

**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Trabajo de Unidad de Integración Curricular, Previo a la Obtención de Título
de Ingeniero Automotriz**

“Análisis de la afectación de los ocupantes en la estructura de un vehículo escolar sometido a impacto lateral y vuelco mediante el uso de softwares computacionales de ingeniería asistida por computador CAD – CAE”

Autores: Chachapoya Panchi, Fabian Rubén y Pilatasig Carrera, David Alejandro

Director: Ing. Mena Palacios, Jorge Stalin

Latacunga, Agosto 2023





“Cuando todo parece ir en tu contra , recuerda que el avión despega con el viento en contra no a favor ”

Todos somos pilotos. Lo que sucede es que, en vez de aviones, tenemos sueños, ilusiones y objetivos que despegar.

HENRY FORD



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ÍNDICE

→ Planteamiento del problema

→ Justificación

→ Objetivos

→ Hipótesis

→ Marco teórico

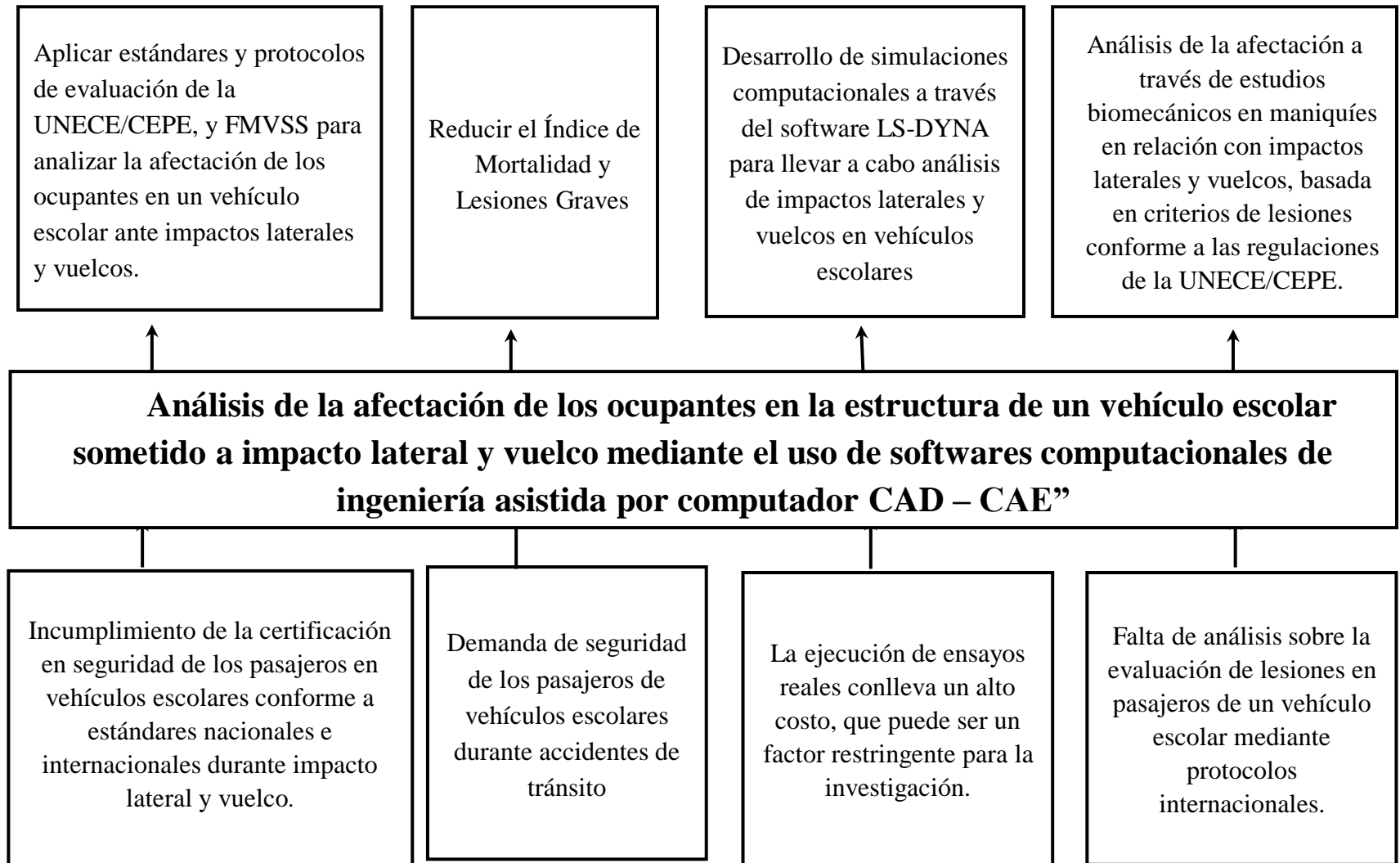
→ Ingeniería Asistida por Computador para el análisis de afectación de los pasajeros durante impacto lateral y vuelco

→ Análisis de resultados

→ Conclusiones y recomendaciones



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



JUSTIFICACIÓN

Escasez de Datos y Estudios en Ecuador: En Ecuador, se carece de investigaciones detalladas sobre las lesiones y afectaciones que sufren los ocupantes de vehículos escolares en casos de impactos laterales y vuelcos. La mayoría de los análisis previos se centran en vehículos de carrocerías compactas, descuidando el importante medio de transporte que son los autobuses escolares.

Aumento de Accidentes en Ecuador: Según la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), los accidentes de tránsito han incrementado en un 9% en 2022 en comparación con 2021 a nivel nacional. De estos, 1.860 involucraron a autobuses de diferentes tipos, incluidos escolares y urbanos.

Modelados de Carrocerías Insuficientes: Aunque se han realizado estudios de modelado de carrocerías de autobuses escolares para simular impactos laterales y vuelcos, se han centrado principalmente en evaluar la resistencia de materiales y la absorción de energía de la estructura, sin considerar las posibles lesiones que puedan sufrir los ocupantes.

Ausencia de Datos Biomecánicos: La falta de datos biomecánicos relevantes dificulta la identificación de zonas críticas en el cuerpo humano y las lesiones que podrían resultar de diferentes fuerzas y energías generadas durante un impacto dinámico.

Cumplimiento de Normativas Internacionales: El proyecto se propone evaluar si los vehículos escolares en Ecuador cumplen con los requisitos mínimos de seguridad estructural establecidos en los Reglamentos R66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa y el FMVSS 214 de Estados Unidos, así como considerar el reglamento R95 de las Naciones Unidas que establece criterios de lesiones permisibles en colisiones.



OBJETIVOS

Objetivo General

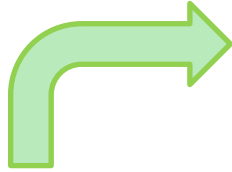
Analizar la afectación de los ocupantes en la estructura de un vehículo escolar sometido a impacto lateral y vuelco mediante el uso de softwares computacionales de ingeniería asistida por computador CAD – CAE.

Objetivos Específicos

- Realizar la investigación teórica científica sobre el diseño, construcción y simulación de impactos laterales y vuelco con dummies en la estructura de la carrocería del vehículo escolar utilizando softwares computacionales de ingeniería asistida por computador CAD – CAE mediante la recopilación de fuentes bibliográficas que contengan las normas vigentes nacionales e internacionales.
- Seleccionar el chasis y modelar la estructura de la carrocería del vehículo escolar, a través de un software de diseño asistido por computador CAD y con requisitos de la normativa nacional NTE INEN 1323 y RTE INEN 041.
- Realizar las simulaciones virtuales de impacto lateral y vuelco a la carrocería del vehículo escolar, según los requisitos establecidos en la FVSS 214 y UNECE/CEPE R66, implementando un maniquí de impacto, para estudiar la afectación de los ocupantes, aplicando los criterios de lesiones del reglamento R95 de la UNECE/CEPE.
- Validar el modelo FEM (Método de Elementos Finitos) del maniquí HIBRIDO III para impacto lateral y vuelco en hombres, aplicándolo al contexto de vehículos escolares.



HIPÓTESIS



El análisis de la afectación de los ocupantes en la estructura de un vehículo escolar sometido a impacto lateral y vuelco mediante simulación computacional CAD-CAE evaluará la efectividad de los requisitos estructurales de diseño y dimensiones establecidos por la normativa nacional RTE INEN 041 para vehículos escolares en términos de seguridad, basándonos en los criterios de lesiones definidos por el reglamento UNECE/CEPE R95



FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA



Normas y reglamentos técnicos para el proceso de diseño y homologación de vehículos de transporte escolar

NTE INEN 1992

Servicio de transporte escolar e institucional. Requisitos

NTE INEN 1323

Vehículos Automotores. Carrocerías De Buses.
Requisitos.

RTE INEN 041

VEHÍCULOS DE TRANSPORTE ESCOLAR

Reglamento N° 66

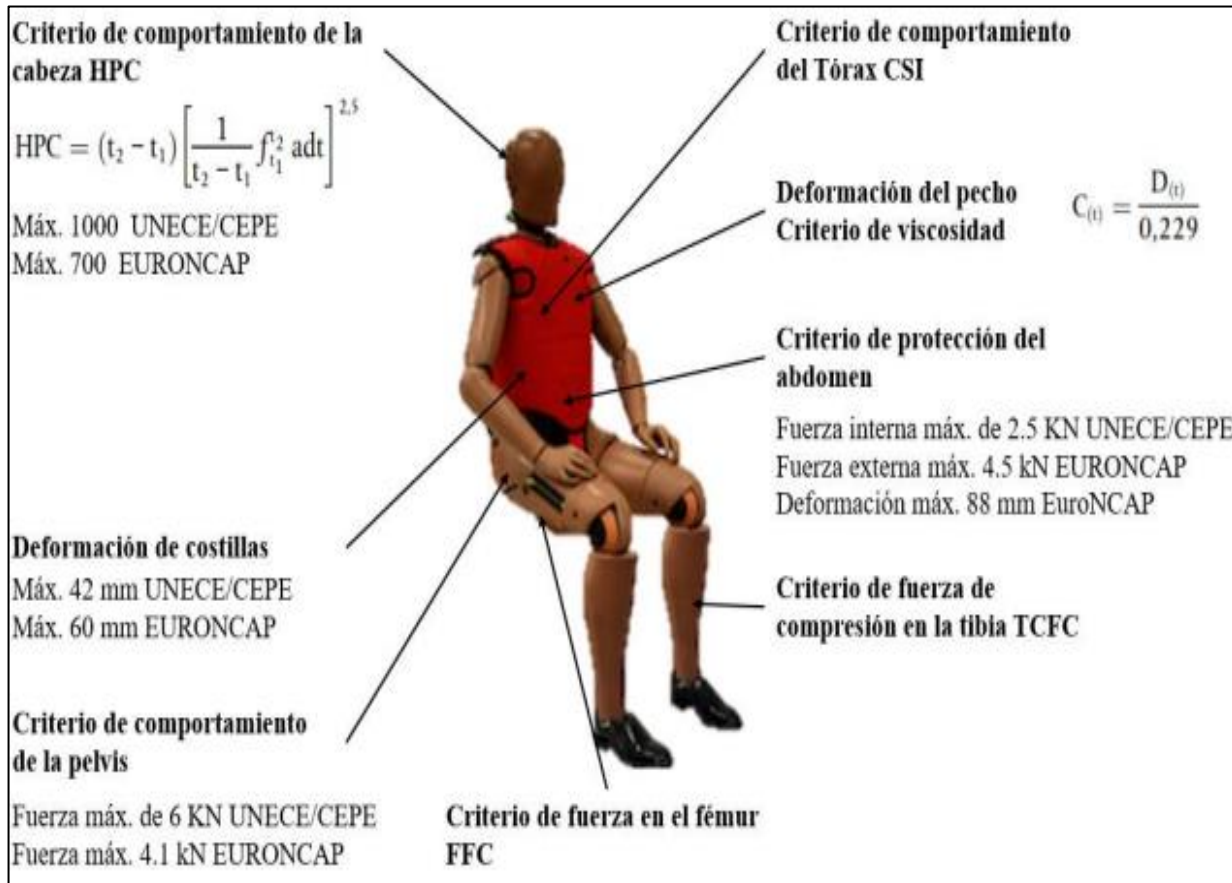
Prescripciones técnicas uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respeta a la resistencia de su superestructura.

