volcar.

Las principales características de los soportes para ruedas son las siguientes: Dimensiones del soporte para ruedas: Altura: No debe exceder las dos terceras partes de la distancia entre la superficie sobre la que se encuentra el vehículo antes de rodar y la parte de la llanta con el ancho de la rueda más cerca de la superficie: Radio de llanta 20 mm: Longitud 10 mm: 500 mm como mínimo; se tomará en consideración lo que especifica el Reglamento 66.

- Los soportes de las ruedas situados en el eje más ancho se colocarán en la plataforma de basculamiento de manera que el lateral del neumático esté a 100 mm como máximo del eje de rotación;
- Geometría del banco de ensayo
- Los soportes de las ruedas situados en los demás ejes se ajustarán de manera que el plano central longitudinal vertical del vehículo quede paralelo al eje de rotación
- La plataforma de basculamiento estará hecha de manera que impida que el vehículo se desplace a lo largo de su eje longitudinal.
- La zona de impacto de la cuneta tendrá una superficie de cemento horizontal, uniforme, lisa y seca.

Prueba de vuelco de secciones de la carrocería

Este método se basa en el uso de uno o más compartimentos con heridas la geometría es muy precisa y representa su distribución de masa, la parte más importante de la estructura son las vigas de apoyo y los ejes del autobús. La pieza debe tener al menos dos ejes y debe instalarse todos los elementos interiores reducen el espacio de supervivencia, las partes del cuerpo deben estar equipadas con soportes protésicos, reproducir el mismo centro de gravedad, el centro de rotación de la plataforma el cuál sería la

pendiente si el autobús estuviera lleno. El segmento del cuerpo debe poder absorber al menos el 80% de la energía de impacto.

Pruebas cuasi-estáticas de la sección de un cuerpo

Este método de prueba usa secciones de cuerpo como una unidad de prueba, al igual que la prueba con sección de cuerpo debe tener por lo menos dos columnas. (CEPE, 2011)

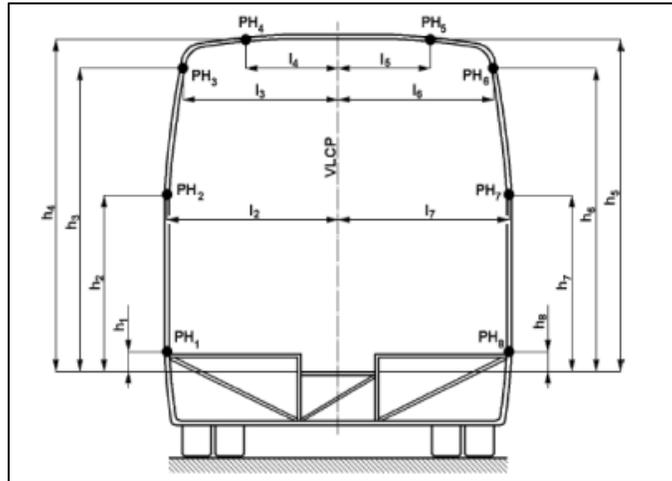
En este método se debe fijar el espacio de supervivencia, para comprobar la penetración en dicho espacio, además se debe fijar la superestructura al área de prueba mediante fuertes conexiones, pero se debe tener en cuenta que los anclajes no interfieren con el comportamiento plástico de la estructura.

Cálculo cuasi-estático basado en la prueba de componentes

“Para este método se hace necesario manejar información acerca de la localización de las zonas plásticas (PZ) y juntas plásticas (PH) en la superestructura”(CEPE, 2011). Las estimaciones de las distorsiones totales se basan en cálculos de energía y escalas de viaje para cada PH.

Figura 9.

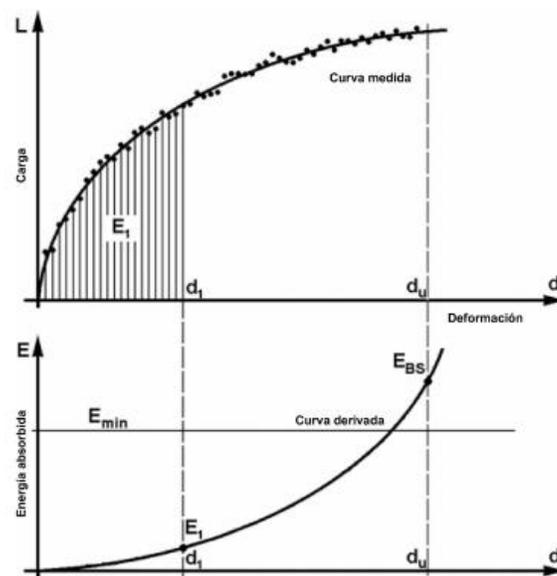
Zonas plásticas de la estructura.



Nota. Tomado de (CEPE, 2011).

Figura 10.

Energía absorbida por sección de carrocería



Nota. Del gráfico de la curva de carga-deformación, la energía real absorbida por la parte del cuerpo es expresado como el área bajo la curva. Tomado de: (CEPE, 2011).

La energía total (ET) que ha de absorber la superestructura es:

$$ET = 0.75 * M * g * \Delta_h$$

(Ec. 1)

Donde:

- M =, la masa total efectiva del vehículo, si está equipado con retenciones del ocupante
- g = la constante gravitacional
- Δ_h = el movimiento vertical (en metros) del centro de gravedad del vehículo durante un ensayo de vuelco

Simulación computarizada de prueba de vuelco

El diseño asistido por computadora (CAD) y la ingeniería asistida por computadora (CAE) son dos disciplinas significativamente diferentes y, por lo tanto, requieren representaciones de modelos de forma diferentes. Como resultado, los modelos generados por los sistemas CAD a menudo no son adecuados para las necesidades del análisis de elementos finitos (FEA). (Hamri, León, Giannini, & Falcidieno, 2010)

Software CAD

Es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los

aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño. (SolidWorks, 2016), de hecho, en el software CAD Solid Works se realizará el boceto y planos con las medidas tomadas de referencia del Bus de la Universidad de las Fuerzas Armadas

Software CAE

Es un software CAE utiliza principios matemáticos y mediante interacciones en la computadora, que permite realizar el cálculo de simulación realizado eso con el fin de realizar un análisis rápido y con exactitud.

ANSA es un programa de preprocesamiento de CAE, tiene un comparador que evalúa dos formas diferentes y determina dónde está la diferencia, se pueden preparar modelos a partir de elementos tipo el cual va a crear el mallado por elementos tipos Shell dando volumen, incluido el algoritmo de hexaedros que especificará la calidad de mallado.

Ls-Prepost es un software de simulación de elementos finitos capaz de resolver y analizar problemas complejos del mundo real. Se puede utilizar para problemas en la industria aeroespacial, militar, construcción, fabricación, automóviles y más. Permite estudiar el comportamiento de estados dinámicos y transitorios, así como de estados no lineales.

Un problema puede ser no lineal cuando existen condiciones de contorno que varían con el tiempo, como la conexión entre múltiples partes o piezas. También ocurrirá, cuando se produzcan grandes deformaciones entre varias piezas o componentes.

LS-DYNA es un programa o código extensible que resuelve el análisis CAE dinámico de modelos 3D utilizando el método de elementos finitos, y puede resolver problemas del mundo real, problemas

complejos de modelado no lineal complejos, sólidos, térmicos, fluidos y físicos, y también puede aprovechar algunos procesos para realizar mejor los cálculos.

Mallado

El mallado en un análisis por elementos finitos no lineal explícito es esencial, debido a que la calidad de la malla dependerá de los resultados que se desea obtener. Además, el incremento es el número de elementos y por ende en el número de nodos. El mallado es la red de elementos y nodos que “discretizan” una región. Esta es muy importante, por lo tanto, la selección de la misma debe ser la apropiada, ya que de esta depende alcanzar los resultados con una aproximación a los esfuerzos reales. (Chimbo Pilatasig, 2022).

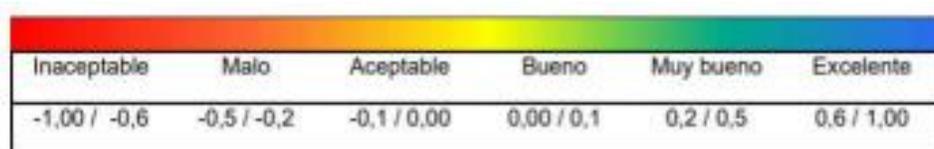
Para evaluar la calidad de malla, el software CAE presenta varias características en su interfaz de trabajo, entre estas se puede destacar la obtención de la métrica de la malla generada, la cual representa un intervalo de 0 a 1, siendo 0 el elemento de menor calidad, mientras que 1 es el elemento de mayor calidad. A partir de esto evaluamos la calidad de malla de los componentes del mecanismo. (Chimbo Pilatasig, 2022).

Método jacobiano.

Tanto en el análisis por elementos finitos como en el análisis iso-geométrico es importante el concepto de transformación entre espacios de representación debido a que las integrales numéricas que se plantean en el espacio físico para el cálculo de la solución deben ser transformadas al espacio paramétrico, donde la geometría Algoritmo de desenredo y suavizado para T-mallas bidimensionales en análisis iso-geométrico está bien definida. (Armas Montenegro & Escobar Sánchez, 2012)

Figura 11.

Calidad de malla asimétrica



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

Nota. Tomado de (Villafuerte Buñay, 2017).

La figura muestra el criterio jacobiano para determinar la calidad del mallado del modelo a simular, en las áreas críticas es conveniente tener un mallado con criterio jacobiano de coloración azul – celeste para mejorar así los resultados de la simulación.

Centro de gravedad

Como expresa (CEPE, 2011), la energía de referencia y la energía total que van a ser absorbidas en el ensayo de vuelco dependen directamente de la posición del centro de gravedad del vehículo. Por tanto, su determinación debería ser lo más precisa posible. El servicio técnico registrará para su evaluación el método de medición de las dimensiones, los ángulos y los valores de carga, así como la precisión de las mediciones. Es necesario que los equipos de medición ofrezcan la precisión siguiente.

- Para mediciones inferiores a 2 000 mm: precisión de ± 1 mm
- Para mediciones superiores a 2 000 mm: precisión de $\pm 0,05$ %
- Para ángulos medidos: precisión de ± 1 %
- Para valores de carga medidos: precisión de $\pm 0,2$ %.

El movimiento vertical (Δh) del centro de gravedad en relación con el ensayo de vuelco podrá determinarse mediante el método gráfico.

La distancia entre ejes y la distancia entre los centros del dibujo de la rueda o ruedas en cada eje (la vía de cada eje) se determinará a partir de los dibujos del fabricante.

La posición longitudinal del centro de gravedad en relación con el centro del punto de contacto de las ruedas frontales.

$$l = \frac{(P_3 + P_4)L_1 + (P_5 + P_6)L_2}{P_{Total}}$$

(Ec. 2)

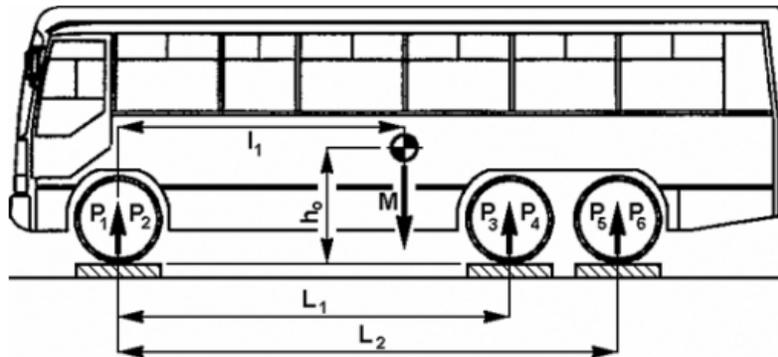
Donde:

- P1 = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda izquierda del primer eje
- P2 = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda derecha del primer eje
- P3 = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda o ruedas izquierdas del segundo eje
- P4 = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda o ruedas derechas del segundo eje
- P5 = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda o ruedas izquierdas del tercer eje
- P6 = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda o ruedas derechas del tercer eje
- Ptotal = (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6) = Mk, la masa en orden de marcha, o = Mt, la masa total efectiva del vehículo, según corresponda.

- L_1 = la distancia desde el centro de la rueda del primer eje hasta el centro de la rueda del segundo eje.
- L_2 = la distancia desde el centro de la rueda del primer eje hasta el centro de la rueda del tercer eje, de haberlo.

Figura 12.

Centro de gravedad en posición longitudinal



Nota. Tomado de (CEPE, 2011).

La posición transversal (t) del centro de gravedad del vehículo con respecto al plano longitudinal medio del vehículo viene determinada por:

$$t = \left((P_1 - P_2) \frac{T1}{2} + (P_3 - P_4) \frac{T2}{2} + (P_5 - P_6) \frac{T3}{2} \right) * \frac{1}{P_{Total}}$$

(Ec. 3)

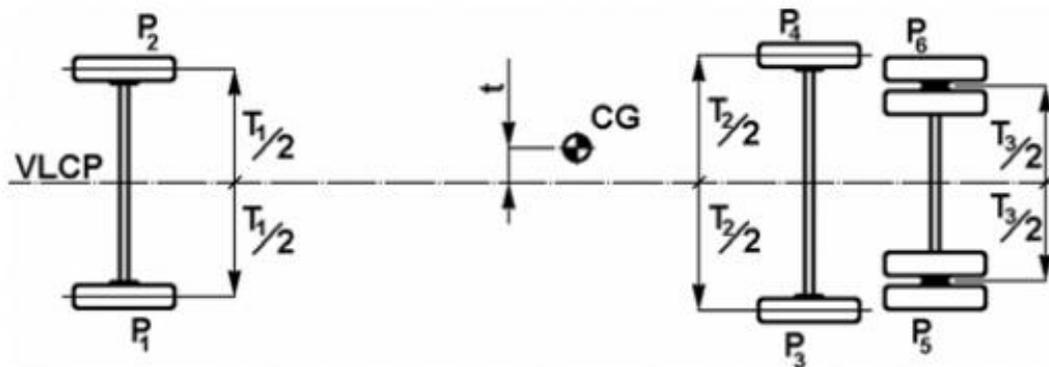
Donde:

- T_1 = la distancia entre los centros del dibujo de la rueda o ruedas a cada extremo del primer eje
- T_2 = la distancia entre los centros del dibujo de la rueda o ruedas a cada extremo del segundo eje
- T_3 = la distancia entre los centros del dibujo de la rueda o ruedas a cada extremo del tercer eje.

