



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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**

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

**AUTORES: Alvaro Acero, Henry David
Farinango Pichucho, Byron Santiago**

TUTOR: ING. Mena Palacios, Jorge Stalin

LATAGUNGA , Agosto 2022





*El éxito no es un accidente.
Es trabajo duro, perseverancia,
aprendizaje, estudio, sacrificio y,
sobre todo, amor por lo que
estás haciendo o aprendiendo
a hacer.*

Pelé

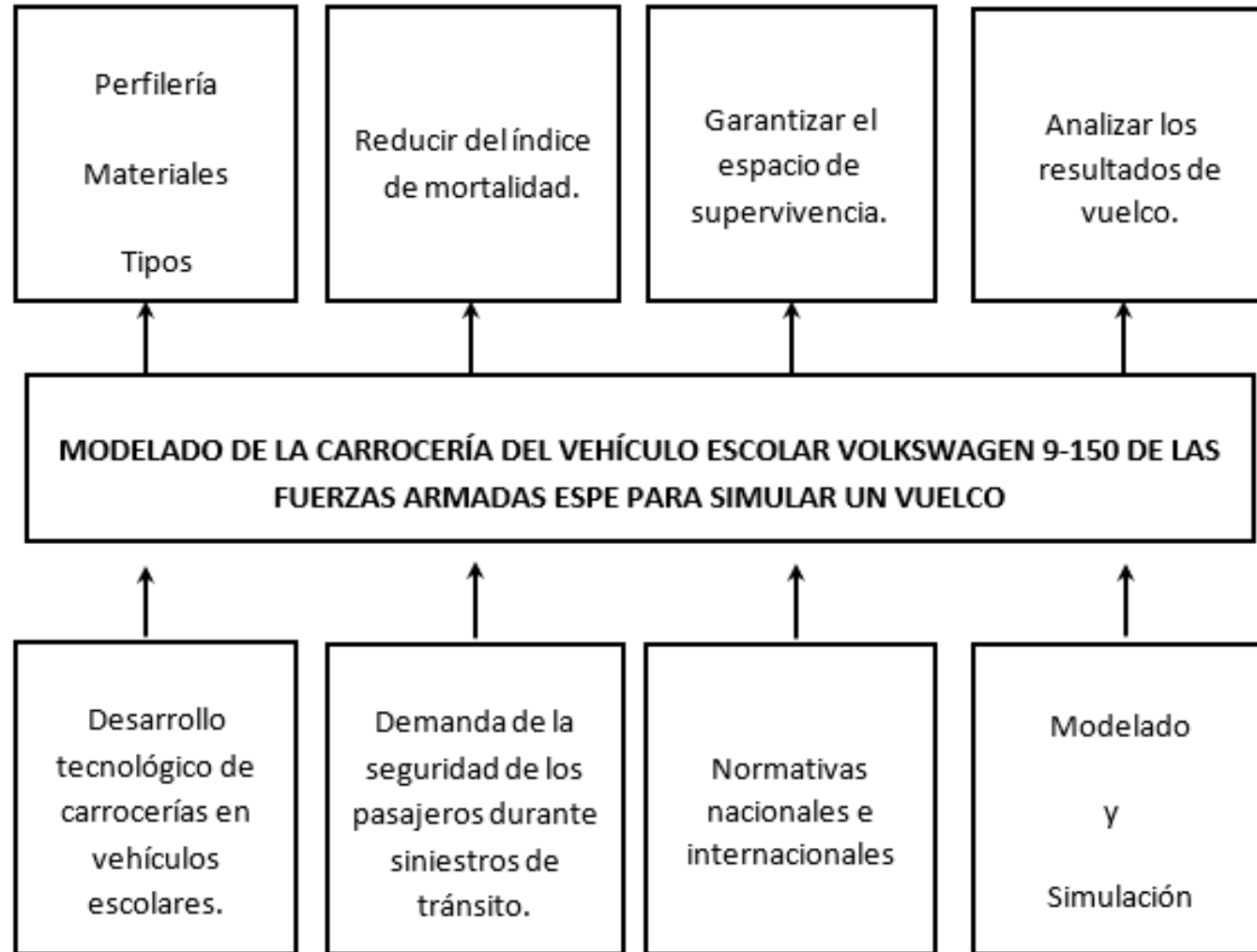


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

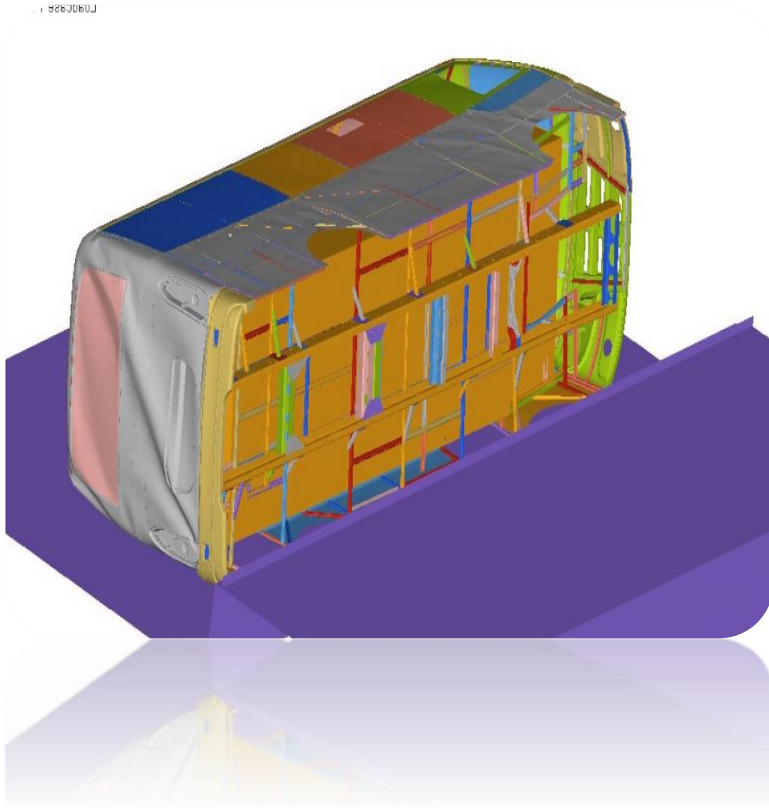
- 1 Planteamiento del problema
- 2 Justificación
- 3 Objetivos
- 4 Metodología
- 5 Resultados
- 6 Conclusiones
- 7 Recomendaciones



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



JUSTIFICACIÓN

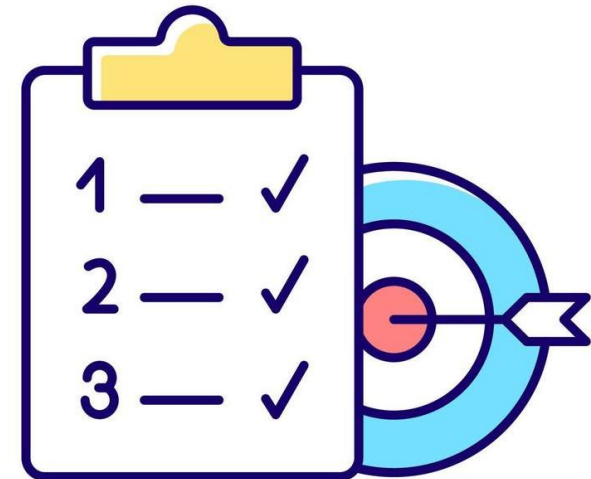


Debido al alto índice de accidentes que ocurren en el Ecuador y siendo el vuelco, una de las principales causas de mortalidad en siniestros se realizara este Proyecto de Integración Curricular, el cual se enfoca en la simulación de ensayos de vuelco basándose en el (Reglamento no 66 de la Comisión Económica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



Objetivo General

- Realizar el modelado de la carrocería del vehículo escolar Volkswagen 9-150 IBIMCO para simular un vuelco.



Objetivos Específicos

- Realizar la fundamentación teórica científica del diseño y construcción de la carrocería del bus escolar Volkswagen 9-150 IBIMCO, mediante consultas bibliográficas, normas vigentes en el país para el diseño y construcción de carrocería.

- Modelar la superestructura de la carrocería del bus modelo Volkswagen 9-150 IBIMCO transporte escolar, a través de herramientas computacionales de diseño asistido por computador CAD y su posterior simulación de ensayos de vuelco en software computacional CAE, con la finalidad de verificar si este modelo de bus cumple con el Reglamento R66.

- 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.

METODOLOGÍA



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

NORMATIVAS Y REGLAMENTOS

NTE INEN 1323

- VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERÍAS DE BUSES. REQUISITOS.