Reglamento FMVSS 214

Protección contra impactos laterales
Requisito de rendimiento dinámico

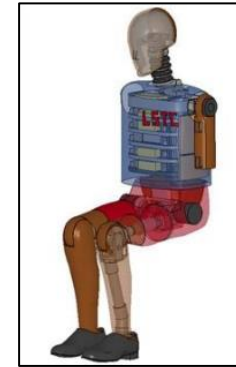
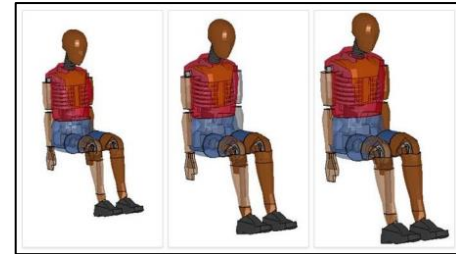


CRITERIO DE LESIONES SEGÚN UNECE/CEPE R95 Y EURONCAP



TIPOS DE MANIQUÍ

Tipo de colisión	Tipo de maniquí	Regulación
Frontal	Hybrid III, THOR	UNECE/CEP E R94
Lateral	World SID, SID-IIS, ES-2, USSID	UNECE/CEP E R95
Posterior	BIORID2	UNECE/CEP E R94
Vuelco	Hybrid III	UNECE/CEP E R66



Maniqué Hybrid III masculino percentil 50



MASAS DEL CONJUNTO

PARTE	Kg
Cabeza	4.54
Cuello	1.54
Torso Superior	17.19
Torso Inferior	23.04
Brazos Superiores	3.99
Brazos Inferiores y Manos	4.54
Piernas Superiores	11.97
Piernas Inferiores y Pies	11.34
TOTAL	78.15

DIMENSIONES EXTERNAS

DIMENSIÓN	cm
Circunferencia de Cabeza	59.7
Anchura Cabeza	15.5
Longitud Cabeza	20.3
Estatura Sentado Erguido	88.4
Longitud desde Hombro a Codo	33.8
Longitud desde Codo a Muñeca	29.7
Longitud desde Glúteo a Rodilla	59.2
Altura Rodilla	49.6



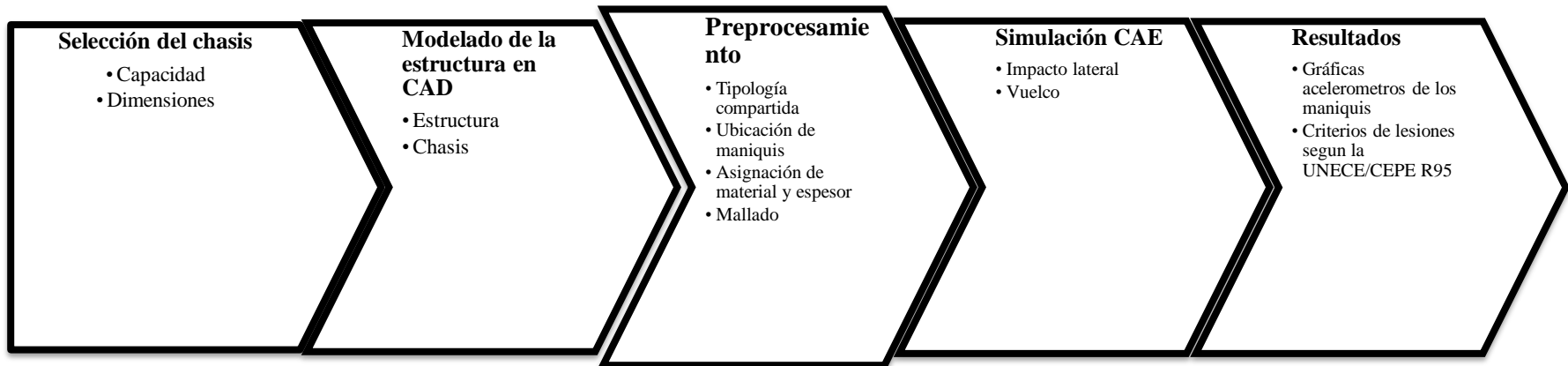
***INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR
PARA EL ANÁLISIS DE AFECTACIÓN DE LOS
PASAJEROS DURANTE IMPACTO LATERAL Y
VUELCO***



***INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR
PARA EL ANÁLISIS DE AFECTACIÓN DE LOS
PASAJEROS DURANTE IMPACTO LATERAL Y
VUELCO***



PROCESO DE SIMULACIÓN



SELECCIÓN DEL CHÁSIS

Clasificación de los vehículos de transporte escolar según la norma NTE INEN 1992

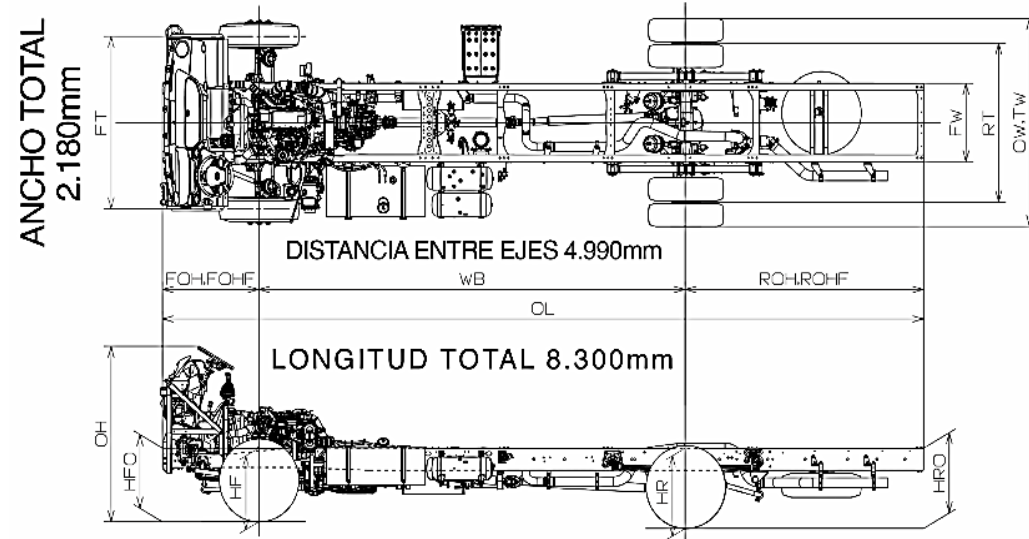
Denominación	Número de ocupantes incluido el conductor
Furgoneta	Desde 12 hasta 18
Microbús	Desde 19 hasta 26
Minibús	Desde 27 hasta 35
Bus	A partir de 36



SELECCIÓN DEL CHÁSIS

Características y dimensiones generales del chasis Hino FC9JL7Z.

Peso y Capacidad		
Denominación	Valor (Kg)	
Capacidad del eje delantero	3600	
Capacidad del eje posterior	7000	
Peso bruto vehicular	*10400	
Peso vacío	3150	
Capacidad de carga	*7250	
Dimensiones		
Denominación	Valor (mm)	Abreviación
Longitud total	8300	OL
Ancho total	2180	OW
Alto total	1900	OH
Distancia entre ejes	4990	WB
Voladizo delantero	1050	FO
Voladizo posterior	2260	RO
Trocha del eje delantero	1800	FT
Trocha del eje posterior	1660	RT



MODELADO DEL VEHÍCULO ESCOLAR

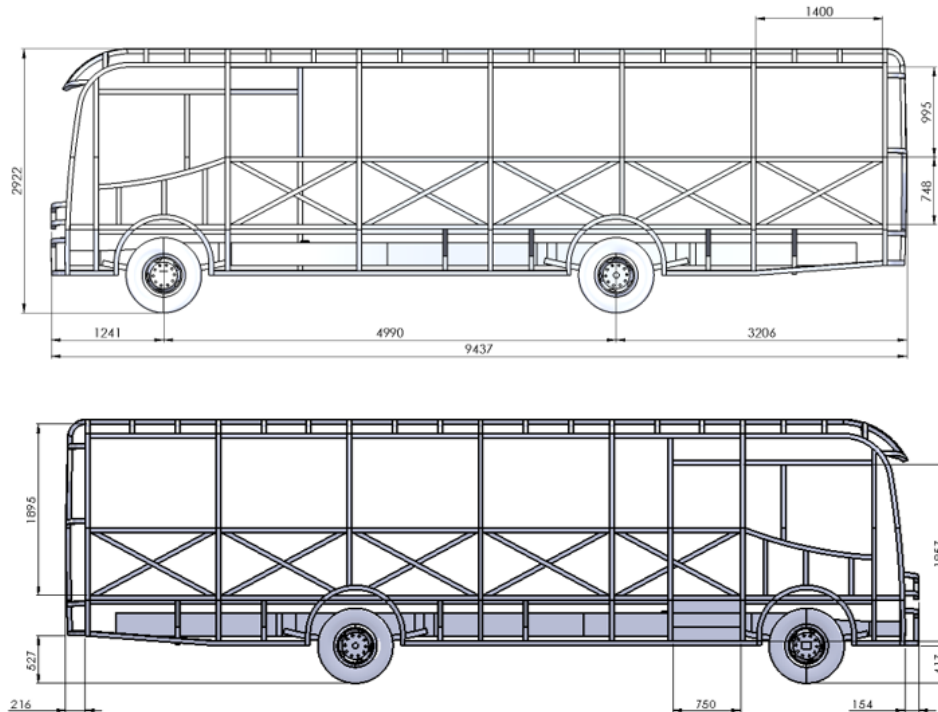
Dimensiones según el reglamento RTE INEN 041 para minibús

Característica	Especificación
Largo total máximo del vehículo	10000 mm (máximo)
Ancho total del vehículo	2600 mm (máximo)
Altura máxima del vehículo	3000 mm (con escoltilla)
Voladizo delantero	800 mm (mínimo)
Voladizo posterior	66% de la distancia entre ejes (máximo)
Altura de las ventanas	1000 mm (máximo)
Altura de las puertas	1850 mm (mínimo)
Ancho de las puertas	650 mm (mínimo)
Altura mínima del corredor central	1800 mm (mínimo)
Altura mínima del piso al borde inferior de la ventana	700 mm (mínimo)
Ancho mínimo del corredor central	300 mm (mínimo)
Parachoques frontal y posterior	<ul style="list-style-type: none">•No deben sobresalir de 300 mm•Altura de la parte delantera inferior desde la calzada (500 mm, máxima)•Altura de la parte posterior inferior desde la calzada (600 mm, máxima)



MODELADO DEL VEHÍCULO ESCOLAR

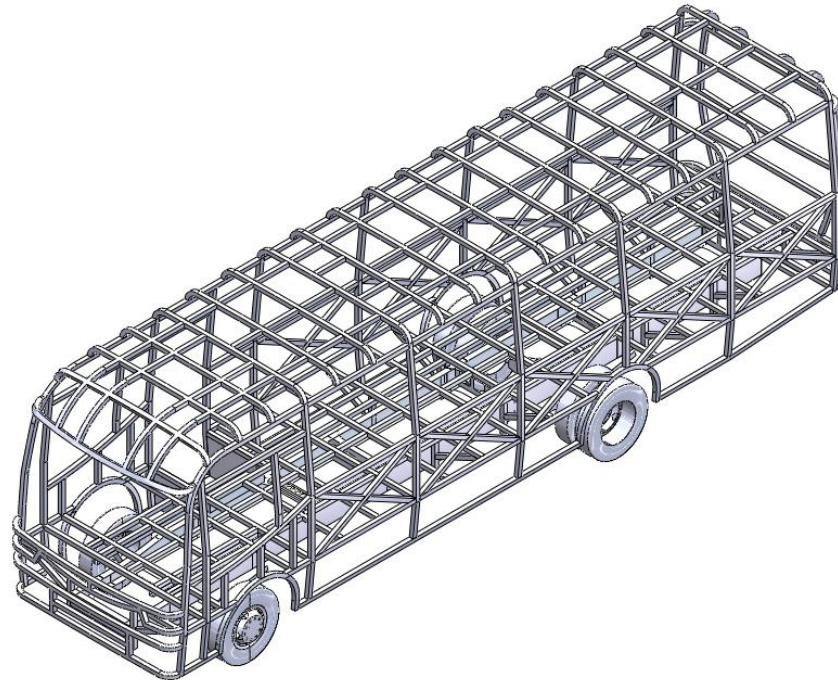
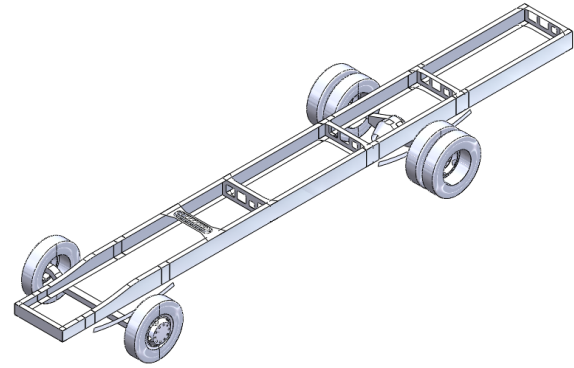
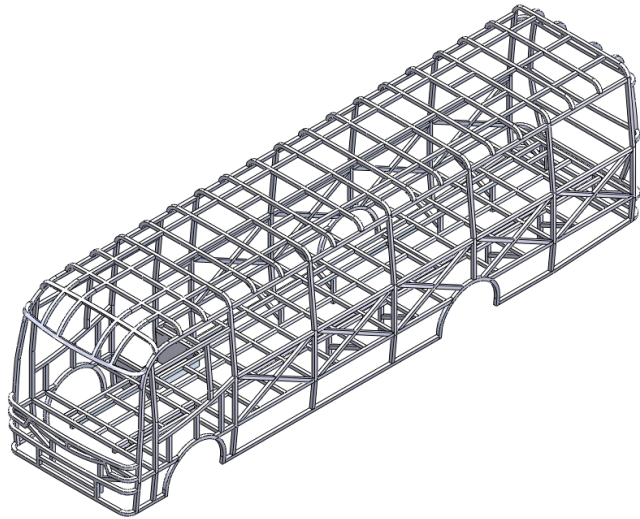
Dimensiones del minibús modelado



Denominación	Especificaciones	Norma/Referencia
Tipo de chasis	Chasis motorizado	NTE INEN 1992
Marca de chasis	Hino FC9JL7Z	
Tipo de servicio de autobús	Escolar	NTE INEN 1992
Largo	9437 mm	RTE INEN 041
Ancho	2300 mm	RTE INEN 041
Alto	2922 mm	RTE INEN 041
Voladizo delantero	1241 mm	RTE INEN 041
Voladizo posterior	3206 mm	RTE INEN 041
Alto de las ventanas	995 mm	RTE INEN 041
Ancho de ventanas	1400 mm	RTE INEN 041
Altura de la puerta	1957 mm	RTE INEN 041
Ancho de la puerta	750 mm	RTE INEN 041
Altura del corredor central	1895 mm	RTE INEN 041
Altura del piso al borde inferior de la ventana	748 mm	RTE INEN 041
Parachoques frontal	154 mm	RTE INEN 041
Parachoques posterior	216 mm	RTE INEN 041
Altura de la parte delantera inferior desde la calzada	417 mm	RTE INEN 041
Altura de la parte posterior inferior desde la calzada	527 mm	RTE INEN 041

