



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA & MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

**TEMA:** ANÁLISIS DE LA AFECTACIÓN DE LOS OCUPANTES EN LA ESTRUCTURA DE UN VEHÍCULO ESCOLAR SOMETIDO A IMPACTO FRONTAL Y POSTERIOR MEDIANTE EL USO DE SOFTWARES COMPUTACIONALES DE INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR CAD-CAE

**AUTORES:**

CARRERA BUSE, NELSON STEEF  
MORALES TANQUINO, ESTEBAN RENATO

**DIRECTOR DE TESIS:**

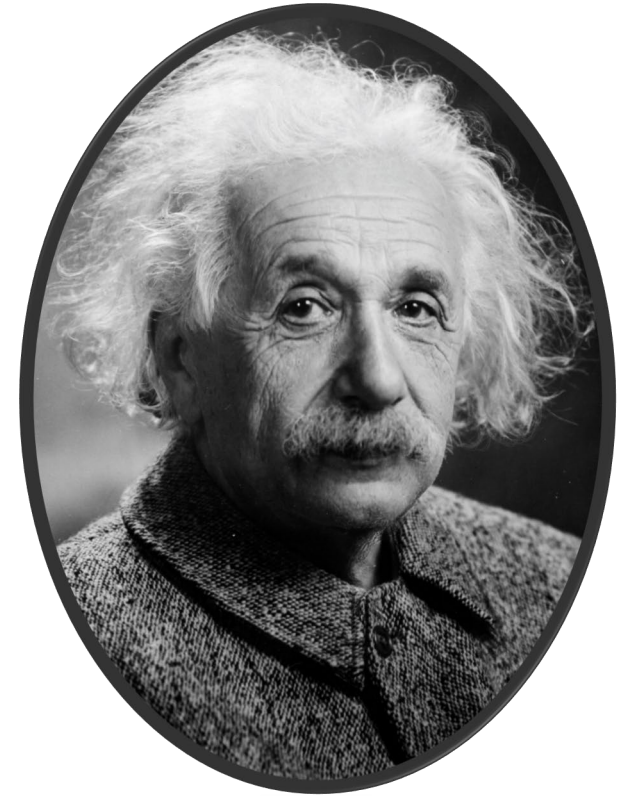
ING. MENA PALACIOS, JORGE STALIN MSC.

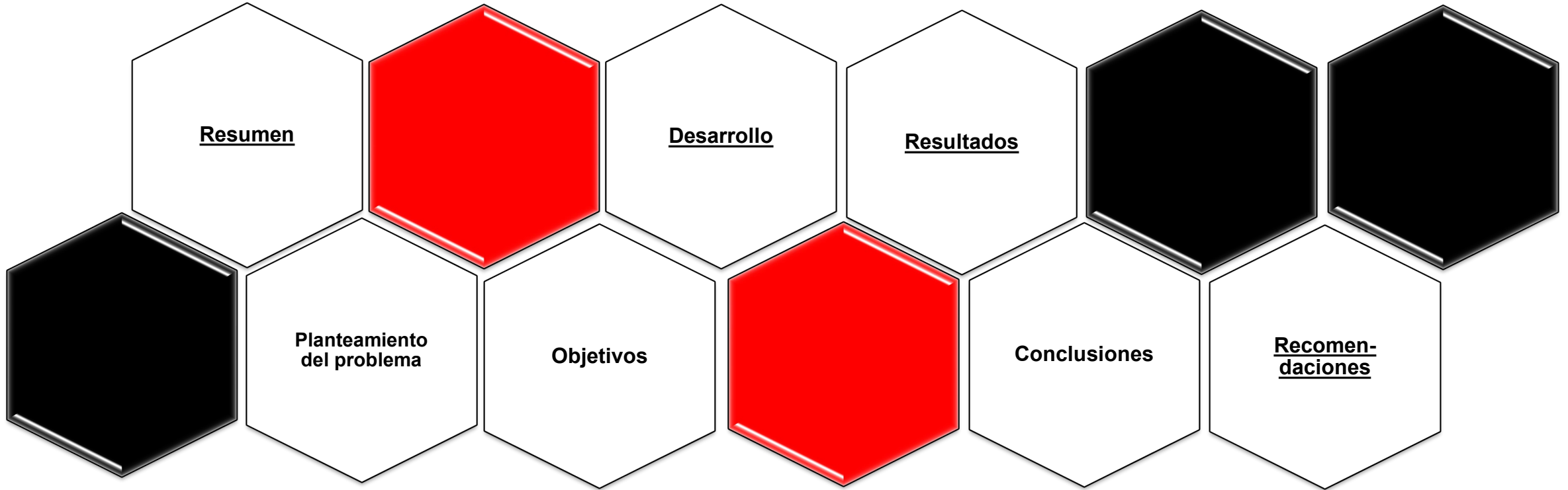
LATACUNGA  
AGOSTO, 2023



“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar el bello y maravilloso mundo del saber”

**Albert Einstein**





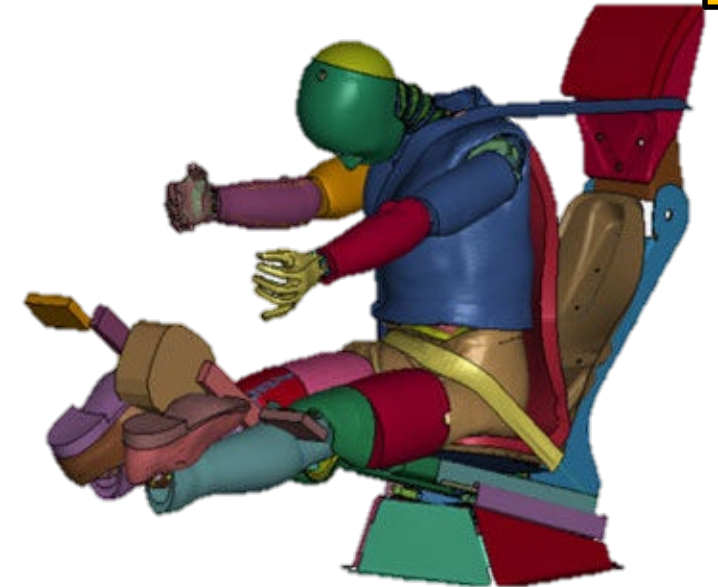
## Resumen

Se realizó el modelado de una carrocería de un mini bus escolar, en base al chasis Hino FC9JL7Z seleccionado, rigiéndose en las normas y reglamentos ecuatorianos como la norma RTE INEN 041.

Pasamos al preprocesamiento de la estructura donde se realizó los correctos empalmes de las uniones de los elementos Shell, como las uniones soldadas, para poder continuar con el proceso de mallado.

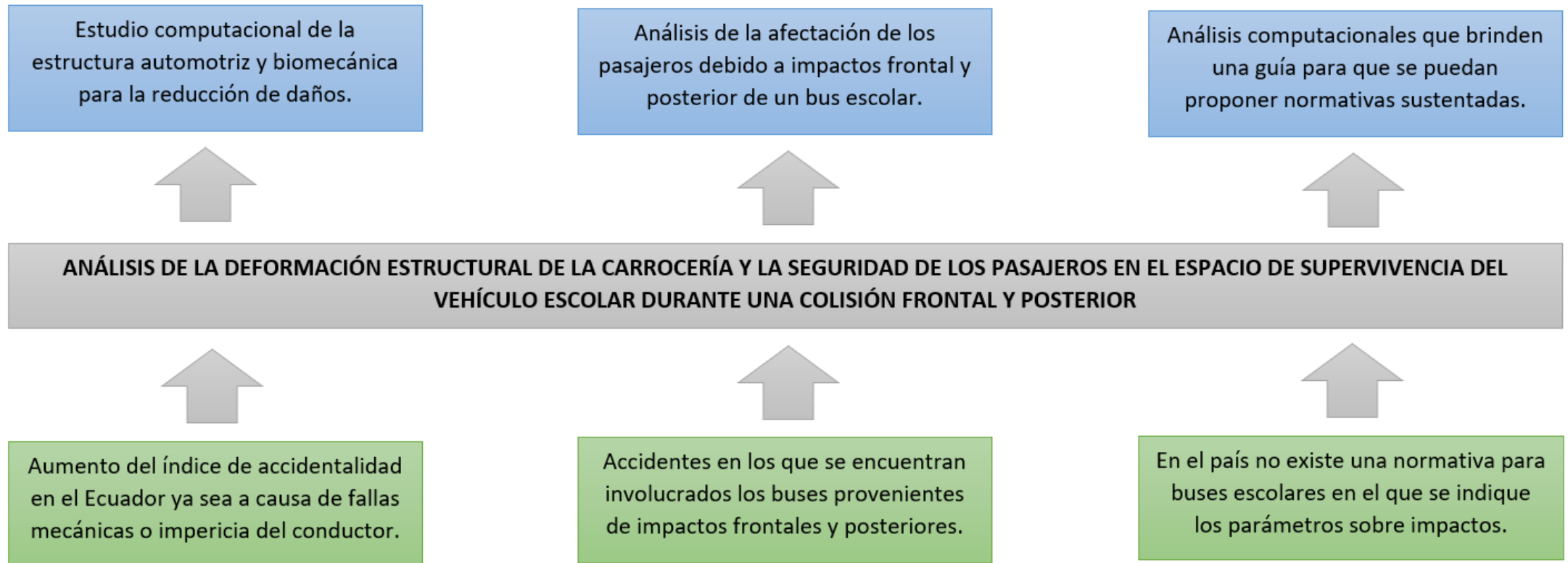
Se procede a generar un entorno de simulación de impacto frontal y posterior del mini bus escolar, basándose en el reglamento N 94 de la CEPE, de pruebas de impacto.

En la etapa de post preprocesamiento es donde se analiza la integridad del pasajero, mediante graficas de fuerza, aceleración y desplazamiento que experimenta el pasajero durante el transcurso del impacto.





## Planteamiento del problema de investigación



## Objetivos

### Objetivo General

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



## Objetivos Específicos



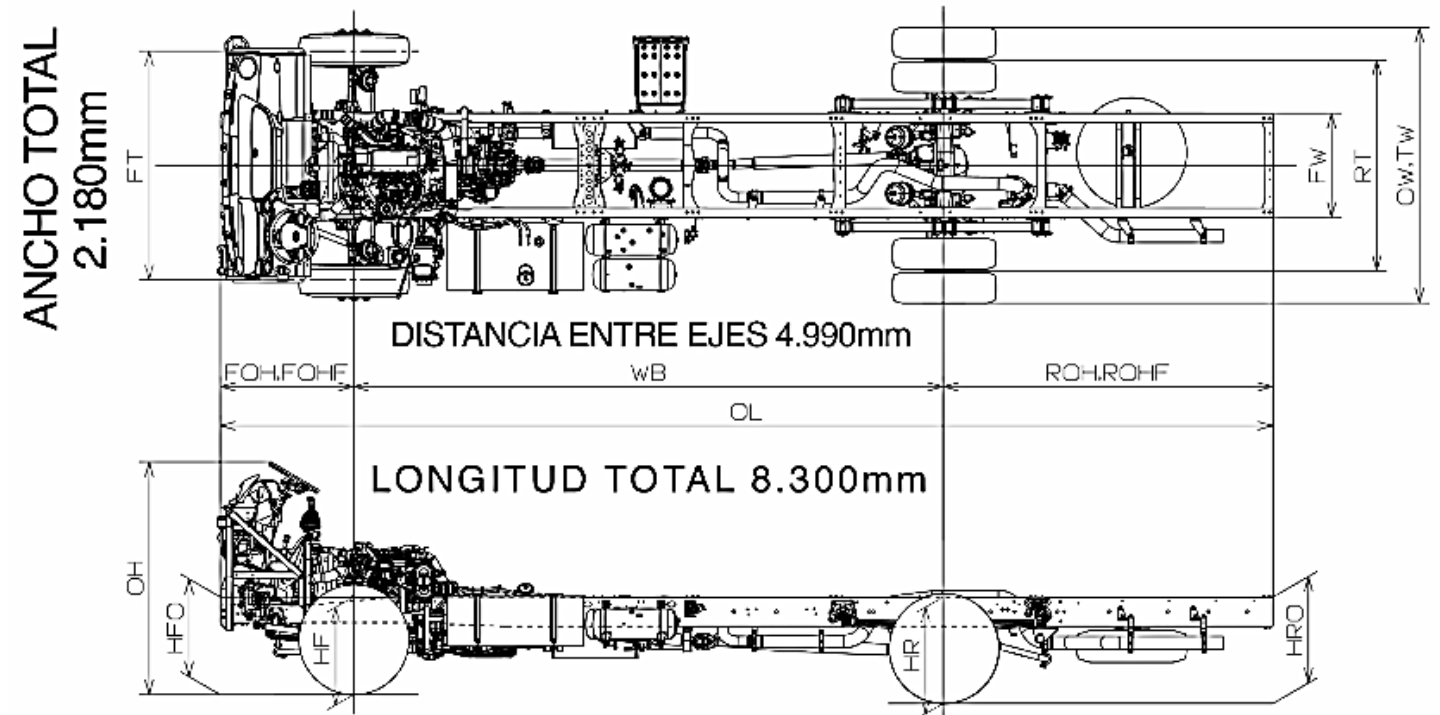
- Analizar la deformación estructural de la carrocería y la seguridad de los pasajeros en el espacio de supervivencia del bus escolar, durante una colisión frontal, mediante el uso de herramientas computacionales de ingeniería asistida por computador CAD – CAE, para determinar la afectación de los ocupantes del bus escolar
- Analizar la deformación estructural de la carrocería y la seguridad de los pasajeros en el espacio de supervivencia del bus escolar, durante una colisión posterior, mediante el uso de herramientas computacionales de ingeniería asistida por computador CAD – CAE, para determinar la afectación de los ocupantes del bus escolar
- Determinar en los pasajeros los valores de los criterios de lesiones del maniquí Híbrido III 50% percentil masculino para impactos frontales y posteriores de un bus escolar.





## INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR

El minibús escolar se realizó con los requisitos establecidos en el Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 041 para vehículos de transporte escolar de pasajeros, además se utilizará un modelo de chasis HINO FC9JL7Z.





## Especificaciones del chasis

Primero se seleccionó el chasis que cumple con las condiciones geométricas y de servicio acorde a las características de la estructura seleccionada para diseñar, siendo el mejor el HINO SERIE BUS - FC9JL7Z



### PESO Y CAPACIDADES

<i>Capacidad del eje delantero</i>	3600 Kg
<i>Capacidad del eje posterior</i>	7000 Kg
<i>Peso bruto vehicular</i>	10400 Kg
<i>Peso vacío</i>	3150 Kg
<i>Capacidad de carga</i>	*7250 Kg

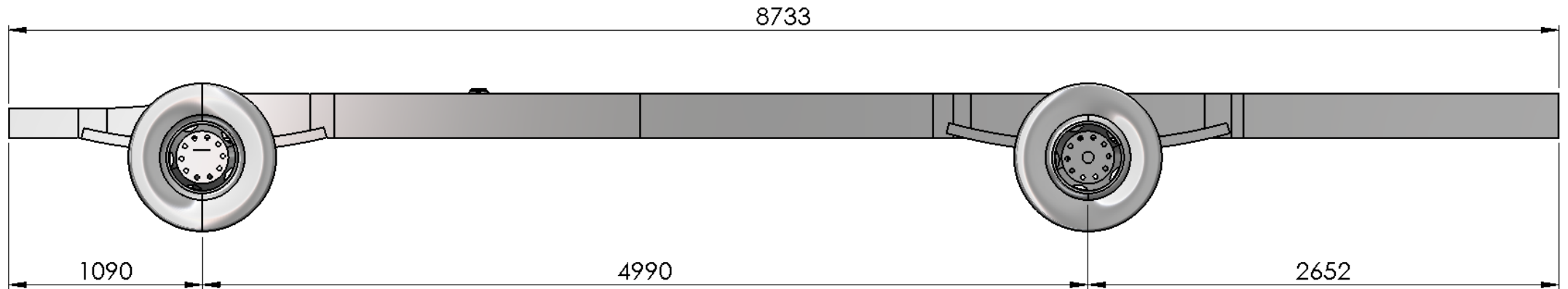
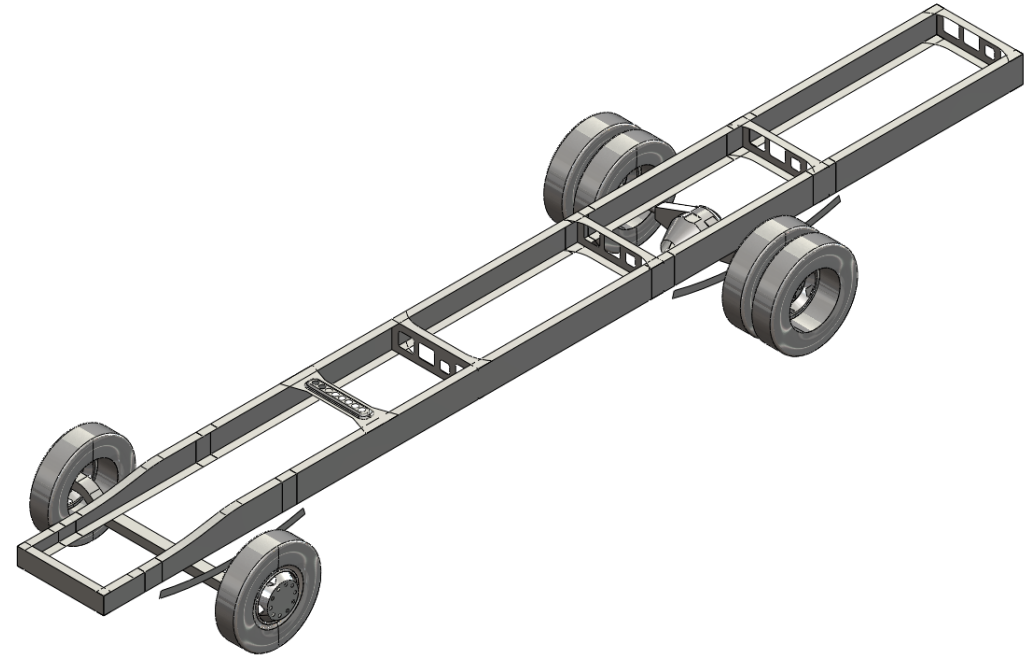
### DIMENSIONES

<i>Longitud total</i>	8300 mm	OL
<i>Ancho total</i>	2180 mm	OW
<i>Alto total</i>	1900 mm	OH
<i>Distancia entre ejes</i>	4990 mm	WB
<i>Voladizo delantero</i>	1050 mm	FO
<i>Voladizo posterior</i>	2260 mm	RO
<i>Trocha del eje delantero</i>	1800 mm	FT
<i>Trocha del eje posterior</i>	1660 mm	RT



## ***Modelado 3D del chasis***

Mediante un software CAD se modeló el chasis seleccionado con las medidas principales establecidas del modelo.



### Modelado 3D de la Carrocería

Se modeló la estructura de la carrocería principal del minibús escolar respetando los valores máximos y mínimos permitidos por la norma RTE INEN 041 para el diseño de este tipo de transporte escolar.

CARROCERÍA DE MINIBUS ESCOLAR		
Denominación	Especificaciones	Norma/Referencia
Tipo de chasis	Chasis motorizado	
Modelo de chasis	Hino FC9JL7Z	
Largo	9427 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	1955 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



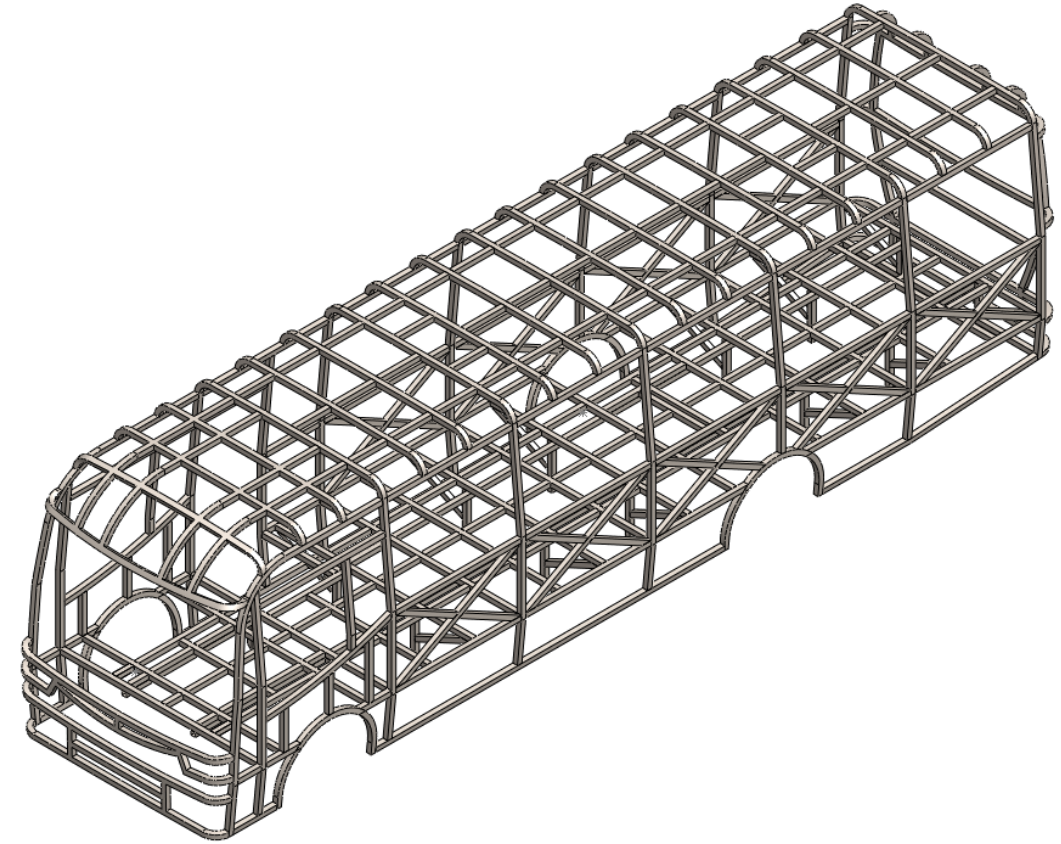
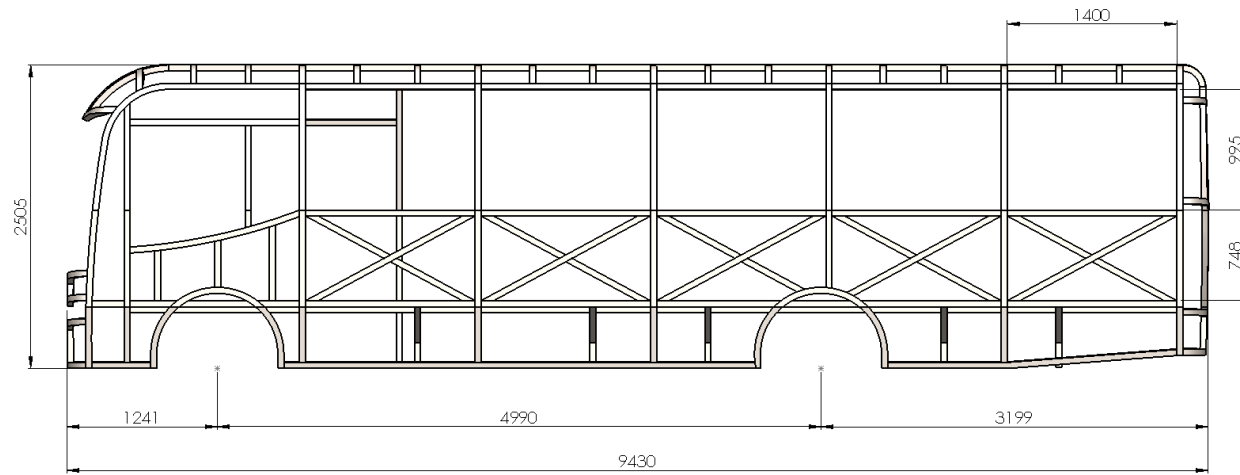
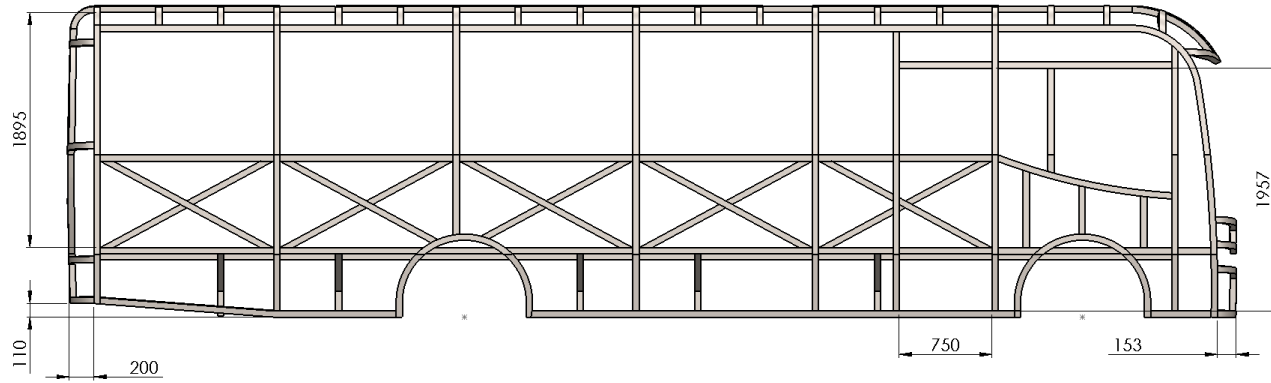


Dimensiones generales establecidas  
en el Reglamento RTE INEN 041.