INTE NEN 2415

- TUBOS DE ACERO AL CARBONO SOLDADOS PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES Y USOS GENERALES

RTE INEN 041

- VEHÍCULOS DE TRANSPORTE ESCOLAR

Reglamento N 66

- Reglamento N° 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 respeta a la resistencia de su superestructura.



ELEMENTOS TIPO SHELL:

Modelo matemático de dos dimensiones configurado para caracterizar el comportamiento paredes tridimensionales.

Son ideales para caracterizar estructuras de paredes delgadas a moderadamente gruesas.

Obtiene resultados satisfactorios al analizar estructuras sometidas a flexión y deformación.



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



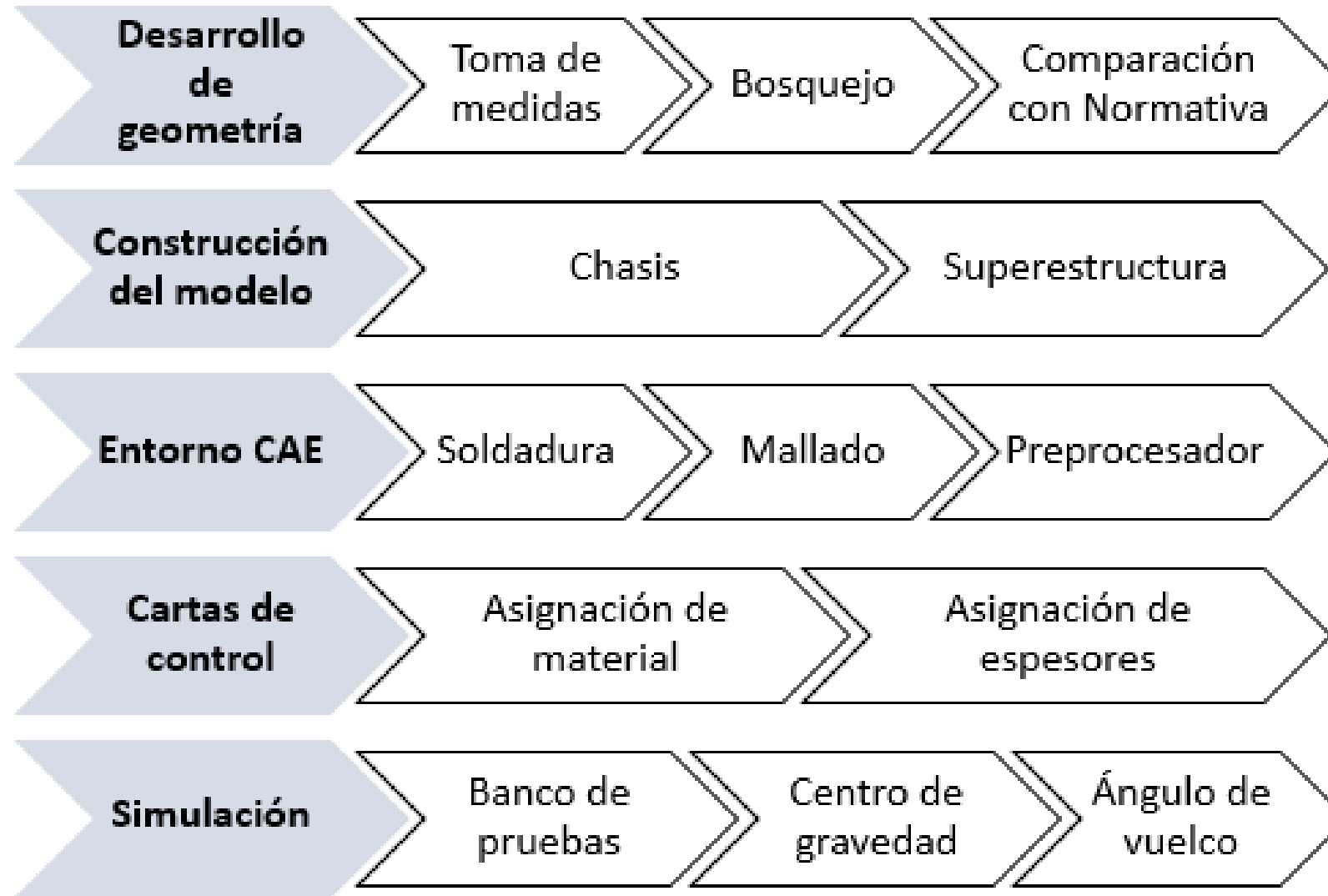
OMINIBÚS ESCOLAR VOLKSWAGEN 9-150

Placa XEC1023	Marca	Modelo	Año de modelo	País
	VOLKSWAGEN	9150 OD TORPEDO	2008	BRASIL

RAMV o CPN	Cantón	Clase	Servicio
C00764208	LATACUNGA	OMNIBUS	PARTICULAR

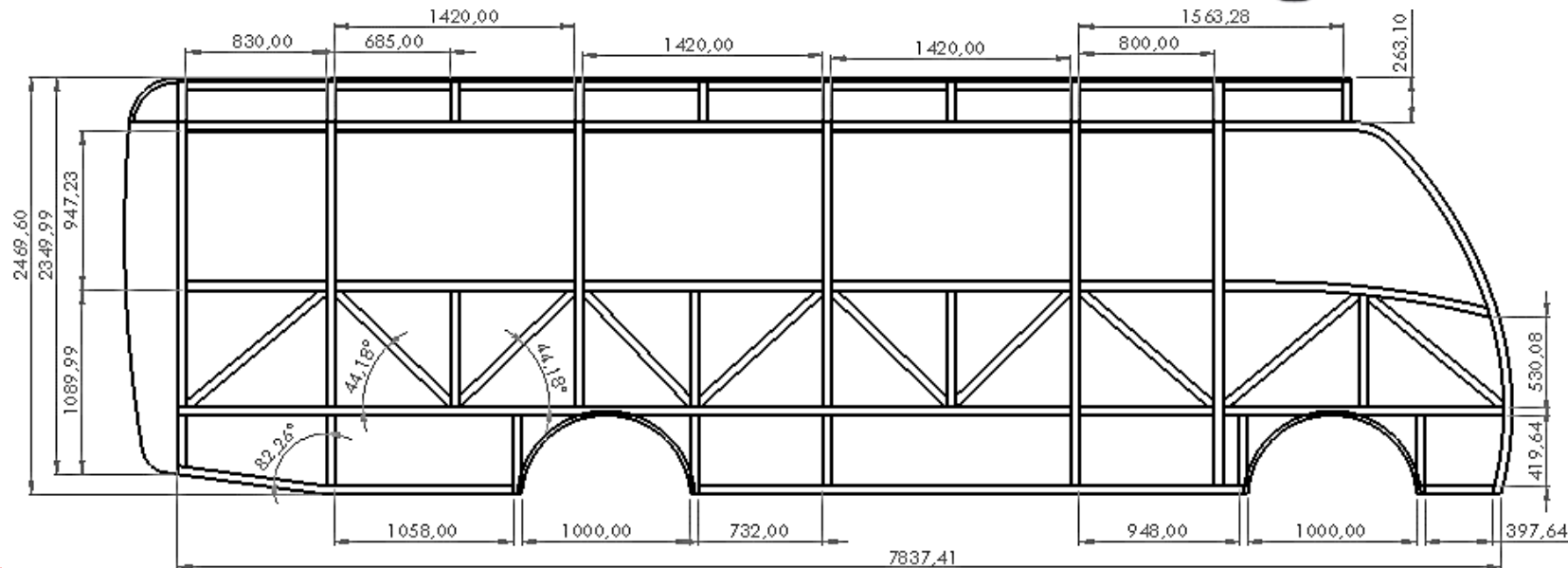
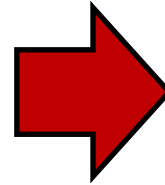