Esta ecuación parte del supuesto de que es posible trazar una línea recta a través de los puntos centrales T_1 , T_2 y T_3 ; de lo contrario, será necesario aplicar una fórmula especial. Si el valor de (t) es negativo, el centro de gravedad del vehículo está situado a la derecha de la línea central del vehículo.

Figura 13.

Centro de gravedad en posición transversal



Nota. Tomado de (CEPE, 2011).

La altura del centro de gravedad (h_0) se determinará basculando el vehículo en sentido longitudinal y utilizando células de carga individuales en las ruedas de dos ejes:

Se colocarán dos células de carga sobre un plano horizontal común para recibir las ruedas frontales; el plano horizontal estará, con respecto a la superficie circundante, a una altura suficiente para permitir que el vehículo pueda bascular hacia delante, hasta alcanzar el ángulo sin que el morro toque dicha superficie;

Se colocará un segundo par de células de carga en un plano horizontal común, encima de las estructuras de soporte, listo para recibir las ruedas del segundo eje del vehículo; las estructuras de soporte serán lo suficientemente altas como para crear un ángulo de basculamiento significativo α ($> 20^\circ$) para el vehículo; cuanto mayor sea el ángulo, más preciso será el cálculo;

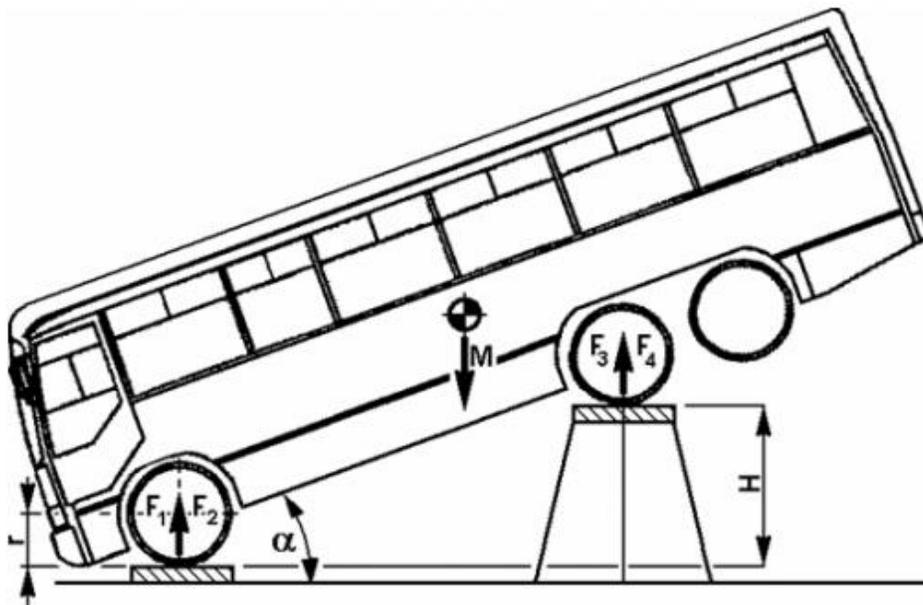
El vehículo se colocará de nuevo sobre las cuatro células de carga, con las ruedas delanteras bloqueadas para evitar que se deslice hacia delante; las ruedas directrices se colocarán en posición de marcha en línea recta hacia delante;

Las indicaciones de las células de carga individuales se anotarán simultáneamente y se utilizarán para verificar la masa total del vehículo y la posición del centro de gravedad;

Si el vehículo articulado se somete a ensayo en secciones separadas, la posición del centro de gravedad se establecerá por separado para cada sección.

Figura 14.

Determinación de la altura del centro de gravedad

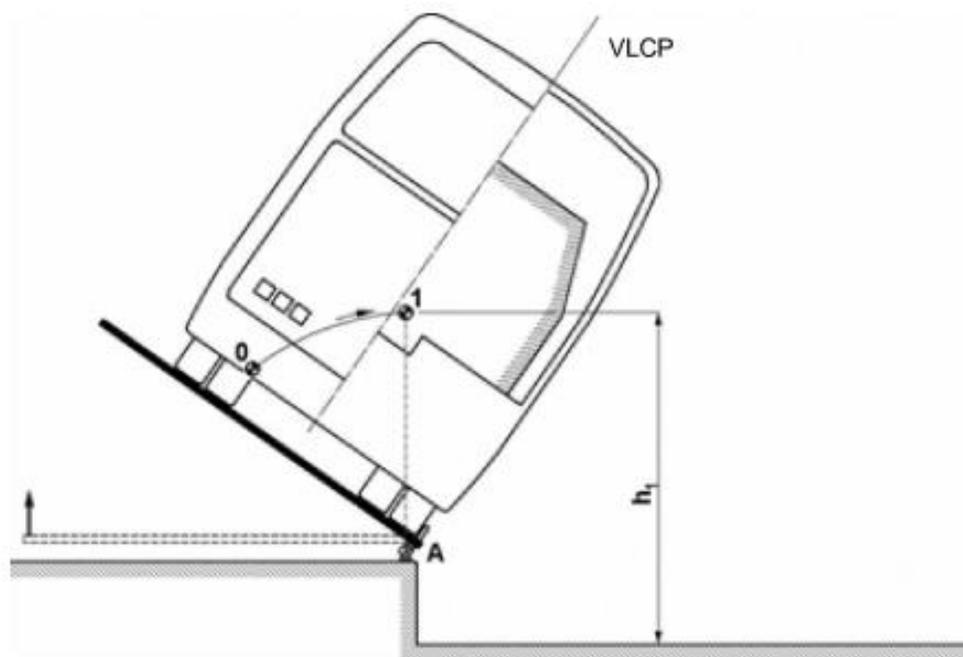


Nota. Tomado de (CEPE, 2011).

De acuerdo con (CEPE, 2011) , utilizando dibujos a escala de la sección transversal del vehículo, se determina la altura inicial (h_1) del centro de gravedad (posición 1) por encima del plano inferior de la cuneta correspondiente al vehículo situado en su punto de equilibrio inestable sobre la plataforma de basculamiento.

Figura 15.

Punto de equilibrio inestable

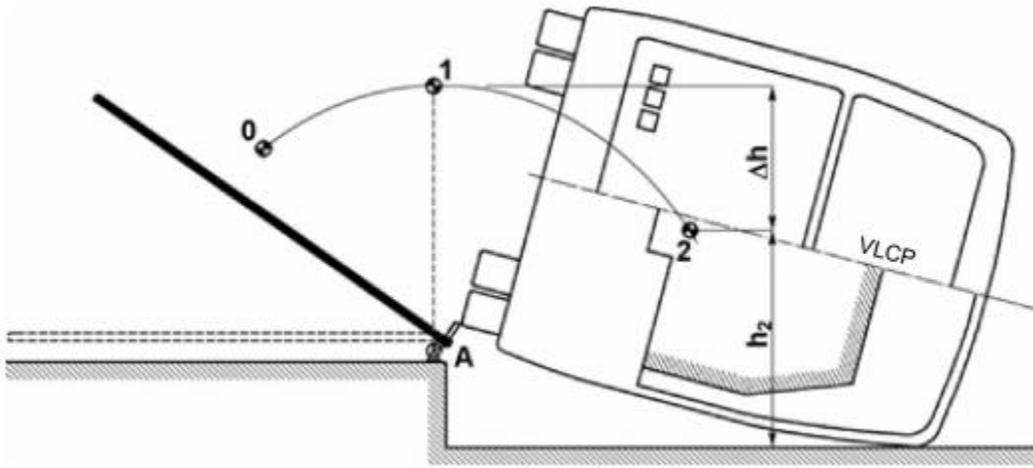


Nota. Tomado de (CEPE, 2007)

Como señala (CEPE, 2007), partiendo del supuesto de que la sección transversal del vehículo gira alrededor del borde de los soportes de la rueda se dibuja la sección transversal del vehículo con el travesaño superior solo tocando el plano inferior de la cuneta; en esta posición, se determina la altura (h_2) del centro de gravedad (posición 2) relativa al plano inferior de la cuneta.

Figura 16.

Determinación del movimiento vertical del centro de gravedad



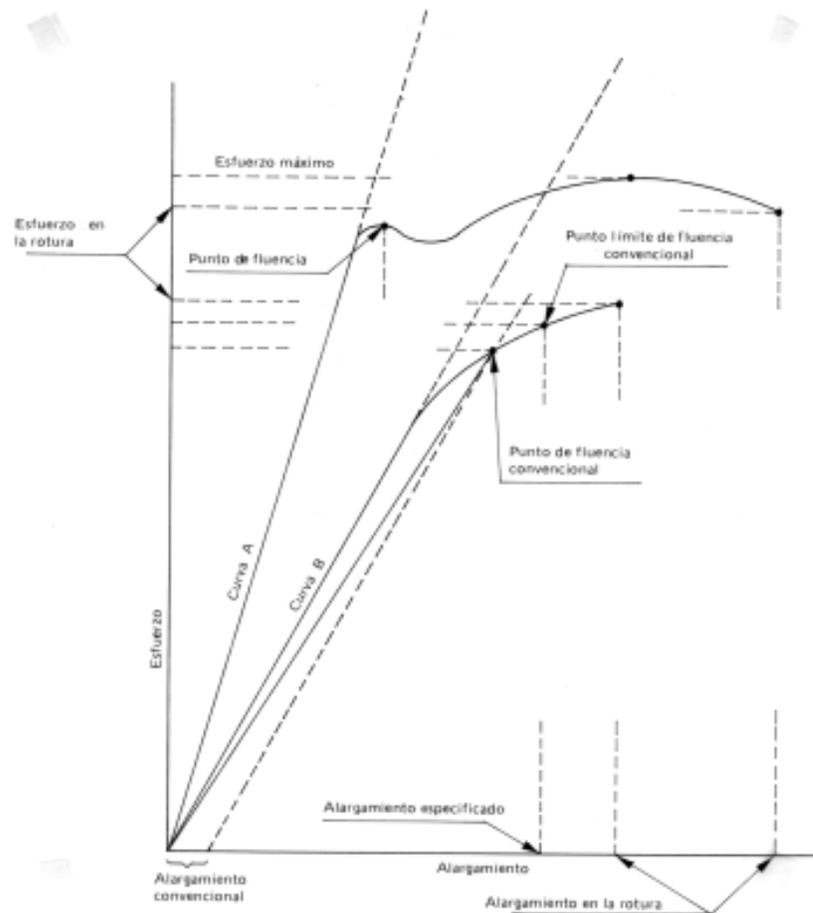
Nota. Tomado de (CEPE, 2007)

Problemas no lineales

Al analizar la estructura, es necesario considerar el comportamiento lineal del material utilizado en ingeniería, cuando este material está bajo carga, tiende a tener una pequeña deformación, lo que puede ser válido de acuerdo con el comportamiento lineal, el comportamiento de un lineal material o no. Linealidad Se observa a partir de la curva tensión-deformación que la tensión no depende linealmente de la deformación. La curva se mantiene lineal hasta que se alcanza el límite elástico en el que el material se deforma por completo y sólo a partir de este punto notamos que ya no se comporta de forma lineal, por lo que cuando esté en su extremo llegará al punto de rotura.

Figura 17.

Curva esfuerzo-deformación



Nota. Tomado de (NTE INEN 2043, 2013)

Esfuerzo

Las fuerzas internas del elemento están dentro del material, por lo que se distribuyen por la superficie. La tensión es exactamente la fuerza por unidad de área, y se denota con la letra griega sigma (σ), un parámetro que permite comparar la resistencia de dos materiales porque establecen una línea de base común.

Deformación

La deformación es un cambio en el tamaño o la forma de un objeto debido a la tensión interna causada por una o más fuerzas que actúan sobre él. “La resistencia de los materiales no es el único parámetro que se utiliza en el diseño o análisis de estructuras, controlar las deformaciones para que la estructura cumpla con el propósito para el que fue diseñada es igual o mayor de importante. El análisis de deformación se refiere a los cambios en la forma de la estructura debido a las cargas aplicadas.

Tensión de Von-Mises

El estrés de Von Mises se usa comúnmente para definir la deformación ocurre en un material cuando se expone a condiciones de carga complejas. Esto se logra calculando la tensión de Von Mises y compararlo con el límite elástico de la materia.

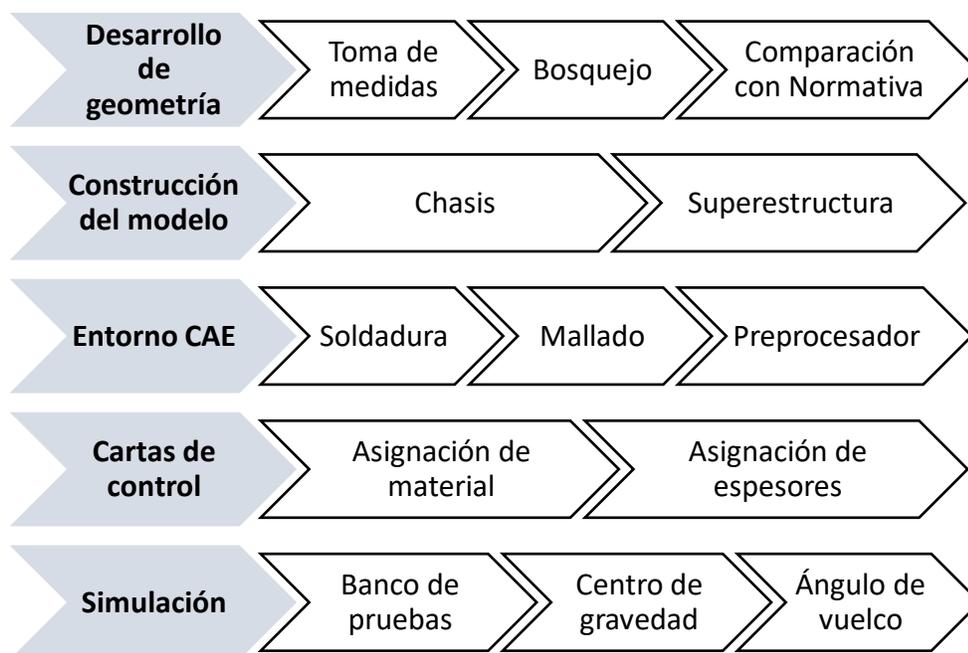
Capítulo III

Modelado computacional

Proceso para Simulación

Figura 18.