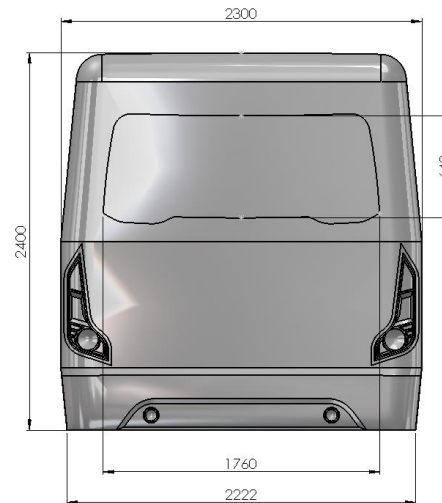
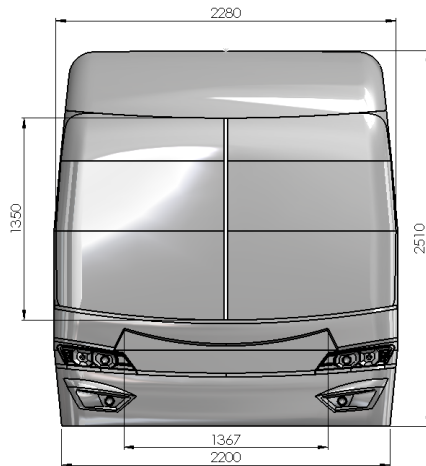
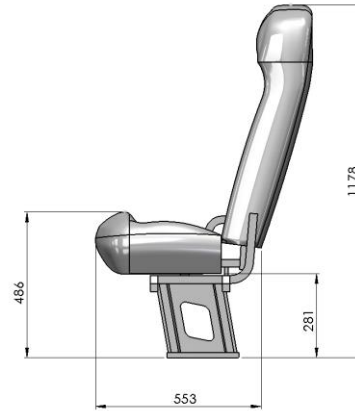


CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

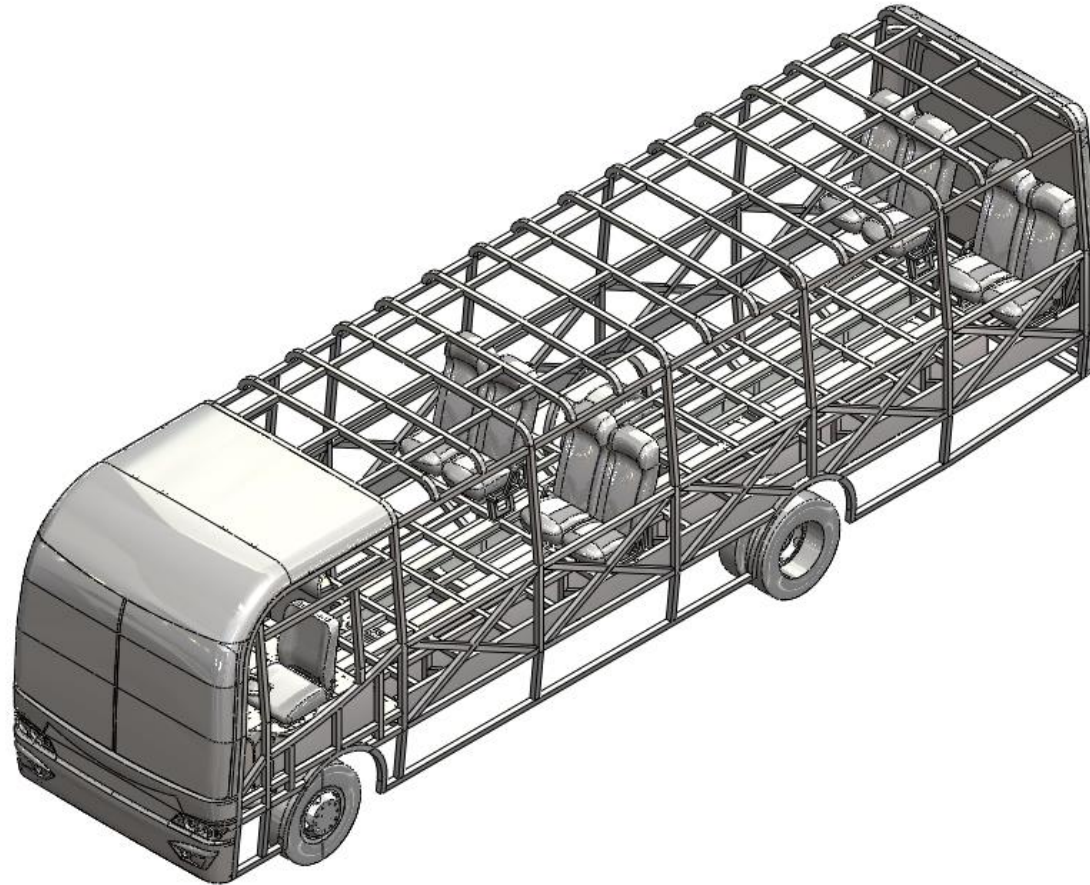


CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

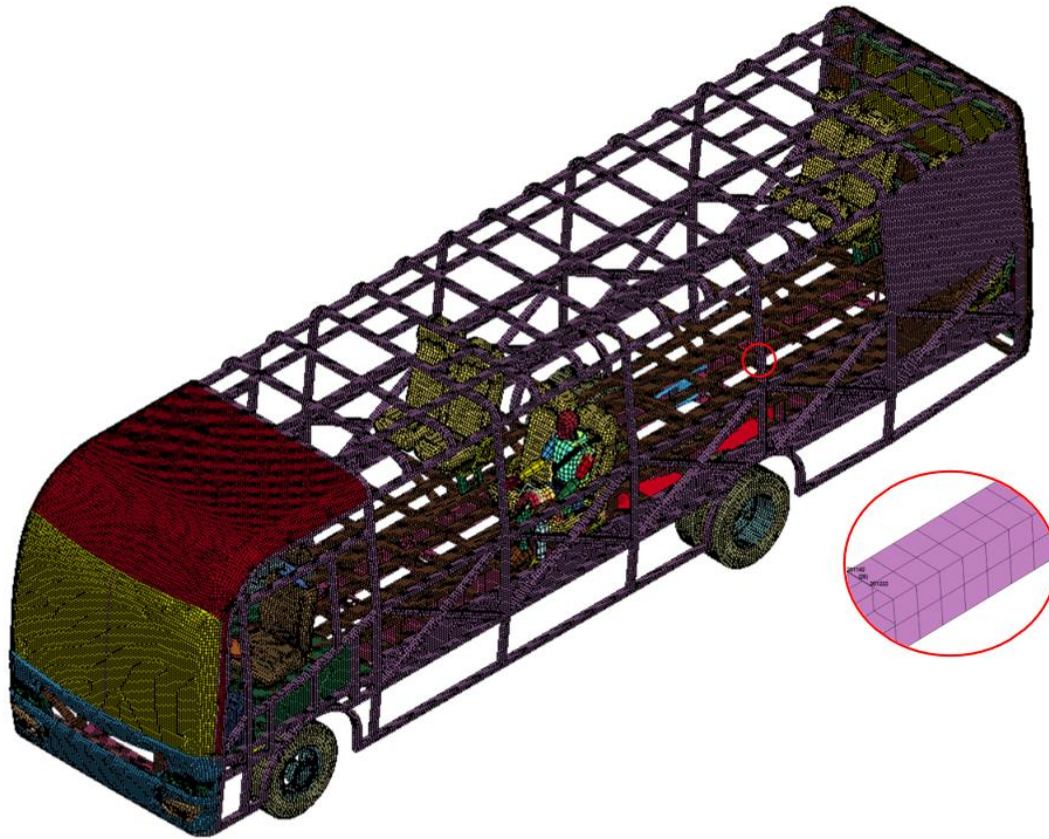
Diseño de autopartes: panel frontal, panel posterior y asientos



MODELO FINAL



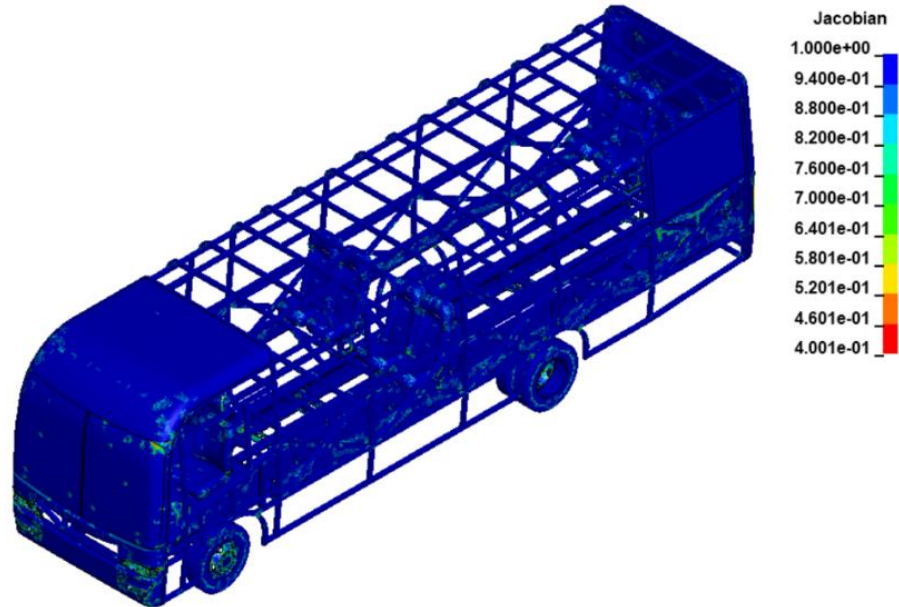
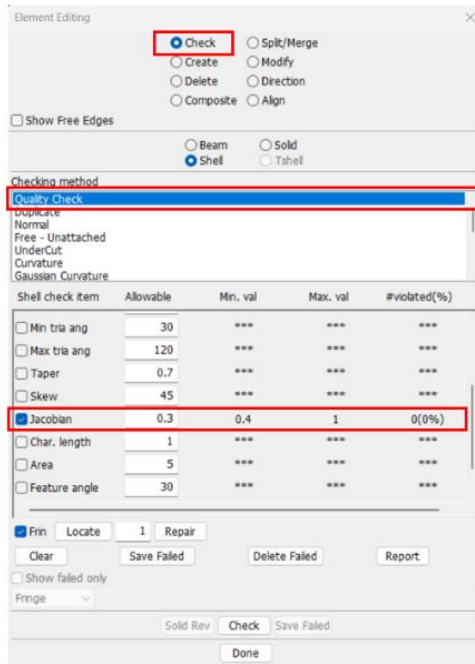
PRE-PROCESAMIENTO



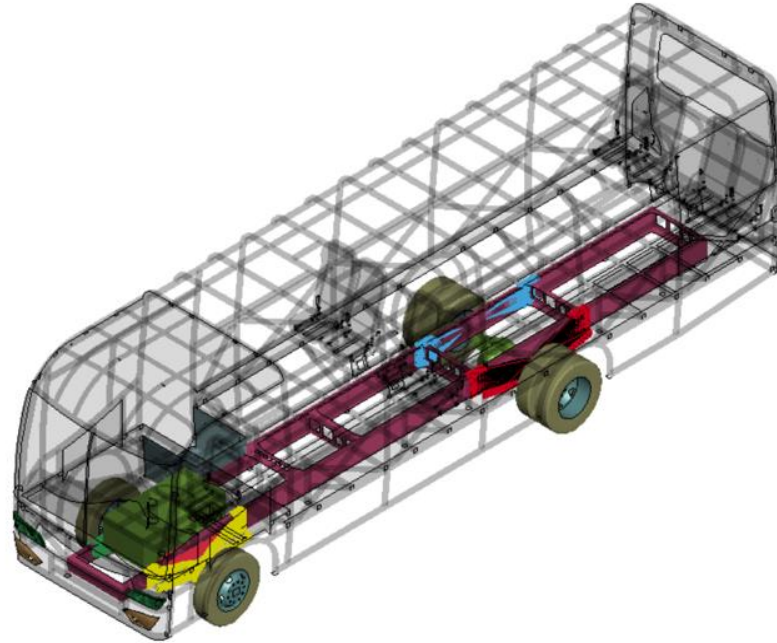
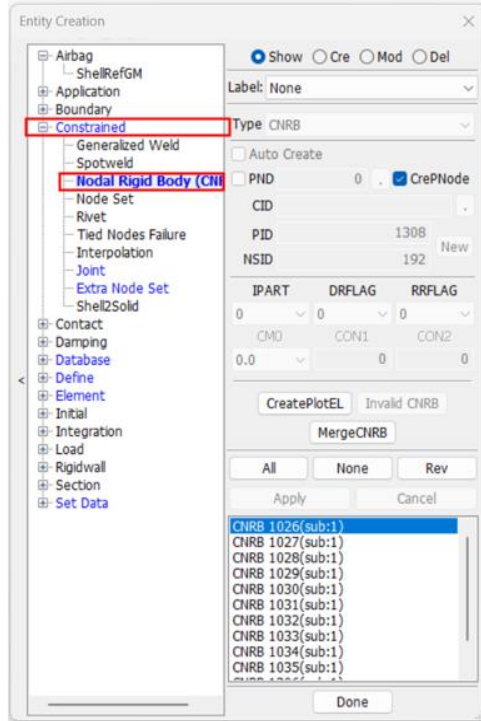
Sección 50x50 mm se utilizará un tamaño de malla de 25 mm.



CRITERIO JACOBIANO PARA CALIDAD DE MALLA



UNIÓN DE AUTOPARTES



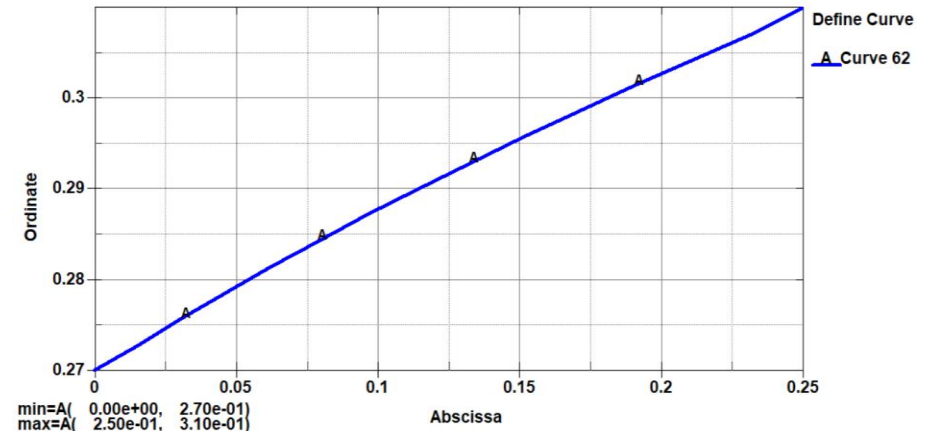
ASIGNACIÓN DE MATERIAL

Acero ASTM A500

Propiedades del material.