Dimensiones generales 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	
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"> <li>- No deben sobresalir de 300 mm</li> <li>- Altura de la parte delantera inferior desde la calzada (500 mm, máxima)</li> <li>- Altura de la parte posterior inferior desde la calzada (600 mm, máxima)</li> </ul>	



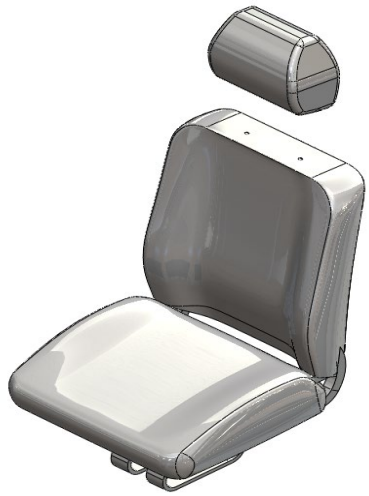




## Modelado de las autopartes

En base a la estructura principal se modelaron las autopartes más importantes que van a influir en la simulación.

**Asiento del conductor**



**Asiento de los pasajeros**



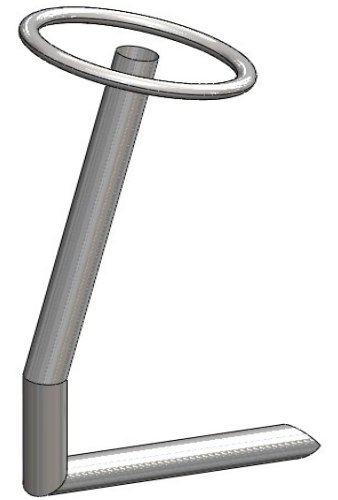
**Parte externa frontal**



**Parte externa posterior**

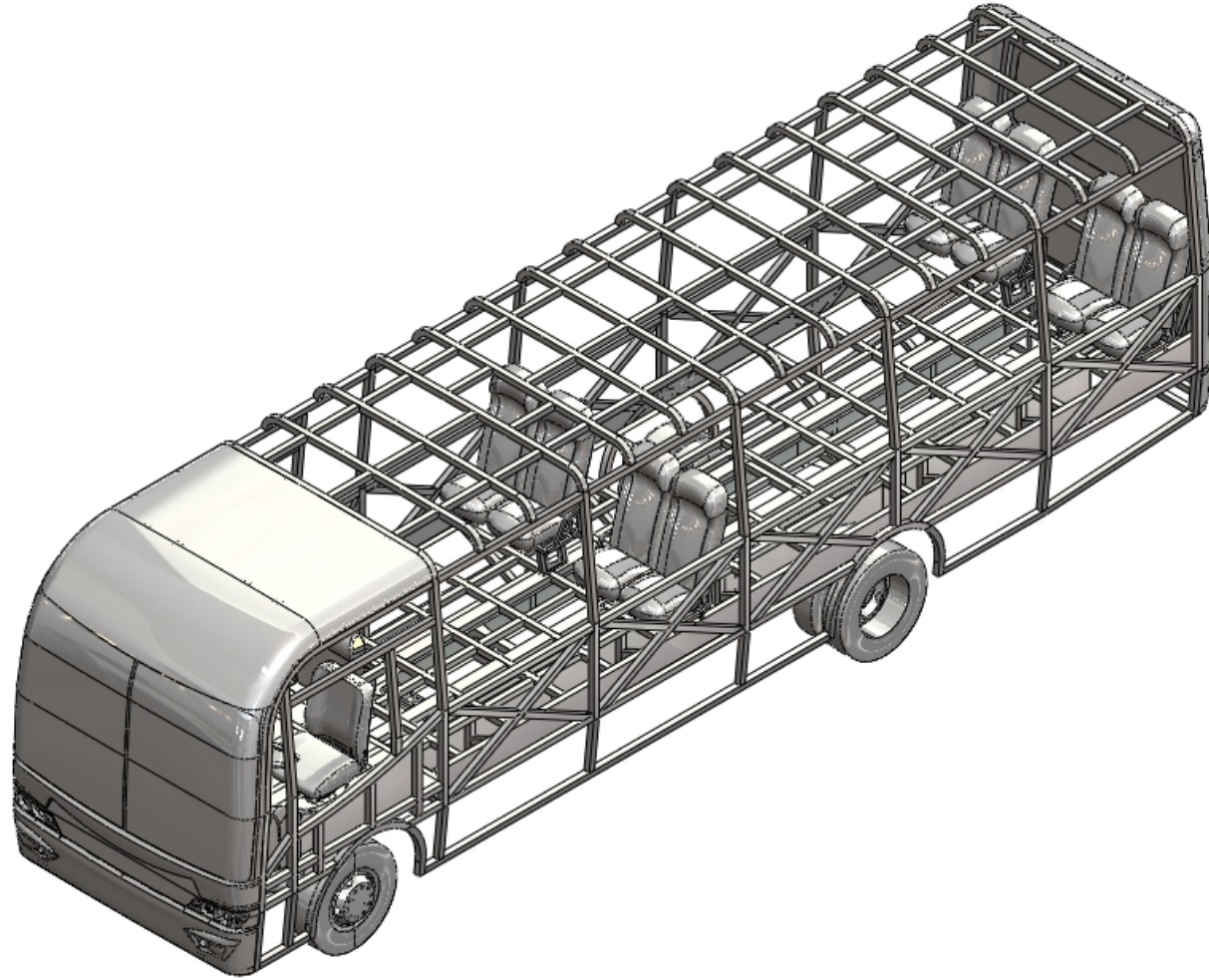


**Volante y dirección**

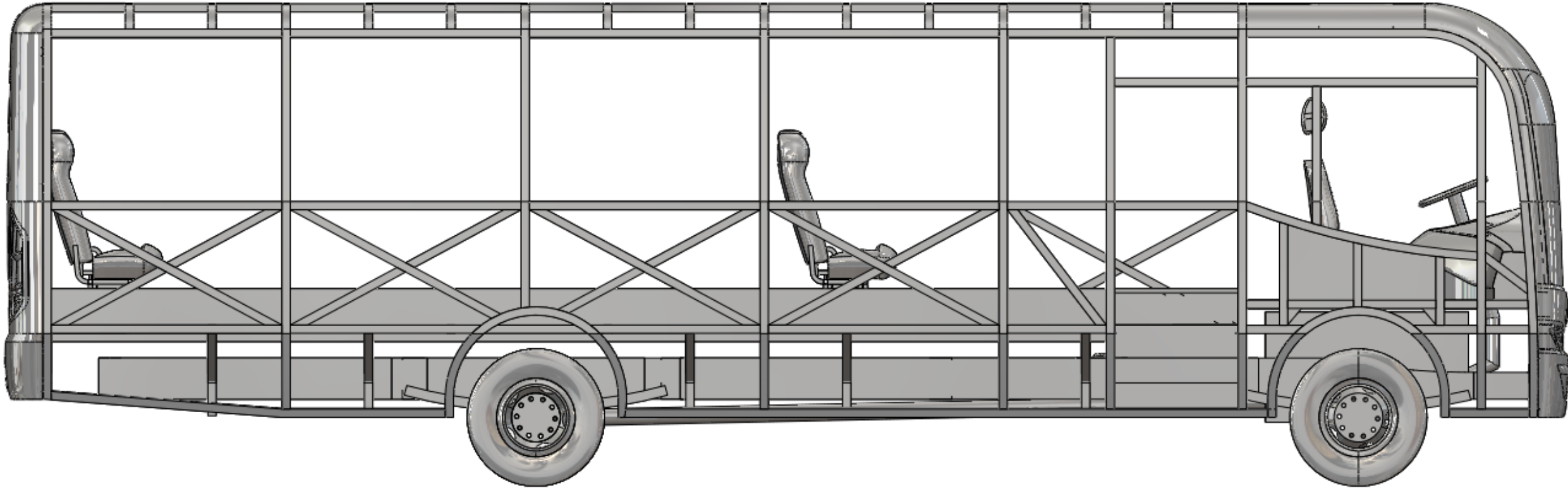




## *Ensamble final*

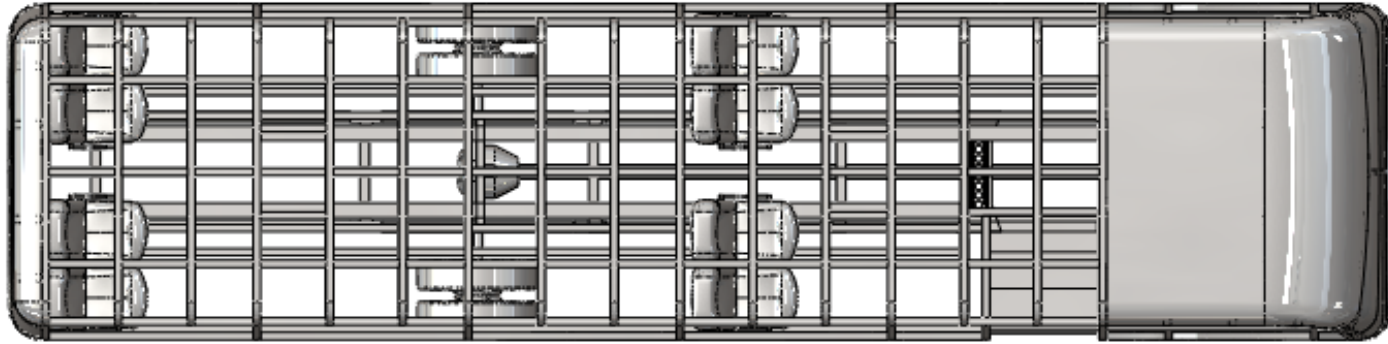


Vista lateral derecha

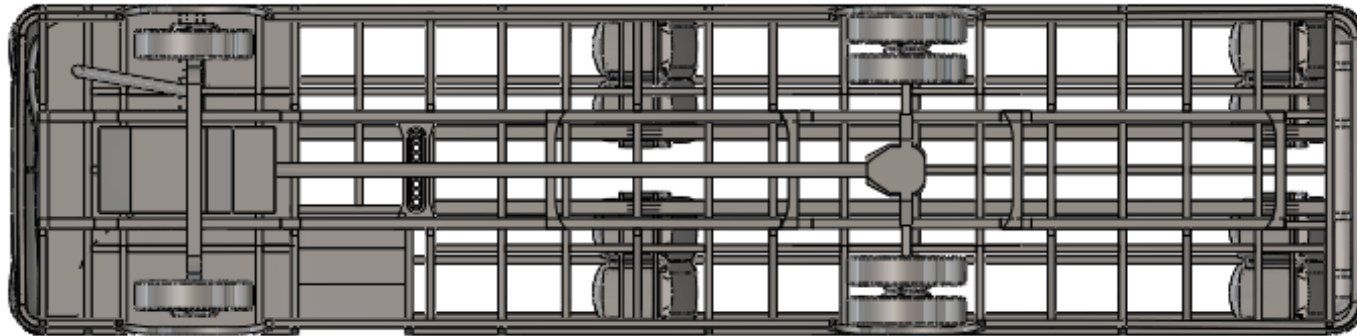




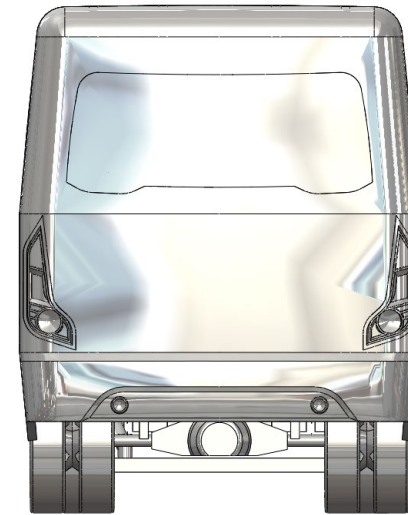
**Vista superior**



**Vista inferior**



**Vista posterior**



**Vista Frontal**



# PREPROCESAMIENTO

## Unidades

El software CAE "LS DYNA" no dispone de alguna interfaz gráfica que nos indique las unidades en que se está trabajando por lo que se debe seleccionar las unidades necesarias para longitud, masa y tiempo

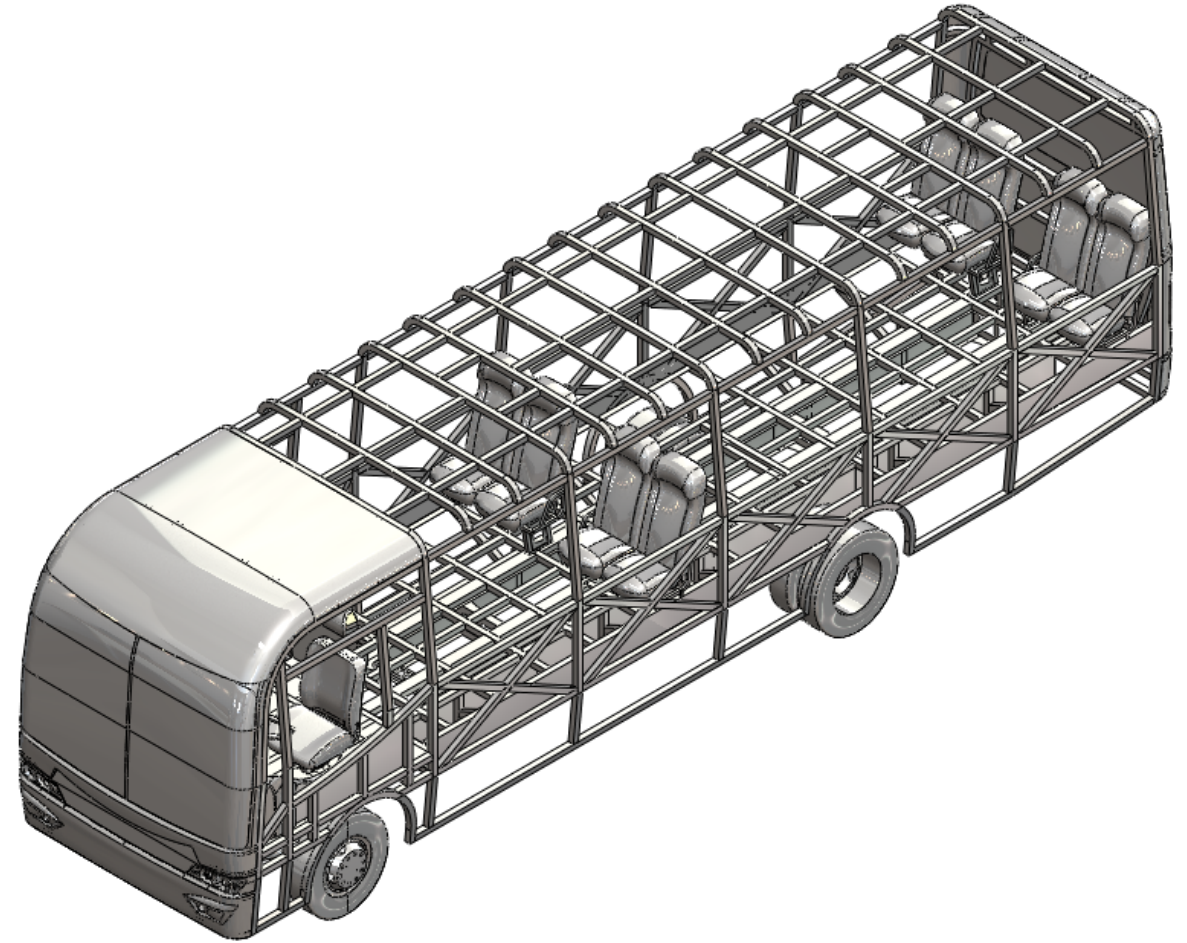
UNIDADES	
Magnitud	Unidad
Masa	Kg
Longitud	Mm
Tiempo	Ms
Fuerza	kN
Esfuerzo	GPa
Energía	kN-mm
Densidad	Kg/mm <sup>3</sup>
Módulo de Young	GPa
Velocidad	mm/ms
Gravedad	mm/ms <sup>2</sup>





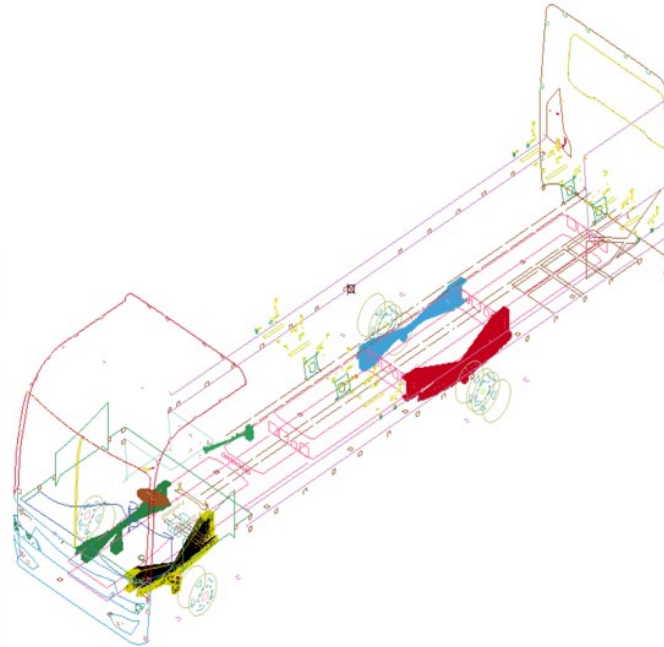
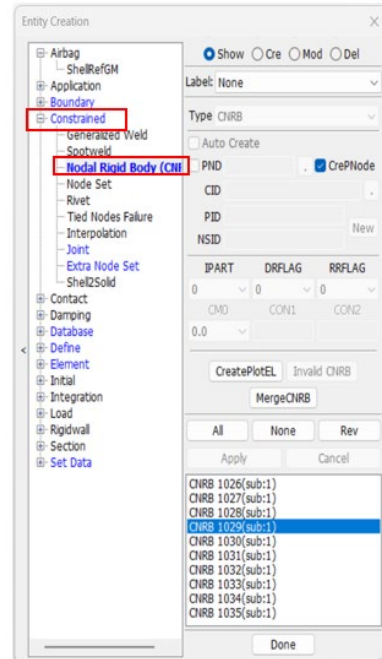
## *Exportación de la geometría inicial*

Se importó a un software de pre procesamiento para realizar las operaciones adecuadas para unir las partes estructurales que componen la carrocería, utilizando la función de topología compartida indicada para generar el proceso de soldadura.



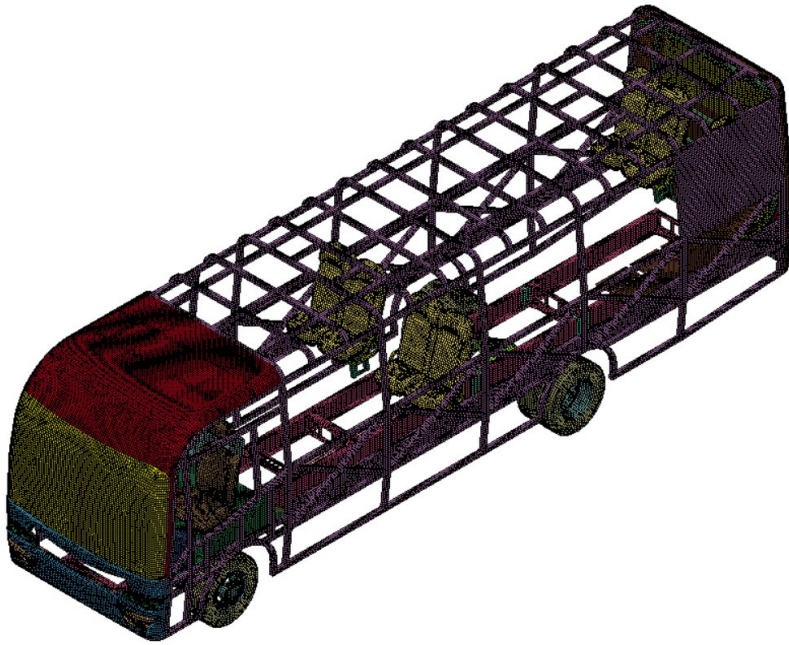
## Unión de las autopartes

Las autopartes que conforman el modelo final de la carrocería de bus y no están unidas por topología compartida debido al hecho de estar distanciados, se deberán crear elementos que indiquen la unión entre ellas mediante el módulo *Entity Creation – Constrained Nodal Rigid Body (CNRB)* como se indica en la Figura.