Proceso para Simulación



Nota. En la figura se muestra el proceso que se realizará para la simulación de vuelco.

Construcción del modelo

En la elaboración del modelo de cuerpo y su excelente estructura permitirán el éxito de las pruebas virtuales y la confiabilidad de los resultados presentados por el programa.

La generación CAD del bus Volkswagen 9-150 incluye detalles tales como: suspensión, diferencial, ejes delantero y posterior, rines, neumáticos, faros, entre otros, que permiten calcular con mayor precisión los valores de masa y centro de gravedad del bastidor.

Chasis

Tomando como referencia la ficha técnica del chasis homologado para buses escolares Volkswagen 9-150 se ha elaborado un modelado con similares características de construcción para que al momento de la simulación esta sea lo más cercana a la realidad y podamos realizar un análisis de resultados confiable.

Figura 19.

Chasis Volkswagen 9-150

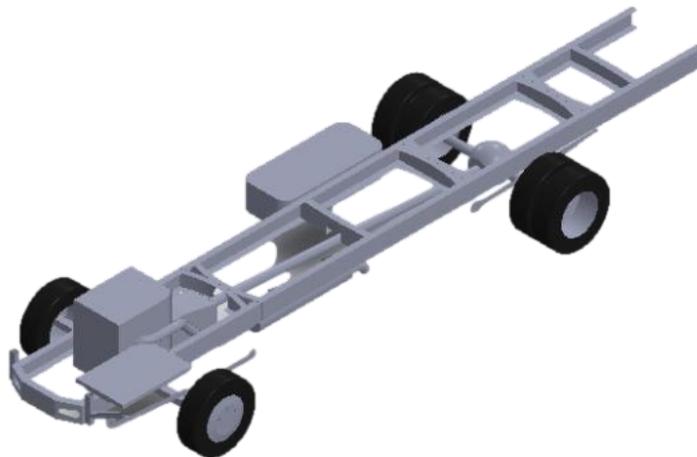


Nota. Tomado de *VW buses y camiones*, por Volkswagen Truck and Bus México S.A. de C.V.,2022.

En la figura se muestra el chasis que posee el bus Volkswagen 9-150 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas

Figura 20.

Chasis de Volkswagen 9-150 (Modelado)



Nota. Tomado de *VW buses y camiones*, por Volkswagen Truck and Bus México S.A. de C.V.,2022.

En la figura se muestra el modelado del chasis que posee el bus Volkswagen 9-150 perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas, considerando pesos y volúmenes correspondientes a los reales que nos proporciona la ficha técnica de Volkswagen.

Tabla 4.*Dimensiones de Chasis Volkswagen 9-150*

Dimensiones de Chasis Volkswagen 9-150		
Distancia entre ejes		4.300 mm
Voladizo	Delantero	1.200 mm
	Trasero	2.050 mm
Largo Total		7.550 mm
Ancho máximo	Delantero	2.218 mm
	Trasero	2.144 mm
Trocha	Delantera	1.894 mm
	Trasera	1.669 mm
Despeje del suelo	Delantero	213 mm
	Trasero	194 mm

Nota. Obtenido de *Ficha Técnica Volkswagen 9-150* por Volkswagen Truck and Bus México S.A. de C.V.,2022.

Esta tabla muestra el dimensionamiento del chasis de marca Volkswagen 9-150

Tabla 5.*Pesos de Chasis Volkswagen 9-150*

Pesos de Chasis Volkswagen 9-150		
Peso en orden de marcha		
	Eje Delantero	2.060 kg
	Eje Trasero	930 kg
	Total	2.990 kg
Peso Bruto Máximo Admisible		
	Delantero	3.200 kg
	Trasero	5.300 kg
	Total admisible	8.500 kg

Nota. Obtenido de *Ficha Técnica Volkswagen 9-150* por Volkswagen Truck and Bus México S.A. de C.V., 2022.

Esta tabla muestra los pesos en KG del chasis de marca Volkswagen 9-150,

Superestructura

La superestructura y paneles se generan a partir de las dimensiones tomadas mediante mediciones generando la geometría de la carrocería a través del software SolidWorks de acuerdo con las dimensiones exteriores del vehículo.

Paneles laterales.

Como nos indica la normativa NTE INEN 1668 en su tabla 1 acerca del largo total del vehículo, el minibús deberá medir como máximo 10.000 mm en su extensión total, además con respecto a la altura

total máxima como se menciona en la tabla 2 el minibús no deberá sobrepasar los 3300 mm y deberá considerarse desde la calzada hasta el techo de la carrocería, sin tomas de ventilación superior.

Figura 21.

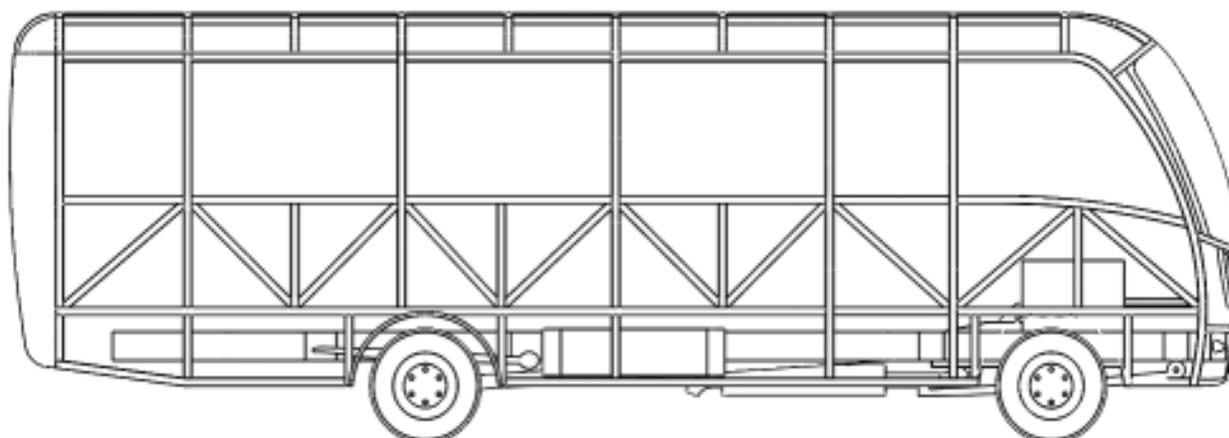
Vista lateral del bus Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE



Nota. En la figura se muestra el lateral derecho perteneciente al bus Volkswagen 9-150 este vehículo se encuentra estacionado en el parqueadero de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

Figura 22.

Vista lateral del modelado de la superestructura del bus Volkswagen 9-150



Nota. En la figura se muestra el lateral derecho de la superestructura perteneciente al bus Volkswagen 9-150, también se visualiza la perfilera que se a utilizado en la elaboración de este panel, es modelado en software CAD (SolidWorks).

Figura 23.

Vista posterior del bus Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE



Nota. En la figura se muestra el panel lateral derecho perteneciente al bus Volkswagen 9-150, también se visualiza detalles de la carrocería como son emblemas y colores característicos de los buses de la Universidad de las Fuerzas Armadas, este panel es modelado en software CAD (SolidWorks).

Panel Posterior.

La carrocería del microbús no deberá tener más de 75 mm a cada lado del ancho máximo del chasis, y el ancho máximo del vehículo será de 2600 mm medidos en la parte más prominente de la estructura.

Figura 24.

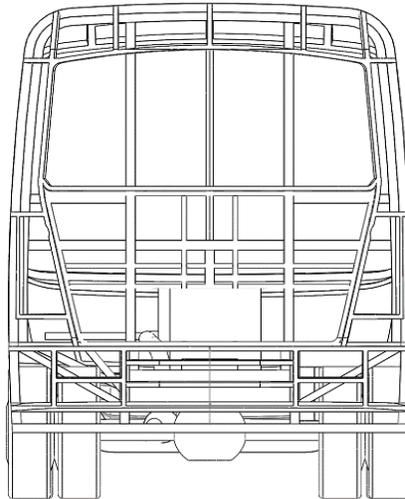
Vista posterior del bus Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE



Nota. En la figura se muestra la vista posterior perteneciente al bus Volkswagen 9-150 este vehículo se encuentra estacionado en el parqueadero de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

Figura 25.

Vista posterior del modelado de la superestructura del bus Volkswagen 9-150



Nota. En la figura se muestra la vista posterior de la superestructura perteneciente al bus Volkswagen 9-150, también se visualiza la perfilera que se a utilizado en la elaboración de este panel, es modelado en software CAD (SolidWorks).

Figura 26.

Vista posterior del bus Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE



Nota. En la figura se muestra el panel posterior perteneciente al bus Volkswagen 9-150, también se visualiza detalles de la carrocería como son emblemas y colores característicos de los buses de la Universidad de las Fuerzas Armadas, este panel es modelado en software CAD (SolidWorks).

Panel Frontal superior.

Como nos indica la normativa NTE INEN 1668 en su tabla 3 acerca del voladizo delantero y posterior, esta medida se tomará tanto del eje delantero como trasero hacia el extremo final en la

carrocería frontal y posterior, dicha medida no podrá superar el 66% de la distancia entre ejes ni ser superior a 2400 mm

Figura 27.

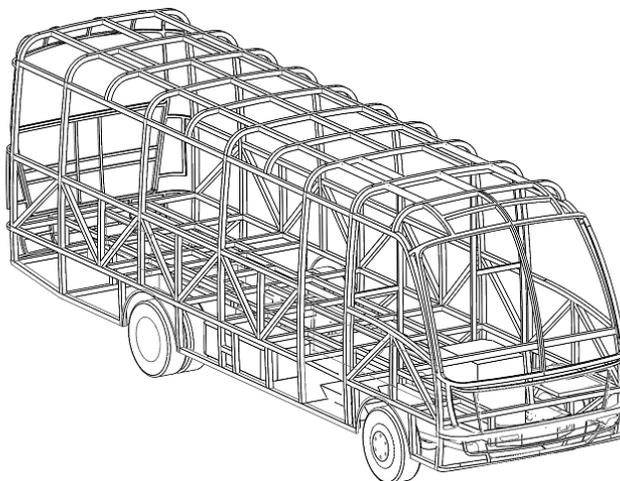
Vista lateral y frontal del bus Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE



Nota. En la figura se muestra la vista lateral y frontal perteneciente al bus Volkswagen 9-150 este vehículo se encuentra estacionado en el parqueadero de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

Figura 28.

Vista lateral y frontal del modelado de la superestructura del bus Volkswagen 9-150



Nota. En la figura se muestra la vista lateral y frontal de la superestructura perteneciente al bus Volkswagen 9-150, también se visualiza la perfilería que se ha utilizado en la elaboración de este panel, es modelado en software CAD (SolidWorks).

Figura 29.

Vista lateral y frontal del bus Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE



Nota. En la figura se muestra el panel frontal y lateral perteneciente al bus Volkswagen 9-150, también se visualiza detalles de la carrocería como son emblemas y colores característicos de los buses de la Universidad de las Fuerzas Armadas, este panel es modelado en software CAD (SolidWorks).

Entorno cae para la simulación de ensayos

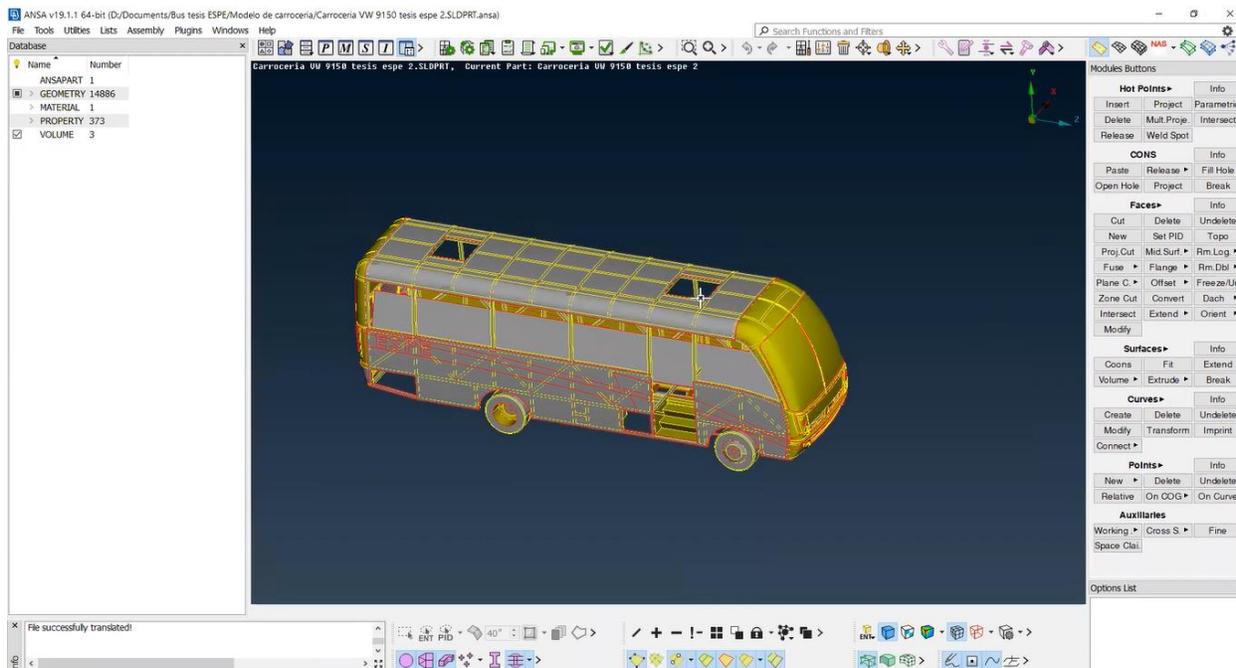
La ingeniería asistida por computador es basada en el uso de software que simula efectos físicos y ayuda a resolver problemas en la mayoría de los sectores industriales. Con la ayuda del entorno CAE, podremos modelar las diferentes geometrías utilizadas en el proyecto de investigación, agregar propiedades específicas a cada material y simular los efectos físicos que ocurren, tales como: tensión, desplazamiento y factor de seguridad.