METODOLOGÍA



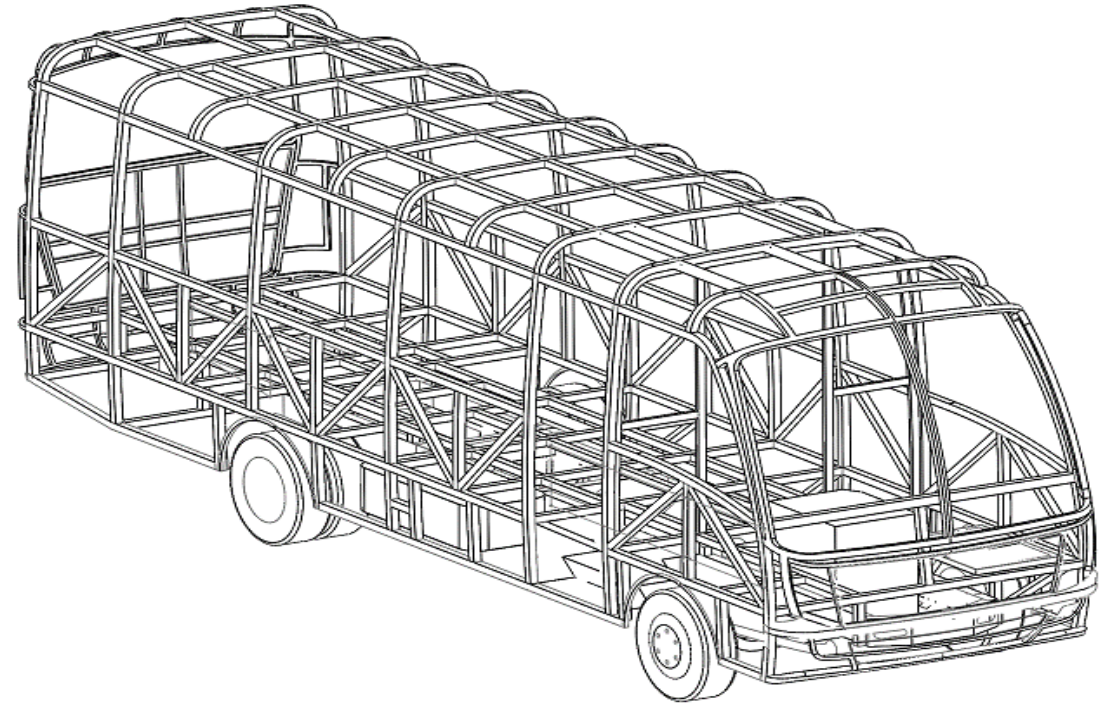
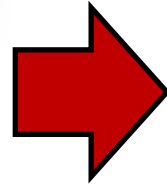
METODOLOGÍA

Se realiza los planos perteneciente al bus Volkswagen 9-150, en el cual se visualiza detalles de la carrocería como son emblemas y colores característicos de los buses de la Universidad de las Fuerzas Armadas, el modelo de realiza en el software CAD (SolidWorks).



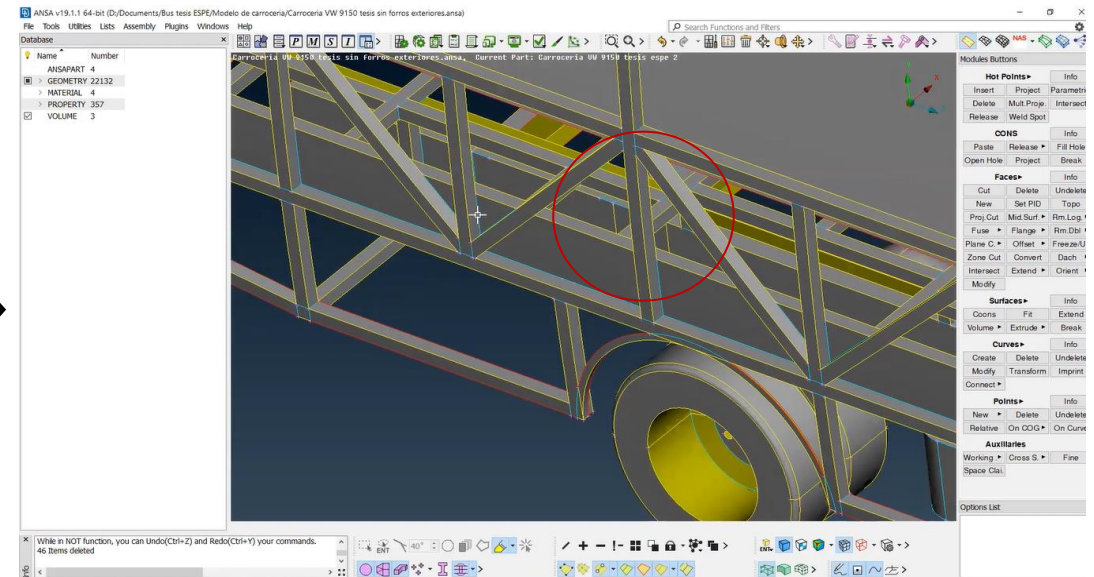
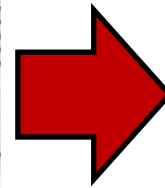
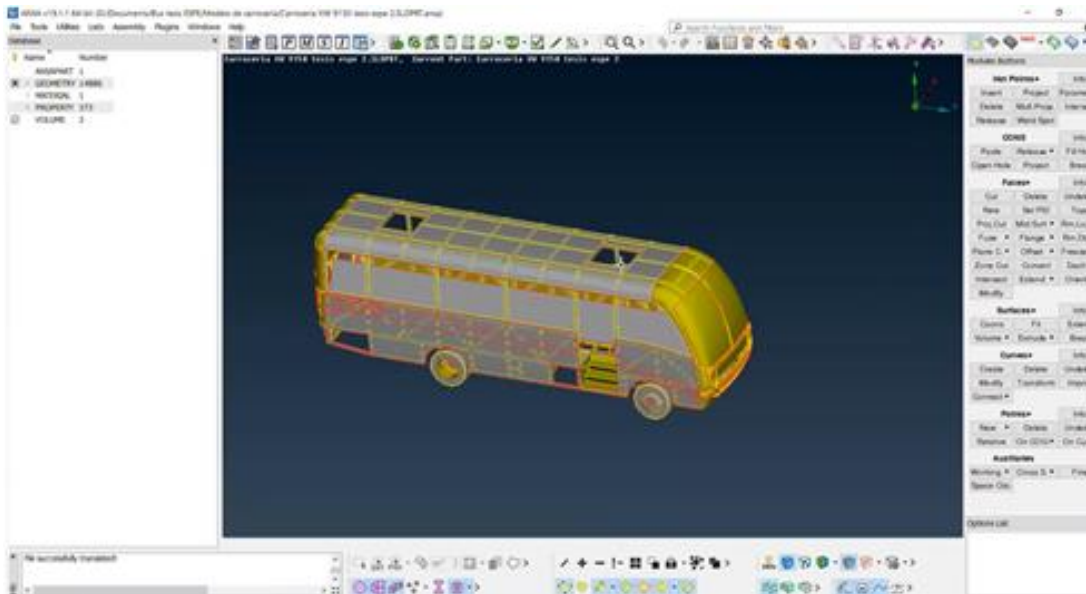
METODOLOGÍA

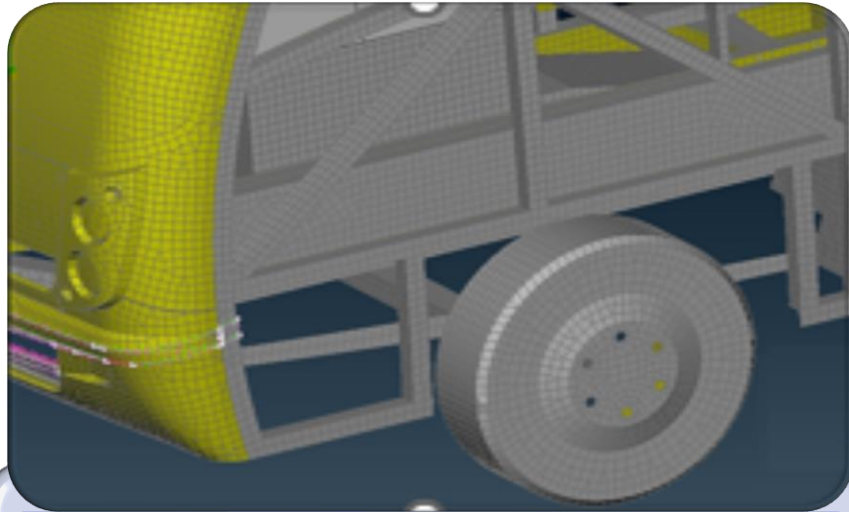
Se procede a modelar la superestructura perteneciente al bus Volkswagen 9-150, también se visualiza la perfilera que se a utilizado en la elaboración de este panel, es modelado en software CAD (SolidWorks).




METODOLOGÍA

La soldadura el software CAE permite realizar la unión entre cada una de las caras que se encuentran en contacto, existen 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 la generación de malla utilizaremos una malla bidimensional de 500 mm para la zona de supervivencia mientras que para el resto de componentes utilizaremos un mallado de 25 mm.



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

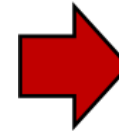
Para garantizar la calidad del mallado de la superestructura se ah utilizado el criterio Jacobiano dándonos como resultado que se tiene un mallado excelente del modelo de bus que se utiliza para el análisis.

METODOLOGÍA

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

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	270	310	25 ^B
B	sección cuadrada, rectangular o especial	315	400	23 ^C
C		345	425	21 ^D
D		250	400	23 ^C

^A ASTM A500/A500M Table 2 Tensile requirements.
^B El mínimo valor de elongación especificado aplica únicamente a los ensayos realizados antes del envío del tubo.
^C 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.
^D 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.



LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost

Keyword Input Form

NewID [] MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 carrocería malla.k) Setting

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_(TITLE) (024) (0)

TITLE
ACERO ASTM A 500 GRADO A

1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	TDEL
	1	7.8E-6	2E+2	0.3		0.0	10 E+20	0.0

2	C	P	LCSS	LCSR	VP
	0.0	0.0	0	0	0.0

3	EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Plot Raise New Padd

COMMENT:
SIGY:=Yield stress.

Clasificación y propiedades mecánicas de los tubos NTE INEN 2415



Keyword Input Form

NewID Draw RefBy Sort/T1 Add Accept Delete Default Done

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 carroceria malla.k) Setting

*SECTION_SHELL_(TITLE) (1)

TITLE
DOSMM

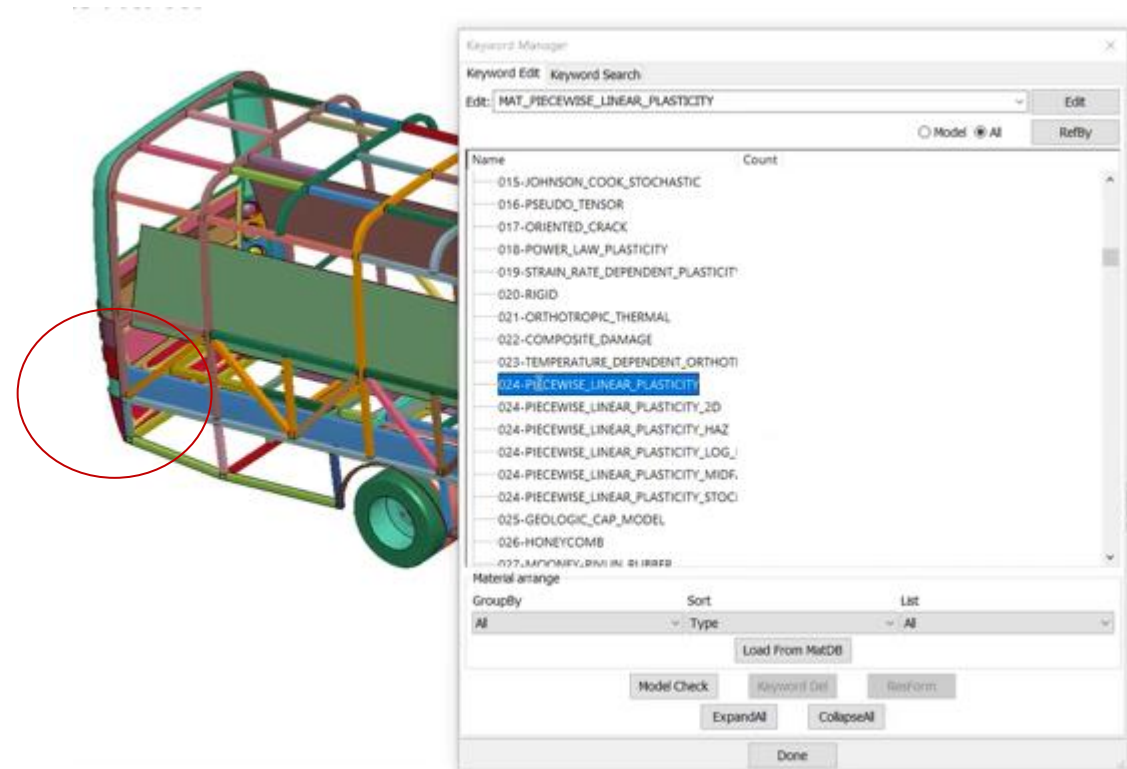
SECT	SHRF	NIP	PROPT	QR/TRID	ICOMP	SETYP
1	2	1.0000000	2	1	0	1

T1	T2	T3	T4	NLOC	MAREA	IDOF	EDGSET
2.0000000	2.0000000	2.0000000	2.0000000	0.0	0.0	0.0	0

Repeated Data by Button and List

Data Pt. Replace Insert

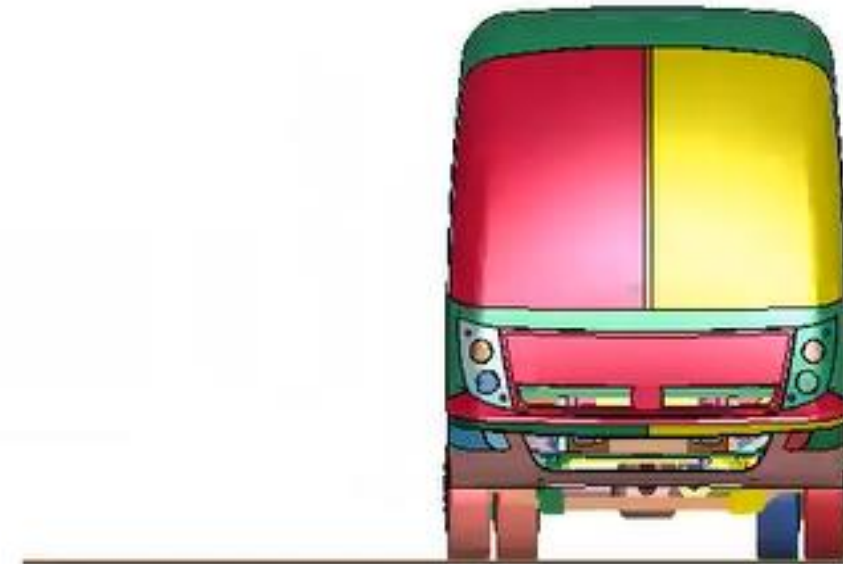
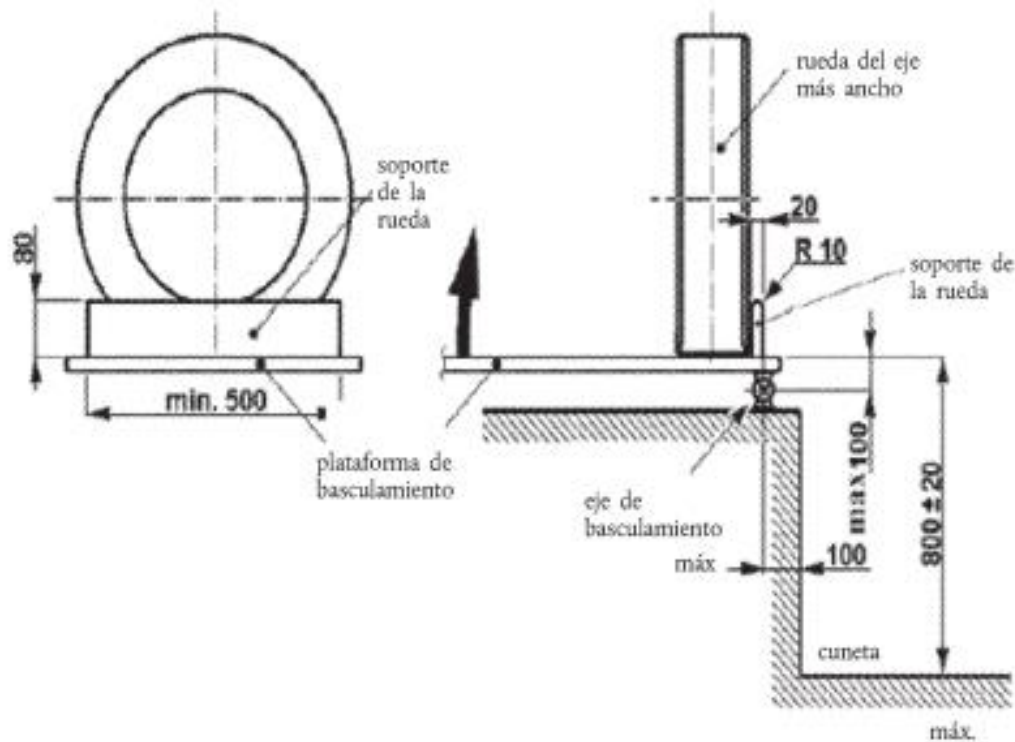
Total Card: 1 Smallest ID: 1 Largest ID: 1 Total deleted card: 0



Para la creación de los diferentes espesores que se usan dentro del modelo de simulación utilizaremos keywords una vez que se a otorgado el espesor correspondiente a cada elemento obtendremos el peso final del 4.125kg