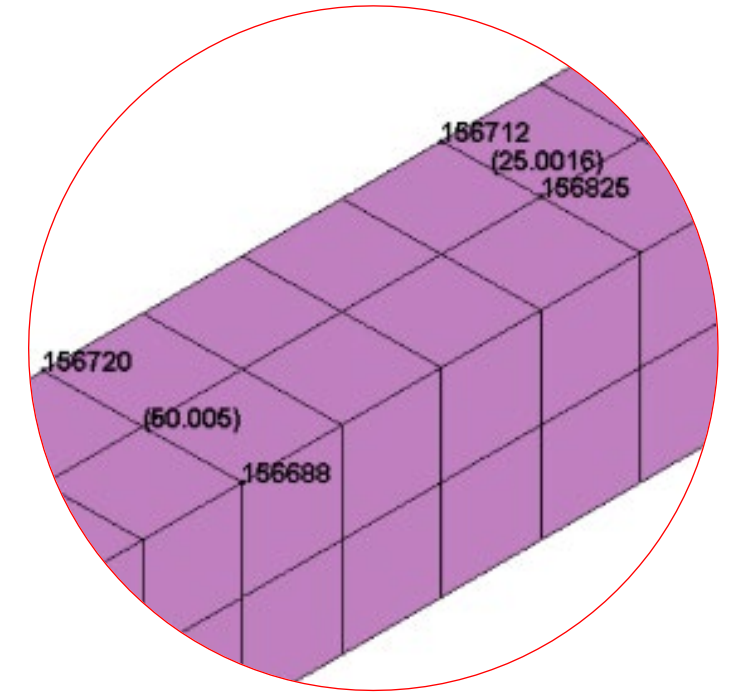




## Tamaño de malla establecido en todo el modelo de la carrocería




El tamaño de malla adecuado para la estructura de la carrocería está relacionado con el espesor que se va a utilizar para la misma que para nuestro caso es de una sección de 50x50 mm y espesor de 2 mm, por lo tanto, el tamaño de malla será de 25 mm.





**Validación del mallado**

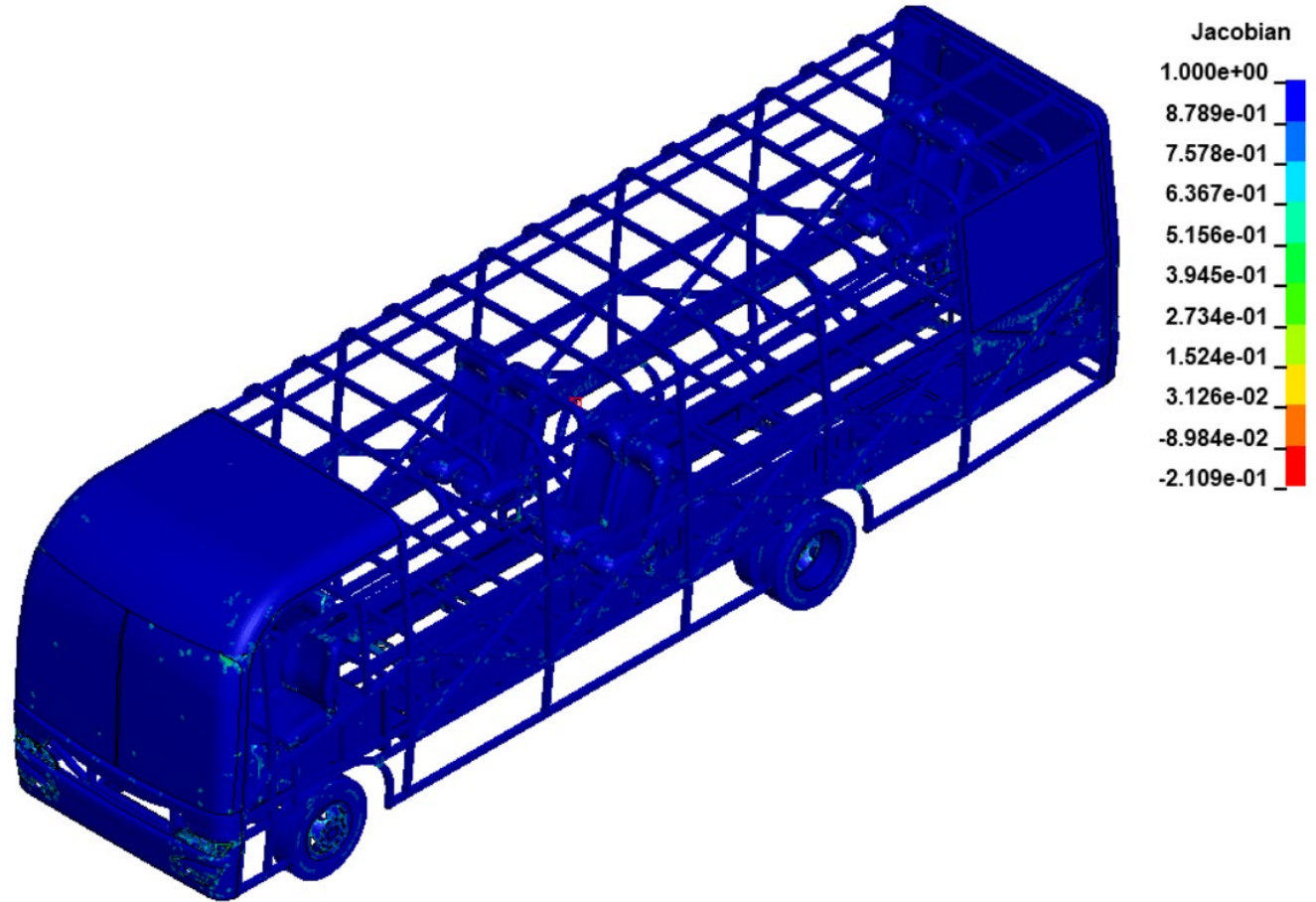
Los tipos de elementos que se utilizaron son de tipo cuadrangular y rectangular, también se definió el tamaño del elemento en 25 mm.

					
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





*Calidad de mallado mediante el método jacobiano.*







## Material

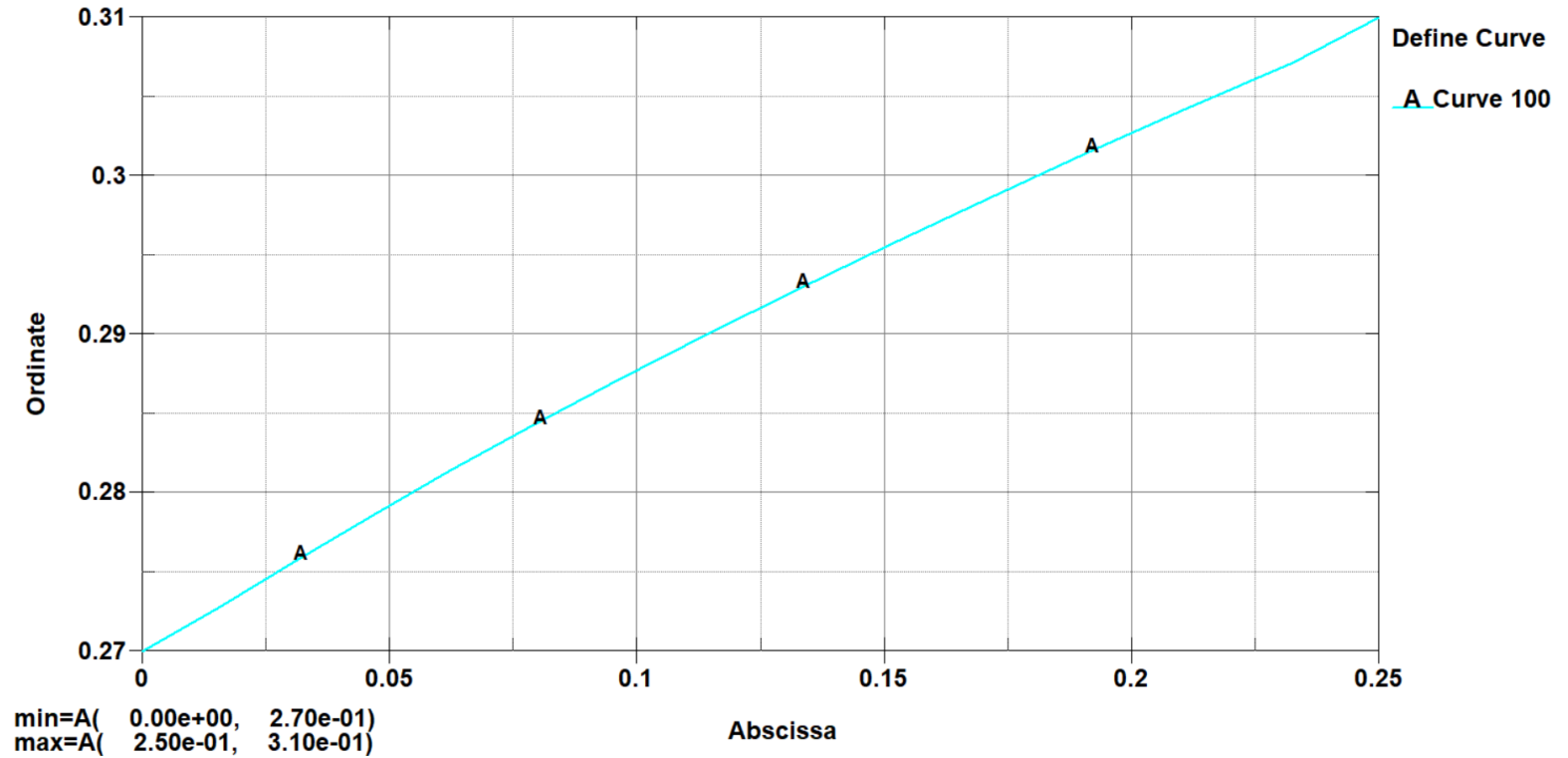
El material que se utilizó para la estructura principal del modelo de la carrocería del minibús es el ASTM A500 que es el más utilizado en la industria carrocera, este material cumple con la norma NTE INEN 2415 que establece los requisitos para aceros al carbón galvanizados y cuyas propiedades del material se indican en la siguiente tabla.

ACERO ASTM A500	
Propiedad	Valor
Densidad del material	7.83e-6 (kg/mm <sup>3</sup> )
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





Se debe ingresar las propiedades del material mediante su curva característica, se ingresan los valores de esfuerzo deformación, de la “zona de cedencia” y de la “zona de endurecimiento” que se establece desde el Esfuerzo de fluencia (0.270 GPa) y Esfuerzo de resistencia última a la tracción (0.310 GPa) y se indica en la Figura.



Una vez creada nuestra curva, se asignan las propiedades del material a través del módulo *Model and Part – Keyword Manager* – *MAT – 024 PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY* como se indica en la Figura.

Keyword Input Form

NewID  MatDB  RefBy  Pick  Add  Accept  Delete  Default  Done

Use \*Parameter  Comment (Subsys: 1 Impacto Frontal2.k)  Setting

\*MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY\_(TITLE) (024) ( 2 )

TITLE  
ACERO ASTM A 500 GRADO A

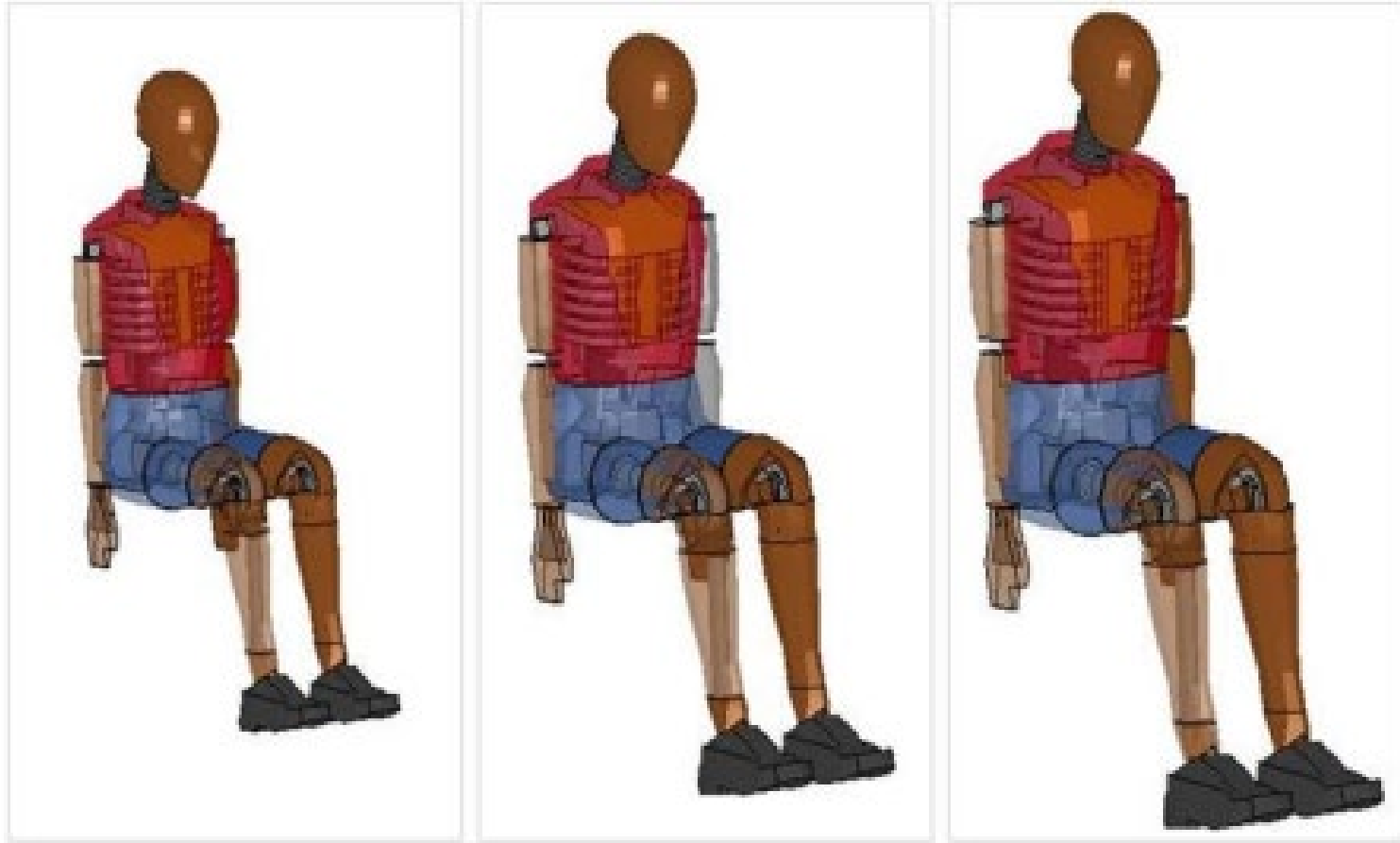
1	<u>MID</u>	<u>RO</u>	<u>E</u>	<u>PR</u>	<u>SIGY</u>	<u>ETAN</u>	<u>FAIL</u>	<u>TDEL</u>
	267	7.800e-06	200.00000	0.3000000	0.0	0.0	0.2500000	0.0
2	<u>C</u>	<u>P</u>	<u>LCSS</u> <input type="checkbox"/>	<u>LCSR</u> <input type="checkbox"/>	<u>VP</u>			
	0.0	0.0	100	0	0.0			
3	<u>EPS1</u>	<u>EPS2</u>	<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

Plot  Raise  New  Padd





## Dummies

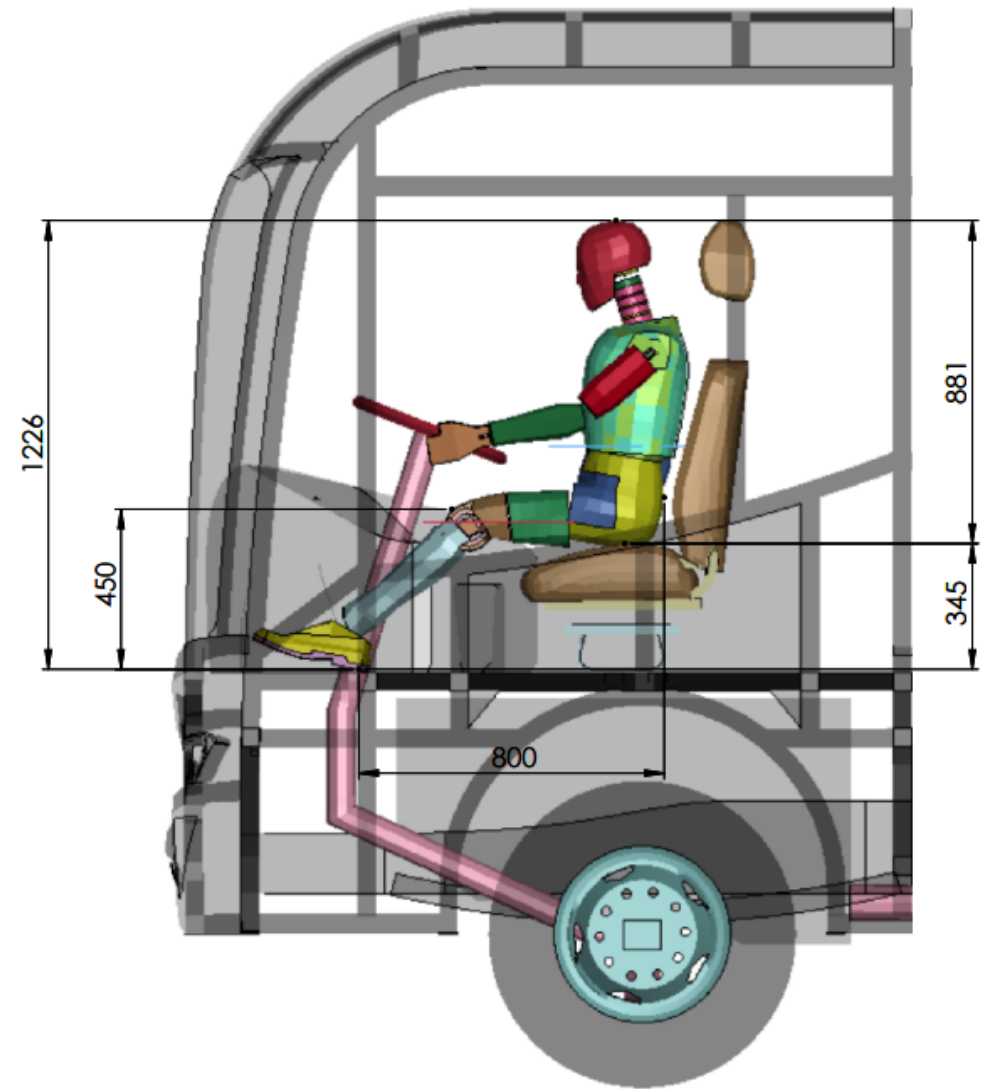


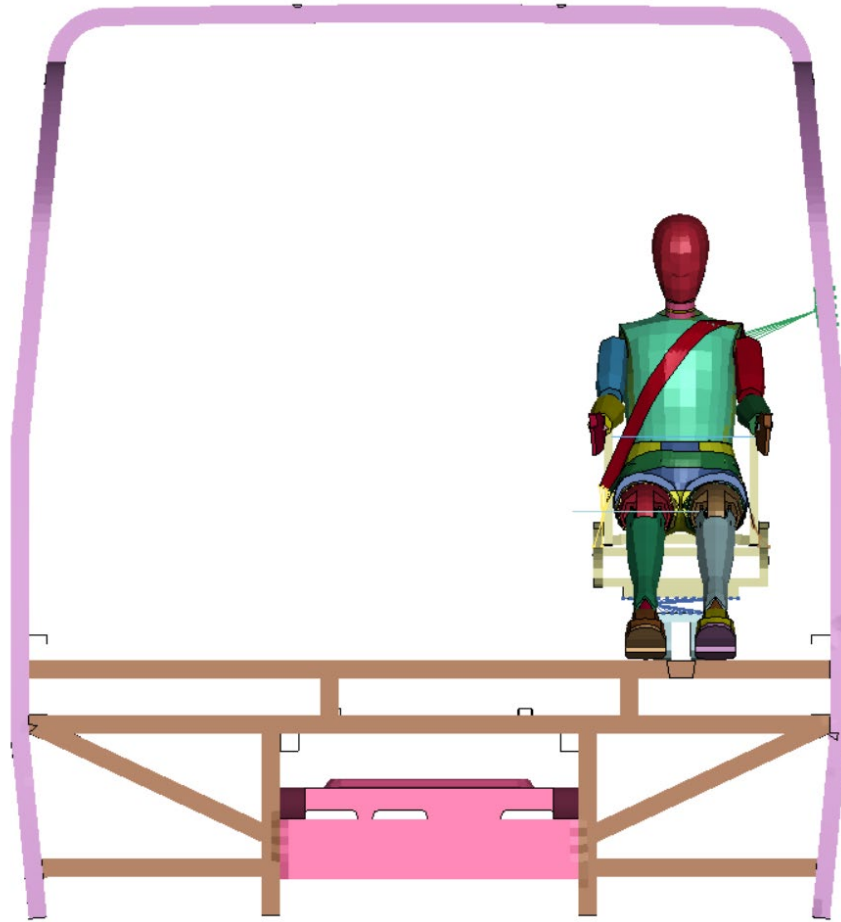
Los Dummies son muñecos utilizados para realizar análisis de pruebas de impacto, siendo este muñeco el cual nos indique un análisis detallado que sucede con cada parte del cuerpo de una persona durante un coche.



### *Posicionamiento del maniquí*

Para nuestra simulación se utilizó el maniquí de pruebas de impacto denominado HÍBRIDO III 50% percentil masculino, que debe estar posicionado en la zona del chofer como se indica en la Figura.