Propiedad	Valor
Densidad del material	7.83e-6 (kg/mm ³)
Módulo de Young	207 (GPa)
Radio de Poisson	0.3 (mm/mm)
Límite de fluencia	0.270 (GPa)
Resistencia última a la tracción	0.310 (GPa)
Deformación máxima unitaria	0.25

Curva esfuerzos deformación (región plástica)



ASIGNACIÓN DE MATERIAL

Interfaz de asignación de material

Keyword Input Form

NewID

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 IMPACTO LATERAL BUS y AUTO.k)

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_(TITLE) (024) (4)

TITLE
ACERO ASTM A 500 GRADO A

1	<u>MID</u>	<u>RO</u>	<u>E</u>	<u>PR</u>	<u>SIGY</u>	<u>ETAN</u>	<u>FAIL</u>	<u>TDEL</u>
	467	7.800e-06	200.00000	0.3000000	0.0	0.0	0.2500000	0.0
2	<u>C</u>	<u>P</u>	<u>LCSS</u> ▾	<u>LCSR</u> ▾	<u>VP</u>			
	0.0	0.0	62	0	0.0 ▾			
3	<u>EPS1</u>	<u>EPS2</u>	<u>EPS3</u>	<u>EPS4</u>	<u>EPS5</u>	<u>EPS6</u>	<u>EPS7</u>	<u>EPS8</u>
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	<u>ES1</u>	<u>ES2</u>	<u>ES3</u>	<u>ES4</u>	<u>ES5</u>	<u>ES6</u>	<u>ES7</u>	<u>ES8</u>
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

RO = densidad de masa en kg/mm^3 , E = módulo de Young en MPa y PR = el coeficiente de Poisson.



IMPORTANTE



El software de pre
procesamiento no tiene
una interfaz de tipo
gráfica

Unidades básicas seleccionadas.

Magnitud	Unidad
Masa	kg
Longitud	mm
Tiempo	ms
Gravedad	mm/ms ²
Fuerza	kN
Esfuerzo	GPa
Densidad	kg/mm ³
Velocidad	mm/ms

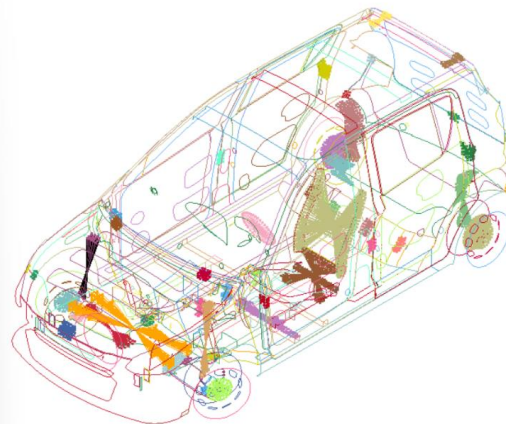
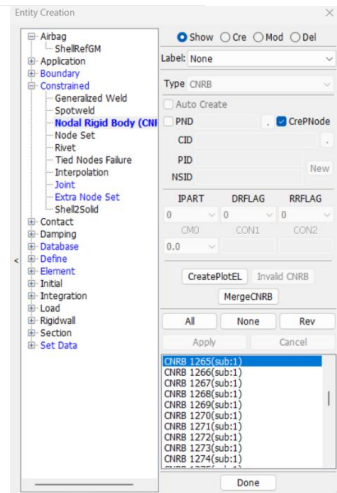
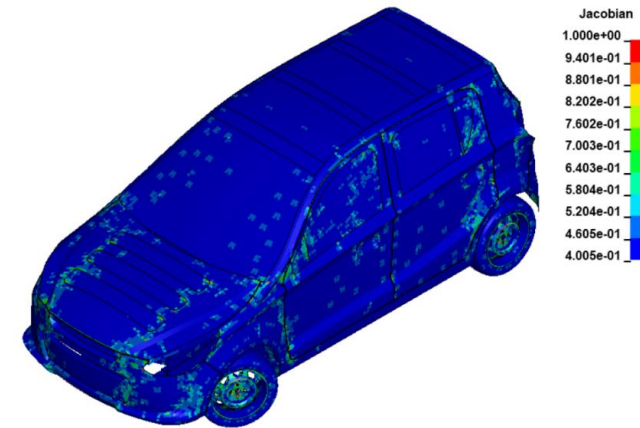
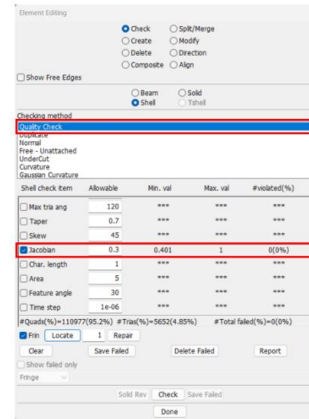
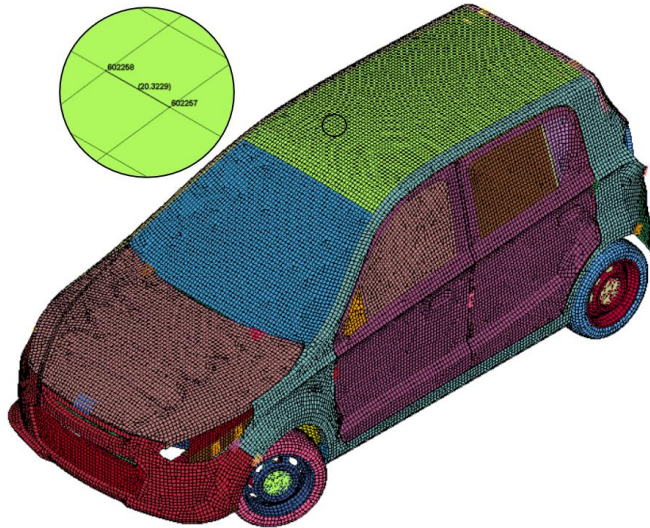


METODOLOGÍA PARA SIMULACIÓN DE IMPACTO LATERAL



VEHÍCULO DE IMPACTO LATERAL

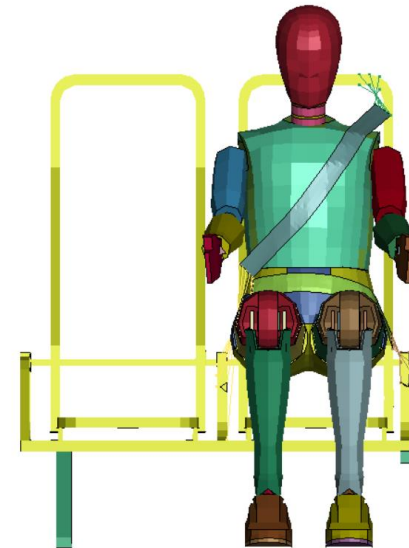
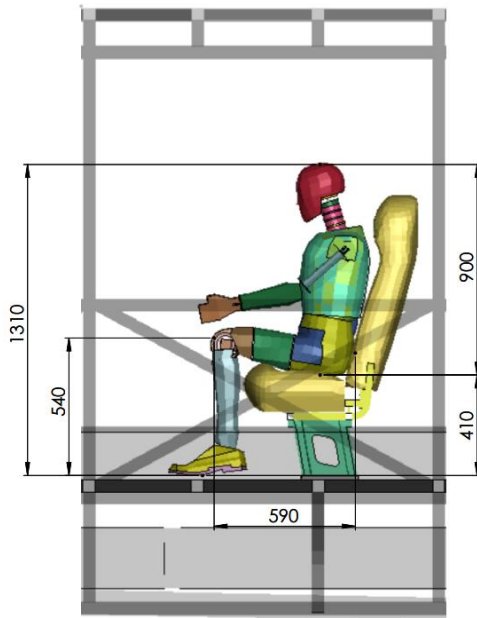
Según norma FMSS 214- Vehículo tipo hatchback de aproximadamente 1400 kg



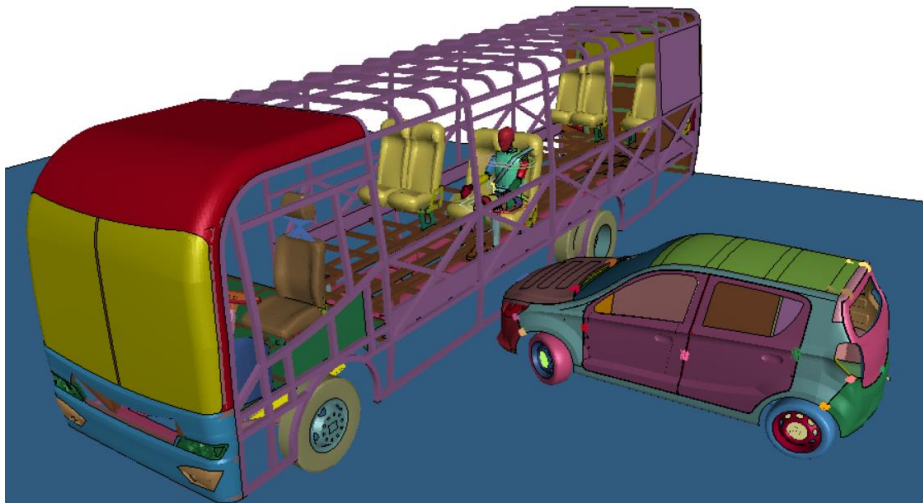
POSICIÓN DEL DUMMIE PARA IMPACTO LATERAL

Colocación en el asiento
Herramienta *Dummy Positioning*

Implementación de cinturón de seguridad



ENTORNO VIRTUAL



Elementos	Característica/Cantidad
Nodos	362720
Shells	372322
Solids	2644
Nodal Rigid Bodies	57
Tipos de elementos	Shell 2D y Solids



CONDICIONES DE SIMULACIÓN

Condiciones de simulación	
Bus	Minibús
Vehículo	Hatchback
Maniquí de impacto	HÍBRIDO III 50% percentil masculino
Tipo de cinturón de seguridad	3 puntos
Velocidad	Vx: 7.806 mm/ms
	Vy: 15.32 mm/ms
Tipos de contactos	AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE
	AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE
Tiempo de simulación	480 ms



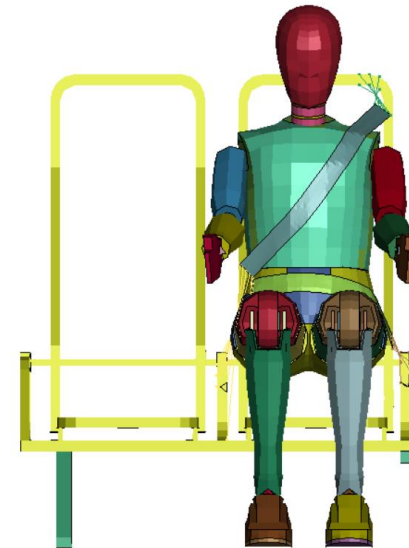
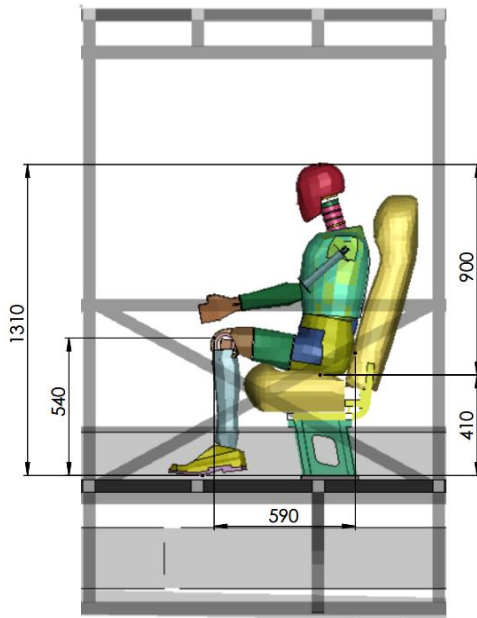
METODOLOGÍA PARA SIMULACIÓN DE VUELCO



POSICIÓN DEL DUMMIE PARA IMPACTO LATERAL

Colocación en el asiento
Herramienta *Dummy Positioning*

Implementación de cinturón de seguridad



Cálculo de la velocidad angular para el vuelco

$$E_p = E_c$$

$$0.75 m * g * \Delta h = \frac{1}{2} * m * v^2$$

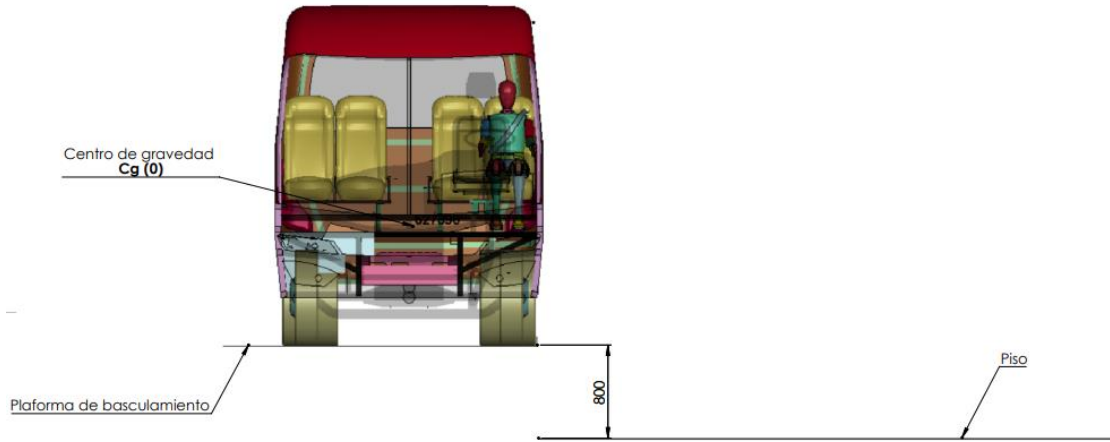
$$v = \sqrt{1.5 * g * \Delta h}$$

$$v = \omega * r$$

$$\omega = \frac{\sqrt{1.5 * g * \Delta h}}{r}$$



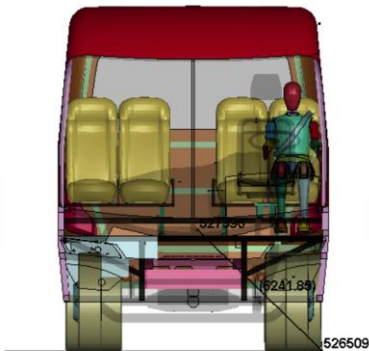
Cálculo de la velocidad angular para el vuelco