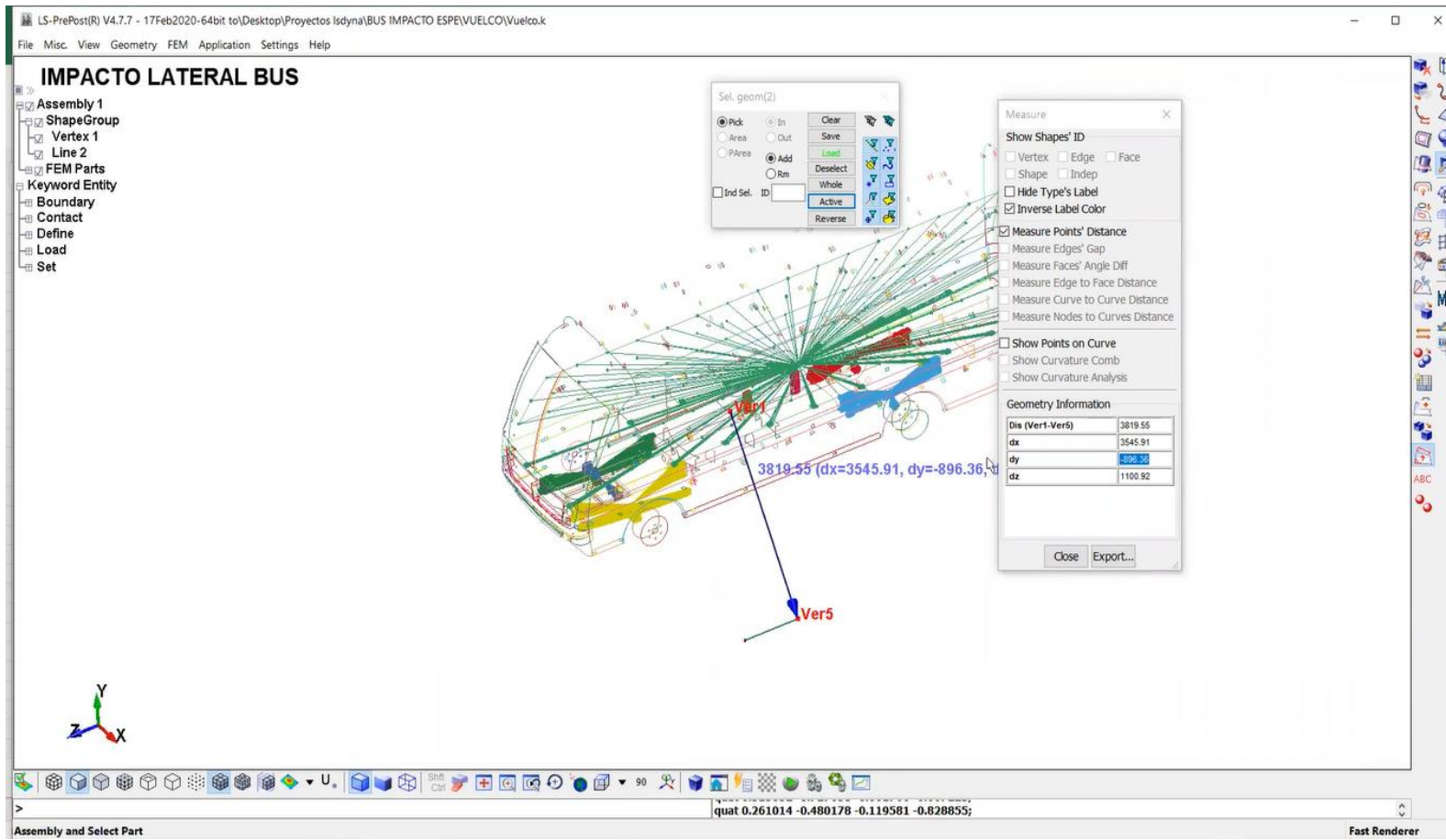
METODOLOGÍA

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



METODOLOGÍA

El centro de gravedad de el 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,



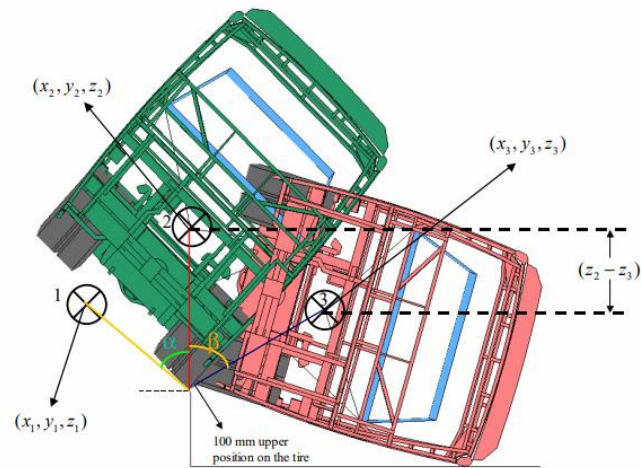
$$X_{cg} = 1085 \text{ mm}$$

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



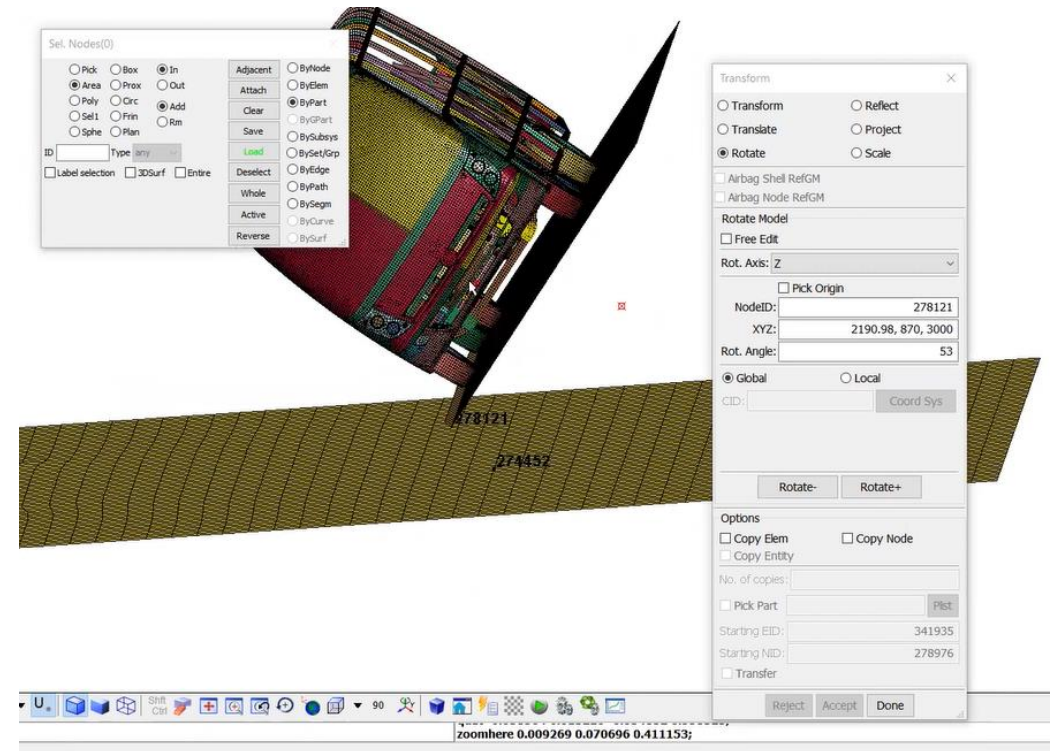
Ángulo de vuelco

Es 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.



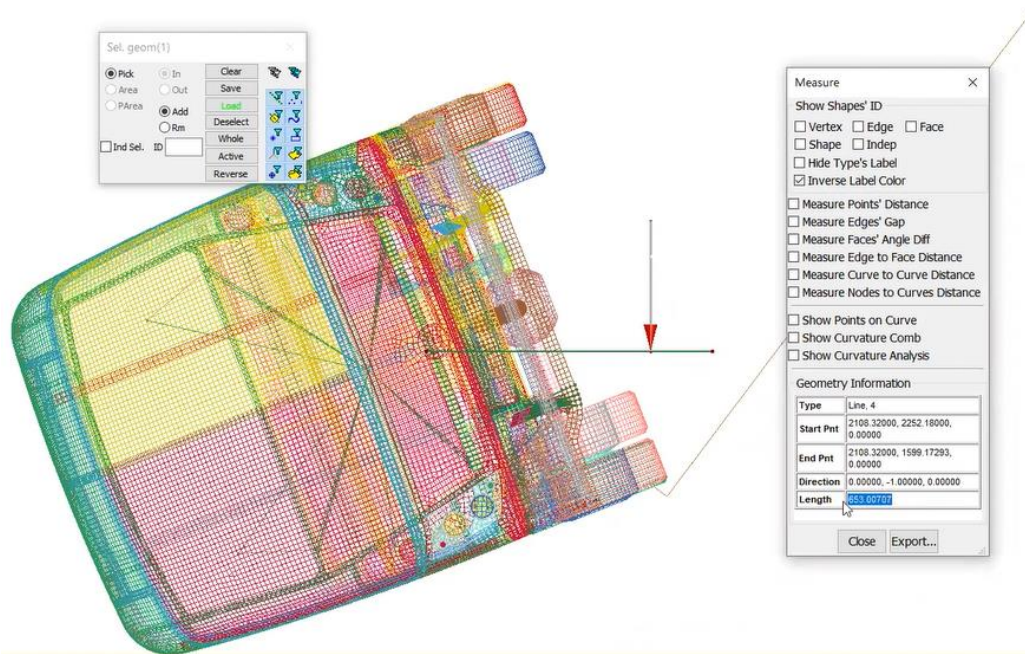
$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{X_{cg}}{Y_{cg} - 80} \right)$$