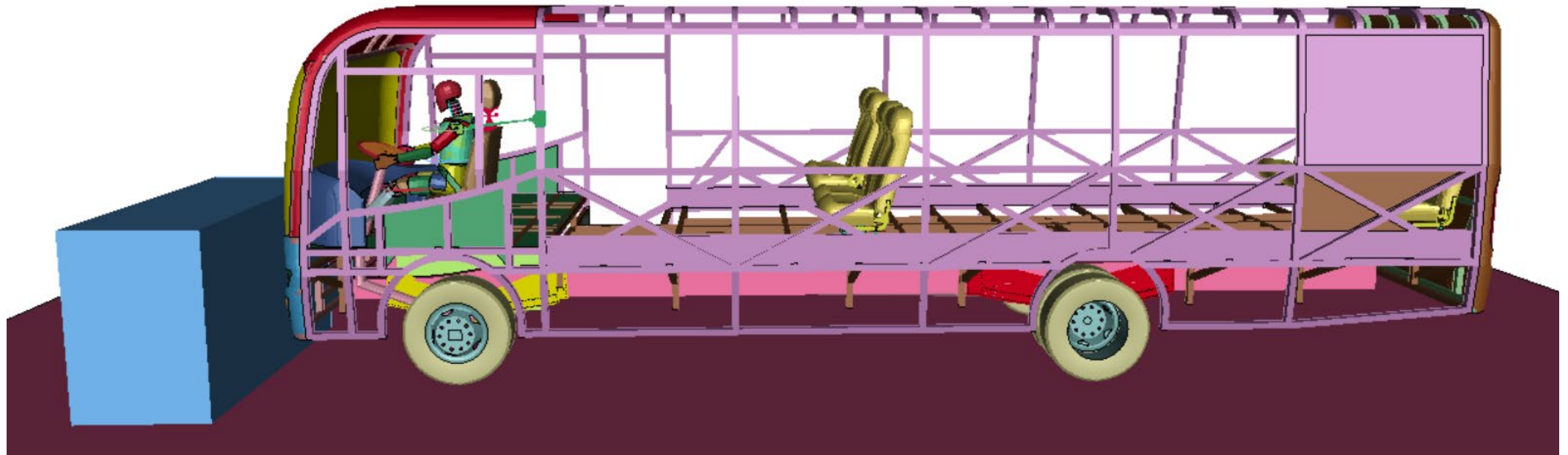
Después de posicionar el maniquí se crea el cinturón de seguridad conforme a la posición asignada y debe estar anclado a las partes estructurales de los asientos y la estructura de la carrocería como se indica en la Figura.





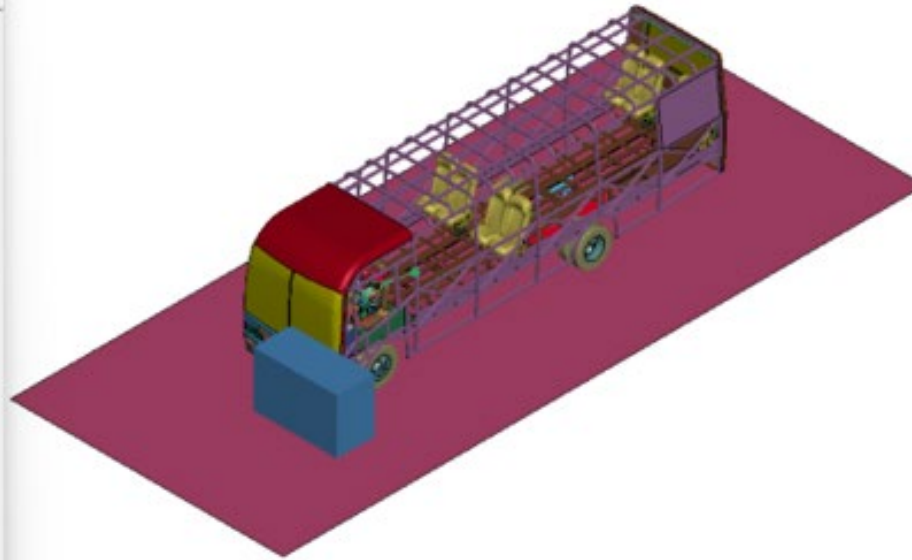


La simulación consta de todos los elementos necesarios para crear un entorno virtual que está asignado para un impacto frontal el cual consta del minibús con asientos de pasajeros y conductor, el maniquí para impactos HÍBRIDO III % percentil masculino, la barrera fija y el piso como se indica en la Figura.



## Información del modelo

Model Information	
General Info	
State:	1
<b>Nodes:</b>	<b>249247</b>
Beams:	3
<b>Shells:</b>	<b>254805</b>
TShells:	0
<b>Solids:</b>	<b>2644</b>
SPH Nodes:	0
Discrete Elements:	7
Seatbelt Elements:	0
Nurbs Elements:	0
Discrete Sphere:	0
Mass Elements:	32
Inertia Elements:	0
<b>Nodal Rigid Bodies:</b>	<b>10</b>
Rigid Elements:	1712
Deformable Elements:	255747
Total no. of Elements:	257459



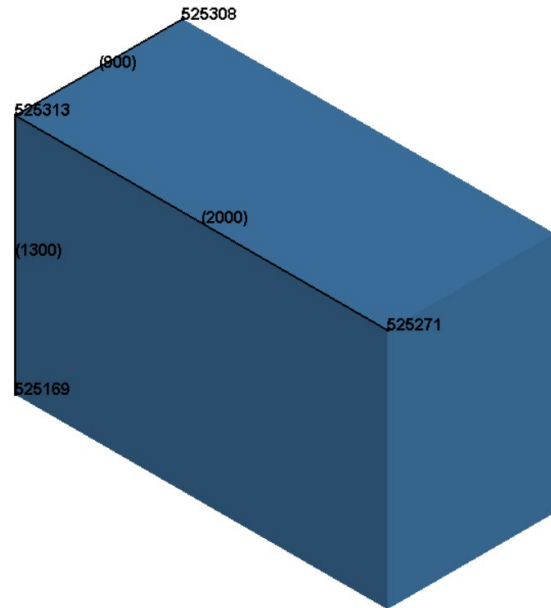
Elementos	Característica/Cantidad
Nodos	249247
Shells	254805
Solids	2466
Nodal Rigid Bodies	10
Tipos de elementos	Shell 2D y Solids



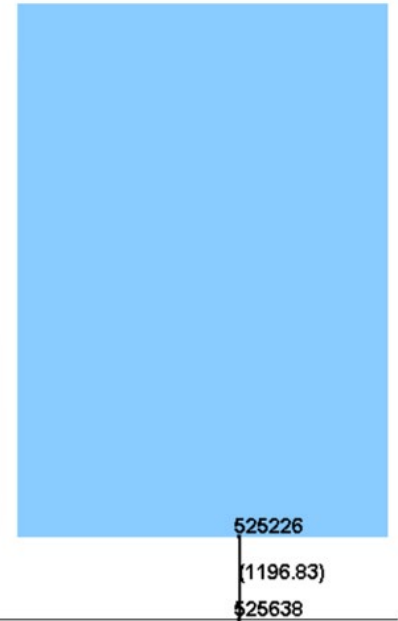
**Condiciones de simulación**

**Barrera fija**

La barrera fija debe estar modelada y ensamblada en la simulación de acuerdo a las especificaciones que se presentan en el Reglamento n°94 de CEPE, a una altura de 119 mm, como se indica en la Figura.



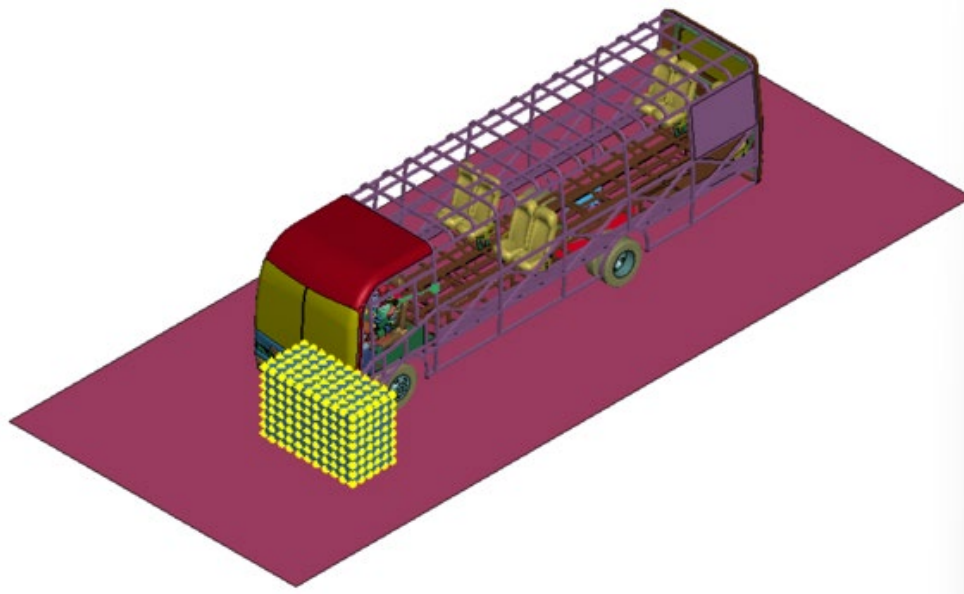
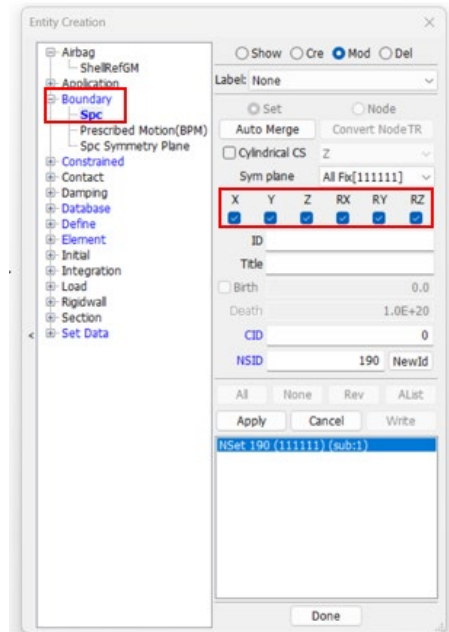
```
Message
Nid# 525226, xyz=4616,1320,-4855
Nid# 525638, xyz=4616.079102,2500,-5055
measure dist N525226/0 N525638/0;
Nid# 525226, xyz=4616,1320,-4855
Nid# 525638, xyz=4616.079102,2500,-5055
dx=0.0791016 dy=1180 cz=-200 dist=1196.83
```



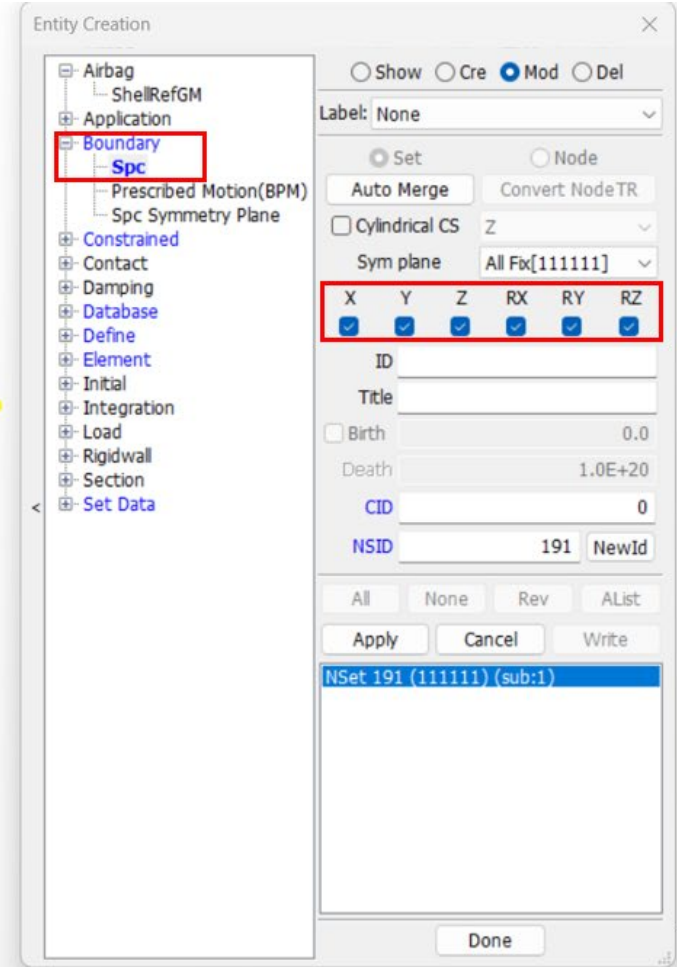
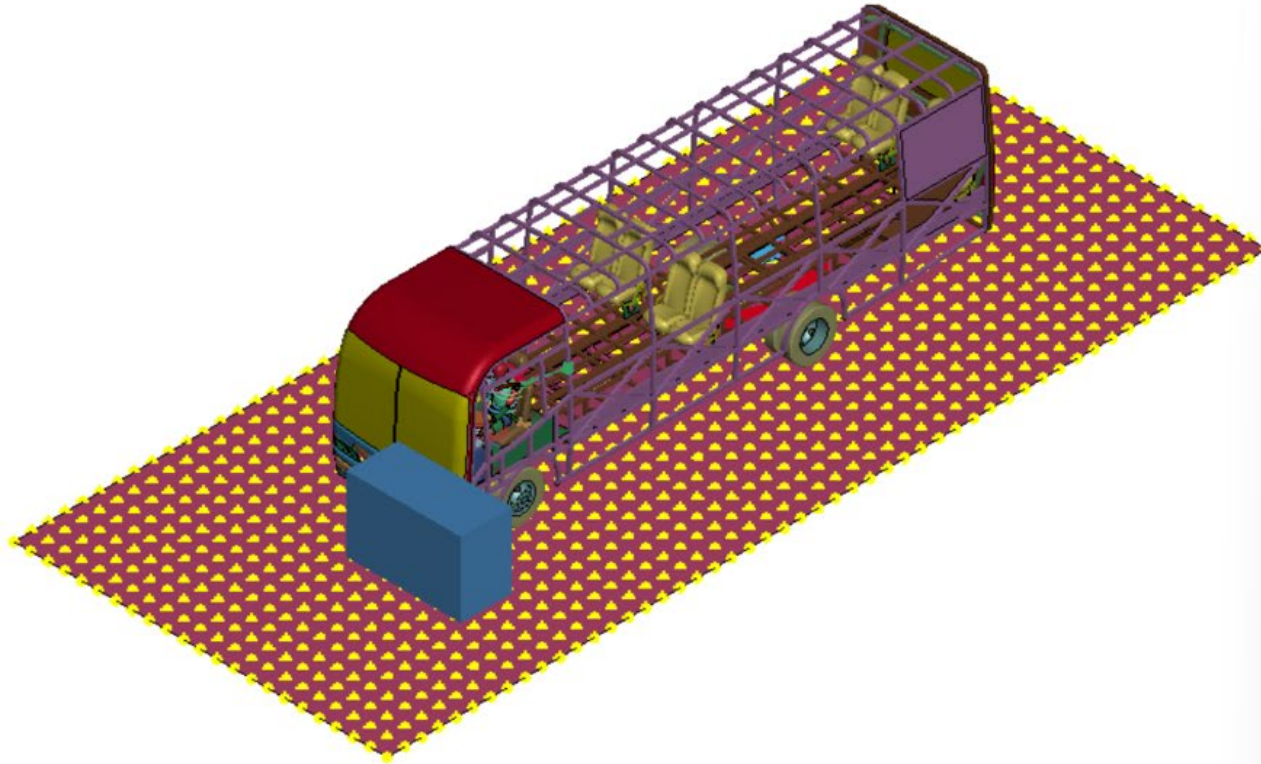


## Restricciones

Las principales restricciones se dan para los desplazamientos y rotaciones en todos los ejes de la barrera fija, a través del módulo *Entity creation – Boundary – Spc*.



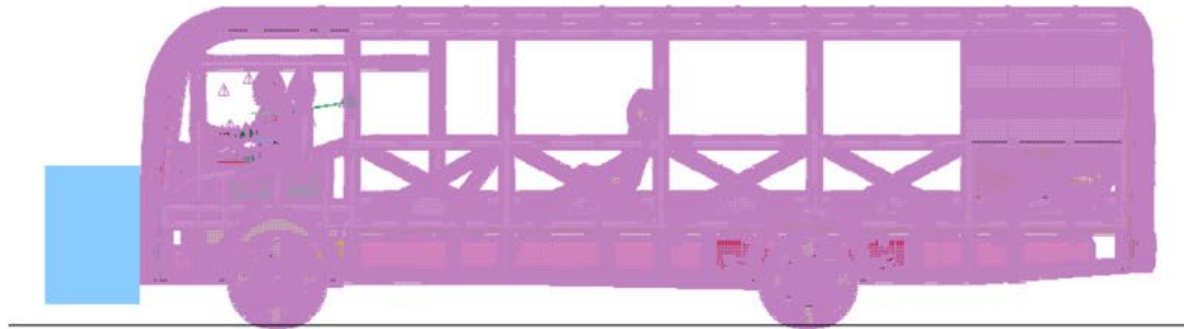
## Restricciones de desplazamiento y rotación del piso.





## Velocidad del impacto frontal

La velocidad se deberá asignar de acuerdo a la dispuesta en el Reglamento N°94 de CEPE que es de 56km/h, pero debido a que este estudio está enfocado a medir las lesiones que se provocan en el conductor se utilizó la velocidad de 30 km/h. La velocidad se asignó a toda la estructura del bus, los componentes y al maniquí a través del módulo *Model and Part – Keyword manager – Initial – Velocity* como se indica en la Figura.



Keyword Input Form

NewID Draw Pick Add Accept Delete Default Done

Use \*Parameter  Comment (Subsys: 1 Impacto Frontal2.k) Setting

\*INITIAL\_VELOCITY (1)

1	NSID	NSIDEX	BOXID	IRIGID	ICID	
	198	0	0	0	0	
2	VX	VY	VZ	VXR	VYR	VZR
	8.3333302	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

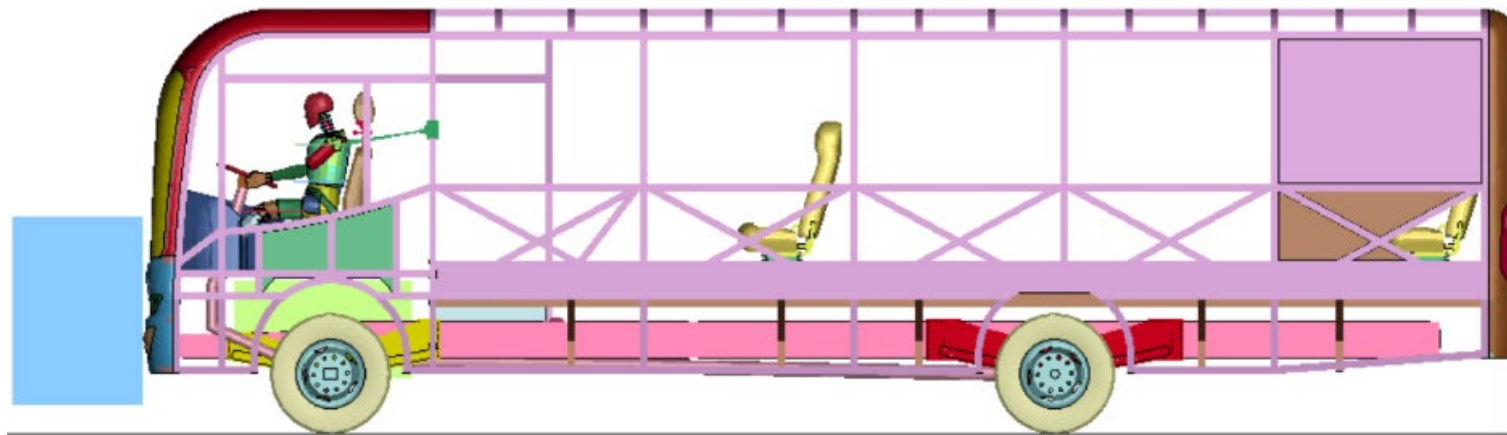
COMMENT:





## Contactos

Para la simulación deberán existir componentes que tengan algún tipo de contacto como entre todos los componentes del bus, entre el bus y la barrera fija y entre el bus y el piso. Para esto se utilizó el módulo Model and Part – Keyword manager – CONTACT – AUTOMATIC\_SINGLE\_SURFACE y AUTOMATIC\_SURFACE\_TO\_SURFACE.



Keyword Manager

Keyword Edit: Keyword Search

Edit: CONTACT Edit

Model  All RefBy

Name	Count
[-] CONstrained	195
[-] CONTACT	20
AUTOMATIC_NODES_TO_SURFACE	2
AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE	1
AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE	17
[-] CONTROL	12
[-] DATABASE	29





## Validación del mallado

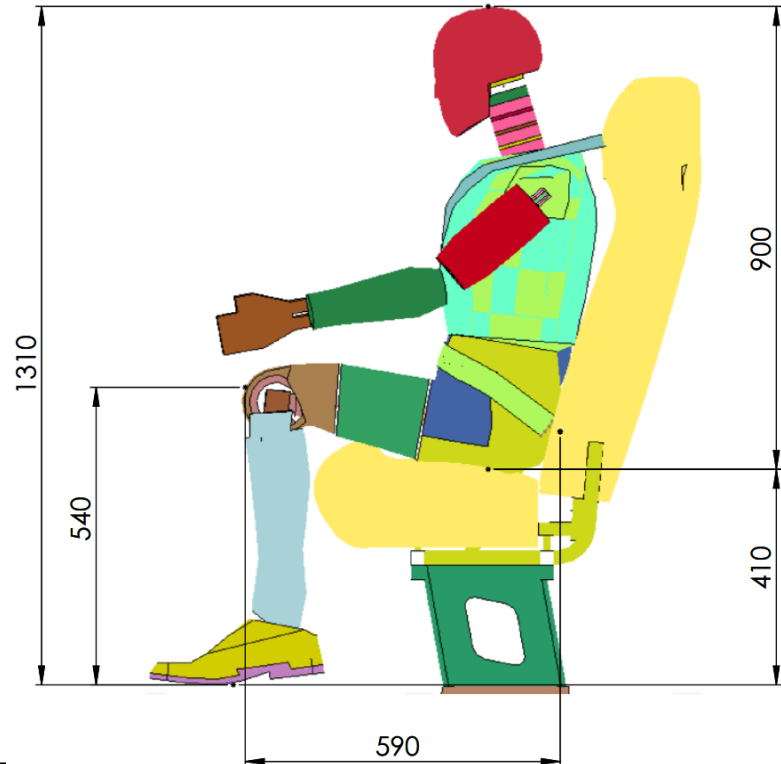
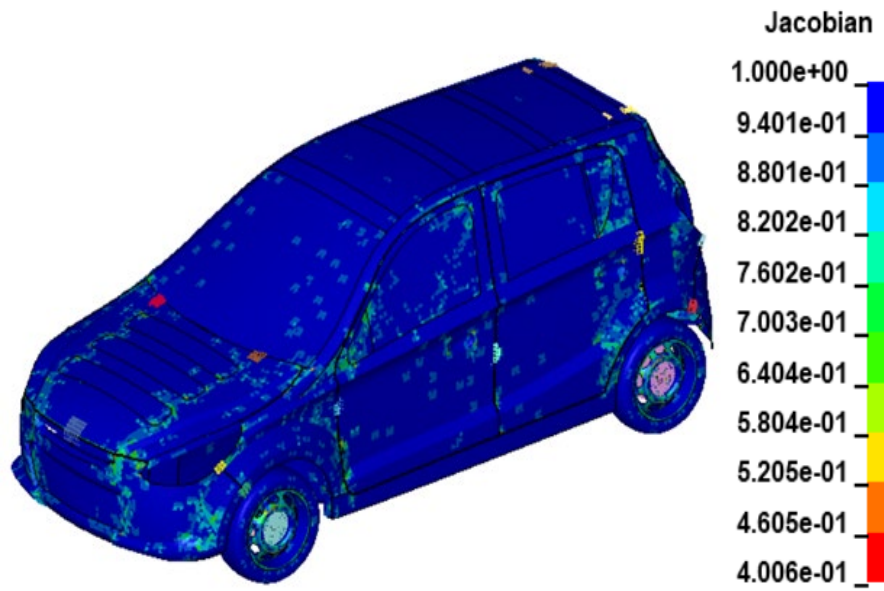
Para este caso se utilizó el mismo criterio que para el minibús y sus elementos.