Modelado de los componentes para la determinación de soldadura.

Para el modelado en el software CAE de los componentes que abarcan el ensayo de la determinación de la fragmentación se utilizó como base fundamental la norma técnica ecuatoriana (INEN 1323, 2009). Véase la figura 11, modelado de la carrocería bus escolar.

Figura 30.

Uniones entre perfiles

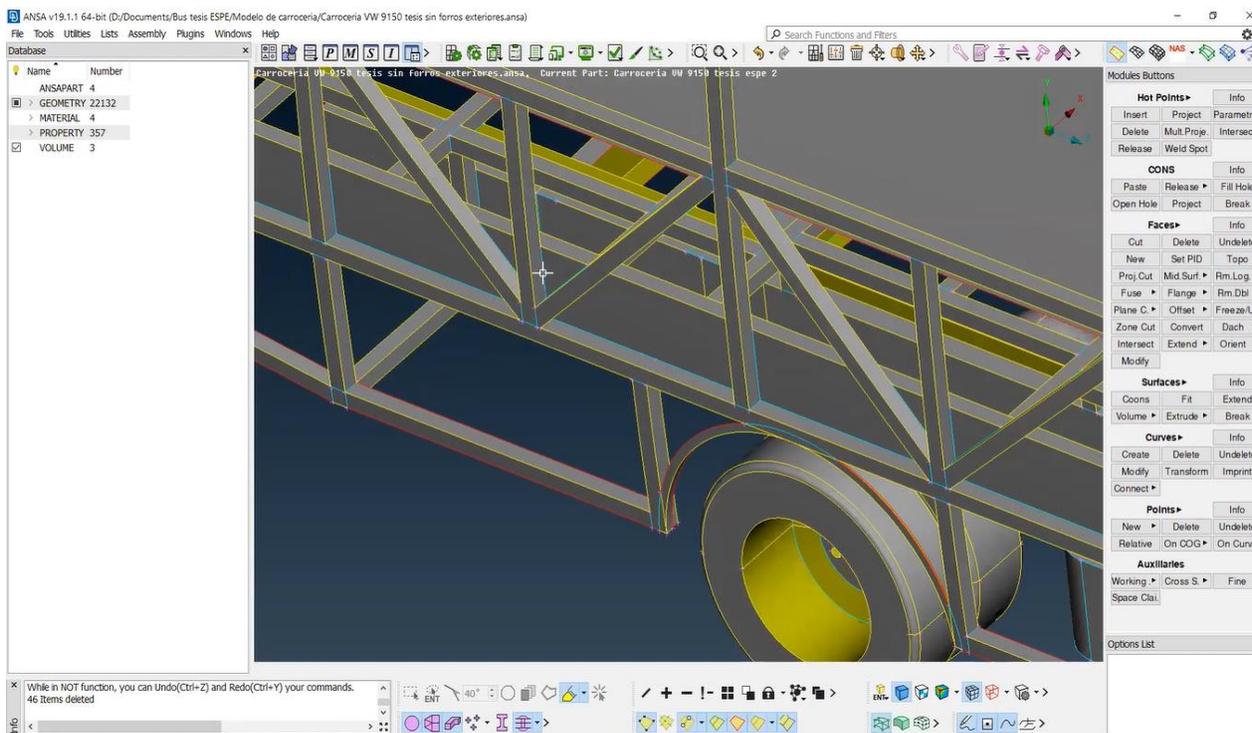


Nota. En la figura se muestra las diferentes uniones que existen en la superestructura del minibús, dichas uniones se deben encontrar sin conflictos entre sí para poder realizar un correcto mallado, es

necesario conocer las características físicas y mecánicas correspondientes a la carrocería para preparación de geometría en cuyo procedimiento se realiza el mallado de la estructura.

Figura 31.

Trazos para las diferentes uniones



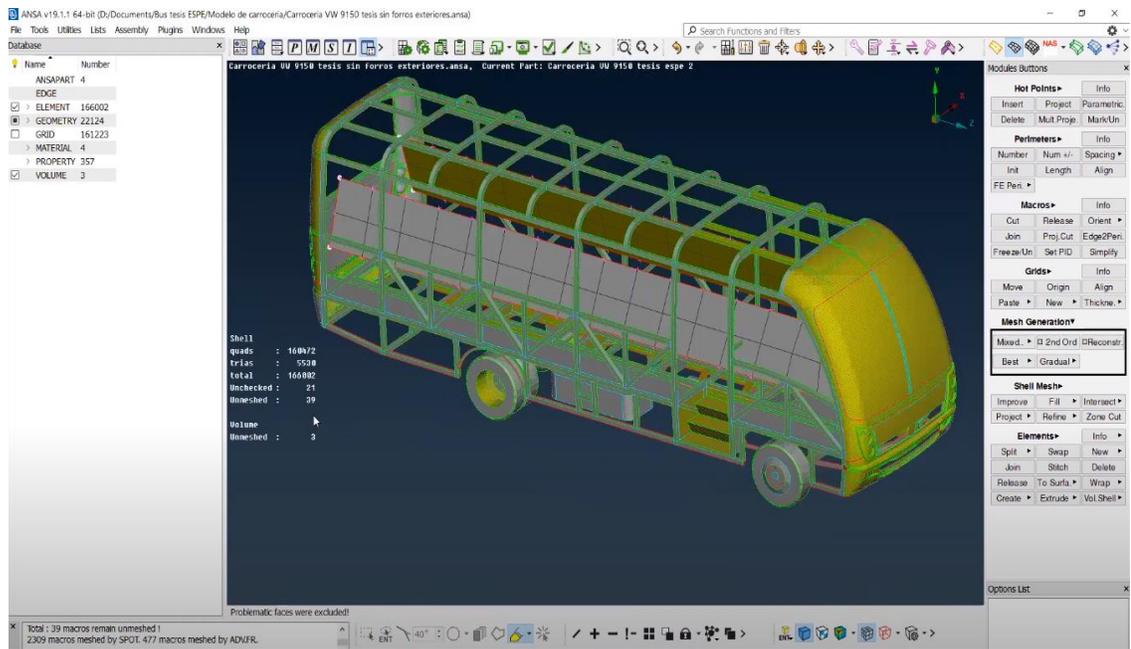
Nota. En la figura se muestran diferentes colores de trazos en los cuales la soldadura de dos tubos en contacto se representará con líneas celestes, líneas de color rojo representara superficies abiertas y las amarillas son la conformación de un solo cuerpo en toda su longitud.

Para el procedimiento de soldadura el software CAE permite realizar la unión entre cada una de las caras que se encuentran en contacto, para este proceso se selecciona la pestaña Topo para generar de una manera más sencilla la unión de la geometría, lo que simplifica la programación en código K acerca de las cartas de control o keywords mediante las cuales es factible operar el software LS-DYNA.

Mallado para análisis MEF.

Figura 32.

Generación de malla



Nota. En la figura se muestra el mallado de la superestructura del minibús, para este caso utilizaremos una malla de 500 mm para la zona de supervivencia mientras que para el resto de componentes utilizaremos un mallado de 25 mm.

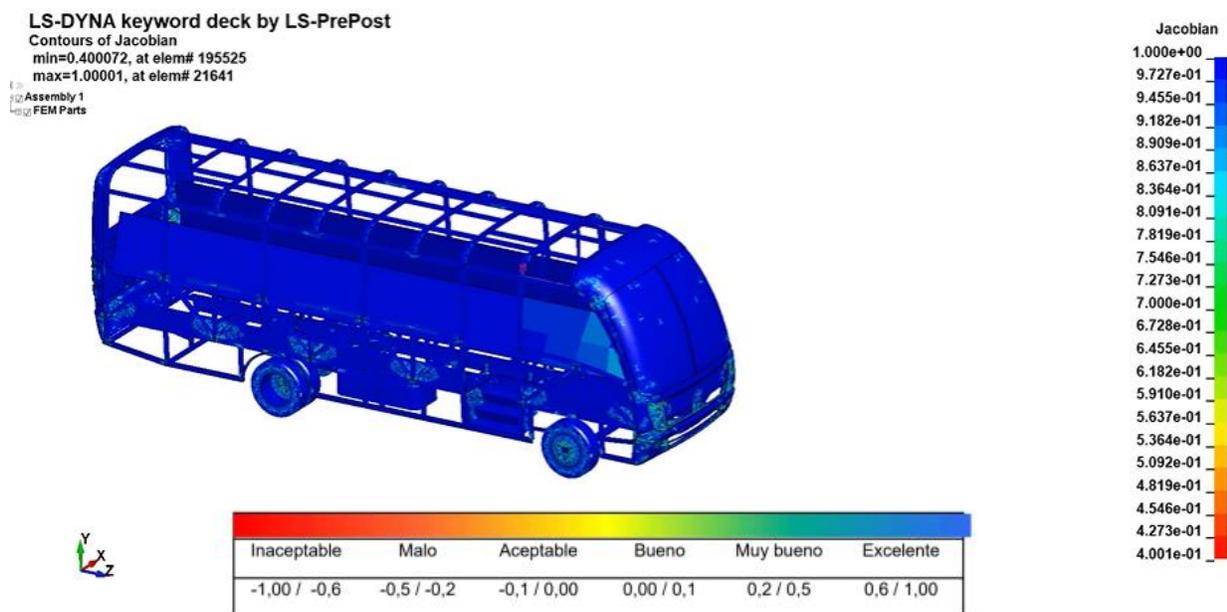
Interfaz de Pre-Procesador. Una vez terminado el proceso de mallado automático en el Pre Procesador se puede exportar directamente a otro tipo de software especializado en análisis.

El mallado de los componentes es un paso importante al momento de realizar un análisis de diseño. El modelado se encuentra conformado por elementos sólidos tetraédricos en 3D, elementos de vaciado triangulares en 2D y elementos estructurales, por lo que se utiliza el tipo de mallado mixto.

Después de configurar los parámetros del mallado, se verifica su calidad utilizando los parámetros, íconos y ventanas requeridos. ANSYS evalúa los parámetros de calidad de la red, y los principales valores a considerar son jacobianos.

Figura 33.

Calidad de malla Criterio jacobiano.



Nota. En la Figura se muestra estos datos conseguidos en el ciclo de mallado de la estructura según el criterio Jacobiano se tiene un mallado excelente del modelo de bus que se utiliza para el análisis.

Asignación del material en cartas de control.

El modelado del minibús será creado bajo elementos tipo Shell los mismos que carecen de espesor, debido a esto se especificara dichos espesores mediante la ayuda de recursos computaciones como los son los keywords o cartas de control en los cuales se encuentran modelos matemáticos para diferentes tipos de materiales

Tabla 5.

Clasificación y propiedades mecánicas de los tubos NTE INEN 2415

Grado	Descripción	Límite de fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tracción mínima (MPa)	Elongación mínima en 50 mm ^A %
AC	Tubo para usos generales	--	290	≥ 35
A	Tubos estructurales sección circular	230	310	25 ^B
B		290	400	23 ^C
C		315	425	21 ^D
D		250	400	23 ^C
A	Tubos estructurales sección cuadrada, rectangular o especial	270	310	25 ^B
B		315	400	23 ^C
C		345	425	21 ^D
D		250	400	23 ^C
[†] ASTM A500/A500M Table 2 Tensile requirements. ^A El mínimo valor de elongación especificado aplica únicamente a los ensayos realizados antes del envío del tubo. ^B Se aplica a espesor de pared (e) igual o mayor a 3,05 mm. Para espesores menores del especificado, el valor mínimo de elongación en 50 mm debe ser calculado por la ecuación $\% = 2,2 e + 17,5$ redondeado al espesor más cercano. ^C Se aplica a espesor de pared (e) igual o mayor a 4,57 mm. Para espesores más ligeros el mínimo valor de elongación en 50 mm debe ser calculado por la formula $= 2,4 e + 12$ redondeado al espesor más cercano. ^D Se aplica a espesor de pared (e) igual o mayor a 3,05 mm. Para espesores más ligeros el mínimo valor de elongación en 50 mm, puede ser por acuerdo con el fabricante.				

Nota. Tomado de NTE INEN 2415

Esta tabla muestra la clasificación y propiedades de los tubos utilizados en la construcción de carrocerías, todos los fabricantes de aceros deberán cumplir con esta norma, vienen dados por distintos grados y dependerán también de su geometría siendo los tubos cuadrados más resistentes que los tubos redondos, normalmente para la construcción de buses se utiliza tubos estructurales de sección cuadrada o rectangular y de características ASTM A500 de grado A.

Simulación determinación de la resistencia al impacto

Para poder iniciar con la introducción del modelo a ser analizado, es necesario abrirlo, configurar las unidades a utilizar y asignar el tipo de elemento a usar, los archivos generados deben ser

guardados con la extensión *. K que el software reconoce como carta de control o keyword. El sistema de unidades que se emplea en el presente estudio se define como:

Tabla 6.