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

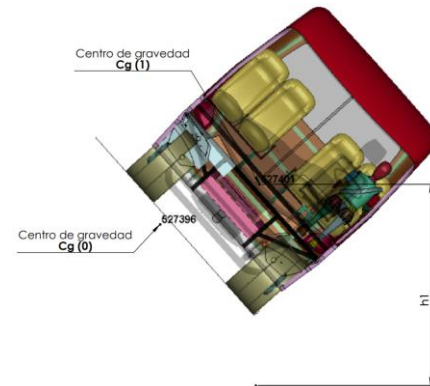
$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1062.2}{1027.23 - 80} \right)$$

$$\alpha = 48.26^\circ$$

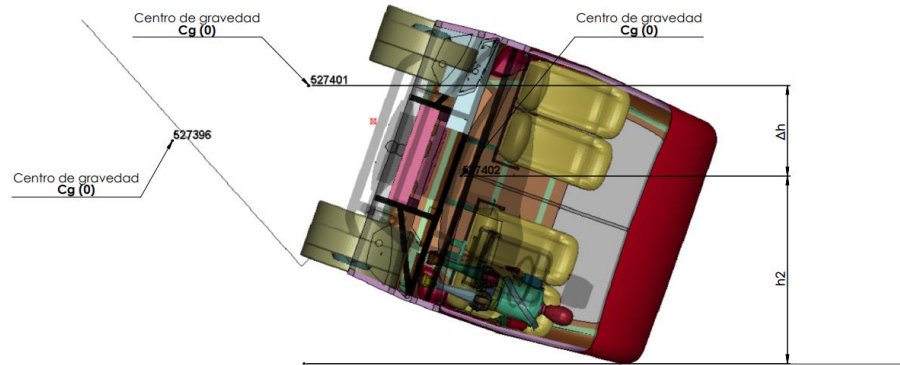


```

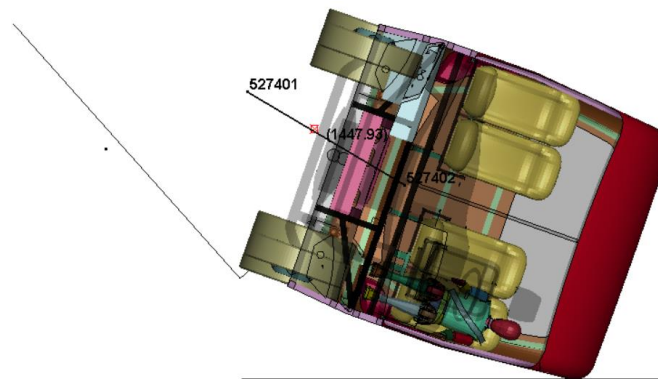
Message
zoomhere 0.110656 -0.151163 0.068719;
zoomhere 0.079918 -0.190407 0.054975;
zoomhere 0.079918 -0.190407 0.043980;
zoomhere 0.079918 -0.190407 0.035184;
zoomhere 0.079918 -0.190407 0.028147;
zoomhere 0.079918 -0.191860 0.022518;
Nid# 526509, xyz=306.3616333, -5290.001465, 6500.000488
measure dist N527396/O 4826509/O;
Nid# 527396, xyz=-755.8417969, -4262.370117, 435.6471558
Nid# 526509, xyz=306.3616333, -5290.001465, 6500.000488
dx=1062.2 dy=-1027.63 dz=606.85 dist=6241.85
top
zoomhere 0.084016 -0.322674 0.028147;
zoomhere 0.084016 -0.322674 0.035184;
zoomhere 0.084016 -0.322674 0.043980;
    
```



Cálculo de la velocidad angular para el vuelco



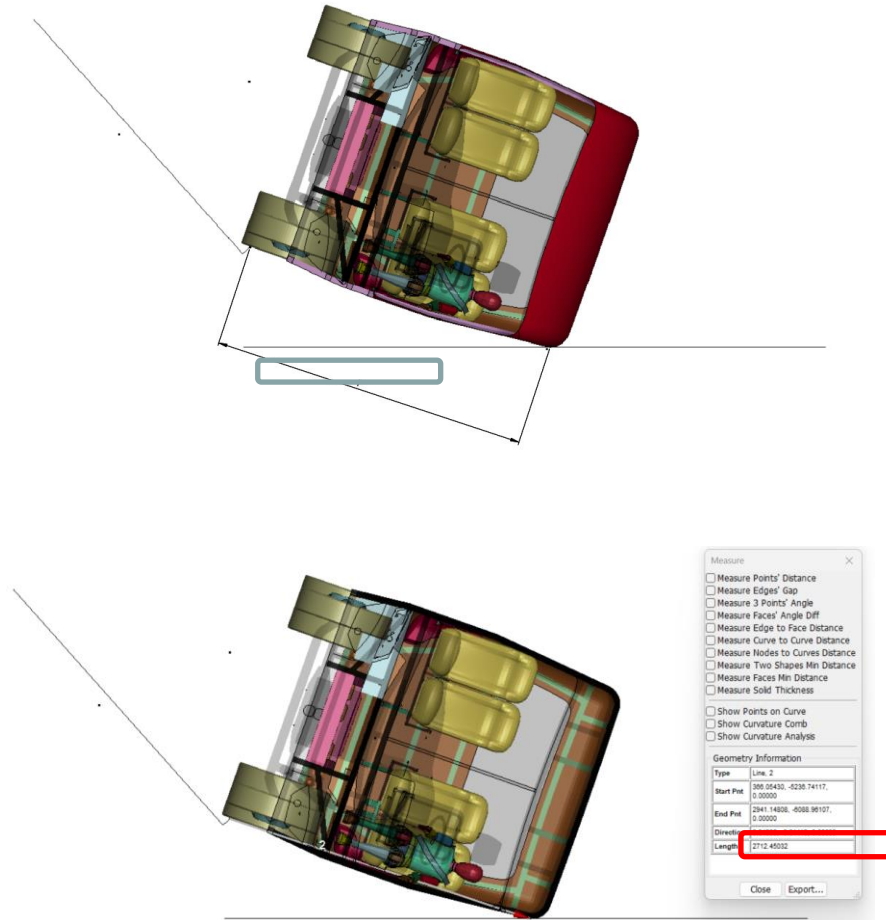
Punto de contacto



```
Message
zoomhere 0.138661 0.167151 0.410311;
zoomhere 0.086066 0.129360 0.512889;
zoomhere 0.045082 0.093023 0.641111;
quat -0.044634 -0.036911 0.148474 0.987219;
zoomhere -0.006148 0.172965 0.512889;
zoomhere -0.006148 0.171512 0.410311;
zoomhere -0.008197 0.165698 0.328249;
Nid# 527401, xyz=365.9883118, -3813.266113, 435.6470032
measure dist N527402/2 N527401/2;
Nid# 527402, xyz=-1612.702881, -4549.614258, 435.6469727
Nid# 527401, xyz=365.9883118, -3813.266113, 435.6470032
dx=-1246.71 dy=736.348 dz=3.05170e-05 liste 1447.93
pan -210.341064 -90.068100;
top
pan 1612.116211 -759.983643;
Clear Close
```



Cálculo de la velocidad angular para el vuelco

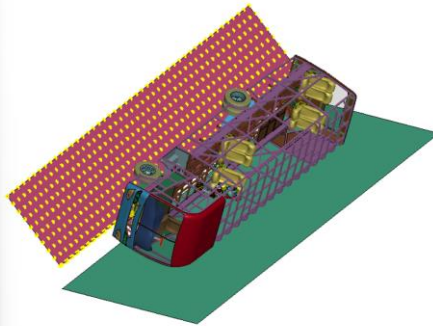
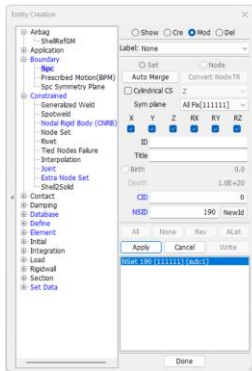


Radio de Giro

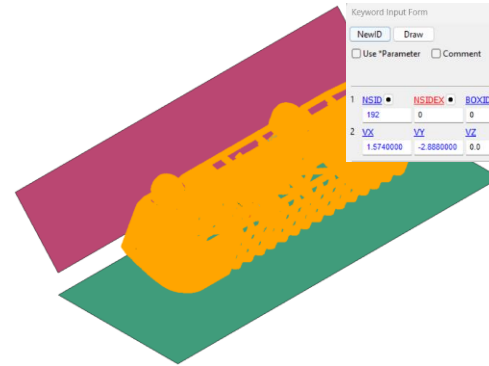


CONDICIONES DE SIMULACIÓN

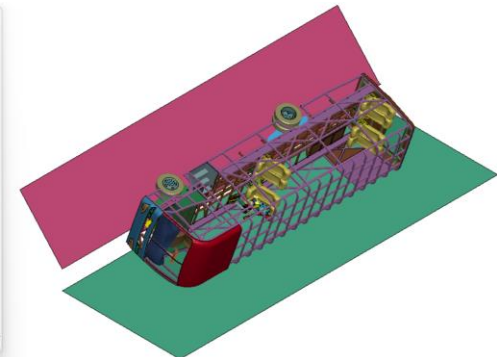
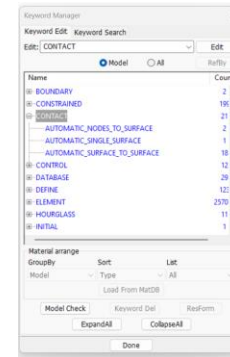
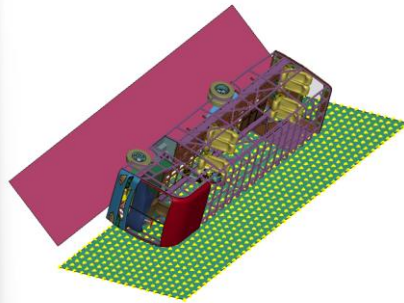
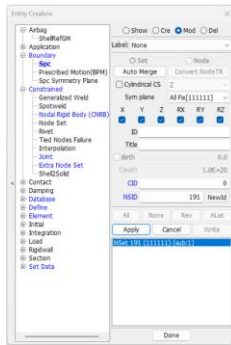
Restricciones



Velocidad



Contactos



CONDICIONES DE SIMULACIÓN

Condiciones de simulación	
Tipo de transporte	Minibús.
Restricciones de desplazamiento y rotación	En todos los ejes de la plataforma de basculamiento y el piso.
Modelo de maniquí de pruebas de impacto	HÍBRIDO III 50% percentil masculino
Tipo de cinturón de seguridad	3 puntos
Velocidad angular	0.002312 rad/ms
Velocidad de las componentes de la velocidad angular	Vt: 3.29 mm/ms
	Vx: 1.574 mm/ms
	Vy: 2.888 mm/ms
Tipos de contactos	AUTMATIC_SINGLE_SURFACE AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURF ACE
Tiempo de simulación	150 ms



Cálculo de la velocidad angular para el vuelco

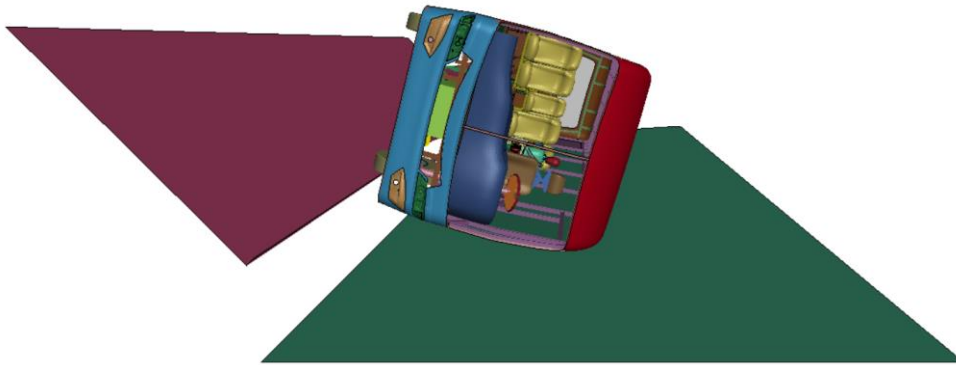
$$\omega = \frac{\sqrt{1.5 * g * \Delta h}}{r}$$

$$\omega = \frac{\sqrt{1.5 * 0.0098066 * 736.348}}{2712.45}$$

$$\omega = 0.0012133 \text{ rad/ms}$$



ENTORNO VIRTUAL



Elementos	Característica/Cantidad
Nodos	248027
Shells	254388
Solids	2644
Nodal Rigid	10
Bodies	
Tipos de elementos	Shell 2D y Solids