## Posicionamiento del maniquí

Ubicado en el asiento de la parte posterior bus con cinturón de seguridad de tres puntos

## Entorno de simulación

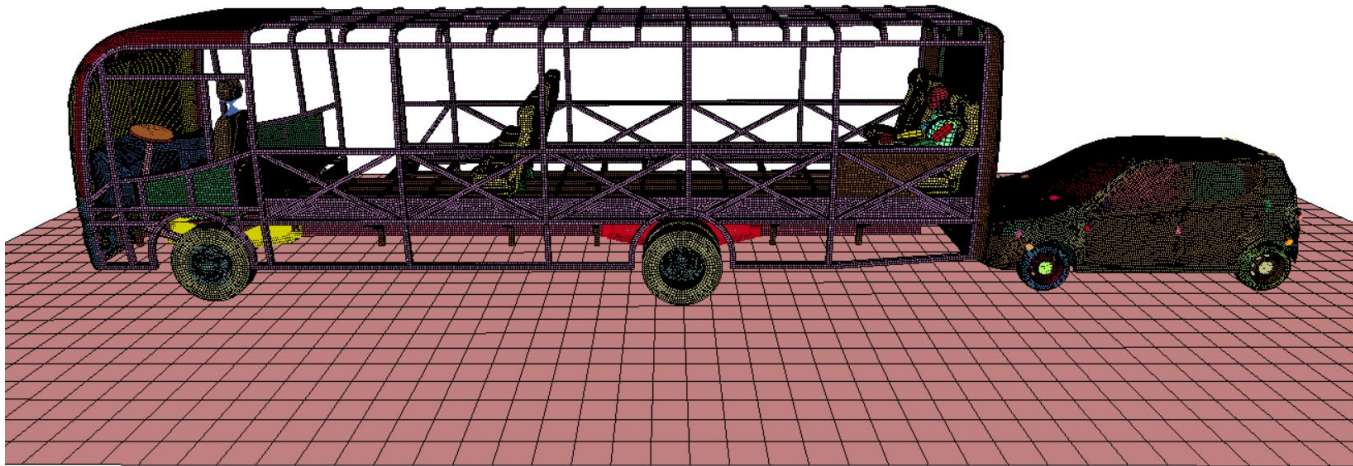
Consta de la estructura principal del minibús escolar, el vehículo de tipo hatchback, el maniquí HÍBRIDO III 50% percentil masculino y el piso





**Especificaciones del ambiente final de simulación de impacto posterior del minibús escolar con un vehículo de tipo hatchback.**

**ENTORNO DE SIMULACIÓN**



Propiedad	Característica/Cantidad
Número de elementos (Shells)	371277
Número de elementos (Solids)	2644
Número de nodos	361645
Longitud de elementos máximos	300 mm (piso)
Longitud de elementos mínimos	25 mm (estructura bus)
Índice jacobiano mínimo	0.3
Tipos de elementos	Shell 2D y Sólidos

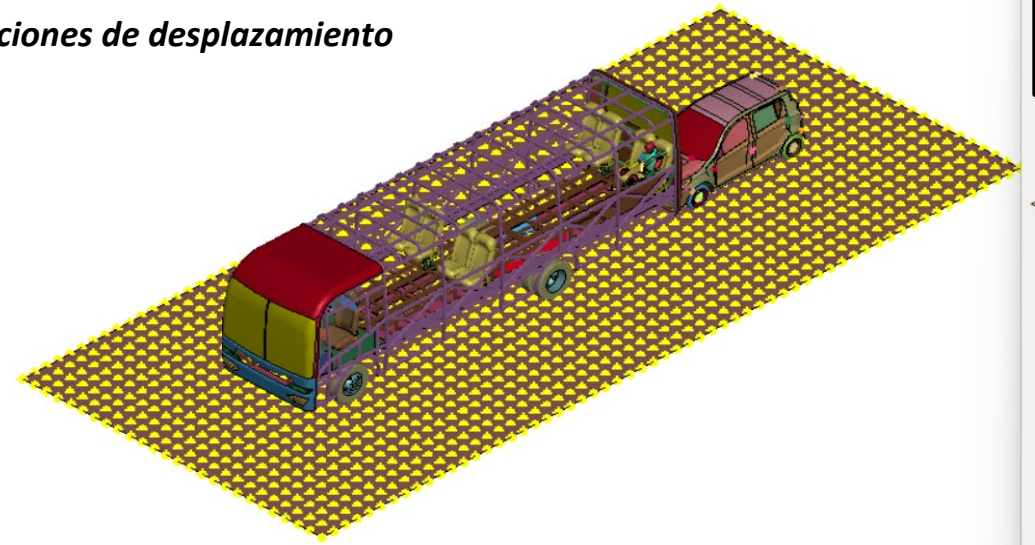




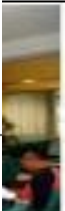
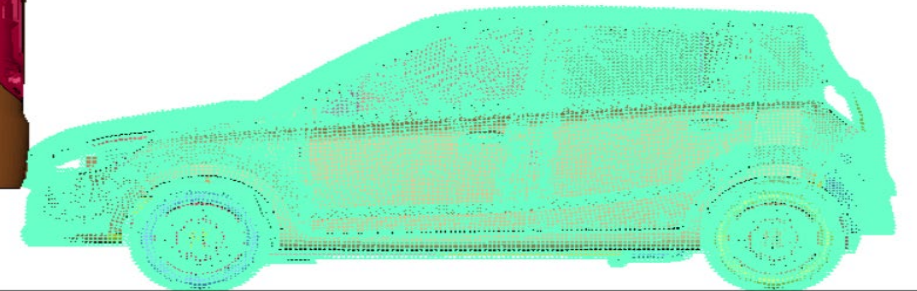
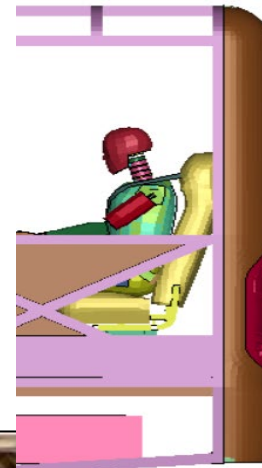
### CONDICIONES DE SIMULACIÓN

Bus	Minibús escolar
Vehículo	Hatchback
Maniquí de impacto	HÍBRIDO III 50% percentil masculino
Tipo de cinturón de seguridad	3 puntos
Velocidad	15.56 mm/ms
Tipos de contactos	AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE
Tiempo de simulación	150 ms
Gravedad	0.0098066 mm/ms <sup>2</sup>

### Restricciones de desplazamiento



El principal elemento que se restringe es el piso, bloqueándose el desplazamiento y rotación en todos sus ejes





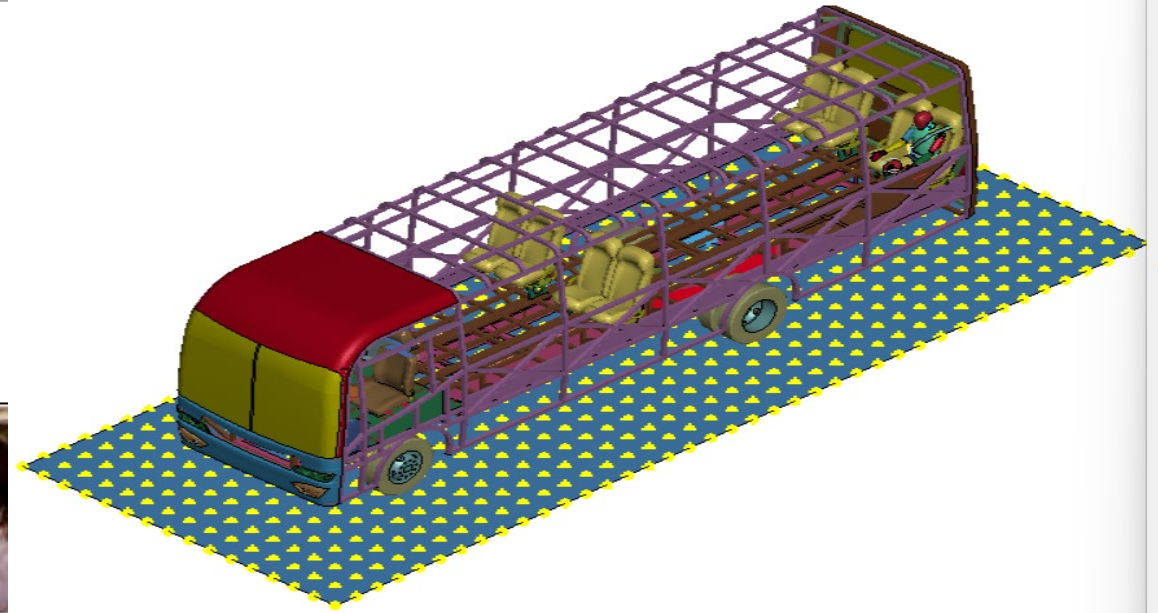
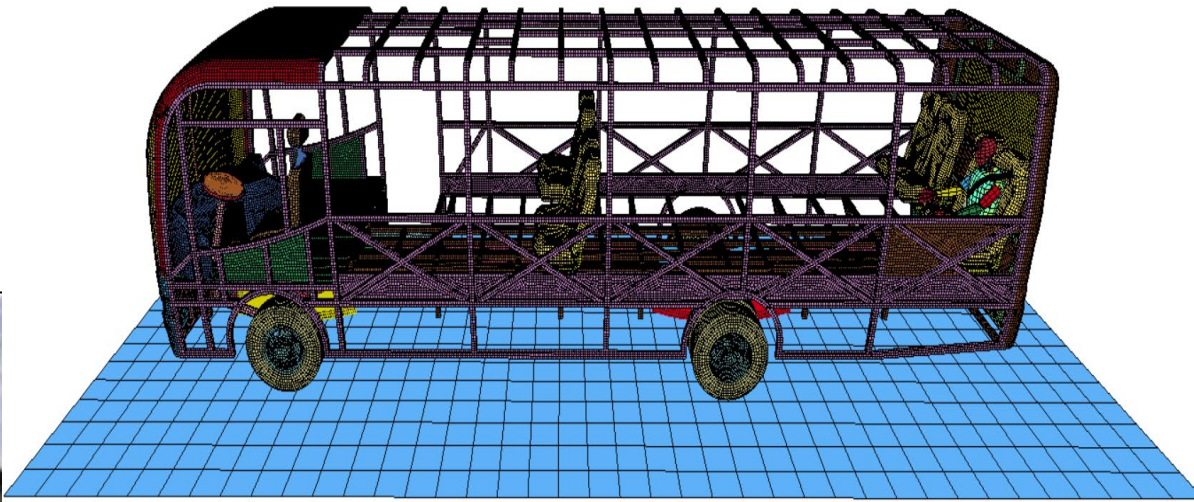
## Entorno de simulación

El ambiente de simulación conformó todos los elementos que van a intervenir en el impacto posterior con pulso de aceleración, el cual consta de la estructura principal del minibús escolar, el maniquí HÍBRIDO III 50% percentil masculino y el piso

## Condiciones de simulación

Bus	Minibús escolar
Maniquí de impacto	HÍBRIDO III 50% percentil masculino
Tipo de cinturón de seguridad	3 puntos
Pulso de aceleración	A 24 km/h
Tipos de contactos	AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE
	AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE
Tiempo de simulación	150 ms
Gravedad	0.0098066 mm/ms <sup>2</sup>

Propiedad	Característica/Cantidad
Número de elementos (Shells)	253758
Número de elementos (Solids)	2644
Número de nodos	247344
Longitud de elementos máximos	300 mm (piso)
Longitud de elementos mínimos	25 mm (estructura bus)
Índice jacobiano mínimo	0.3
Tipos de elementos	Shell 2D y Sólidos.



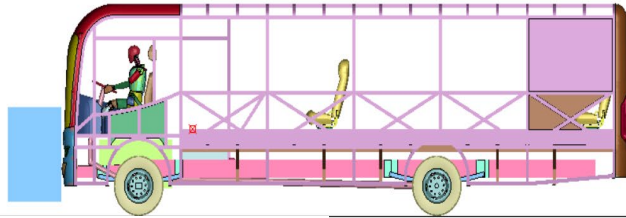


## Resultados y discusión

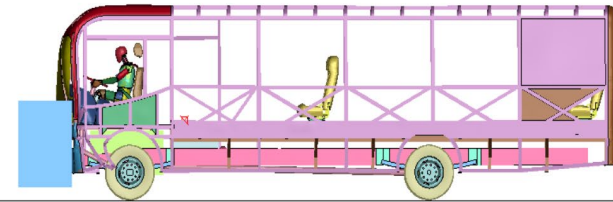
### Simulación de impacto frontal

Los resultados finales se indican a través de una secuencia de imágenes en determinados intervalos de tiempo para un total de 500 ms.

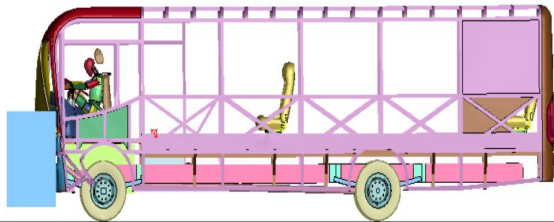
Time = 0



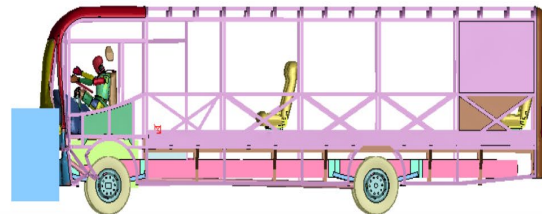
Time = 49.999



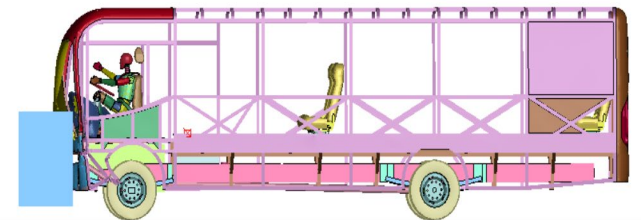
Time = 99.998



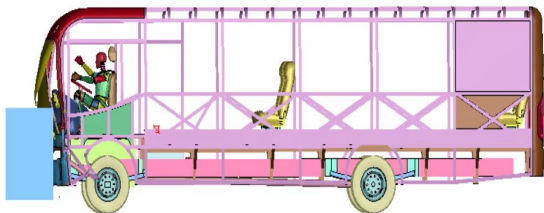
Time = 150



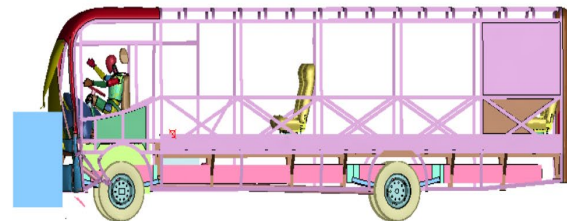
Time = 200



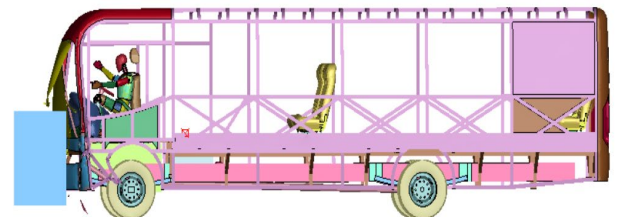
Time = 250



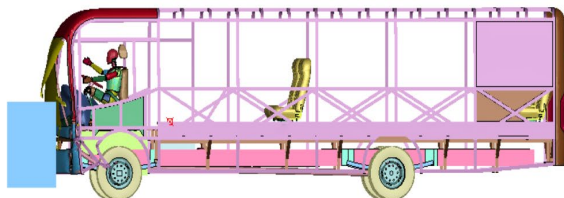
Time = 300



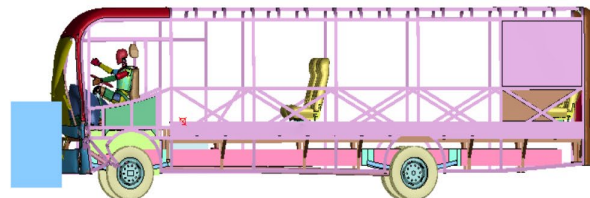
Time = 350



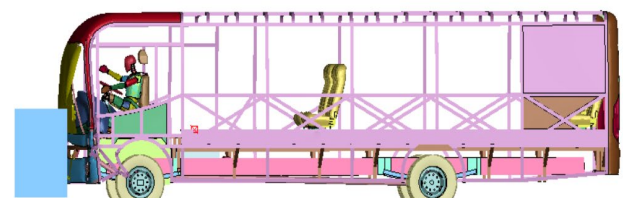
Time = 400



Time = 450



Time = 500

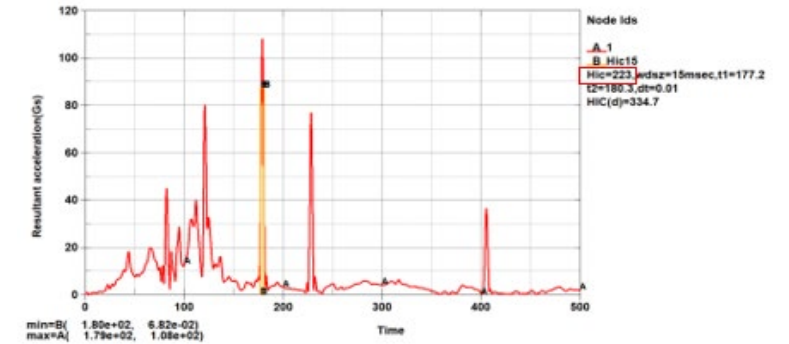




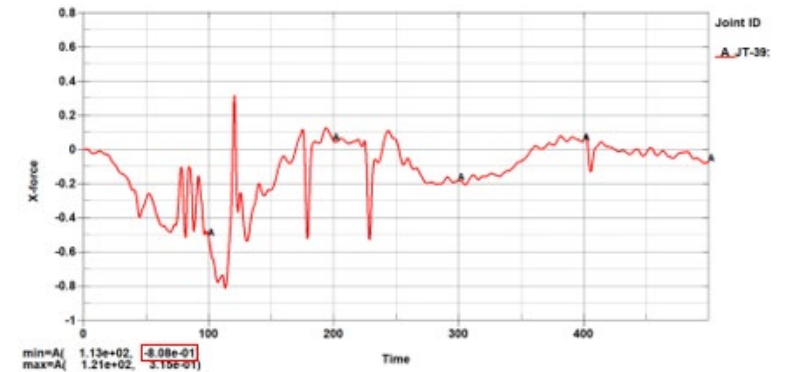
## Criterios de lesiones de impacto frontal con maniquí en el frente

SIMULACIÓN IMPACTO FRONTAL			
SIMULACIÓN IMPACTO FRONTAL "Maniquí frontal"			
Análisis a la cabeza (HIC)			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo máximo	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	3 ms	223 kN	180 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			
Análisis de lesión en el cuello (NIC)			
Fuerza cortante en el cuello			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	45 ms	0.808 kN	113 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			
Fuerza axial en el cuello			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	60 ms	3.88 kN	121 ms
Nota. El valor obtenido si supera el límite permitido. El conductor sufre lesión de fuerza axial. <input checked="" type="checkbox"/>			

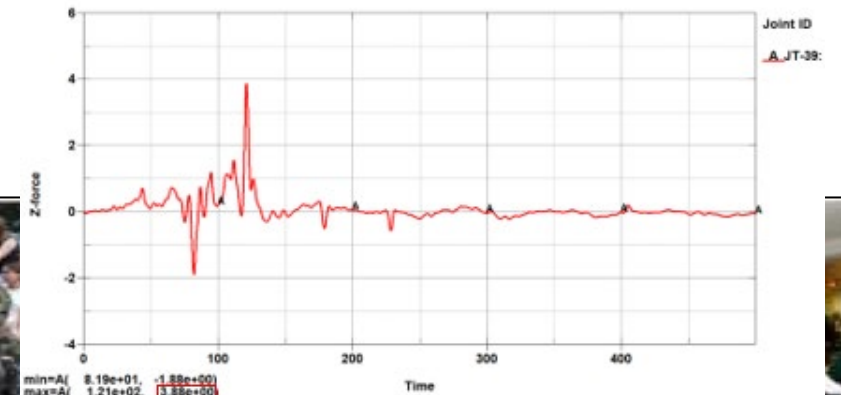
### Criterios de lesión en la cabeza (HIC)



### Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza cortante)



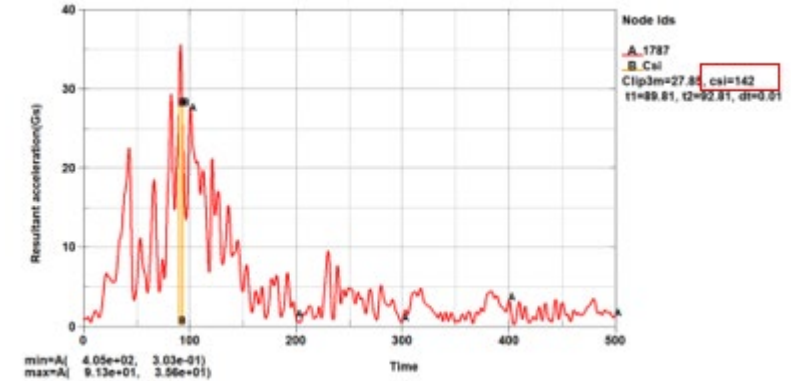
### Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza axial)



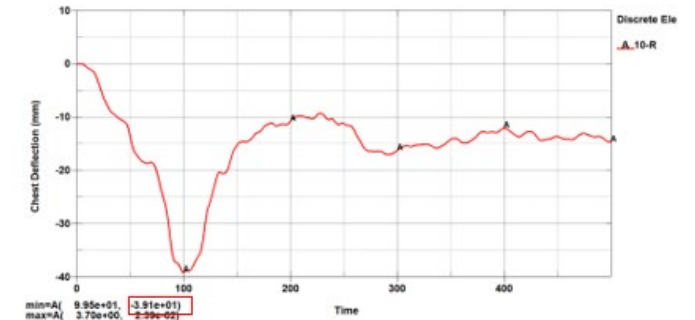
## Criterios de lesiones de impacto frontal con maniquí en el frente

Análisis de lesión en el Pecho (CSI)			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	-----	142 kN	92.81 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			☑
Análisis de lesión en el Tórax (ThCC)			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
50 mm	----	39.1 mm	100 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			☑
Análisis de lesión en el Fémur (FFC)			
Fuerza del fémur izquierdo			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	2.84 kN	38.5 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			☑

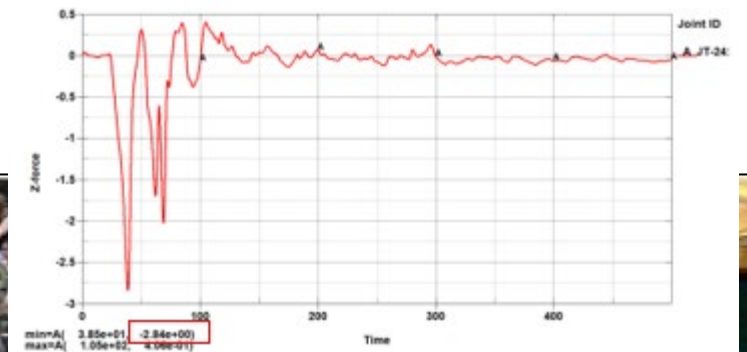
### Curva de Índice de severidad en el pecho



### Curva del desplazamiento del tórax.



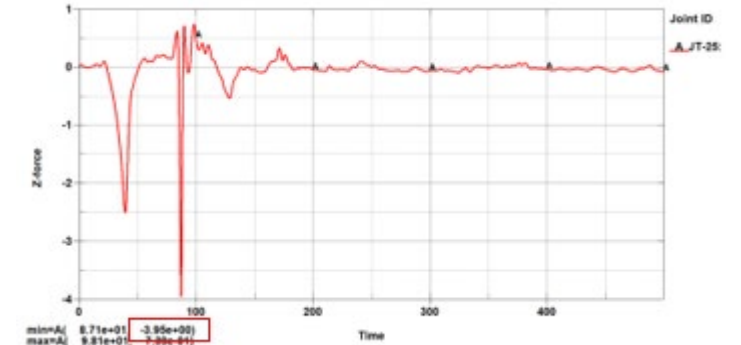
### Criterio de fuerza del fémur izquierdo.