Sistema de unidades para Ls-Prepost

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

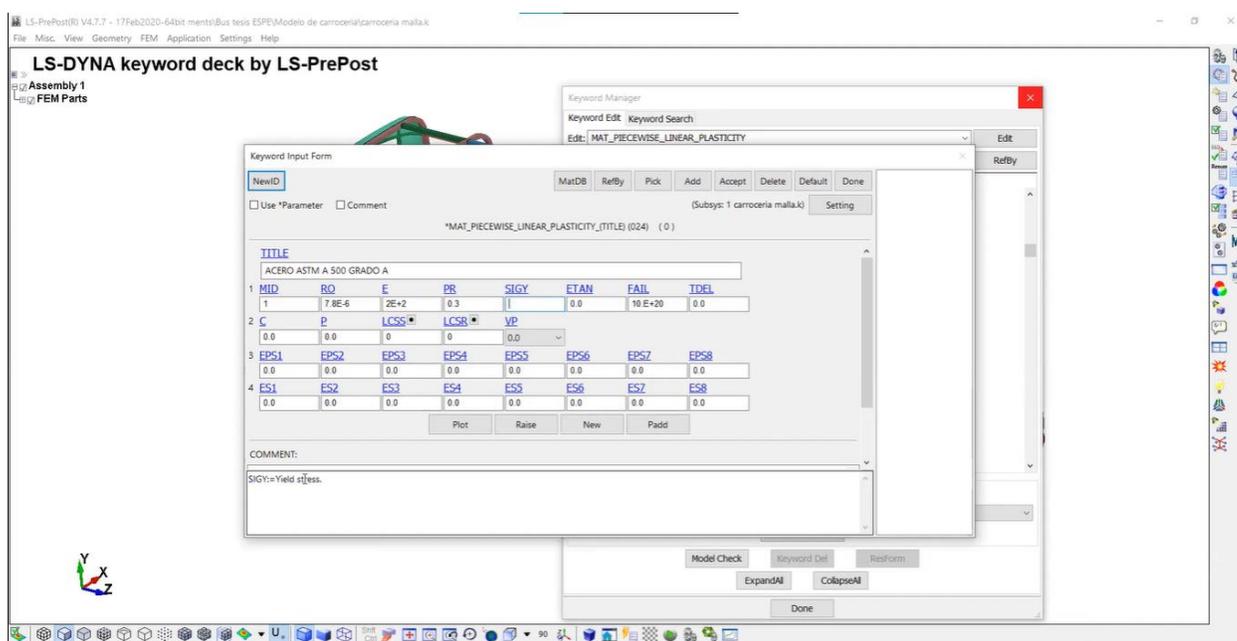
Nota: Tomado de LS-DYNA Support.

Esta tabla muestra como dentro de LS Pre-Post no se cuenta con una interface que muestre con que unidades se está trabajando para ello se recurre a recursos externos

Una vez importado el modelo resultante de la aplicación del comando Meshing en ANSA, se creará el material de acuerdo con las propiedades mencionadas en la Tabla abriendo la opción Keyword Manager o Listado de Cartas de Control. Esta opción permite asignar las propiedades a todo el modelo, así como modificar o verificar las propiedades asignadas previamente. En la opción MAT y seleccionar según lo indica el (CEPE, 2011), introduciéndose propiedades para un material rígido.

Figura 34.

Keyword de entrada para propiedades mecánicas del material



Nota. En la Figura se muestra la carta de control para asignar valores de propiedades mecánicas a un material (Keyword Input Form), en la misma se colocarán los valores como son:

Tabla 7.

Propiedades mecánicas para cartas de control

Propiedades mecánicas para cartas de control	
Densidad del acero	$\delta=7800\text{kgm}^3$
Módulo de elasticidad	$\varepsilon=2e-9\text{MPa}$
Radio de poisson	$r = 0,3$

Límite de fluencia

$$S_y = 270 \text{ MPa}$$

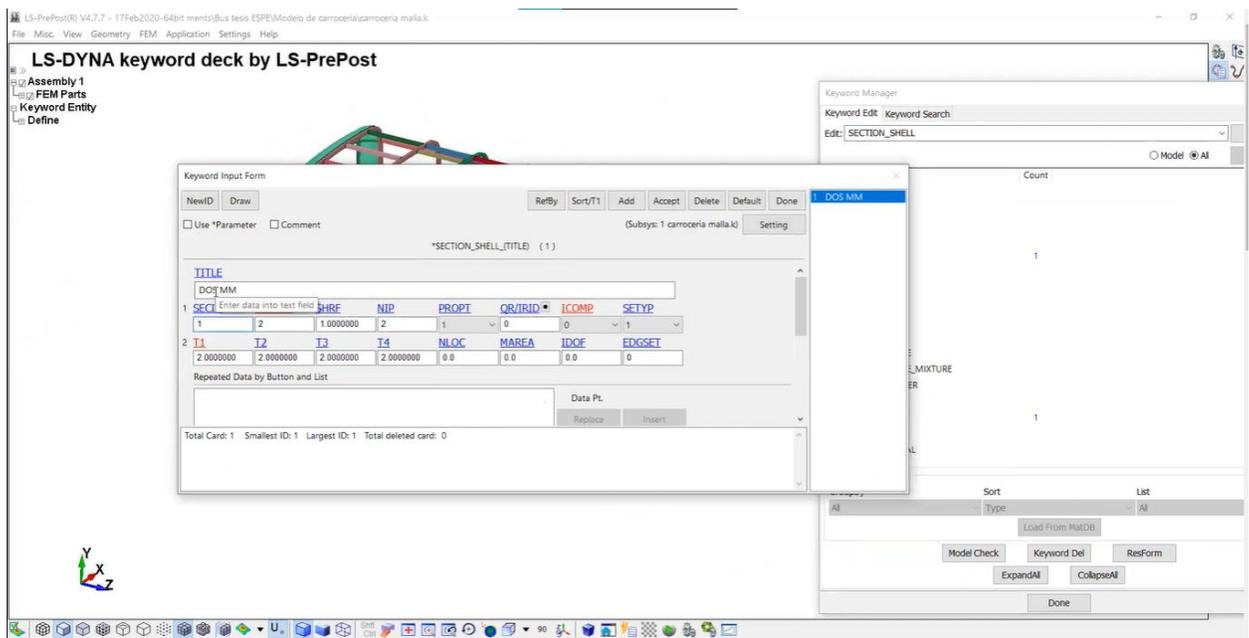
Resistencia ultima a la tracción

$$S_u = 310 \text{ MPa}$$

Nota. En la Tabla se muestra valores a asignar correspondientes a propiedades mecánicas a un material, (Keyword Input Form).

Tabla 8.

Keyword de entrada para espesores de elementos



Nota. En la figura se muestra la creación de un espesor de 2mm el cual es el más usado dentro de todo el modelo de simulación, para otros elementos que requieran otros espesores se deberán crear de la misma manera que se a realizado con este.

Simulación de plataforma para ensayo de vuelco.

Banco de ensayo

Se realiza la simulación de la plataforma de basculamiento para ensayo de vuelco con las dimensiones establecidas según el reglamento R66 de las Naciones Unidas en su anexo 5.

Figura 35.

Plataforma de basculamiento



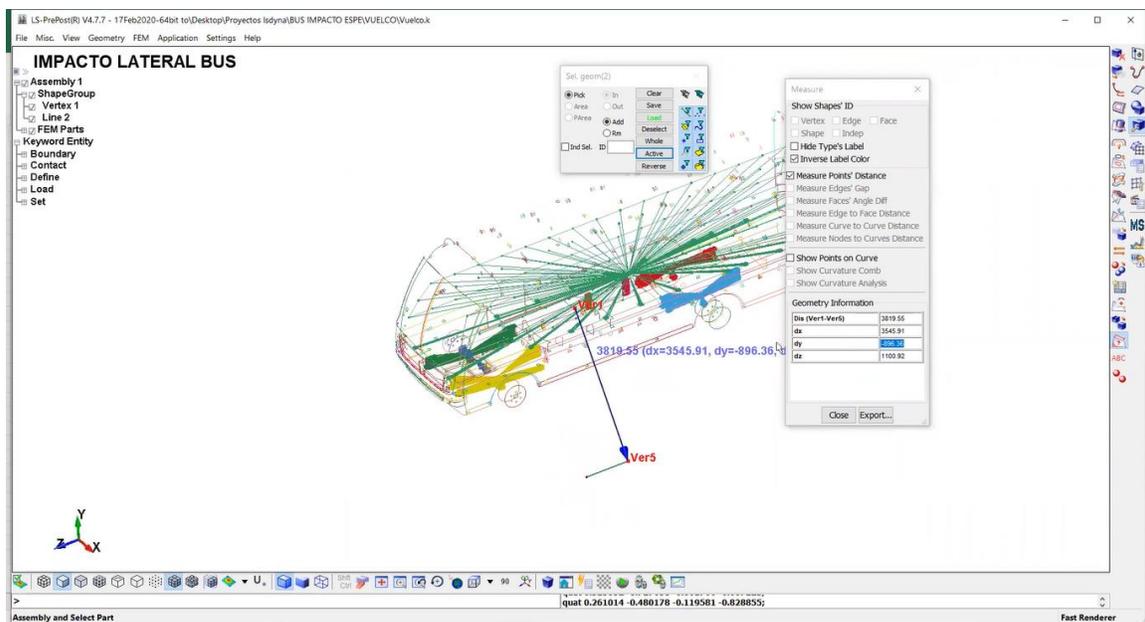
Nota. En la figura se muestra la plataforma de basculamiento, la cual deberá rotar levantando simultáneamente los ejes del vehículo, sus características y especificaciones se detallan en el Reglamento número 66.

Centro de gravedad

Gracias al software de preparación se puede obtener el centro de gravedad (CDG) de la superestructura sin necesidad de calcularlo.

Figura 36.

Centro de gravedad



Nota. En la Figura se muestra el centro de gravedad del modelo de bus, según nos menciona el Reglamento 66 de las naciones unidas las energías tanto referencial como total que se absorben dentro del ensayo de vuelco dependen directamente de la posición del centro de gravedad.

Los datos obtenidos son:

$$X_{cg} = 1085 \text{ mm}$$

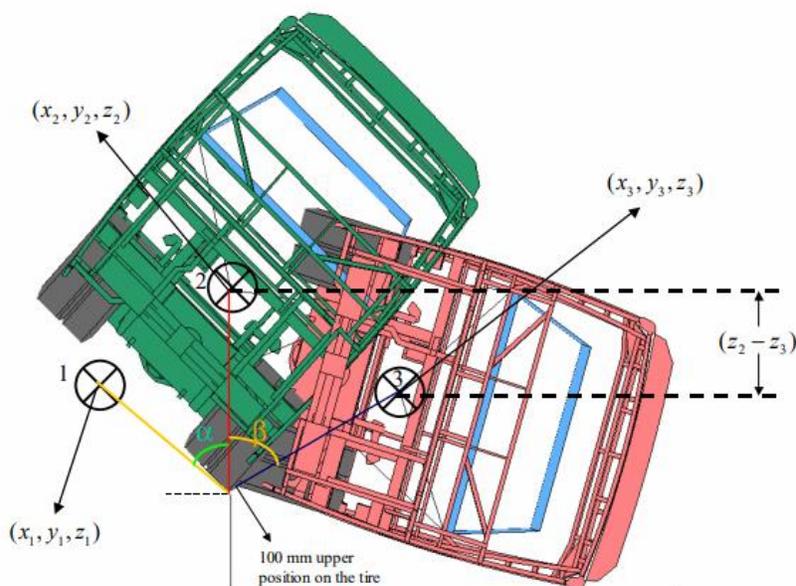
$$Y_{cg} = 896.36 \text{ mm}$$

Cálculo del ángulo de vuelco

Para calcular el punto en el cual el autobús pierde estabilidad a partir del cual se inicia el vuelco, e puede estudiar el movimiento del centro de gravedad a medida que gira alrededor del punto de pivote. El ángulo de bobinado se obtiene cuando el CDG se alinea con el eje vertical que pasa por el punto de pivote.

Figura 37.

Angulo de viraje



Nota. En la Figura se muestra el ángulo de viraje en 3 posiciones que sufre el bus en el ensayo de vuelco con respecto a su centro de gravedad, cuando la superestructura esta estable, cuando pierde estabilidad y antes de impactar este ángulo pertenece a la relación entre la plataforma de basculamiento y la horizontal.