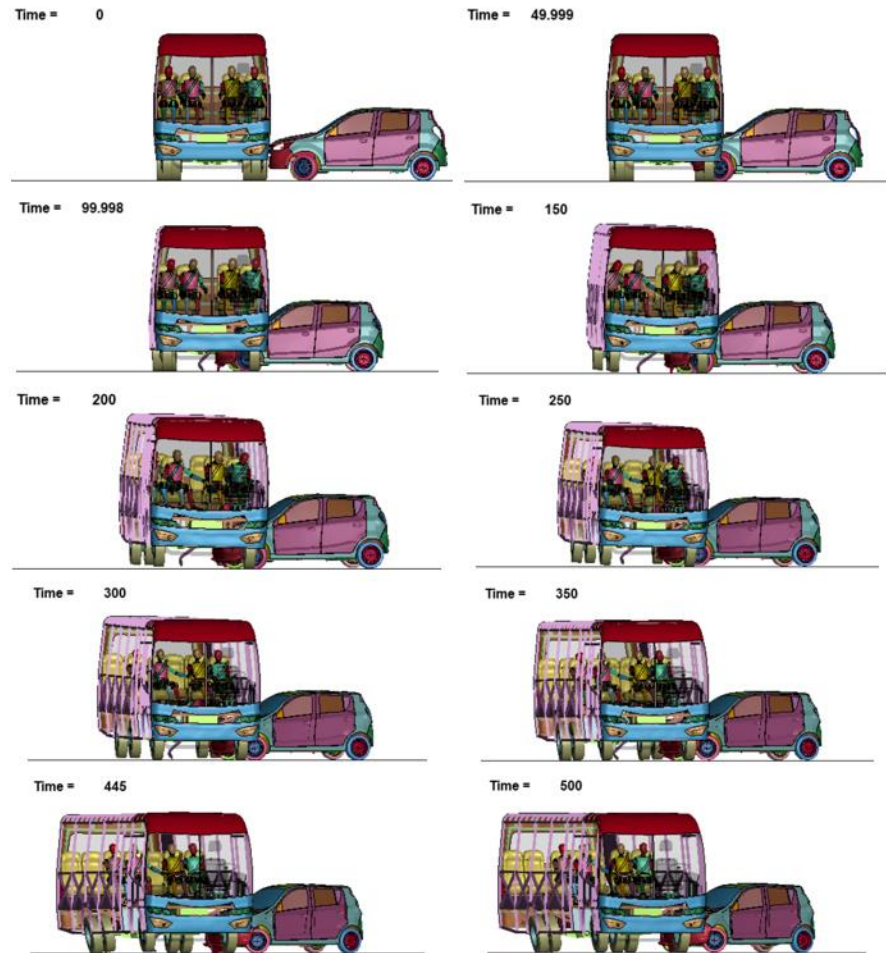


ANÁLISIS DE RESULTADOS



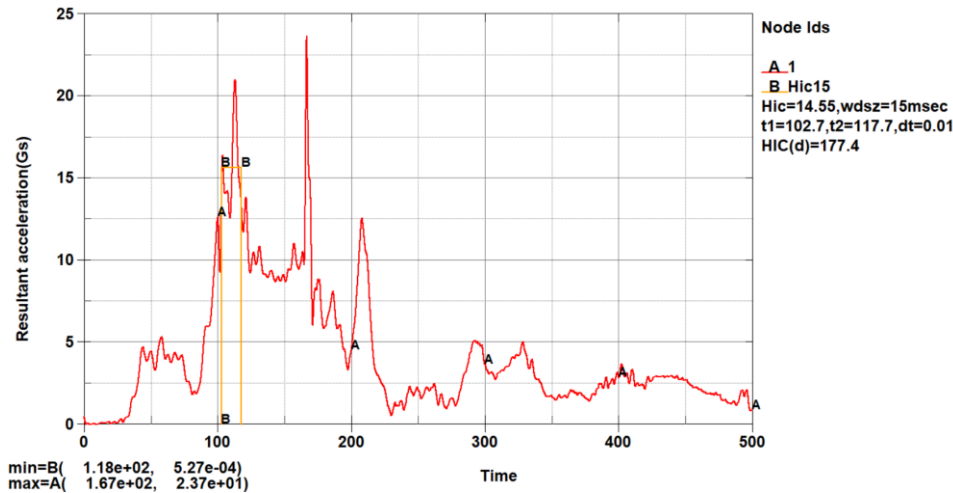
SIMULACIÓN DE IMPACTO LATERAL CON VEHÍCULO DE MINIBÚS CON 4 MANIQUÍES

Secuencia de impacto lateral con vehículo.

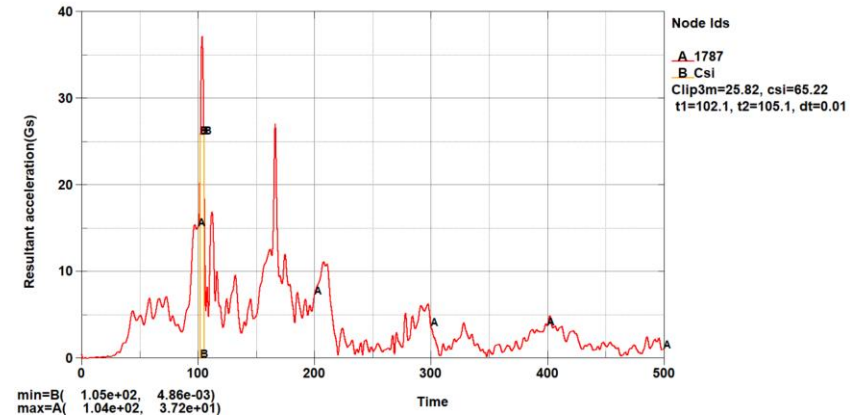


SIMULACIÓN DE IMPACTO LATERAL CON VEHÍCULO DE MINIBÚS CON 4 MANIQUÍ

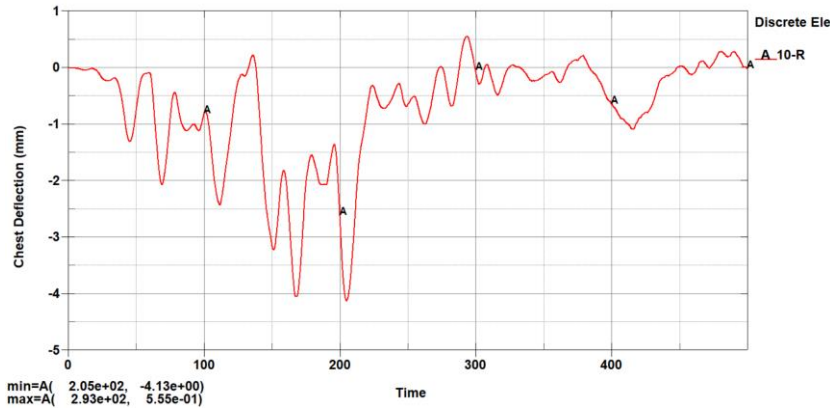
Criterios de lesiones del maniquí 1 (lateral izquierdo junto a la ventana- Curvas de Aceleración resultante vs Tiempo



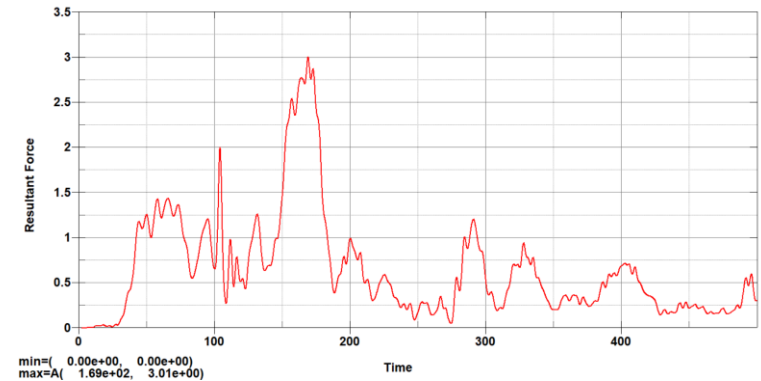
HIC=15 kN



CSI=65,22 kN



Desplazamiento= 4,13 mm

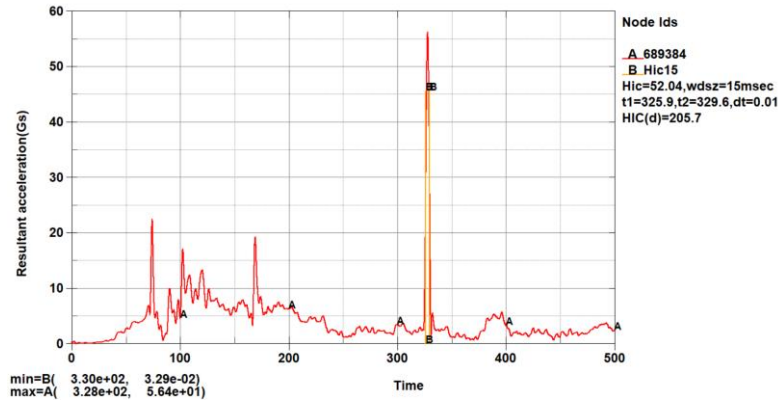


Criterio de pelvis= 3,01 kN

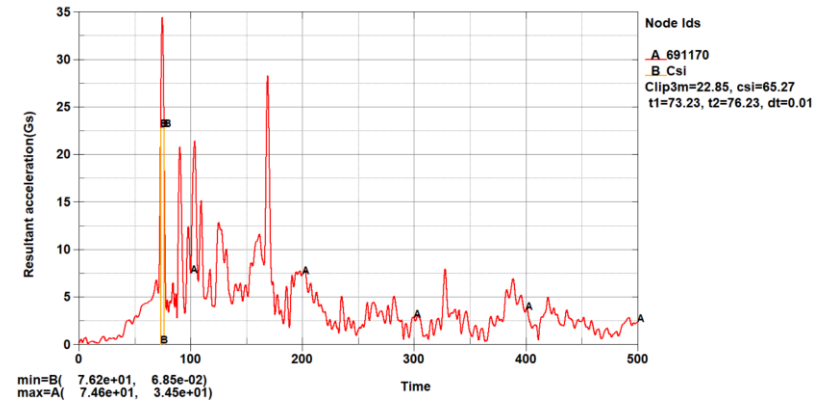


SIMULACIÓN DE IMPACTO LATERAL CON VEHÍCULO DE MINIBÚS CON 4 MANIQUÍ

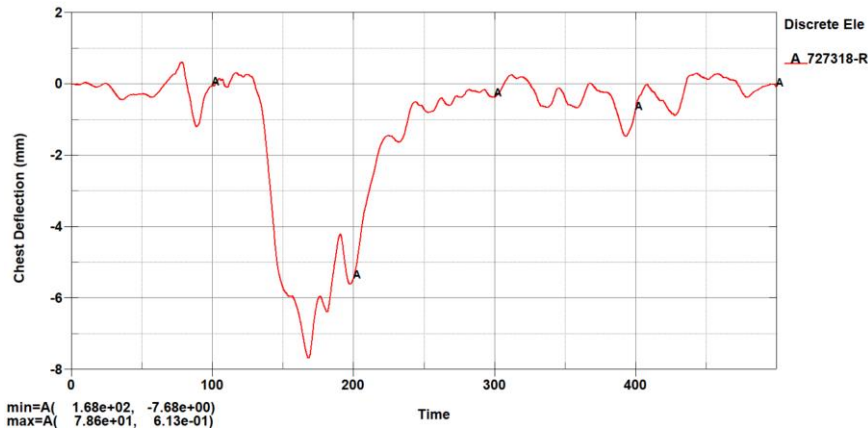
Criterios de lesiones del maniquí 2 (junto al maniquí 1) - Curvas de Aceleración resultante vs Tiempo



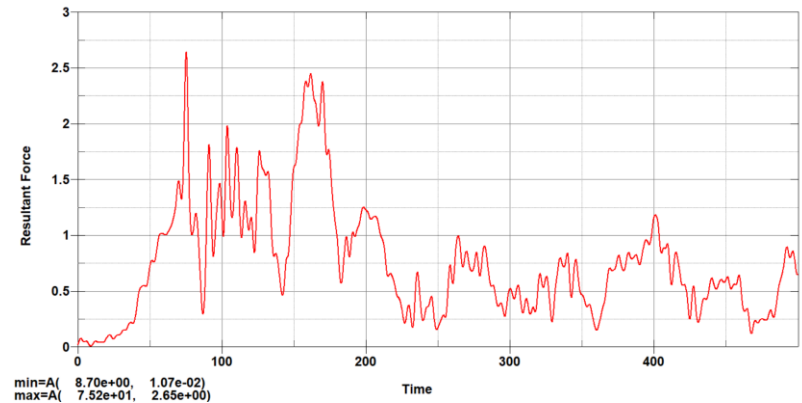
HIC = 52,04 kN



CSI = 65,27 kN



Desplazamiento= 7,68 mm

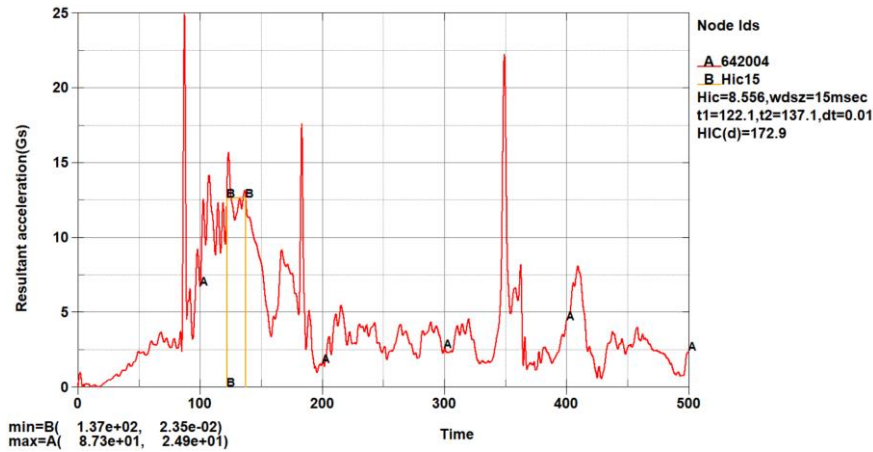


Criterio de pelvis= 2,65 kN

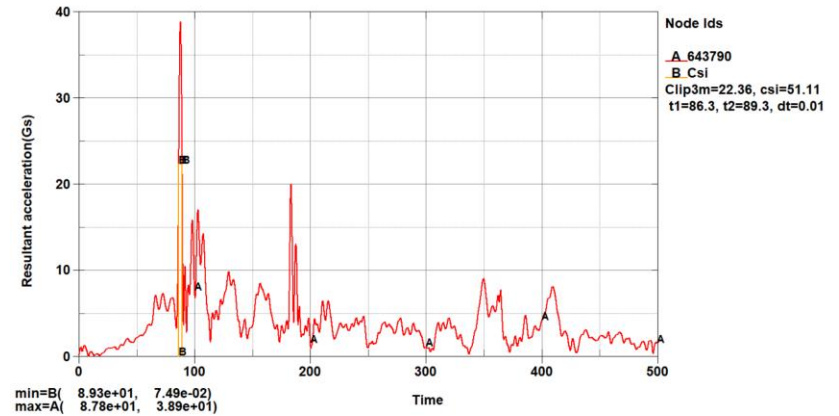


SIMULACIÓN DE IMPACTO LATERAL CON VEHÍCULO DE MINIBÚS CON 4 MANIQUÍS

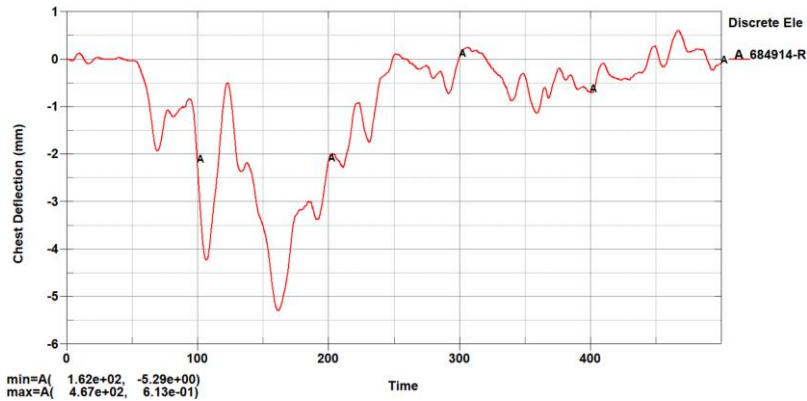
Criterios de lesiones del maniquí 3 (lateral derecho junto a la ventana- Curvas de Aceleración resultante vs Tiempo