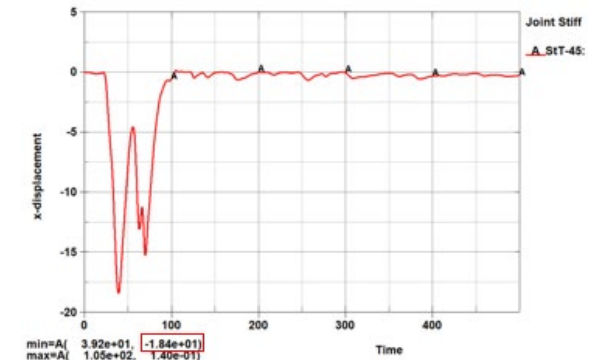
## Criterios de lesiones de impacto frontal con maniquí en el frente

Fuerza del fémur derecho			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	3.95 kN	87.1 ms
Análisis de lesión en las rodillas			
Desplazamiento de la rodilla izquierda			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	18.4 mm	40 ms
Nota. El valor obtenido supera el límite permitido. El conductor sufre una lesión.			✘
Desplazamiento de la rodilla derecha			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	17.8 mm	40 ms
Nota. El valor obtenido supera el límite permitido. El conductor sufre una lesión.			✘

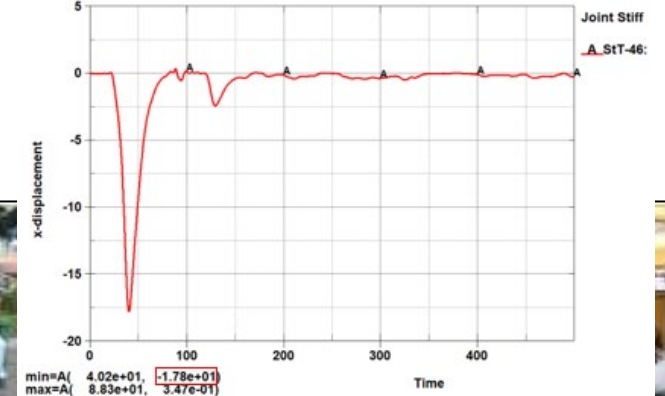
### Criterio de fuerza del fémur derecho



### Curva de desplazamiento de rodilla izquierda



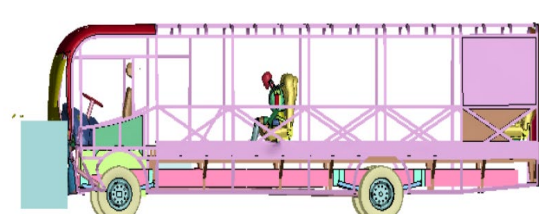
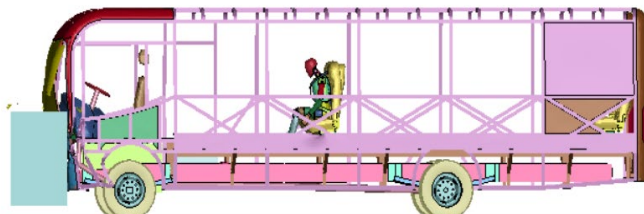
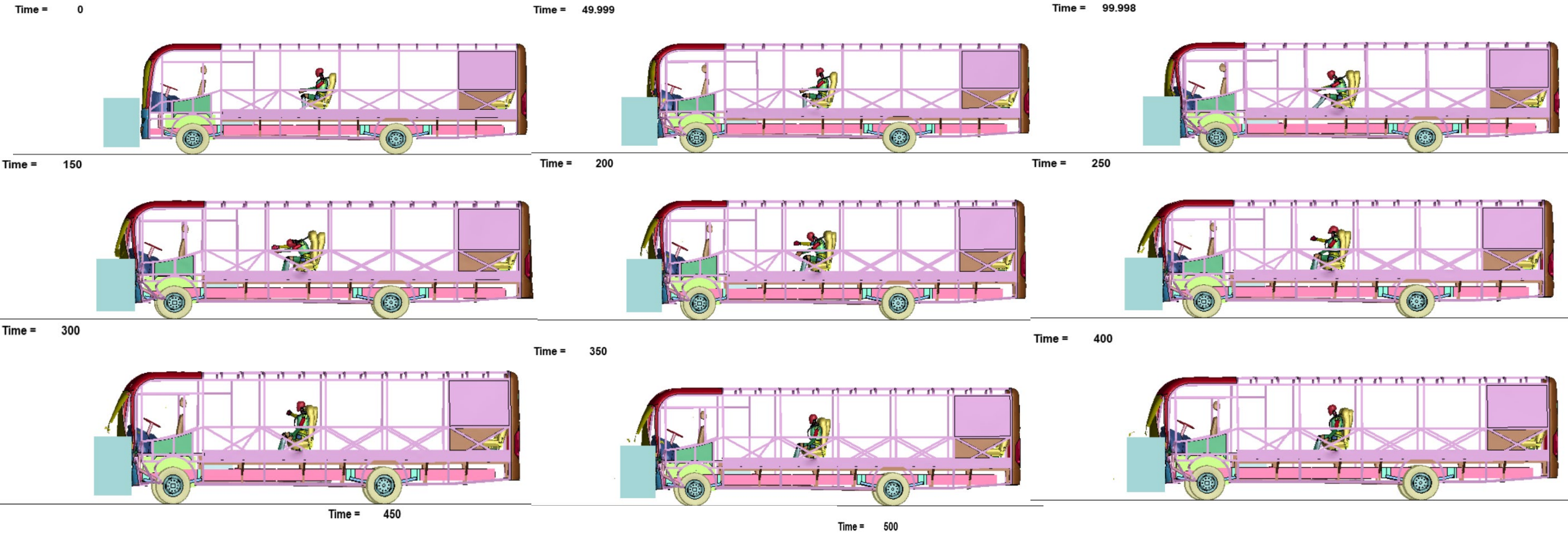
### Curva de desplazamiento de rodilla derecha





## Simulación impacto frontal “Maniquí en el centro”

Los resultados finales se indican a través de una secuencia de imágenes en determinados intervalos de tiempo para un total de 500 ms.



**SIMULACIÓN IMPACTO FRONTAL "Maniquí en el centro"**

**Análisis a la cabeza (HIC)**

Fuerza máxima permitida	En un tiempo máximo	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	3 ms	1272 kN	249 ms

Nota. El valor obtenido supera el límite permitido. El conductor sufre lesión. **✗**

**Análisis de lesión en el cuello (NIC)**

**Fuerza cortante en el cuello**

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	45 ms	2.38 kN	249 ms

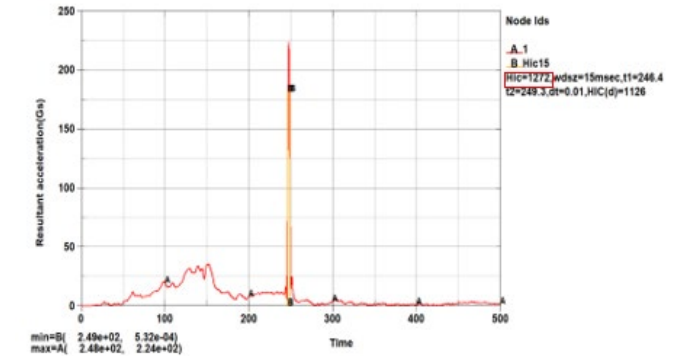
Nota. El valor obtenido supera el límite permitido. El conductor sufre lesión de fuerza cortante. **✗**

**Fuerza axial en el cuello**

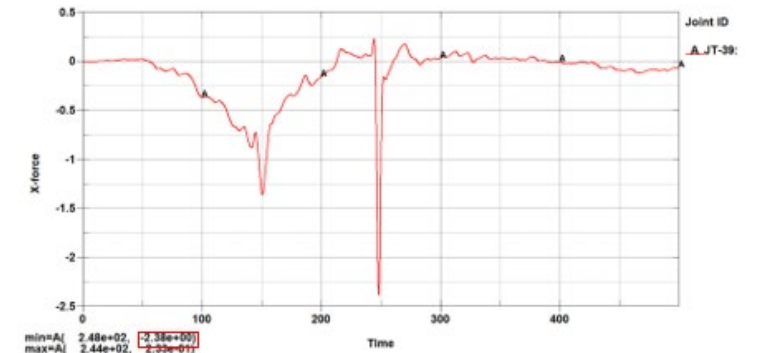
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	60 ms	2.80 kN	249 ms

Nota. El valor obtenido si supera el límite permitido. El conductor sufre lesión de fuerza axial. **✗**

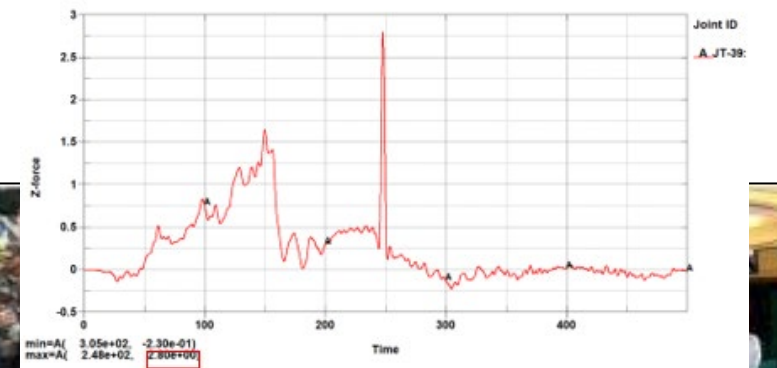
**Criterios de lesión en la cabeza (HIC)**



**Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza cortante)**

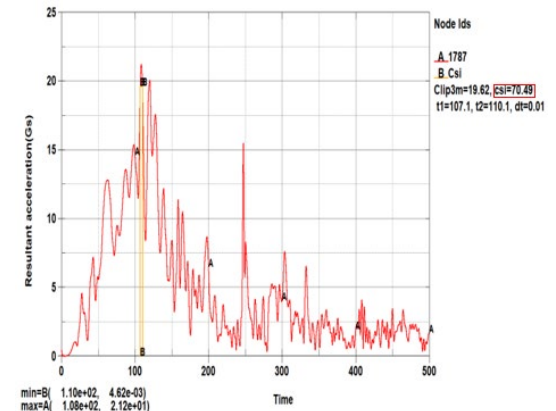


**Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza axial)**

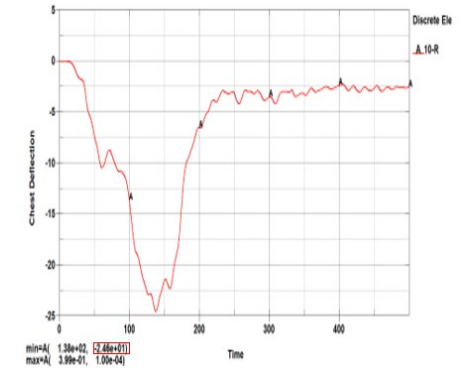


### Criterios de lesiones de impacto frontal con maniquí en el centro

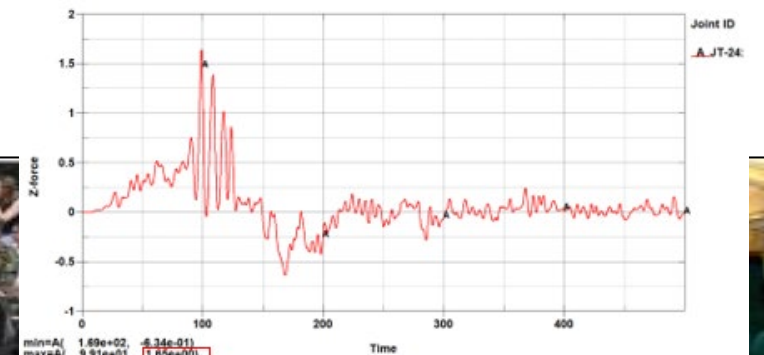
**Curva de Índice de severidad en el pecho**



**Curva del desplazamiento del tórax.**



**Criterio de fuerza del fémur izquierdo.**



**Análisis de lesión en el Pecho (CSI)**

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	-----	70.49 kN	110 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

**Análisis de lesión en el Tórax (ThCC)**

Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
50 mm	----	24.6 mm	140 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

**Análisis de lesión en el Fémur (ThCC)**

Fuerza del fémur izquierdo	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	1.65 kN	100 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

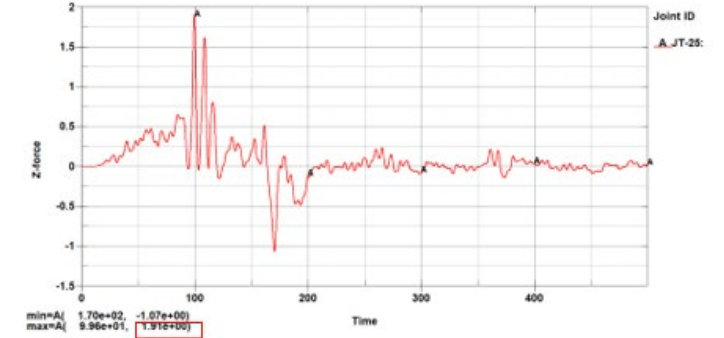




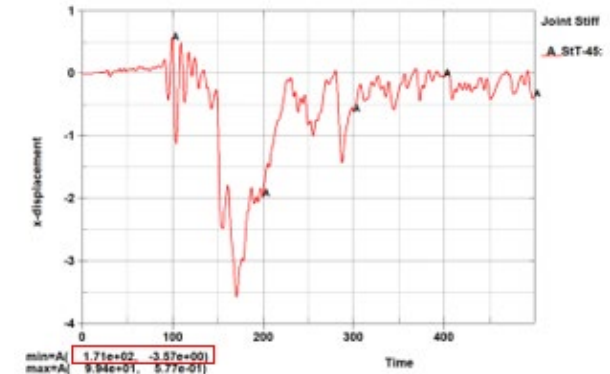
## Criterios de lesiones de impacto frontal con maniquí en el centro

Fuerza del fémur derecho			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	1.91 kN	100 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			✔
Análisis de lesión en las rodillas			
Desplazamiento de la rodilla izquierda			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	3.57 mm	170 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			✔
Desplazamiento de la rodilla derecha			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	6.90 mm	170 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión una lección.			✔

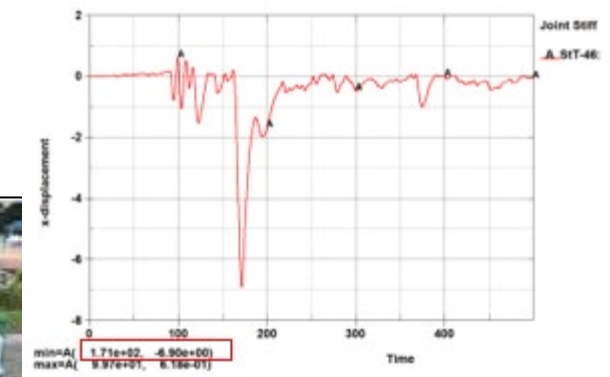
### Criterio de fuerza del fémur derecho



### Curva de desplazamiento de rodilla izquierda



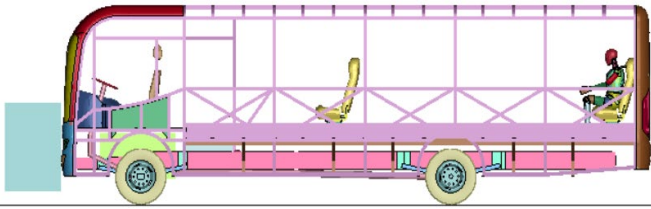
### Curva de desplazamiento de rodilla derecha



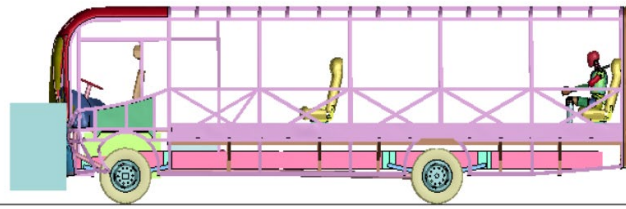
## Simulación impacto frontal “Maniquí en el posterior”

Los resultados finales se indican a través de una secuencia de imágenes en determinados intervalos de tiempo para un total de 500 ms.

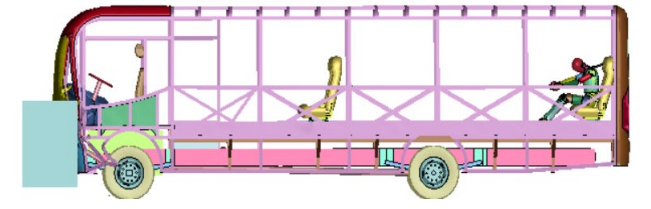
Time = 0



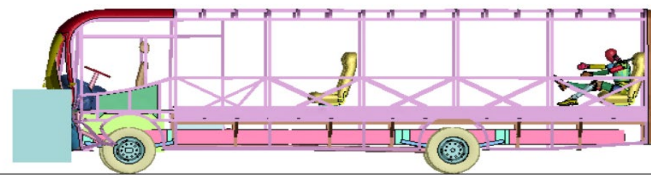
Time = 49.999



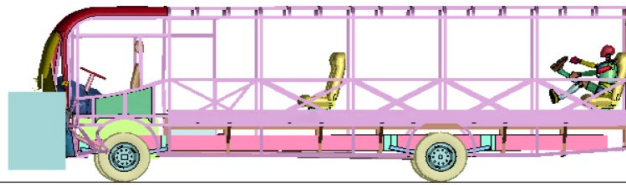
Time = 99.998



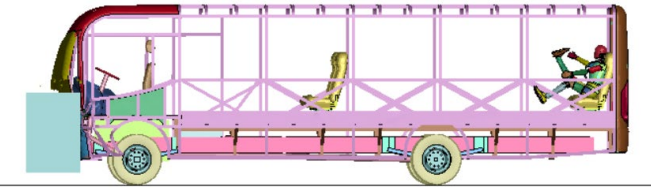
Time = 150



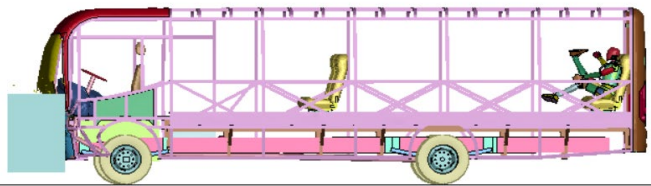
Time = 200



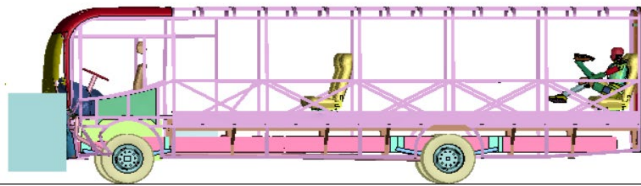
Time = 250



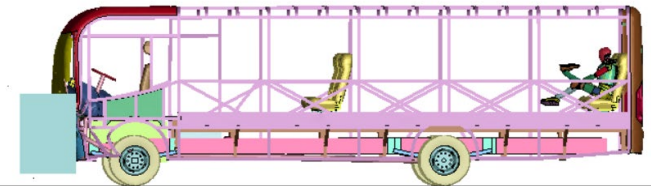
Time = 300



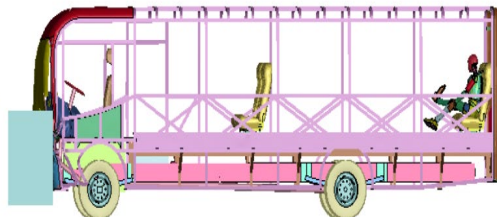
Time = 350



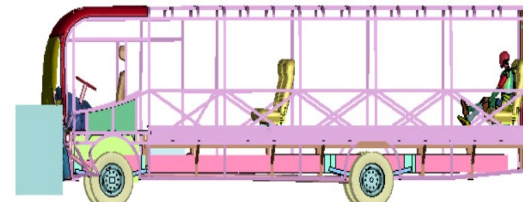
Time = 400



Time = 450

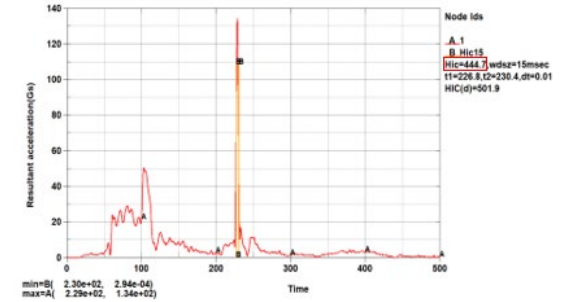


Time = 500

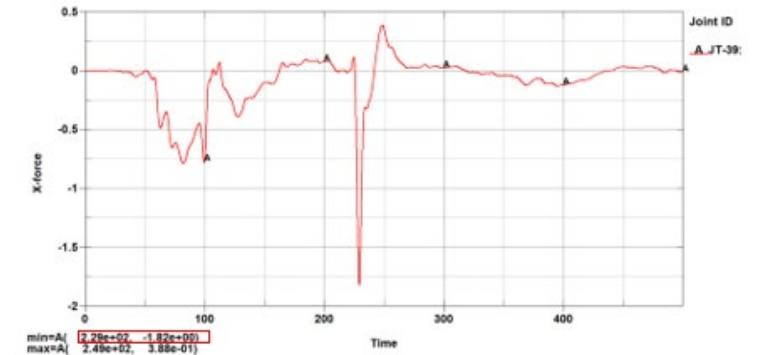


## Criterios de lesiones de impacto frontal con maniquí en el posterior

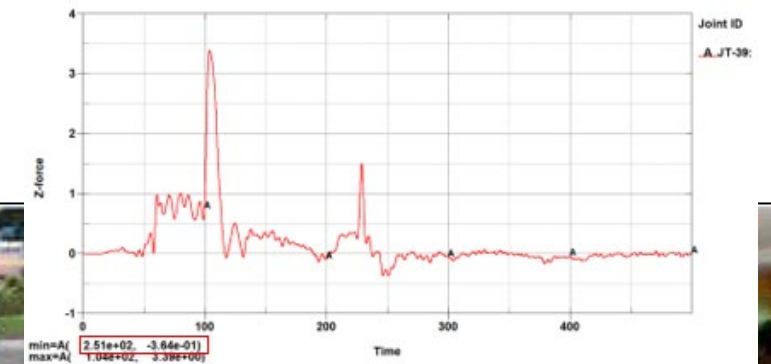
### Criterios de lesión en la cabeza (HIC)



### Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza cortante)



### Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza axial)



## SIMULACIÓN IMPACTO FRONTAL "Maniquí en el posterior"

### Análisis a la cabeza (HIC)

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	3 ms	444.7 kN	230 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

### Análisis de lesión en el cuello (NIC)

#### Fuerza cortante en el cuello

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	45 ms	1.82 kN	235 ms

Nota. El valor obtenido supera el límite permitido. El conductor sufre lesión por fuerza cortante.