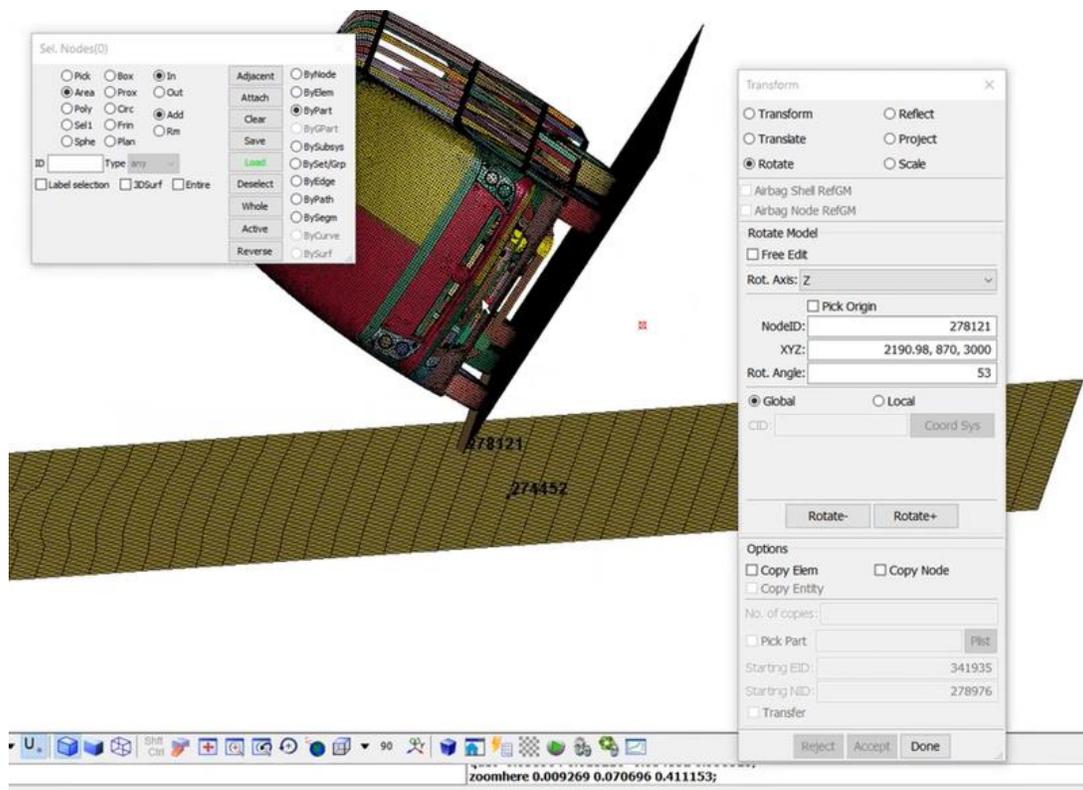
$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{X_{cg}}{Y_{cg} - 80} \right) \quad (4)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1085}{896.36 - 80} \right) = 53,041 \quad (5)$$

Al realizar los cálculos se obtiene que la superestructura va a perder estabilidad lateral cuando la plataforma para el ensayo ha rotado un ángulo superior a 53°.

Figura 38.

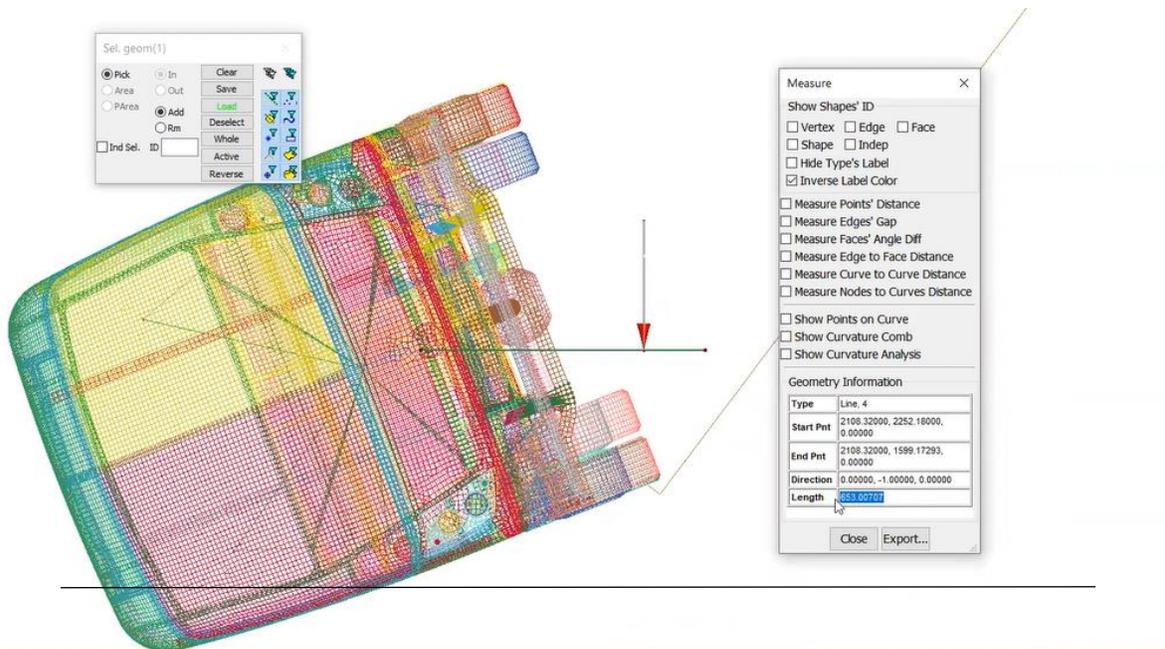
Angulo de pérdida de estabilidad lateral



Nota. En la figura se muestra el momento en el que la superestructura del bus pierde estabilidad lateral es decir el momento anterior a que comience el vuelco, este ángulo que se forma entre la plataforma de basculamiento y la horizontal es de 53,04°.

Figura 39.

Angulo previo al impacto



Nota. En la Figura se muestra el momento previo en el que la superestructura del bus llega a tocar el suelo, este ángulo que se forma entre la plataforma de basculamiento y la superficie de la rueda es de 58,5°.

El movimiento vertical del centro de gravedad Δ_h se calcula dada la ecuación

$$\Delta_h = h_1 - h_2 \quad (6)$$

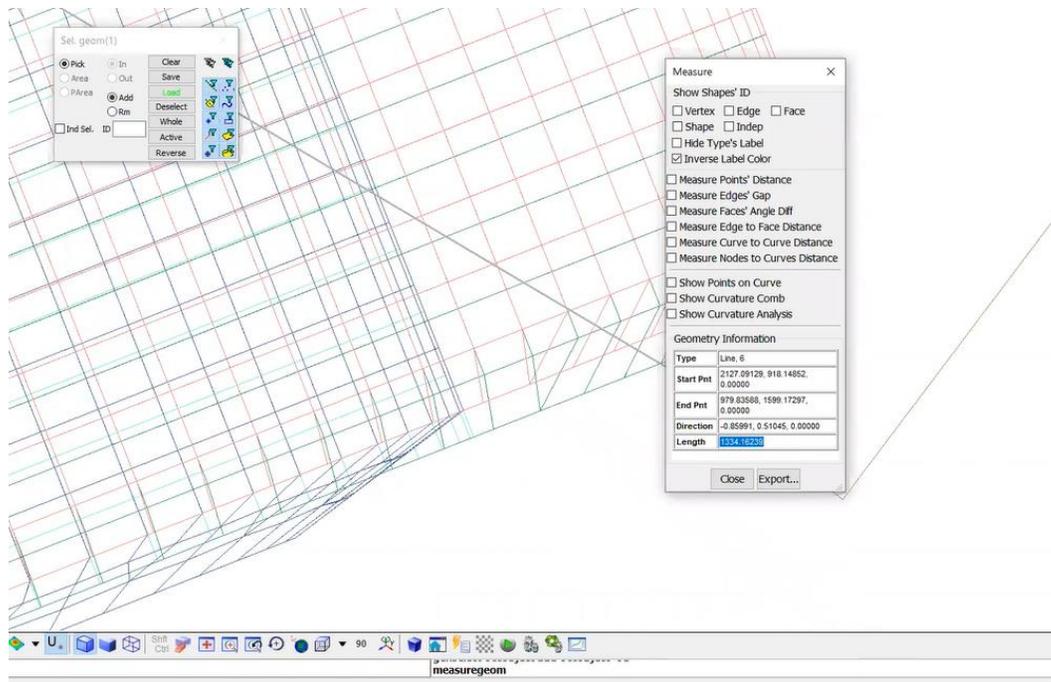
$$\Delta_h = 2252.18 \text{ mm} - 1599.01 = 653.01 \text{ mm}$$

Radio de giro

Para la determinación del radio de giro se lo realiza con el software de preparación se mide la distancia del punto de centro de gravedad antes del impacto como se muestra en la figura, de referencia inicial por lo que nos da un valor de radio de giro de $r = 134.36 \text{ mm}$.

Figura 40.

Radio de giro

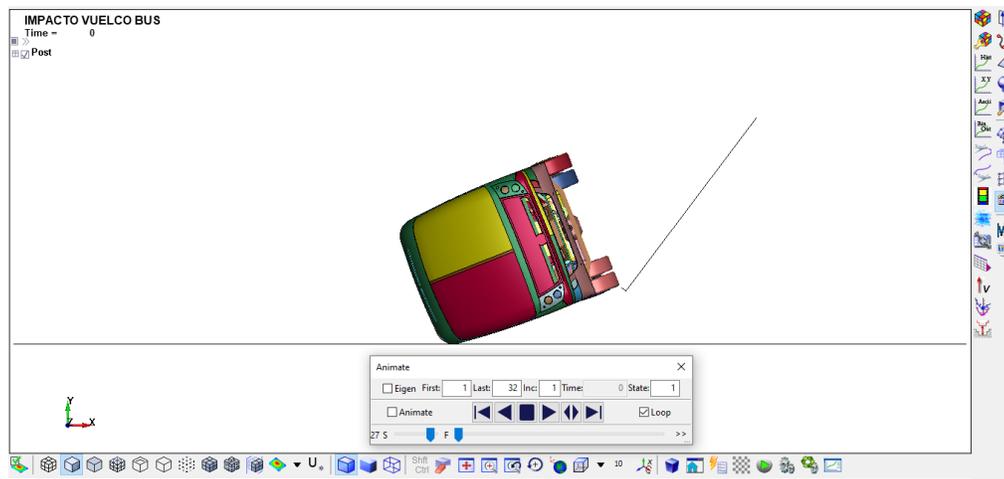


Nota. En la Figura se muestra el radio de giro que posee la superestructura al momento de realizar la simulación de vuelco.

Simulación de impacto

Figura 41.

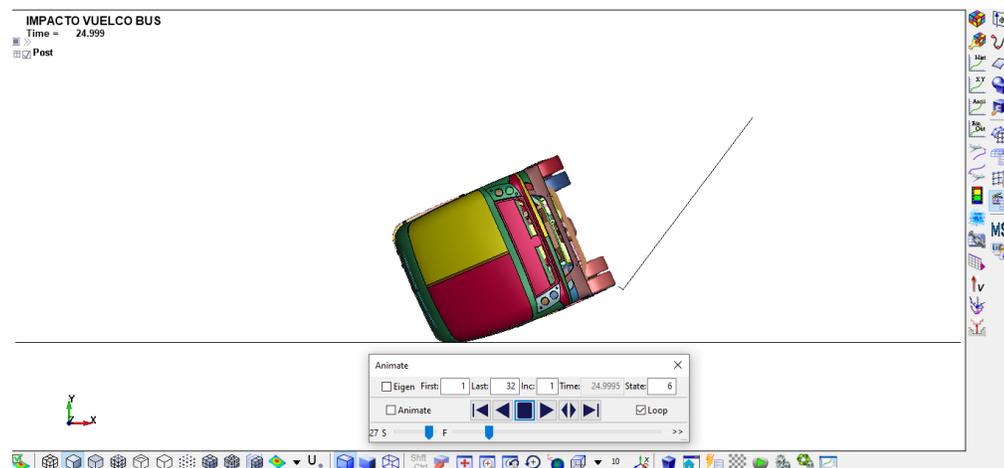
Simulación de impacto con un tiempo de 0 ms



Nota. En la Figura se muestra el comienzo de la deformación de la superestructura al impactarse contra el suelo, 0 milisegundos.

Figura 42.

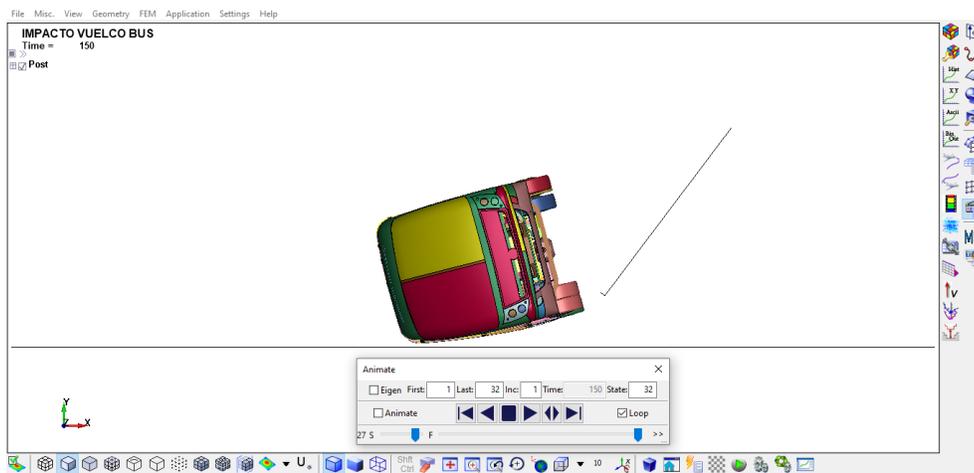
Simulación de impacto con un tiempo de 25 ms



Nota. En la Figura se muestra la deformación de la superestructura al impactarse contra el suelo una vez que a transcurrido 25 milisegundos.

Figura 43.

Simulación de impacto con un tiempo de 150 ms



Nota. En la Figura se muestra la deformación final que sufre la superestructura al impactarse contra el suelo una vez que a transcurrido 150 milisegundos.

Capítulo IV

Análisis de resultados

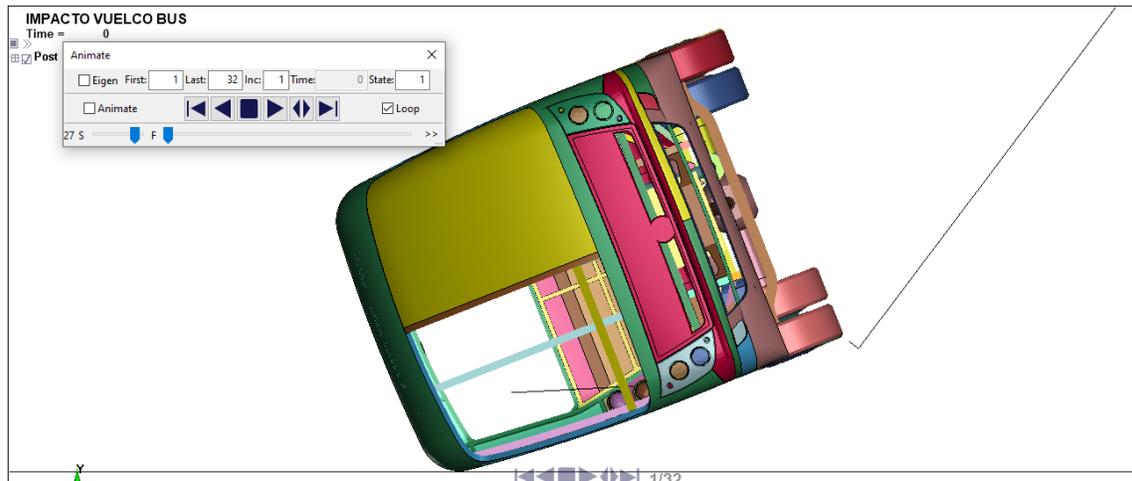
A continuación, se realizará un análisis de los resultados obtenidos en el ensayo de simulación de vuelco, extrayendo las gráficas, desplazamientos, valores de deformación y esfuerzos obtenidos por el software con los cuales se verificará si en el instante del impacto al suscitarse un vuelco la zona de supervivencia es invadida.