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



Ángulo previo al impacto

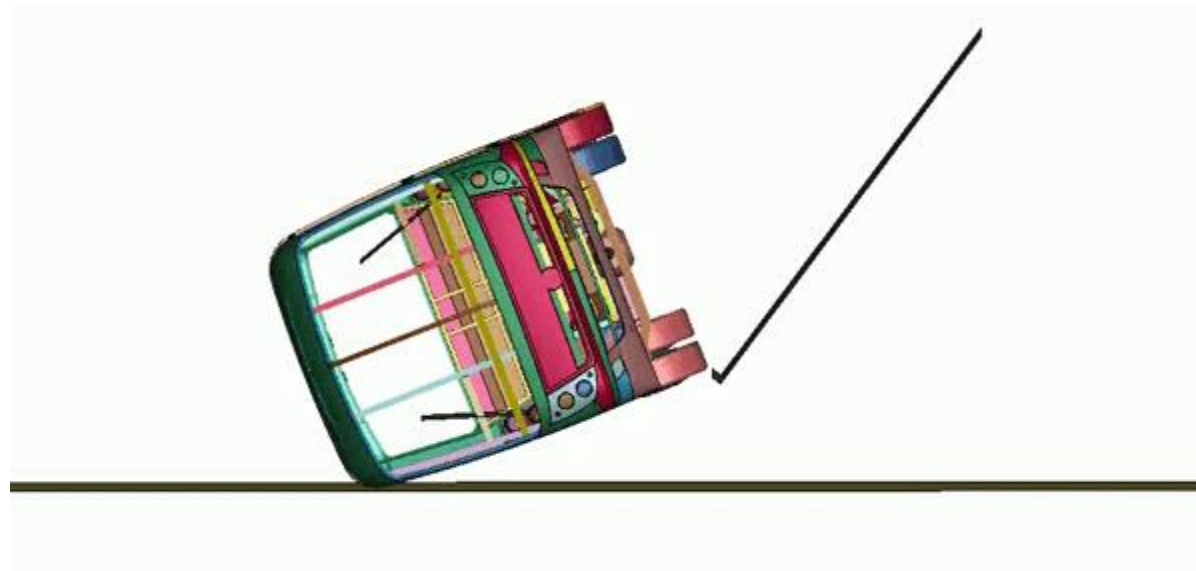
El momento previo en el que la superestructura del bus llega a tocar el suelo, este ángulo que se forma entre la plataforma de basculamiento y la superficie de la rueda es de 58,5°.



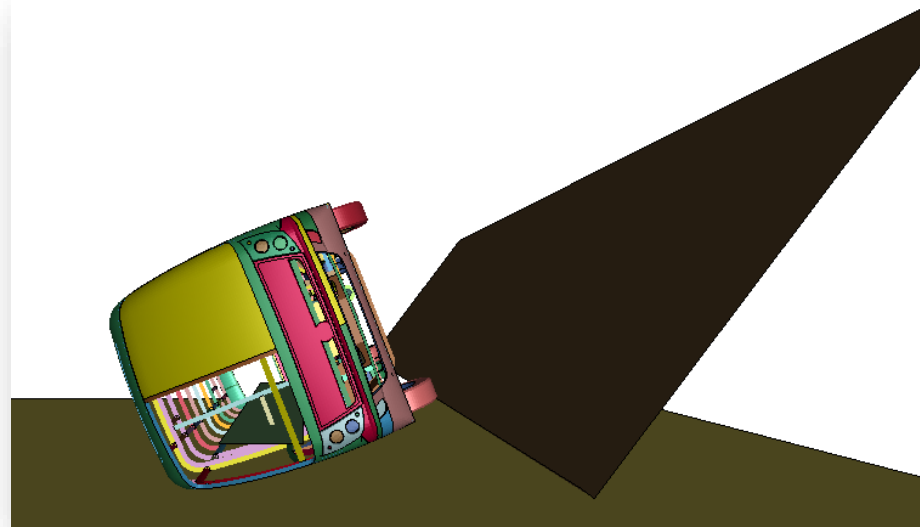
$$\Delta_h = h_1 - h_2$$

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

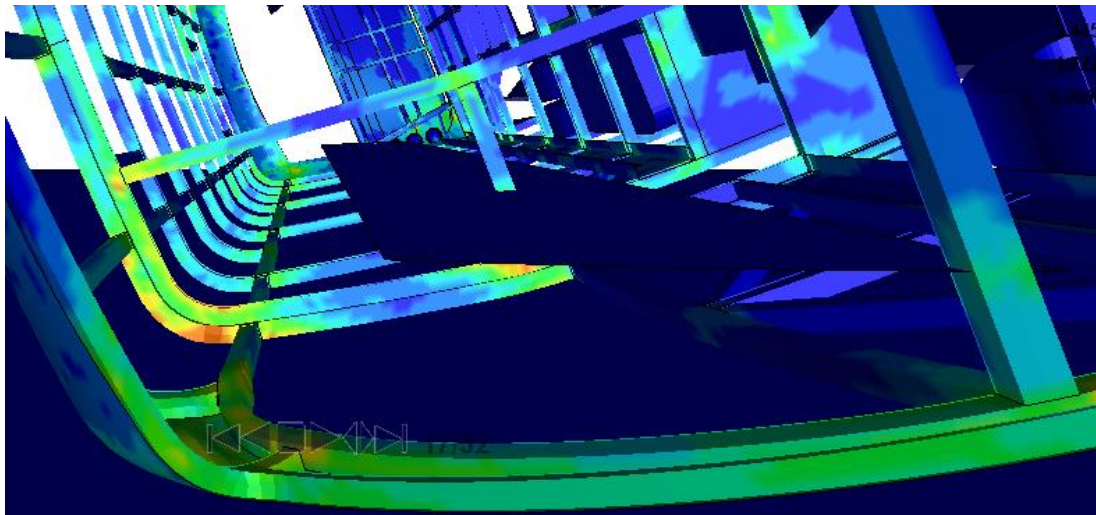
RESULTADOS



RESULTADOS



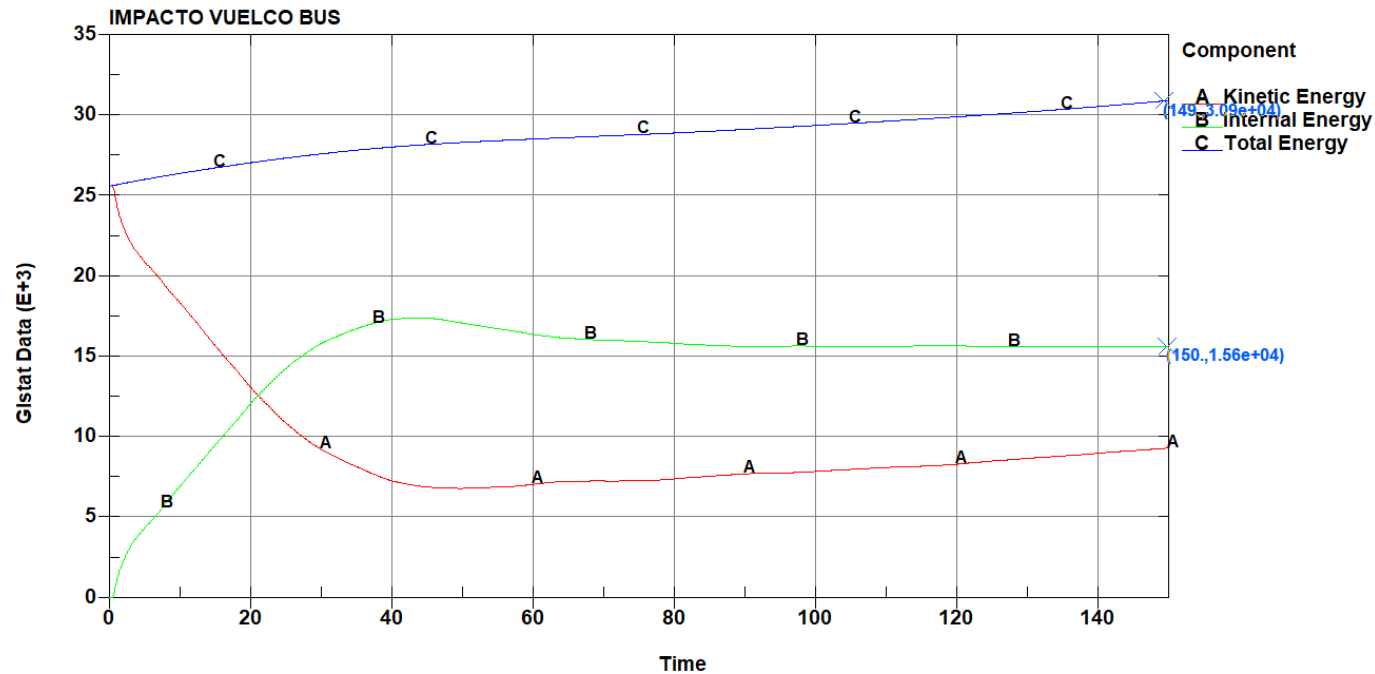
En la figura se aprecia la vista isométrica 3D de la simulación de un impacto por vuelco.