#### Fuerza axial en el cuello

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	60 ms	3.39 kN	105 ms

Nota. El valor obtenido si supera el límite permitido. El conductor sufre lesión de fuerza axial.

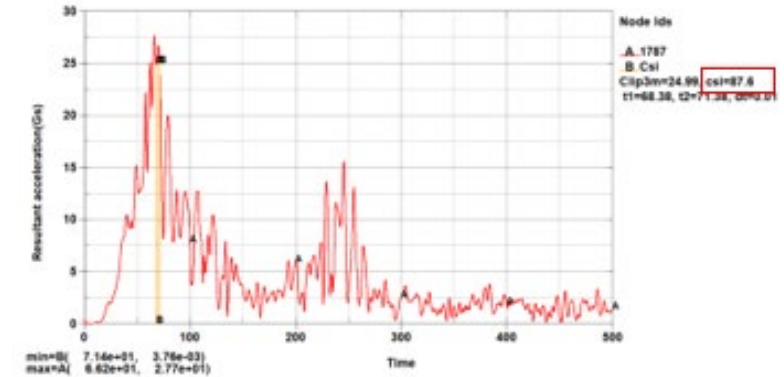




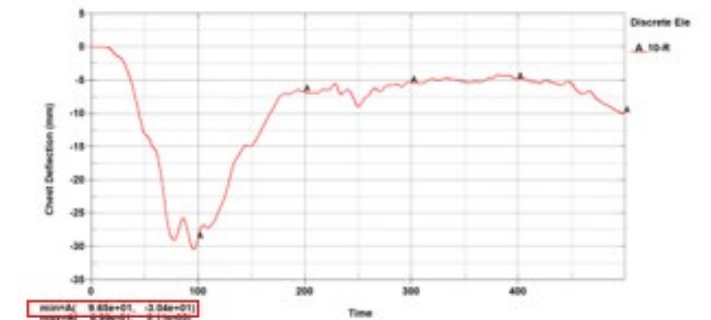
## Criterios de lesiones de impacto frontal con maniquí en el posterior

Análisis de lesión en el Pecho (CSI)			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	-----	87.6 kN	71.38 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			
Análisis de lesión en el Tórax (ThCC)			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
50 mm	----	30.4 mm	98 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			
Análisis de lesión en el Fémur			
Fuerza del fémur izquierda			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	2.10 kN	110 ms

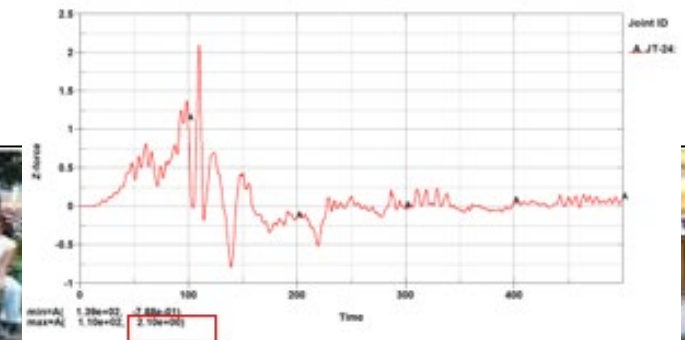
**Curva de Índice de severidad en el pecho**



**Curva del desplazamiento del tórax.**



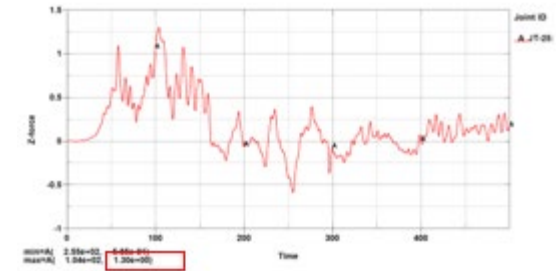
**Criterio de fuerza del fémur izquierdo.**



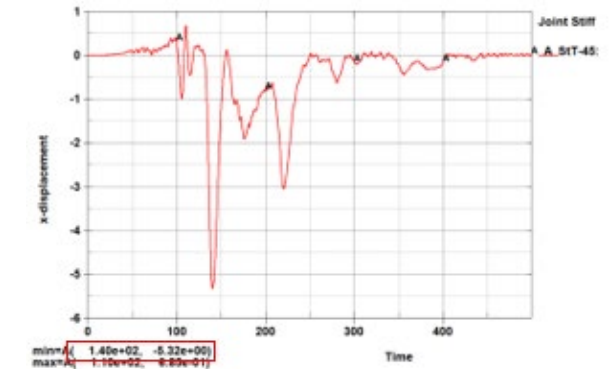
## Criterios de lesiones de impacto frontal con maniquí en el posterior

### Criterio de fuerza del fémur derecho

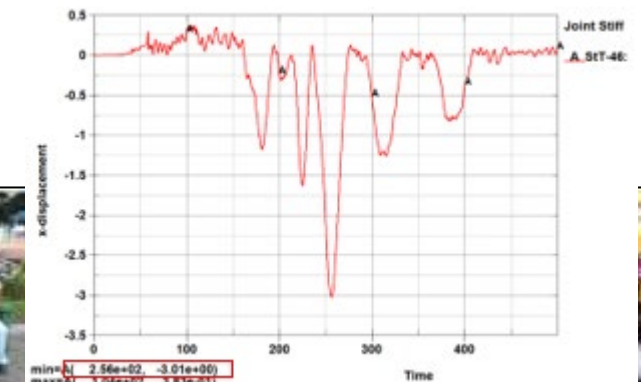
Fuerza del fémur derecho			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	1.30 kN	105 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			
Análisis de lesión en las rodillas			
Desplazamiento de la rodilla izquierda			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	5.32 mm	145 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			
Desplazamiento de la rodilla derecha			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	3.01 mm	255 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			



### Curva de desplazamiento de rodilla izquierda

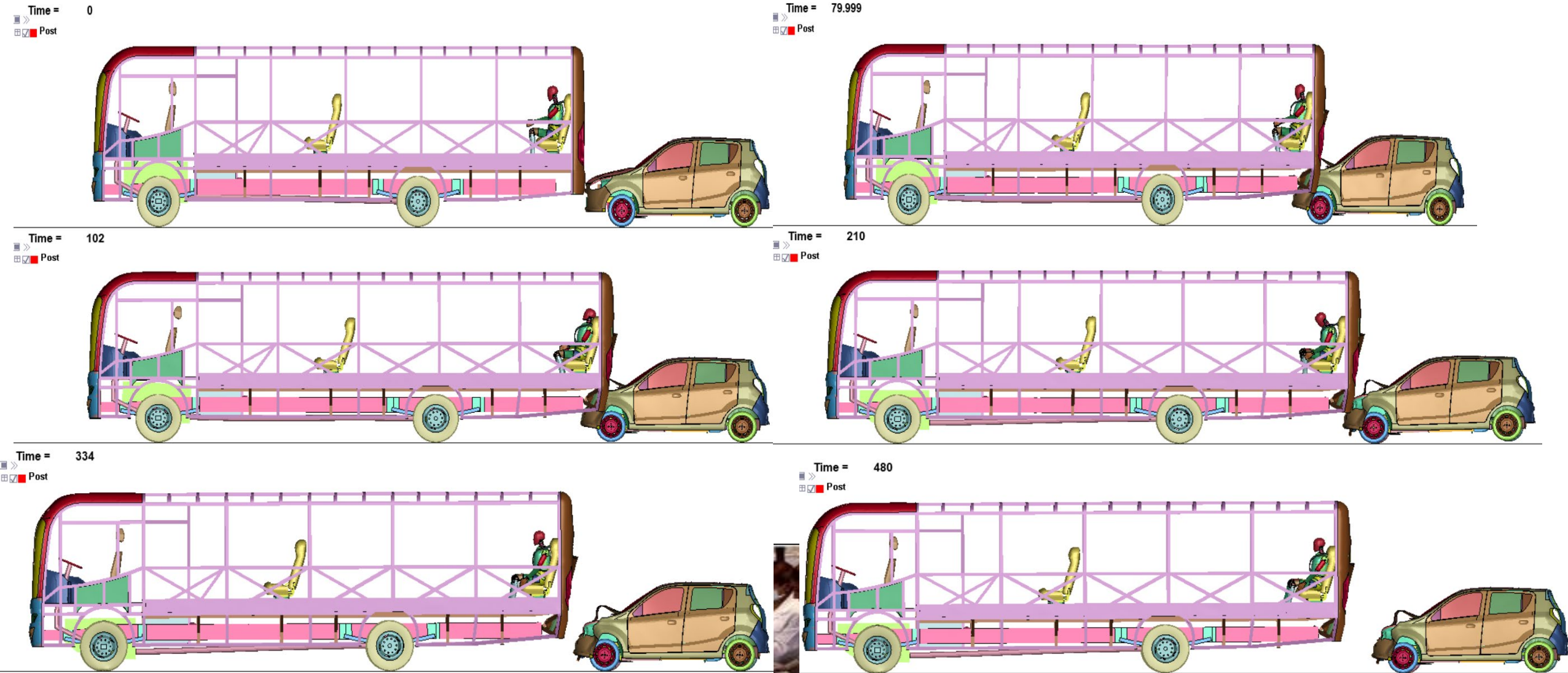


### Curva de desplazamiento de rodilla derecha



## Simulación de impacto posterior con maniquí en el posterior

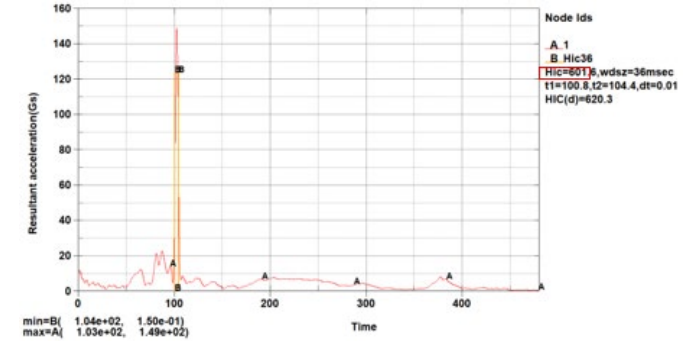
Los resultados finales se indican a través de una secuencia de imágenes en determinados intervalos de tiempo para un total de 150 ms.



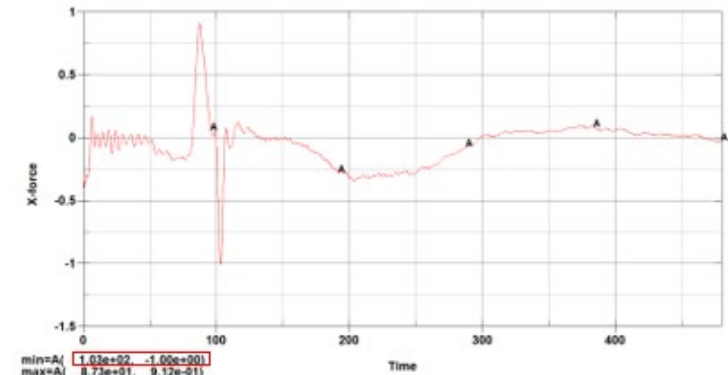


## Criterios de lesiones de impacto posterior con maniquí en el posterior

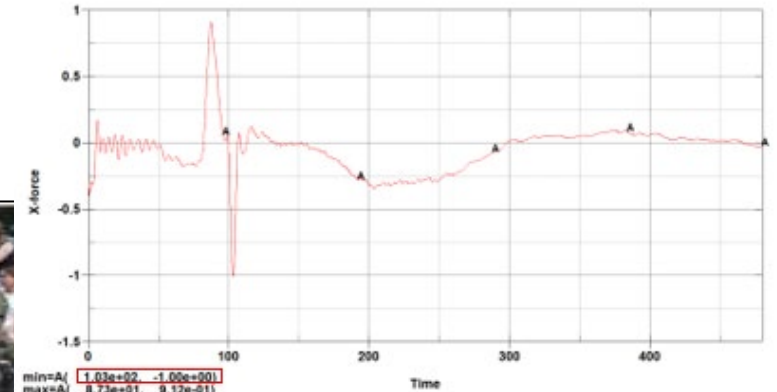
### Criterios de lesión en la cabeza (HIC)



### Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza cortante)



### Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza axial)



### SIMULACIÓN IMPACTO POSTERIOR "Maniquí posterior"

#### Análisis a la cabeza (HIC)

Fuerza máxima permitida	En un tiempo máximo	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	3 ms	601.6 kN	200 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

#### Análisis de lesión en el cuello (NIC)

Fuerza cortante en el cuello			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	45 ms	1.0 kN	103 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

#### Fuerza axial en el cuello

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	60 ms	6.54 kN	103 ms

Nota. El valor obtenido si supera el límite permitido. El conductor sufre lesión de fuerza axial.



## Criterios de lesiones de impacto posterior con maniquí en el posterior

### Análisis de lesión en el Pecho (CSI)

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	-----	156.3 kN	82.82 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

### Análisis de lesión en el Tórax (ThCC)

Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
50 mm	-----	13.3 mm	95 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

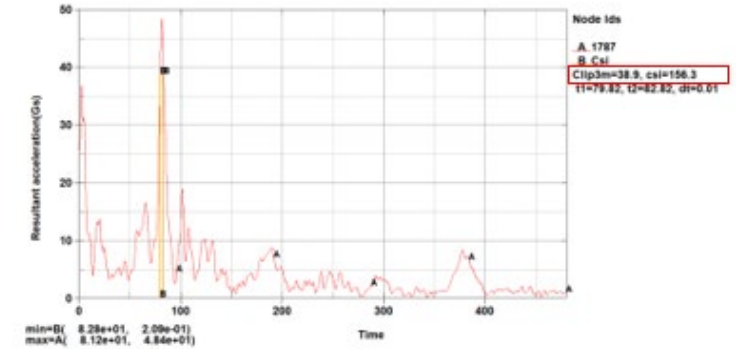
### Análisis de lesión en el Fémur (FFC)

#### Fuerza del fémur izquierdo

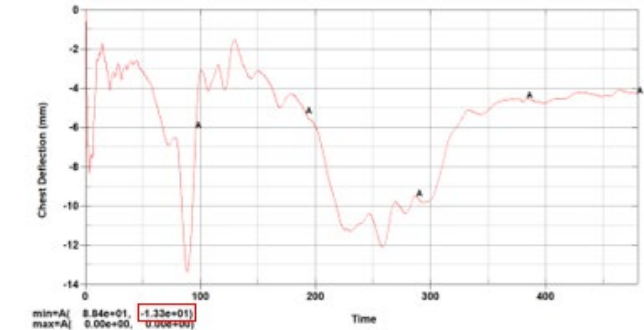
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	1.40 kN	242 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

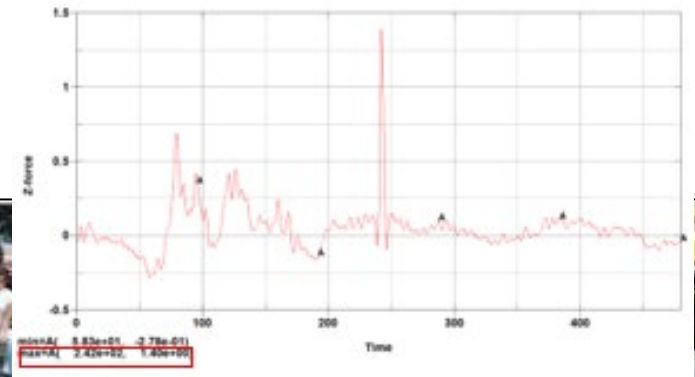
### Curva de Índice de severidad en el pecho



### Curva del desplazamiento del tórax.

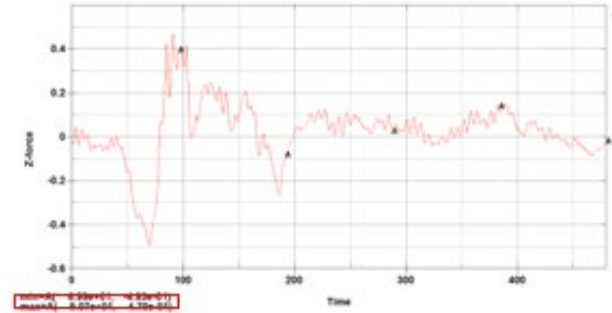


### Criterio de fuerza del fémur izquierdo.



## Criterios de lesiones de impacto posterior con maniquí en el posterior

### Criterio de fuerza del fémur derecho



#### Fuerza del fémur derecho

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	0.493 kN	69.9 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

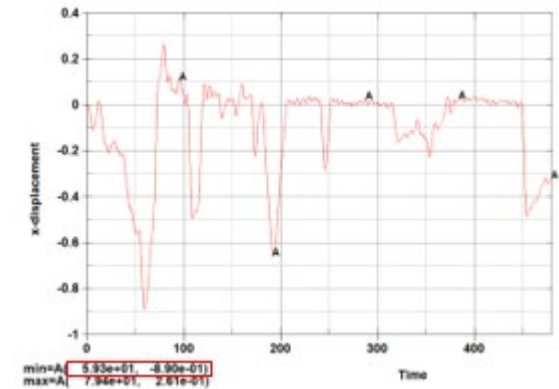
#### Análisis de lesión en las rodillas

##### Desplazamiento de la rodilla izquierda

Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	0.89 mm	59 ms

Nota. El valor obtenido supera el límite permitido. El conductor sufre lesión.

### Curva de desplazamiento de rodilla izquierda

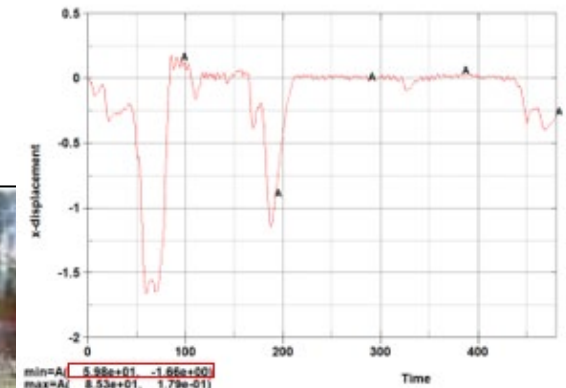


##### Desplazamiento de la rodilla derecha

Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	1.66 mm	55 ms

Nota: El valor obtenido supera el límite permitido. El conductor sufre lesión.

### Curva de desplazamiento de rodilla derecha

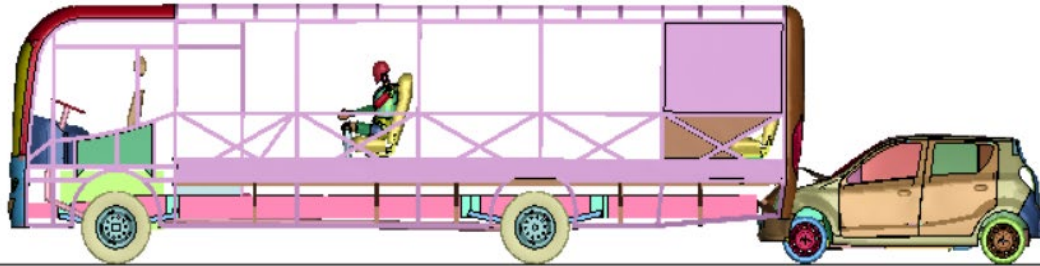




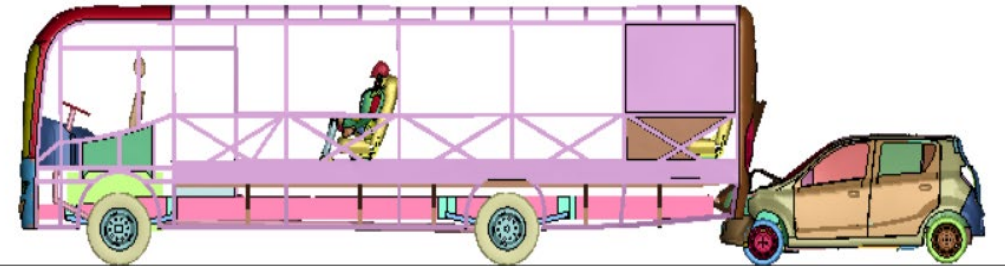
## Simulación de impacto posterior con maniquí en el centro

Los resultados finales se indican a través de una secuencia de imágenes en determinados intervalos de tiempo para un total de 150 ms.