Análisis del espacio de supervivencia

Para que una estructura sea homologada y cumpla lo establecido en la norma internacional de vuelco (CEPE, 2011) menciona que, “Ninguna parte del espacio de supervivencia deberá sobresalir del contorno de la estructura deformada; el contorno de la estructura deformada se determinará secuencialmente, entre cada montante de ventana o puerta adyacente; el contorno entre dos montantes deformados será una superficie teórica, determinada por líneas rectas, que conecte los puntos del contorno interior de los montantes que se encontraban a la misma altura sobre el nivel del piso antes del ensayo de vuelco”

Figura 44.

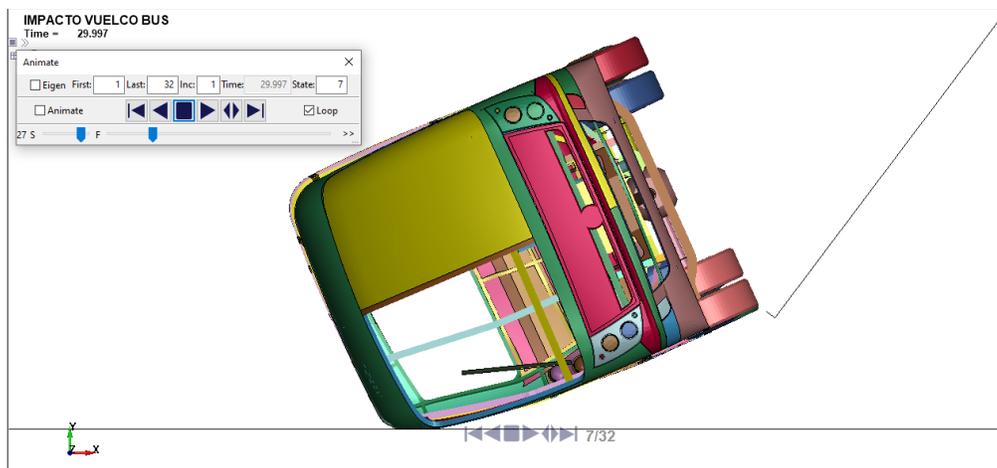
Posición antes de impactarse



Nota. Se muestra la posición de la estructura momentos antes del impacto.

Figura 45.

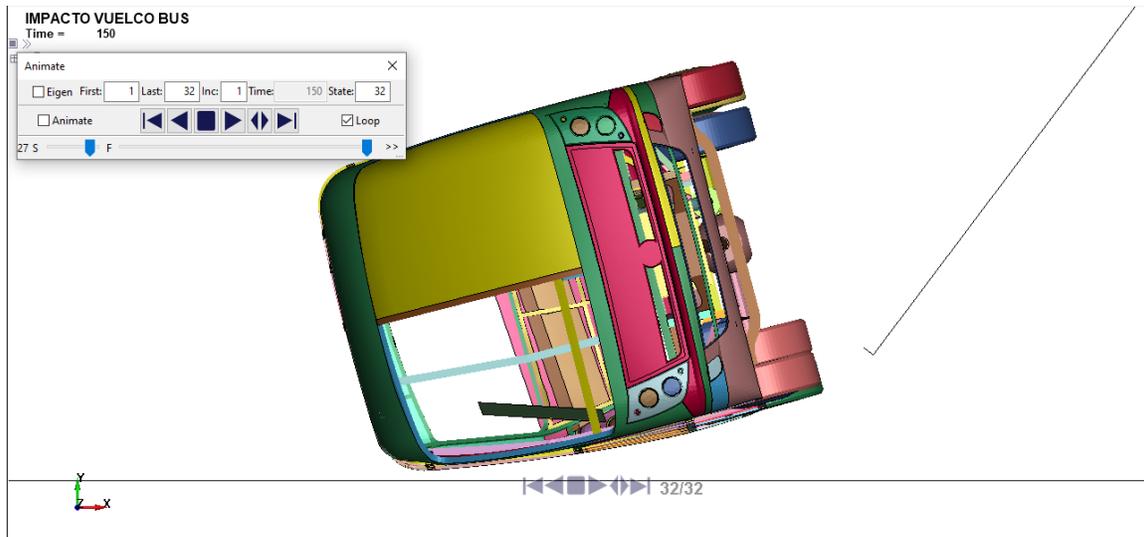
Posición al momento del impacto



Nota. A los 29.99 ms se muestra que la estructura se impacta y se observa que la zona de supervivencia no es invadida.

Figura 46.

Posición al momento del impacto



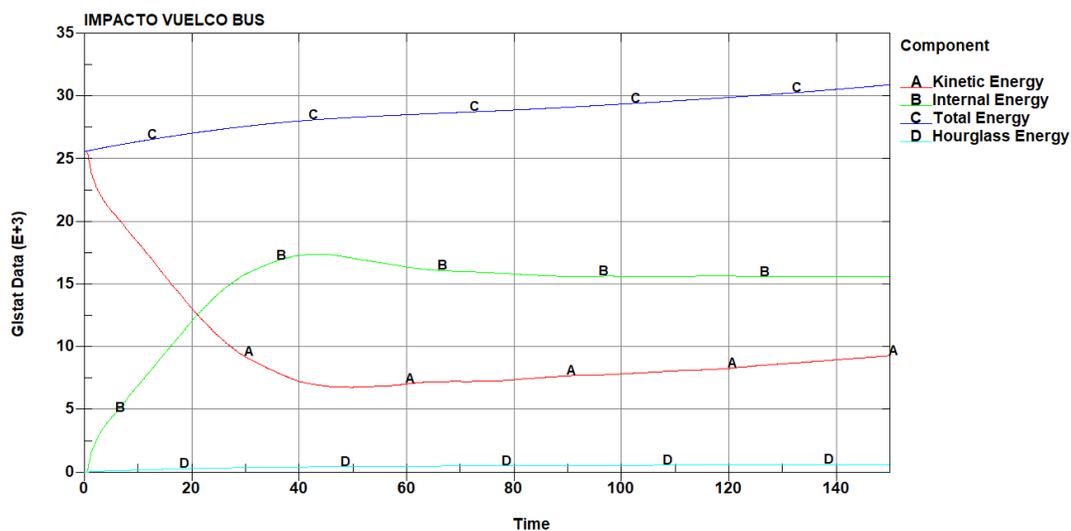
Nota. Se aprecia la estructura del bus después del impacto cuando ya se a transcurrido los 150 ms que se determinó para el análisis.

Como se puede reflejar en la secuencia de vuelco de las figuras, hasta que se impacta con la superficie en el instante $t=29.9$ ms, se puede apreciar tras el impacto la carrocería se deforma, se puede observar que la zona de supervivencia no es atravesada por ningún componente de la carrocería.

Análisis de energía

(CEPE, 2011) enuncia que, para homologar un vehículo, la energía total absorbida debe ser menor al 75% de la energía de referencia obtenida en el punto de equilibrio inestable, por lo cual, mediante el software CAE pueden obtenerse los datos requeridos de energía.

Figura 47.

Balance de energías

Nota. En la figura, se describe la variación de las energías interna, total, cinética y Hourglass durante todo el ensayo de vuelco, se considera un tiempo de ensayo de 150 ms al momento de impactar la carrocería con la superficie del suelo.

Para verificar la precisión de los resultados del ciclo de simulación, lo principal que se debe verificar es si la energía total se mantiene estable durante el período de impacto. En la figura, se muestra el gráfico que muestra las diferentes distribuciones de energía, la energía interna permanece constante después del impacto, que es uno de los signos de resultados favorables al impacto. Se ve muy claramente que la energía total aumenta levemente y según el reloj de arena la energía permanece insignificante.

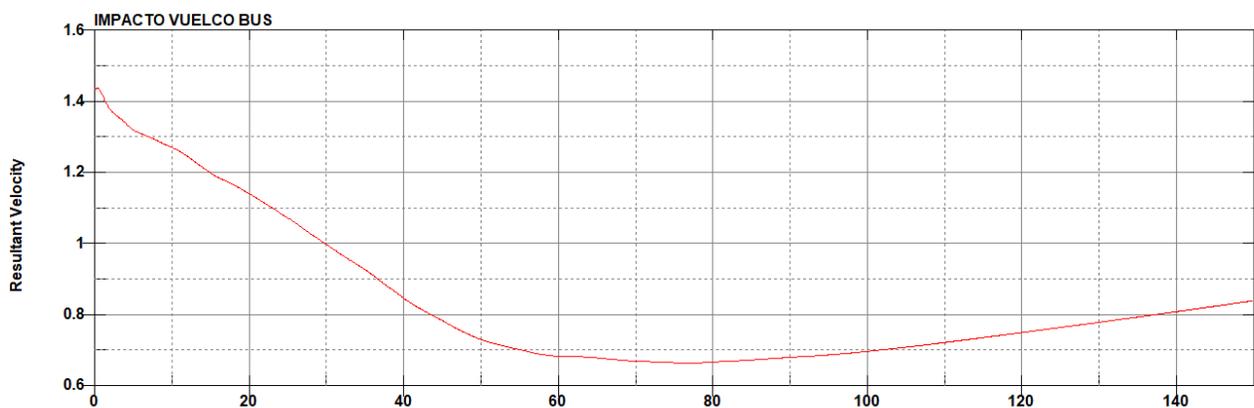
La energía del Hourglass, también conocida como energía del reloj de arena, es una forma de deformaciones y energías no físicas producidas en elementos de tipo Shell y elementos sólidos con

diferentes valores de tensión y energía la cual se considera que la cantidad cero es una condición dada en el modelo matemático dada por la condición de que debe ser inferior al 10 % de la energía interna máxima expresada o inferior al 5 % del valor de la energía total, es decir, se queda en 0 y decrece porque no hay otro parámetro que controle esta energía

Velocidad

Figura 48.

Velocidad de impacto



Nota. El resultado de la velocidad va descendiendo

La velocidad resultante de todo el ensayo expresada en la figura-, empieza desde que el ángulo inestable es decir cuando el autobús pierde la estabilidad, empieza con una velocidad de $1,45 \text{ mm/ms}$ y desciende de manera hasta el valor máximo 0.68 mm/ms en 80 ms, momento que ocurre el impacto en la superficie rígida. De igual manera se puede ver como después del impacto la velocidad asciende hasta llegar a 0.92 mm/ms esto debido a la propiedad de recuperación elástica que tienen los materiales después del impacto.

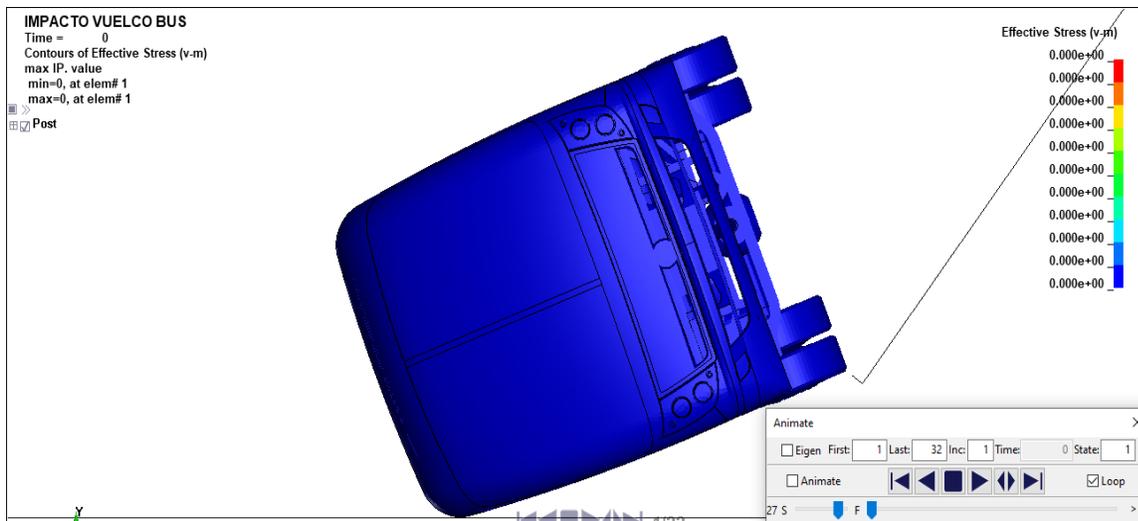
Análisis de esfuerzos

Aplicando la teoría de la máxima energía de distorsión o teoría de Von-Mises que permite conocer cuáles son los elementos estructurales que van a fallar por plastificación o que han fallado por rotura.

En las figuras, se puede observar el esfuerzo máximo que se registran en el instante que la estructura se golpea contra la superficie y se lo interpreta que la zona marcada por color verde expresa una tensión relativa y equilibrada a la fuerza de carga puntual aplicada, llegándose a interpretar como zona considerable de deformación y fractura. Mientras que los colores celeste y azul indican que las tensiones son relativamente menores a las anteriores, interpretando que su deformación y fractura en la zona no es considerable.