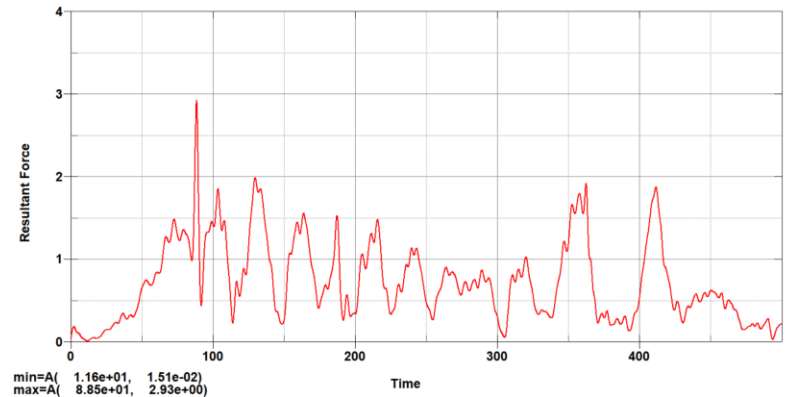
HIC = 8,55 kN



CSI=51,11 kN



Desplazamiento= 5,29 mm

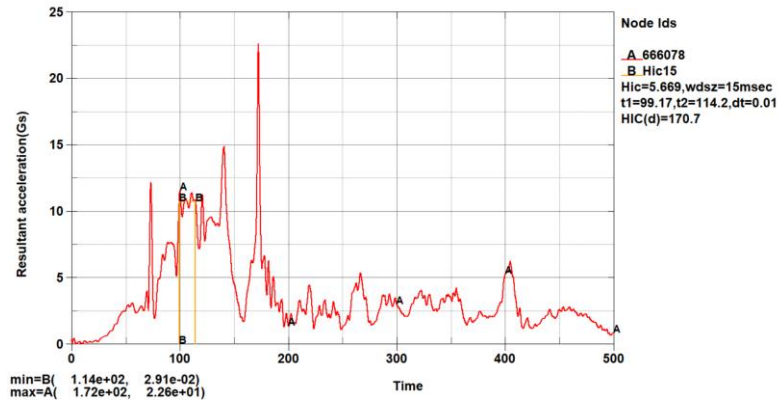


Criterio de pelvis= 2,93 kN

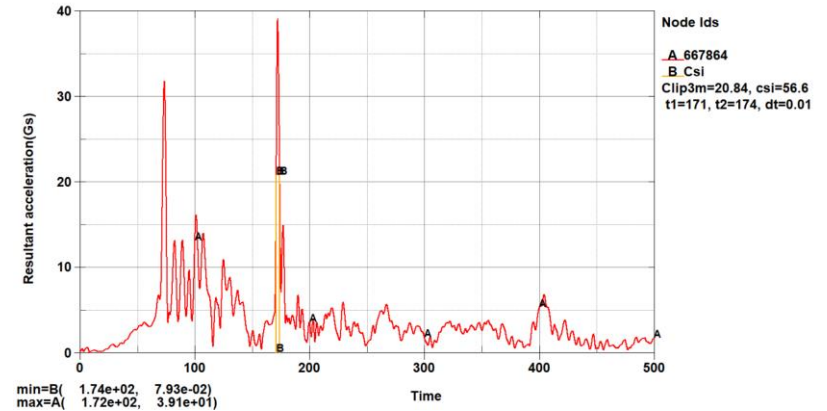


SIMULACIÓN DE IMPACTO LATERAL CON VEHÍCULO DE MINIBÚS CON 4 MANIQUÍ

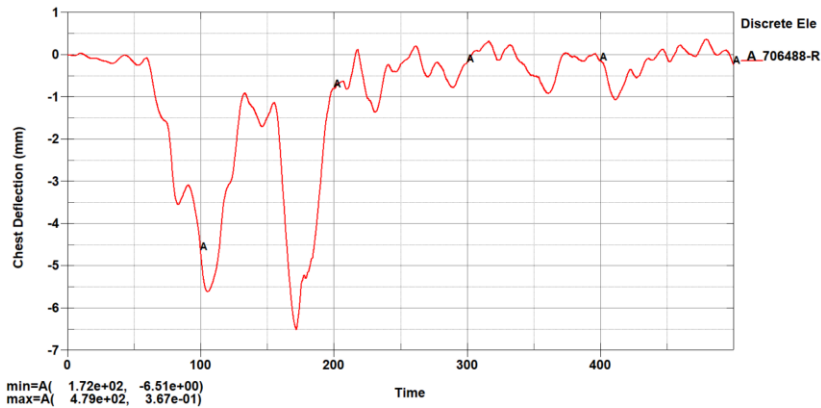
Criterios de lesiones del maniquí 4 (junto al maniquí 3) - Curvas de Aceleración resultante vs Tiempo



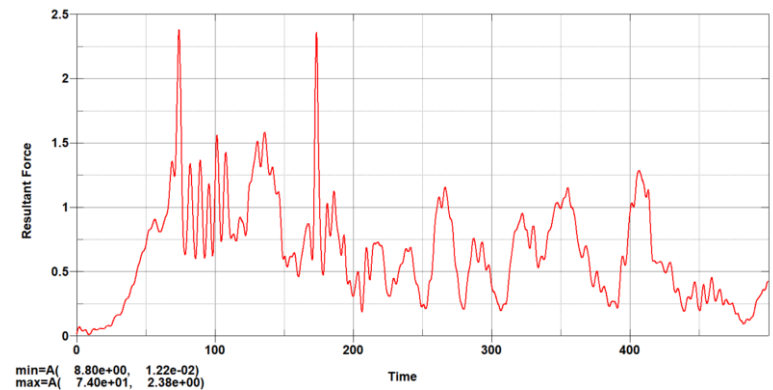
HIC = 5,669 kN



CSI = 56,6kN



Desplazamiento= 6,51 mm

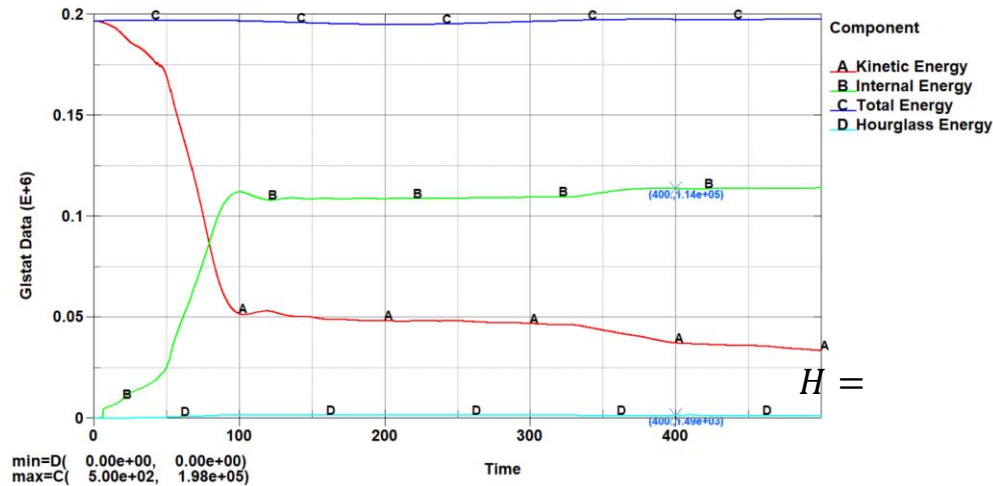


Criterio de pelvis= 2,38 kN



SIMULACIÓN DE IMPACTO LATERAL

Validación del estudio virtual



$$H = \frac{E. Hourglass}{E. Interna} * 1000$$

$$H = \frac{1,49 * 10^3}{1,44 * 10^5} * 1000$$

$$H = 1,03 \%$$

$$H < 10 \%$$

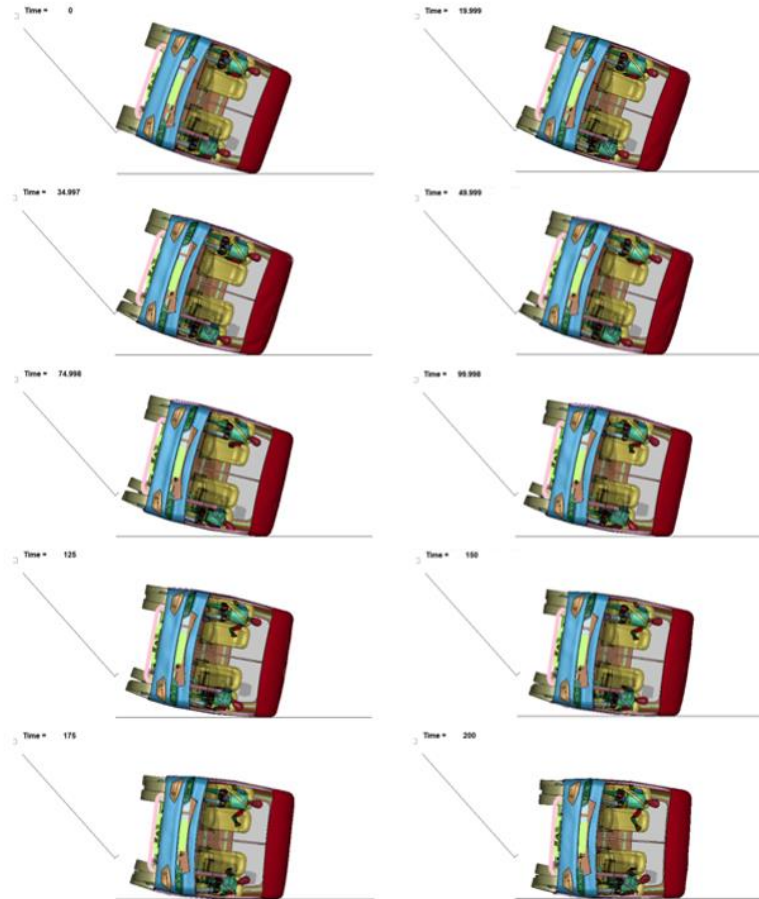
Energía *Hourglass* = $1,49 * 10^3$ kN-mm

Energía Interna = $1,44 * 10^5$ kN-mm



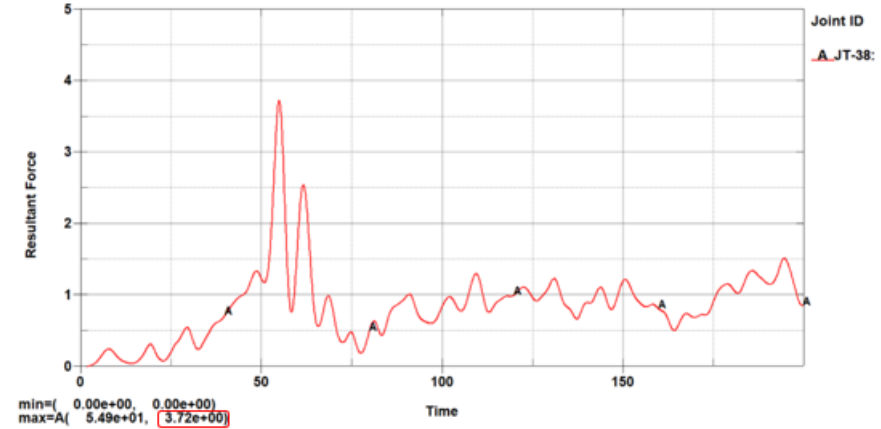
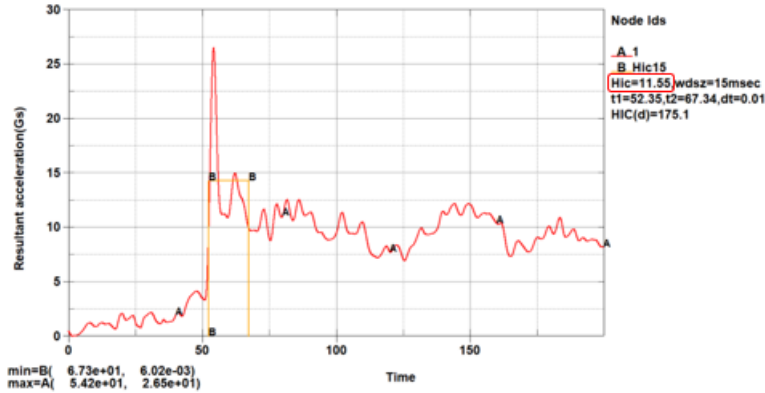
SIMULACIÓN DE VUELCO DE MINIBÚS CON 2 MANIQUÍ

Secuencia de vuelco del minibús.