En la simulación de vuelco de la superestructura del bus, muestra los esfuerzos que experimentan los componentes además de aprecia que la zona de supervivencia no fue invadida en ningún momento



RESULTADOS

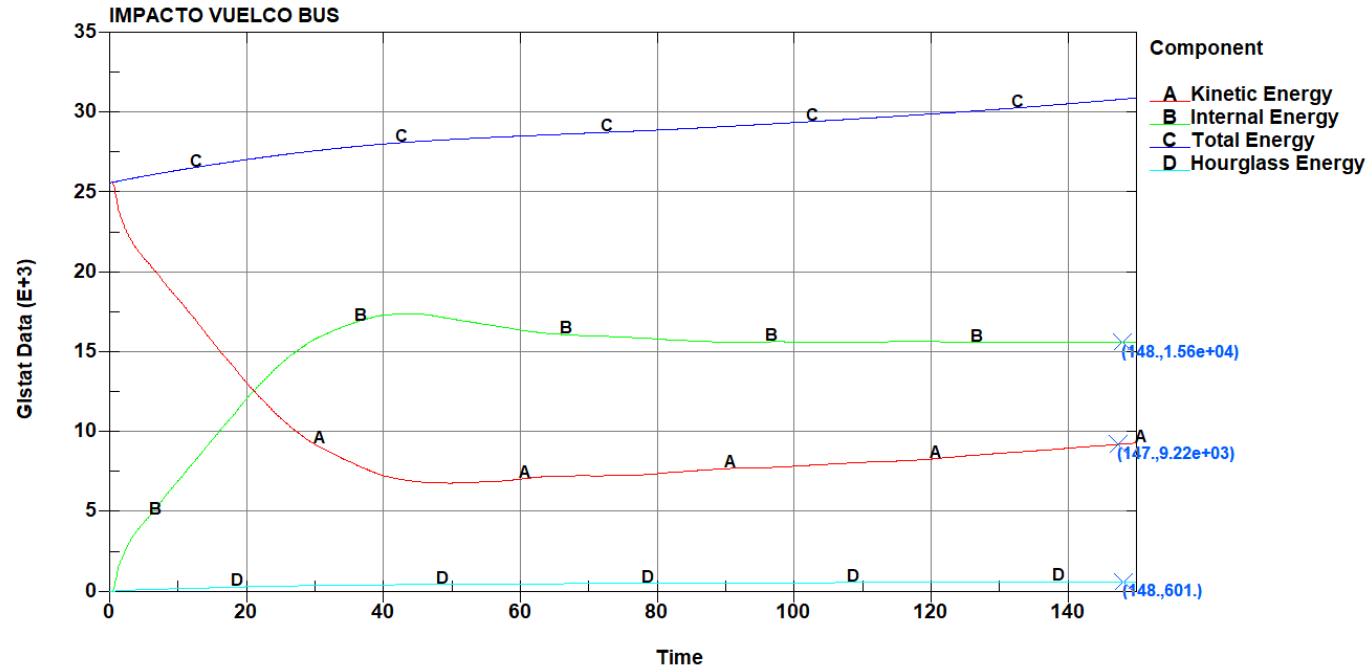


El R66 dice que para homologar un vehículo, la energía total absorbida debe ser menor al 75% de la energía de referencia obtenida en el punto de equilibrio inestable, por lo cual, mediante el software CAE pueden obtenerse los datos requeridos de energía.

La energía total permanece constante durante todo el ensayo, mientras que la energía cinética generada antes del impacto tiene un valor de 3.09×10^4 [J] esta energía se disipa en un 50,48 % con un valor de 1.56×10^4 [J] por la deformación de la carrocería después de haberse producido el vuelco



RESULTADOS



Hourglass	Energía Interna
$0.601 \times 10^3 \text{ kN/mm}$	$1.56 \times 10^4 \text{ kN/mm}$

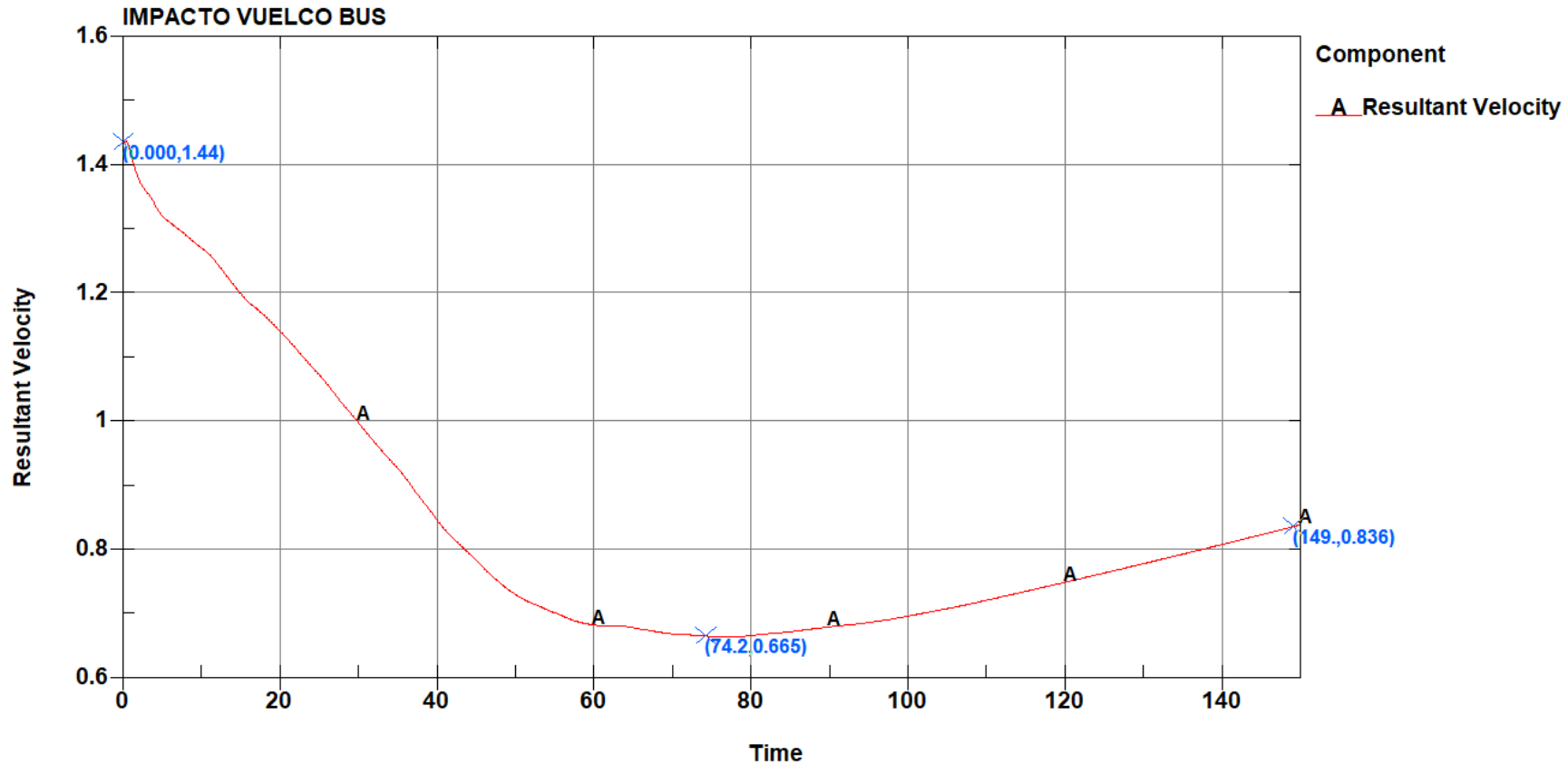
$$H = \frac{\text{Hourglass}}{\text{Energía Interna}}$$

$$H = \frac{0.55 \times 10^3 \text{ kN/mm}}{1.56 \times 10^4 \text{ kN/mm}} * 100\% = 0.036 \%$$