Figura 49.

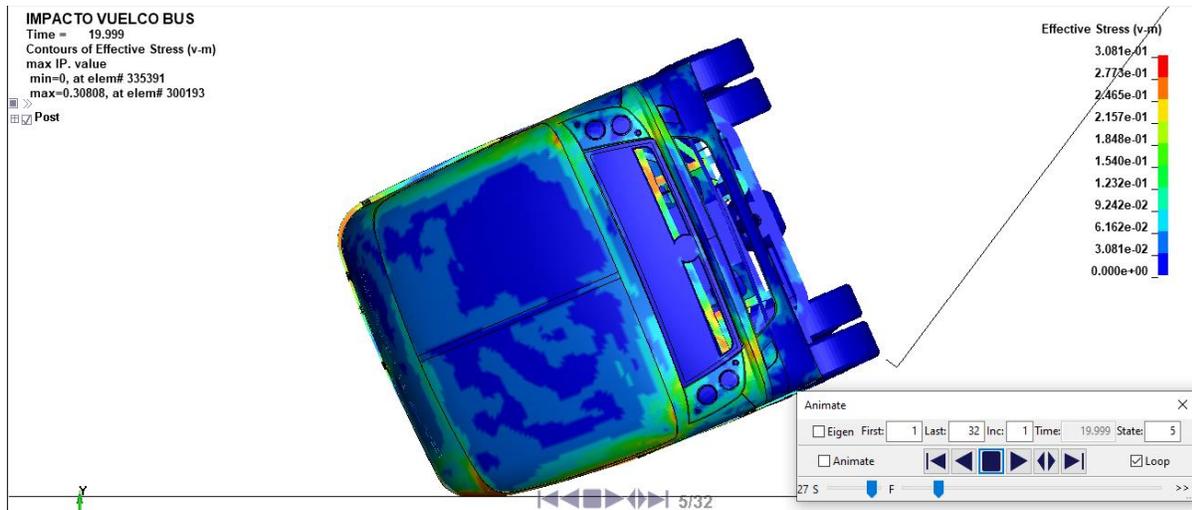
Esfuerzos de Von-Mises antes de impactarse



Nota. En la figura se observa los esfuerzos antes de que a carrocería toque la superficie.

Figura 50.

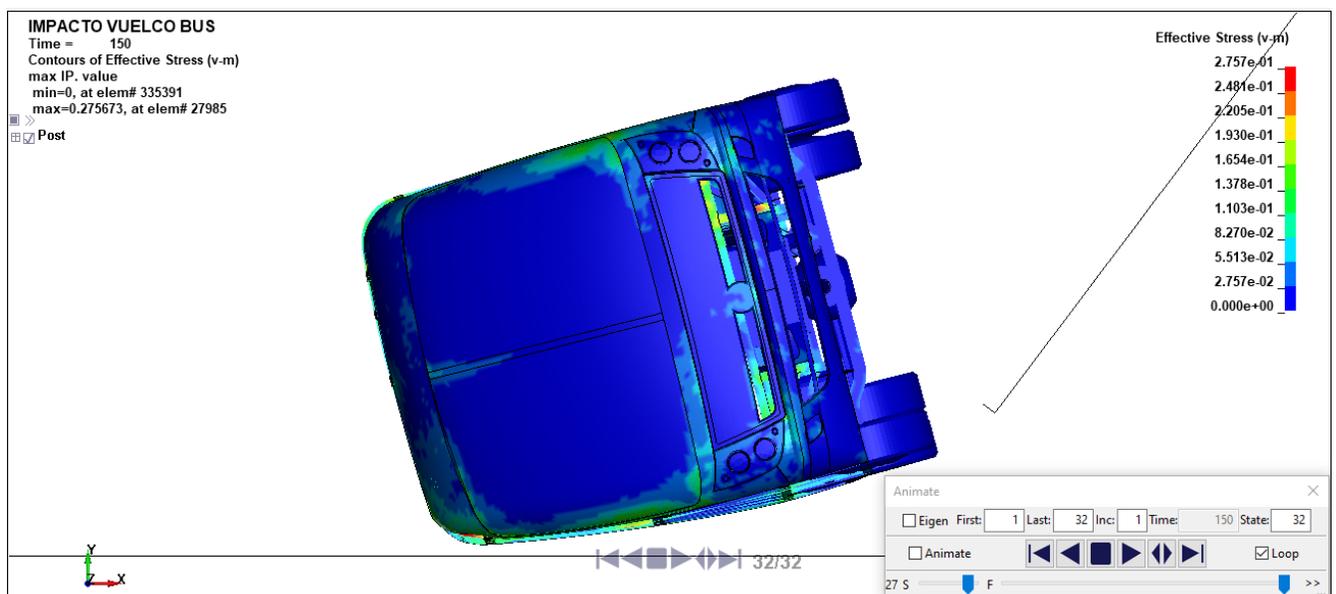
Esfuerzos de Von-Mises al momento del impacto



Nota. En la figura se observa los esfuerzos en el momento del impacto

Figura 51.

Esfuerzos de Von-Mises después del impacto



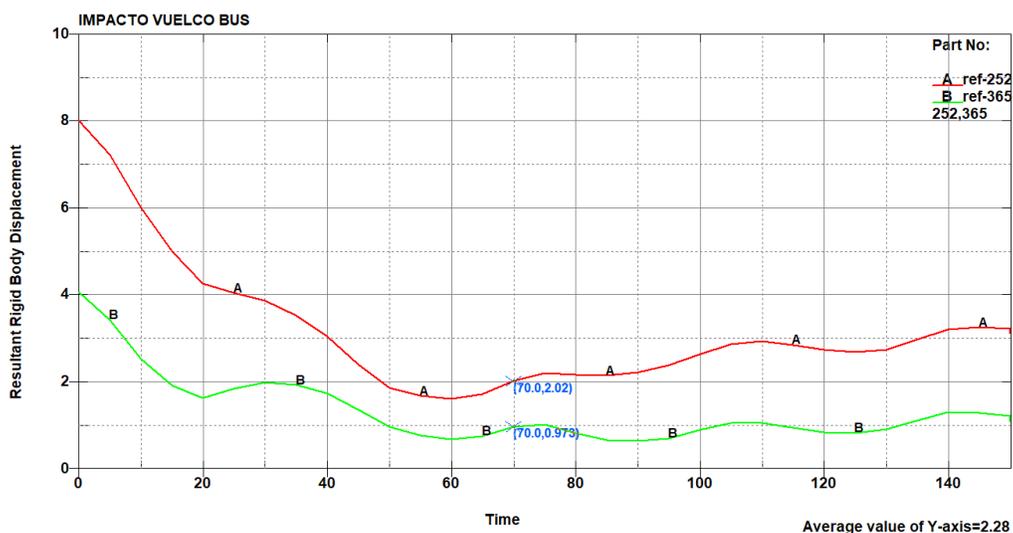
Nota. Las tensiones máximas se registran en el instante del que la carrocería se impacta con la superficie del suelo coincidiendo $t=19.99$ ms en que se produce la deformación plástica. La tensión máxima equivalente máxima de Von-Mises alcanza un valor de 308 MPa, el valor encuentra por debajo del límite elástico de 310 Mpa del material de los elementos seleccionados.

Desplazamientos

La figura, muestra el comportamiento de la carrocería en su desplazamiento frente a la situación de vuelco, interpretando que en la zona marcada de color anaranjado existe mayor desplazamiento y va disminuyendo el valor de desplazamiento hasta ser considerable en la zona marcada de color verde, posteriormente en las zonas marcadas por color celeste y azul no existe consideración de desplazamiento debido a la lejanía de la fuerza puntual. Por lo tanto, las zonas marcadas de celeste y azul existe fracturas de mayor peso y dimensión.

Figura 52.

Resultado de desplazamiento antes de impactarse.



Nota. En la Figura, se muestra las curvas de desplazamiento del espacio de supervivencia de pasajeros respecto a la superestructura del autobús. La curva B representa la parte lateral derecha de la carrocería, que describen el desplazamiento del punto más cercano de la zona de supervivencia respecto a la estructura con la curva A.

En la Figura, la curva A representa el desplazamiento del espacio de supervivencia de los pasajeros con respecto a las curvas B, que representan los nodos de los elementos en la órbita del espacio de supervivencia durante la prueba de vuelco, con una distancia inicial máxima de 40 mm al inicio de la prueba, una distancia de 20 mm una de después de la prueba para que el espacio no sea penetrado por la estructura superior del autobús en caso de colisión. Este resultado demuestra el cumplimiento de la norma técnica NTE INEN 1323, que especifica que las estructuras del cuerpo deben resistir para que el espacio vital no se vea comprometido dentro del alcance del documento de la ONU Reglamento 66.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- La estructura de la carrocería del bus escolar de la Universidad de las Fuerzas Armadas Volksbus 9-150 cumple con la normativa INEN 1323:2009, ya que en se pudo evidenciar que la deformación de la misma no superó los valores máximos de deformación que indica la normativa.
- Gracias al diseño asistido por ordenador, se desarrollan los elementos, componentes y compartimentos de la carrocería teniendo en cuenta las dimensiones obtenidas en el trabajo de campo, y posteriormente se diseñó el modelo en software, proporcionando una serie de herramientas para acercar los elementos reales a la obtención de simulaciones. con resultados cercanos a la realidad.
- No hay componentes estructurales que invadan el espacio de supervivencia, los resultados de la deformación plástica muestran que el valor máximo de deformación plástica de la componente finita es casi constante durante la prueba de reflexión, por lo que se puede observar que el espacio de supervivencia no se ve afectado antes ni durante de la prueba.
- La determinación de la posición del centro de gravedad del centro de gravedad, el ángulo de giro horizontal, el punto del centro de gravedad de los objetos antes de la colisión, el grosor y el valor del peso total del autobús son los más importantes para la simulación, porque de ellos se derivan todos los demás parámetros y restricciones

- El diagrama de Von-Mises ratifica que el espacio de supervivencia no fue invadido en el ensayo virtual de volteo el valor es inferior al límite elástico de 310 Mpa.

Recomendaciones

- Realizar un estudio basado en el análisis de lesiones que pueden ocurrir en situaciones de impacto, debido a que las lesiones que se producen son varias y con la ayuda del software Ls-Dyna se puede analizar a través de prototipos que existen en el software.
- Realizar un estudio, basándose en la simulación de un vuelco en una pendiente pronunciada para poder analizar las deformaciones que se producen y verificar si la zona de supervivencia es afectada.

Bibliografía

3D CAD PORTAL. (2016). *Análisis y simulación en ingeniería CAE*. Obtenido de <https://www.3dcadportal.com/3d-software/cae/>

Aranda Pazmiño, D. O., & Dután Amay, V. P. (Julio de 2009). *Estudio de aceros estructurales para la construcción de carrocerías para buses*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1634/1/CD-2300.pdf>

Armas Montenegro, R. A., & Escobar Sánchez, J. M. (2012). *Algoritmo de desenredo y suavizado para T-mallas*. Las Palmas de Gran Canaria. Obtenido de https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/8720/5/memoria_TFM_Jabel%20Ram%C3%ADrez.pdf

CEPE. (2007). Reglamento No 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (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. 45.

CEPE. (22 de Febrero de 2011). *Reglamento No 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)*. Obtenido de EUR-Lex: <https://www.boe.es/doue/2011/084/L00001-00045.pdf>

Chimbo Pilatasig, A. (2022). *Análisis del diseño del mecanismo biela manivela de un motor a gasolina de tres*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/>

Decreto Ejecutivo 1196. (2012). *REGLAMENTO A LEY DE TRANSPORTE TERRESTRE*. Quito.

Esmeraldas Meneses, C. A. (17 de agosto de 2016). *Análisis estructural basado en simulación por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial sometida a prueba de impacto lateral*

para determinar la geometría y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros.

Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11776>

Fabara Villacreses, V. H., & Garcés Naranjo, F. (2003). *LA ACCIDENTALIDAD EN EL TRÁNSITO VEHICULAR DE LA CIUDAD DE AMBATO*. Ambato.

Hamri, O., León, J.-C., Giannini, F., & Falcidieno, B. (2010). *Avances en Software de Ingeniería*. Ámsterdam: Elsevier.

INEN 1323. (3 de January de 2009). *NTE INEN 1323*. Recuperado el 20 de June de 2022, de INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-1323-1.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *VEHÍCULOS AUTOMOTORES. BUS URBANO. REQUISITOS*. QUITO: INEN. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2205-2.pdf>

Matolcsy, M. (2007). *THE SEVERITY OF BUS ROLLOVER ACCIDENTS*. Hungary.

NTE INEN 1668. (2015). *VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL*. Quito .

NTE INEN 1992. (1996). *Servicio de transporte escolar*. Quito.

NTE INEN 2043. (2013). *PLÁSTICOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TENSIÓN*. Quito. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2043-1.pdf>

NTE INEN 2205. (2010). *VEHÍCULOS AUTOMOTORES. BUS URBANO*. Quito.

NTE INEN 2205. (2010). *Vehículos automotores. Requisitos.* Quito, Ecuador. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-2205-2-Enm-1.pdf>

NTE INEN 2415. (2013). *TUBOS DE ACERO AL CARBONO SOLDADOS PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES Y USOS GENERALES.* QUITO. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2415-1.pdf>

Núñez Milán, G. (2017). *Simulación de un ensayo de vuelco de un autobús mediante LS-DYNA.* Madrid. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/288499598.pdf>

RTE INEN 041. (2013). *VEHÍCULOS DE TRANSPORTE ESCOLAR.* Quito.

SolidWorks. (2016). *INTRODUCCIÓN A SOLIDWORKS.* Obtenido de https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_ES.pdf

Villafuerte Buñay, L. E. (2017). *ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UNA CARROCERÍA AUTOPORTANTE PARA UN BUS INTERPROVINCIAL MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS PARA LA PRODUCCION EN SERIE.* Latacunga.

Anexos