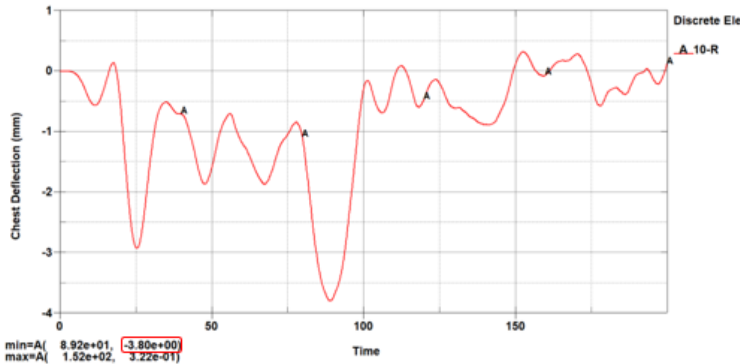


SIMULACIÓN DE VUELCO CON VEHÍCULO DE MINIBÚS CON 2 MANIQUÍ

Criterios de lesiones del maniquí 1 (Lateral izquierdo junto a la ventana)

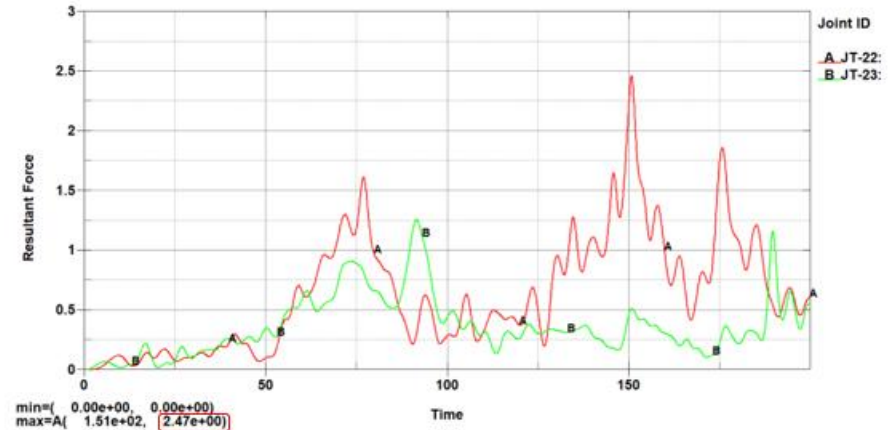


HIC = 46,79 kN



Desplazamiento= 3.80 mm

Lesión del Abdomen= 3,72 kN

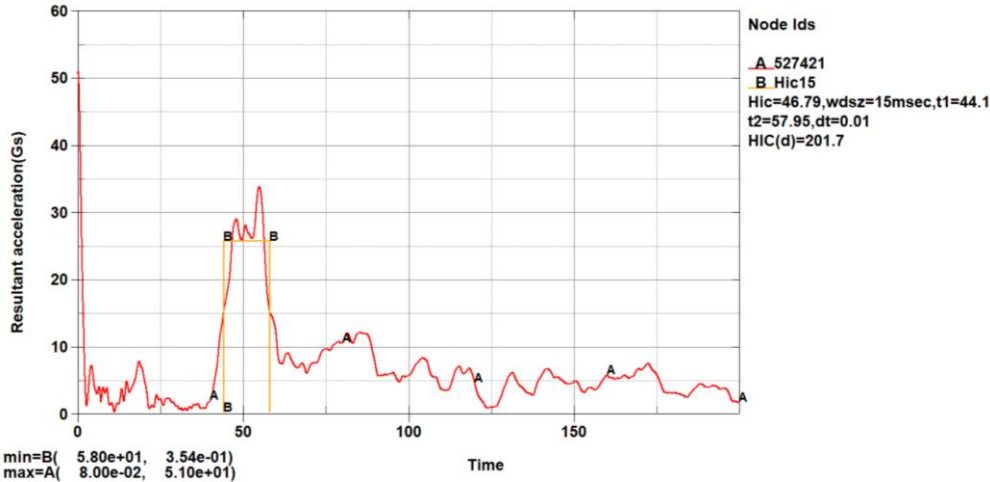


Criterio de pelvis= 2,47 kN

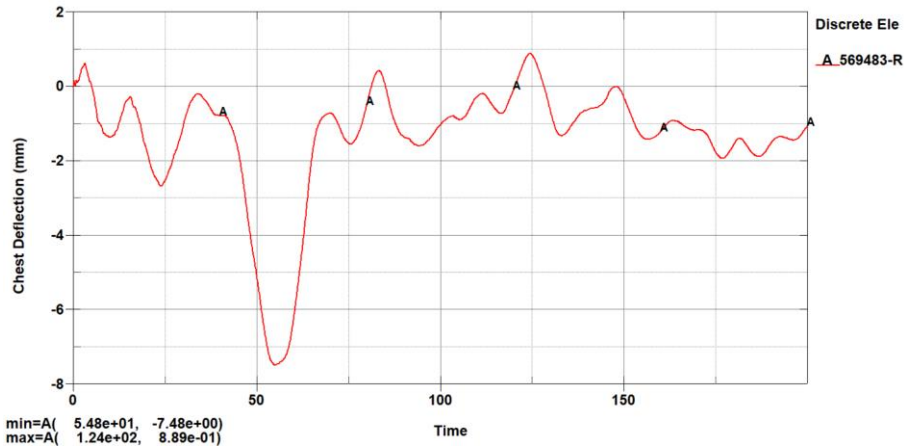


SIMULACIÓN DE VUELCO CON VEHÍCULO DE MINIBÚS CON 2 MANIQUÍ

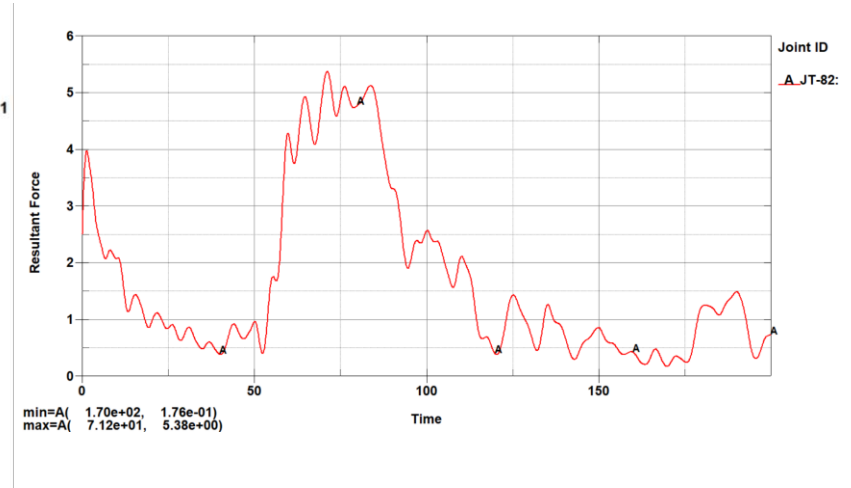
Criterios de lesiones del maniquí 2 (Lateral derecho junto a la ventana)



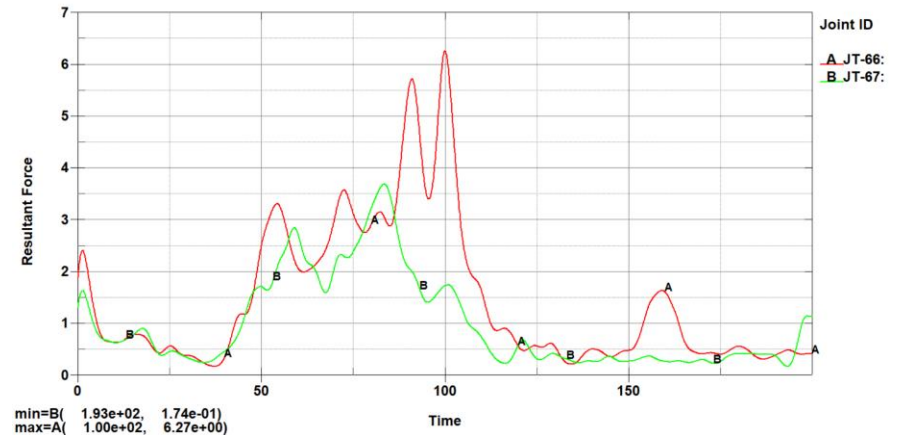
HIC = 46,79 kN



Desplazamiento= 7,48 mm



Lesión del Abdomen= 5,38 kN

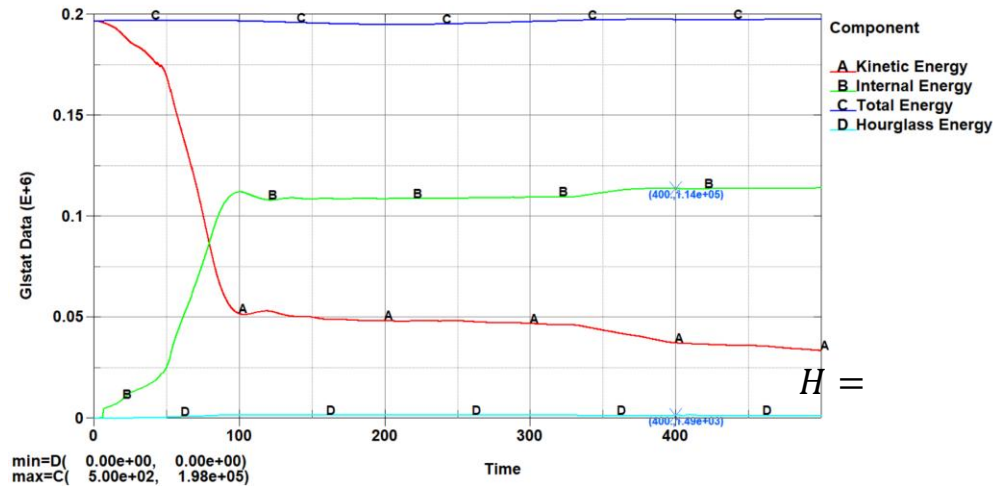


Criterio de pelvis= 6,27 kN



SIMULACIÓN DE VUELCO

Validación del estudio virtual



$$H = \frac{E. Hourglass}{E. Interna} * 1000$$

$$H = \frac{8,16 * 10^3}{74,8} * 1000$$

$$H = 1,03 \%$$

$$H < 10 \%$$

Energía *Hourglass* = $8,16 * 10^3$ kN-mm

Energía Interna = 74,8 kN-mm



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Los resultados del impacto lateral con vehículo mostraron valores dentro de los límites permitidos por el reglamento, lo que indica que la estructura del vehículo escolar cumple con los estándares requeridos para la aprobación en este ensayo.
- Los valores obtenidos en el impacto lateral con pulso de aceleración para el HIC, el CSI y el desplazamiento del tórax cumplen con los límites establecidos por el reglamento, demostrando que la estructura del minibús se comporta adecuadamente en relación con la seguridad de los ocupantes. Sin embargo, se identificó un aspecto crítico en el comportamiento de la pelvis, que excede el límite permitid. Esto indica que la estructura de la carrocería no cumple completamente con los estándares requeridos para esta prueba específica.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El post-procesamiento de la simulación de vuelco, se evaluaron las afectaciones de dos ocupantes ubicados en la parte central de la estructura uno a cada lado de los paneles laterales, utilizando el maniquí Hibryd III percentil 50 masculino, basándose en 4 criterios establecidos por el UNECE/CEPE R95,
- Los valores obtenidos en el vuelco arrojaron que están dentro del límite requerido por la UNECE/CEPE señalando que la estructura cumple con los estándares establecidos por el reglamento R95 para este ensayo.
- El cálculo de la energía de hourglass es importante para verificar la confiabilidad de los valores obtenidos en la simulación. Para el impacto lateral la energía interna alcanzó una magnitud de 1.01×10^5 [J] y la energía de hourglass 0.824 [J], aplicando el criterio del control de energías de hourglass el cual afirma que para que los datos obtenidos sean válidos el porcentaje de la energía de hourglass debe ser inferior al 10% de la energía interna, lo que resulta que con los valores anteriores la Energía de Hourglass es menor al 10% de la Energía Interna, validando la simulación.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RECOMEDACIONES

- Mejorar el diseño estructural de la carrocería tomando en cuenta el mayor porcentaje posible sus características como la distribución de los asientos en el vehículo escolar. Esto implica ajustar la posición y número de asientos para que se asemejen lo más posible a la configuración real del vehículo.
- Incorporar maniquís adicionales ubicados estratégicamente en los asientos para realizar una comparación detallada de sus comportamientos ante impactos laterales y de vuelco y comprender mejor el comportamiento de todo el minibús.
- Ampliar el estudio de diversos criterios para evaluar la calidad de la malla en el análisis de elementos finitos, incluyendo aspectos adicionales al coeficiente Jacobiano, como la relación de aspecto de los elementos, la distorsión angular, la distorsión de los ángulos internos, entre otros.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RECOMEDACIONES

- Realizar validaciones de estructuras de carrocerías mediante ensayos computacionales de impacto, ya que estas simulaciones representan una valiosa herramienta para evaluar tanto el comportamiento estructural como la afectación en los ocupantes en caso de colisiones. Al llevar a cabo estas validaciones, se logra que las empresas carroceras puedan perfeccionar sus modelos de vehículos escolares para garantizar una mayor protección de los ocupantes, lo que contribuye significativamente a reducir el riesgo de lesiones y maximizar la seguridad de los estudiantes transportados.
- Promover la investigación en el ámbito del análisis estructural y biomecánico en Ecuador, con el objetivo de desarrollar una normativa que regule la realización de pruebas virtuales de impactos para buses en todas sus modalidades. Esta normativa deberá establecer criterios y condiciones específicas para la homologación de las estructuras de las carrocerías, asegurando su seguridad y eficacia en situaciones de colisión.