Se calcula la relación entre la energía de Hourglass y la energía interna



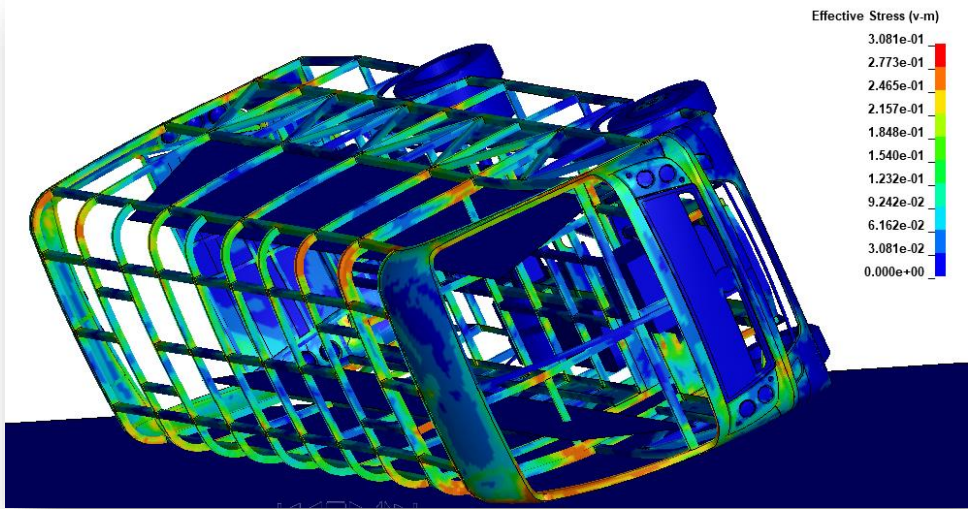
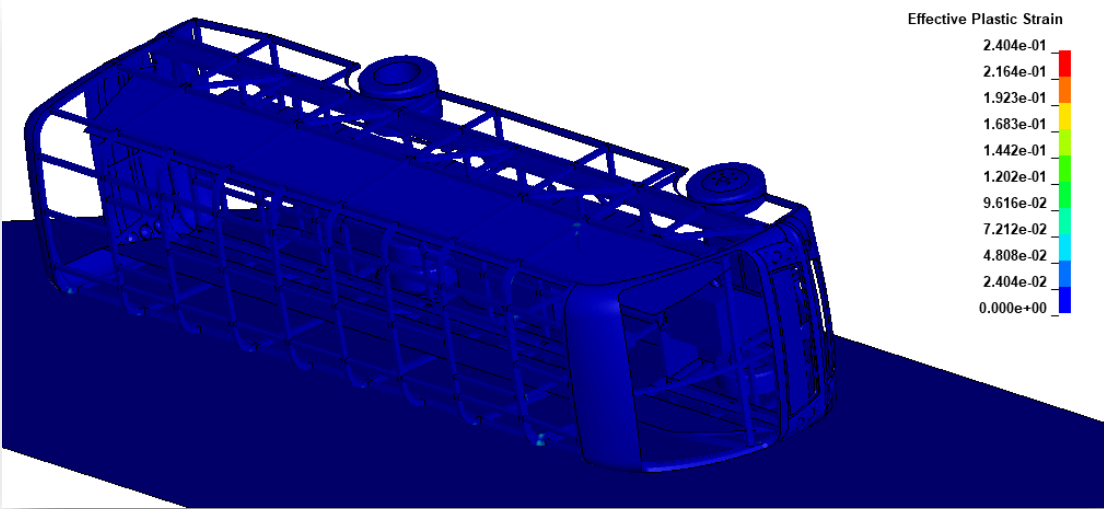
RESULTADOS



Empieza con una velocidad de 1,44 mm/ms y desciende de manera hasta el valor máximo 0.663 mm/ms en 75 ms, momento que ocurre el impacto en la superficie rígida. La velocidad asciende hasta llegar a 0.836 mm/ms esto debido a la propiedad de recuperación elástica que tienen los materiales después del impacto.



RESULTADOS

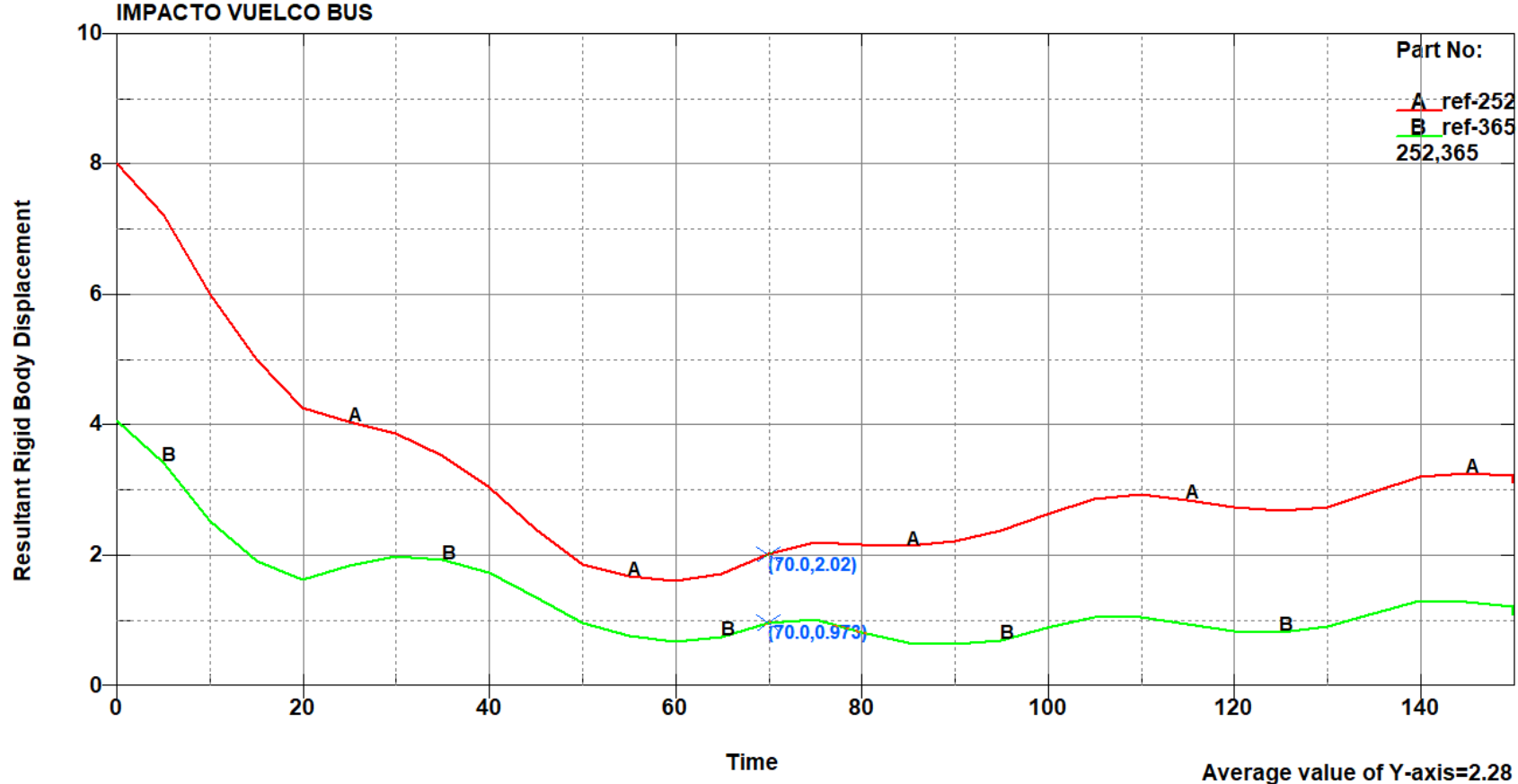


ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Análisis	Unidad	Resultado
Deformación	mm	0.24
Tensión	Mpa	308

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.



RESULTADOS



La curva A representa la zona de supervivencia y la curva B el componente mas cercano a la zona de supervivencia, se puede observar l distancia mas cerca es de 1 mm aproximadamente a los 70 ms



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.



CONCLUSIONES

- 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.
- El elemento más cercano en el análisis de desplazamiento demuestra que la distancia mas cerca del elemento es 1.04 mm por lo que es concluye que la carrocería es segura si se expondría a un vuelco.
- En el vuelco, la relación entre la energía interna y la energía de Hourglass es de 0,036%, menos del 10%, como se indica en la normativa, que demuestra que el estudio estructural es válido; los resultados son aceptables en las condiciones y características establecidas por la regulación R66



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.