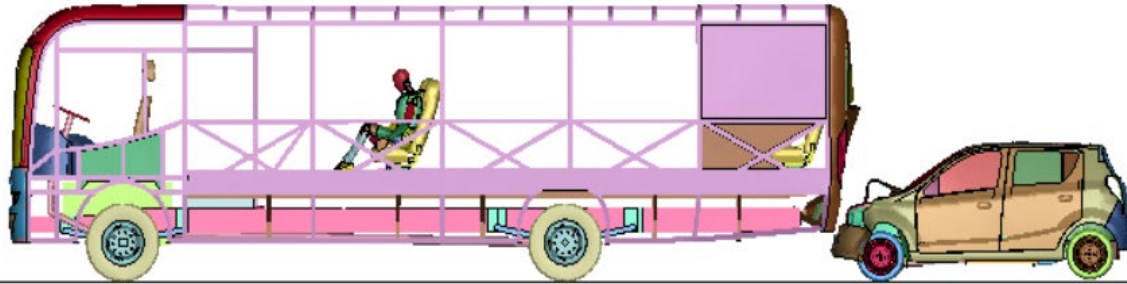
Time = 49.999



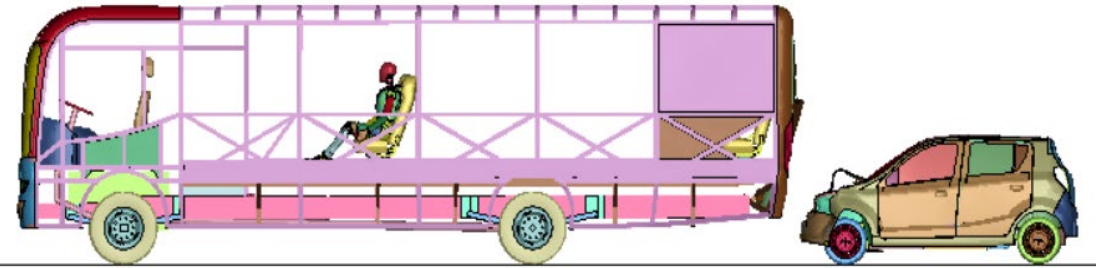
Time = 150



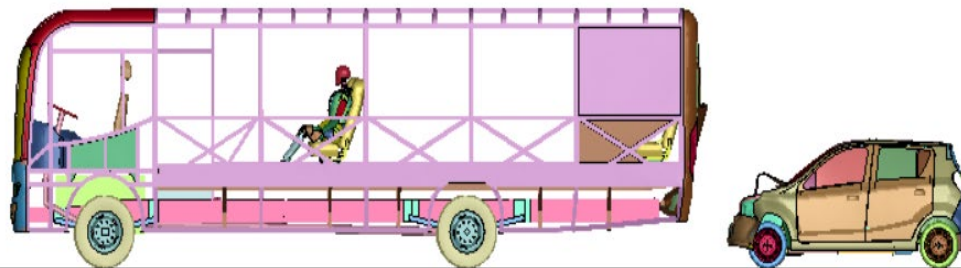
Time = 250



Time = 350



Time = 480



## Criterios de lesiones de impacto posterior con maniquí en el centro

### SIMULACIÓN IMPACTO POSTERIOR "Maniquí en el centro"

#### Análisis a la cabeza (HIC)

Fuerza máxima permitida	En un tiempo máximo	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	3 ms	593.1 kN	128 ms

Nota. El valor obtenido supera el límite permitido. El conductor sufre lesión. **X**

#### Análisis de lesión en el cuello (NIC)

##### Fuerza cortante en el cuello

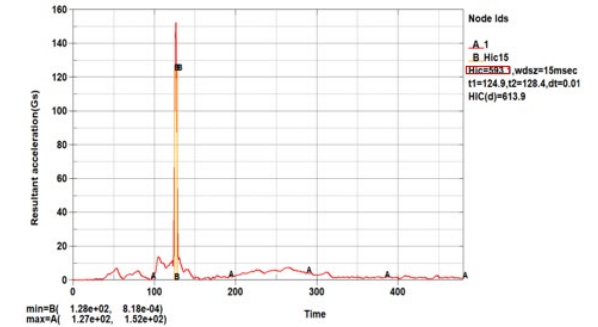
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	45 ms	1.15 kN	127 ms

Nota. El valor obtenido supera el límite permitido. El conductor sufre lesión de fuerza cortante. **X**

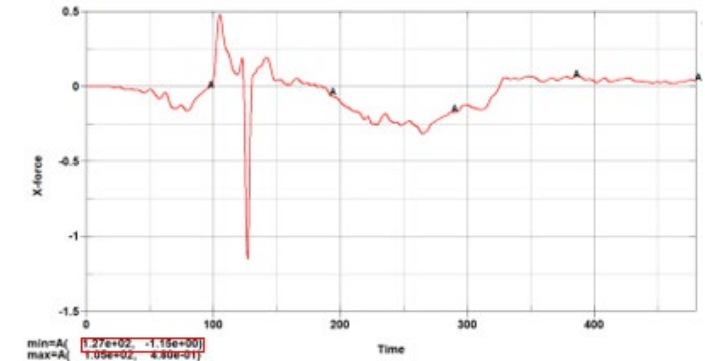
##### Fuerza axial en el cuello

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	60 ms	4.27 kN	127 ms

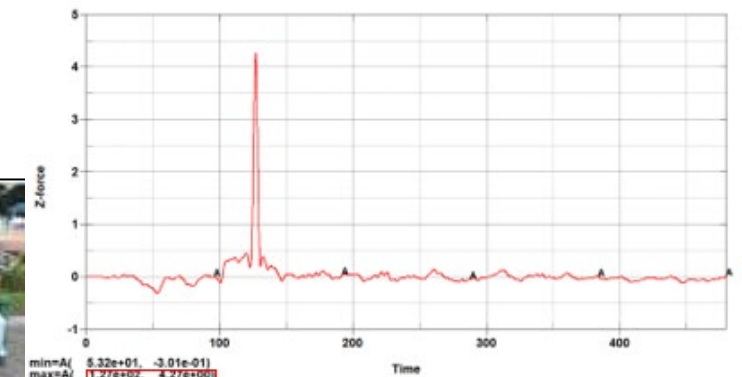
### Criterios de lesión en la cabeza (HIC)



### Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza cortante)



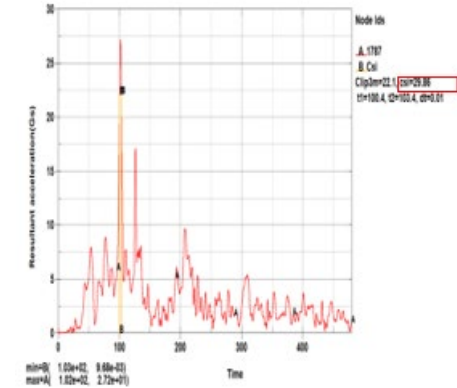
### Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza axial)



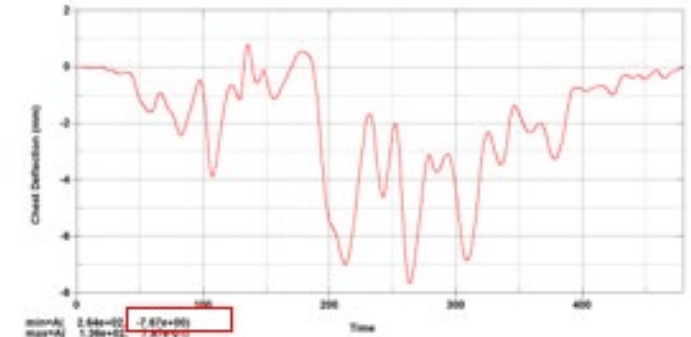
## Criterios de lesiones de impacto posterior con maniquí en el centro

### Curva de Índice de severidad en el pecho

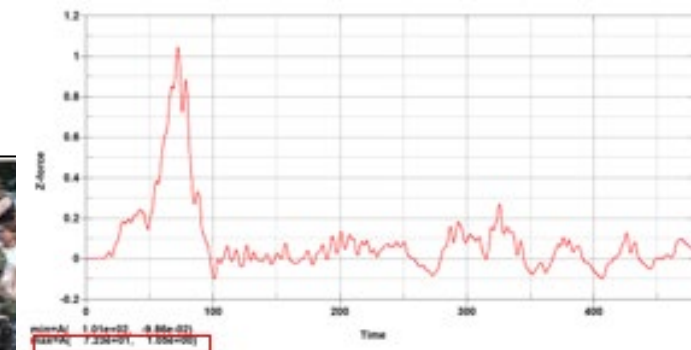
Análisis de lesión en el Pecho (CSI)			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	----	29.86 kN	100 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			☑
Análisis de lesión en el Tórax (ThCC)			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
50 mm	----	7.67 mm	260 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			☑
Análisis de lesión en el Fémur (ThCC)			
Fuerza del fémur izquierdo			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	1.05 kN	72.3 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			☑



### Curva del desplazamiento del tórax.



### Criterio de fuerza del fémur izquierdo.

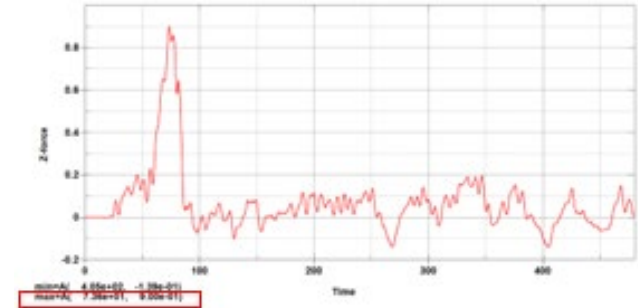




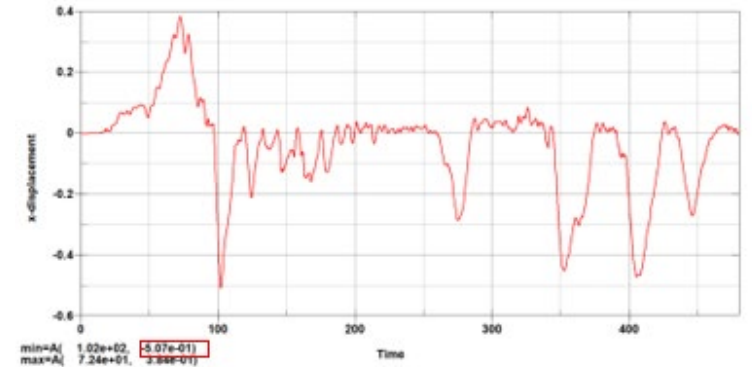
## Criterios de lesiones de impacto posterior con maniquí en el centro

Fuerza del fémur derecho			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	0.90 kN	73.6 ms
Análisis de lesión en las rodillas			
Desplazamiento de la rodilla izquierda			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	0.50 mm	110 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			
Desplazamiento de la rodilla derecha			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	0.67 mm	410 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión una lección. <input checked="" type="checkbox"/>			

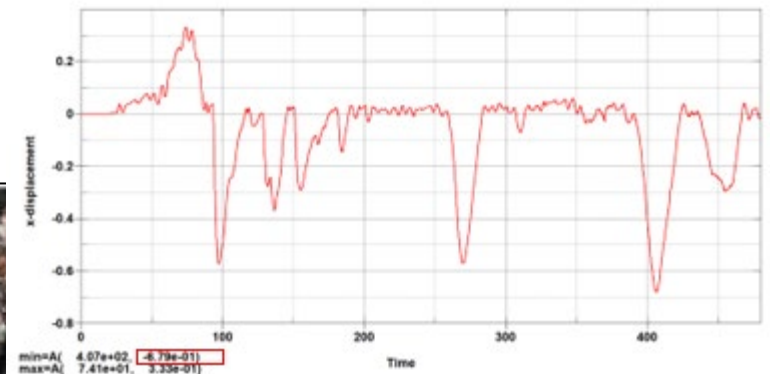
### Criterio de fuerza del fémur derecho



### Curva de desplazamiento de rodilla izquierda



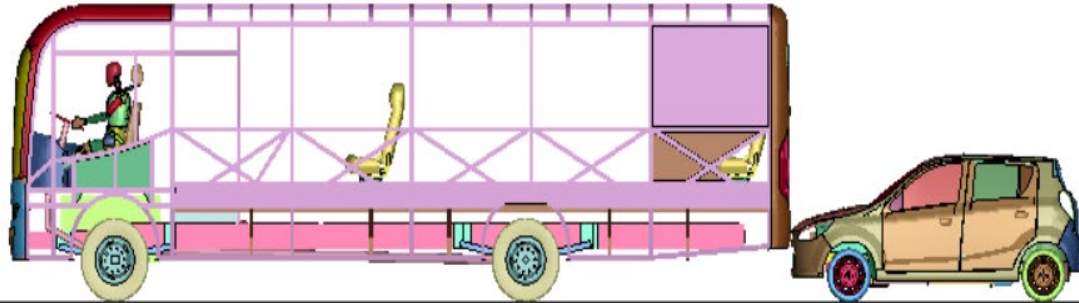
### Curva de desplazamiento de rodilla derecha



## Simulación de impacto posterior con maniquí parte delantera

Los resultados finales se indican a través de una secuencia de imágenes en determinados intervalos de tiempo para un total de 150 ms.

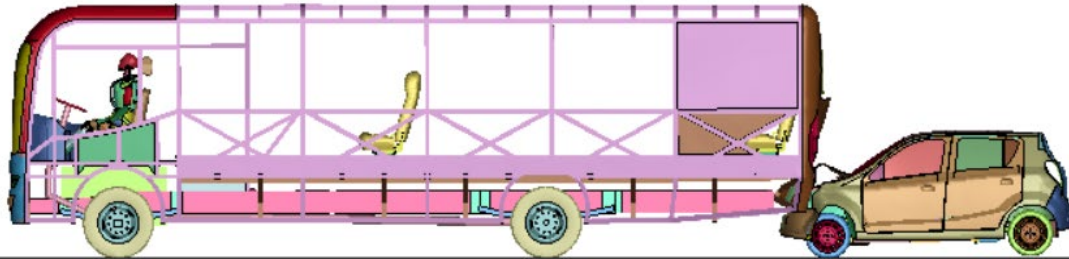
Time = 0



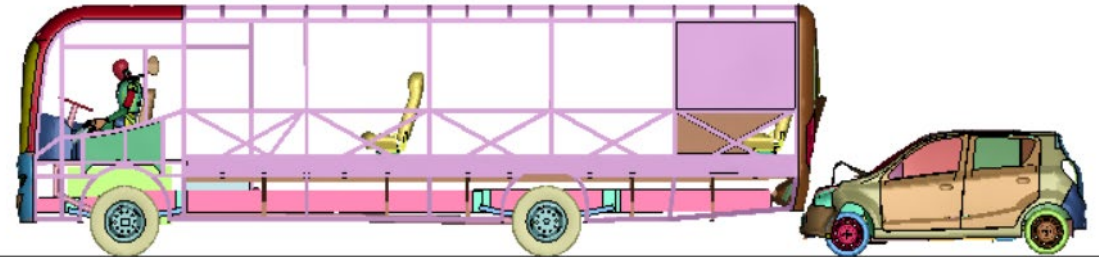
Time = 49.999



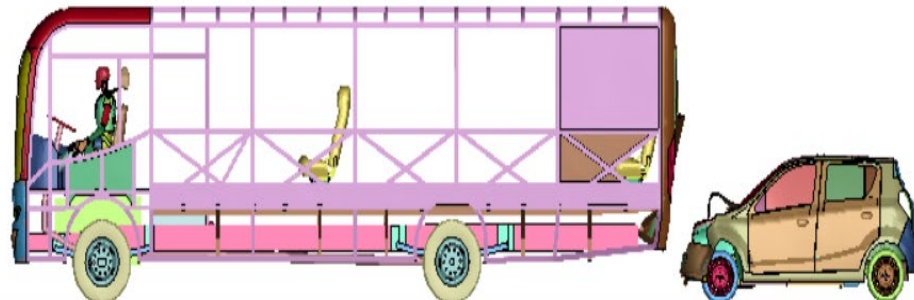
Time = 150



Time = 250



Time = 350



## Criterios de lesiones de impacto posterior con maniquí parte delantera

### SIMULACIÓN IMPACTO POSTERIOR "Maniquí parte delantera"

#### Análisis a la cabeza (HIC)

Fuerza máxima permitida	En un tiempo máximo	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	3 ms	181 kN	132 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

#### Análisis de lesión en el cuello (NIC)

##### Fuerza cortante en el cuello

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	45 ms	0.367 kN	131 ms

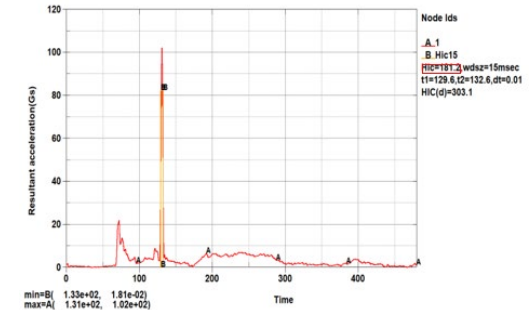
Nota. El valor obtenido supera el límite permitido. El conductor sufre lesión por fuerza cortante.

##### Fuerza axial en el cuello

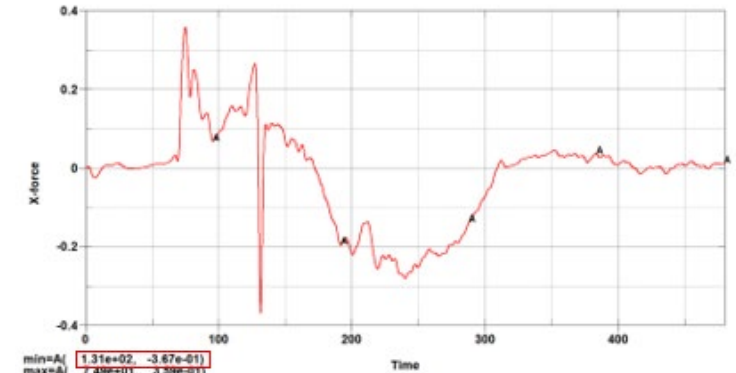
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	60 ms	0.918 kN	72.2 ms

Nota. El valor obtenido si supera el límite permitido. El conductor sufre lesión de fuerza axial.

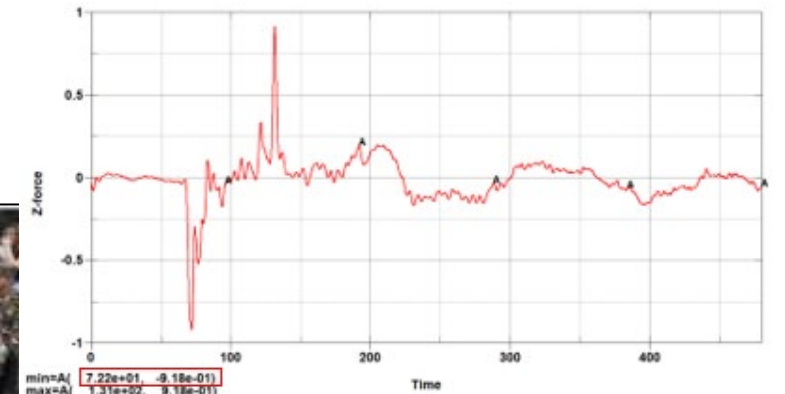
### Criterios de lesión en la cabeza (HIC)



### Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza cortante)



### Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza axial)

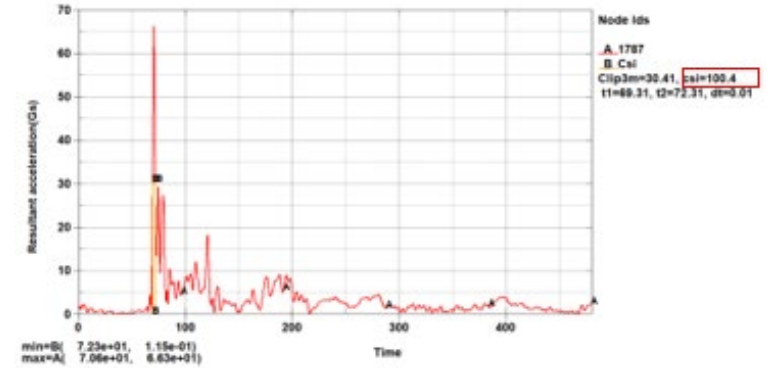




## Criterios de lesiones de impacto posterior con maniquí parte delantera

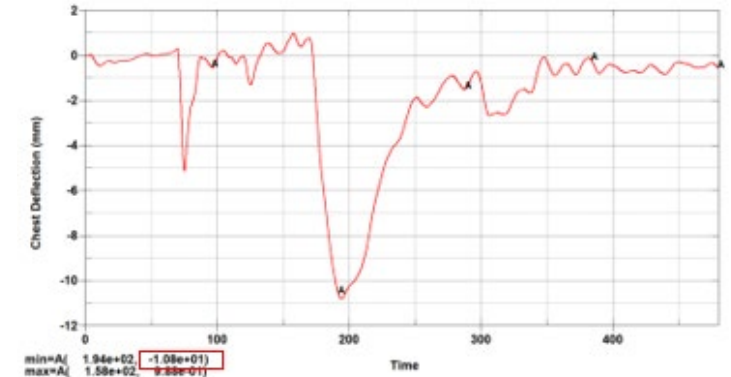
### Curva de Índice de severidad en el pecho

Análisis de lesión en el Pecho (CSI)			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	-----	100 kN	72 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			☑



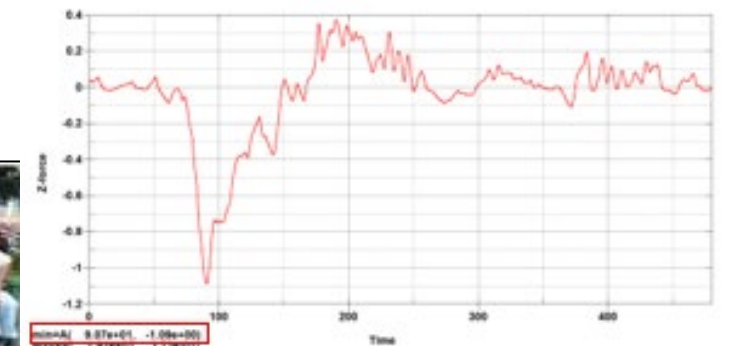
Análisis de lesión en el Tórax (ThCC)			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
50 mm	-----	10.8 mm	195 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			☑

### Curva del desplazamiento del tórax.



Análisis de lesión en el Fémur			
Fuerza del fémur izquierdo			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	1.09 kN	90.7 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			☑

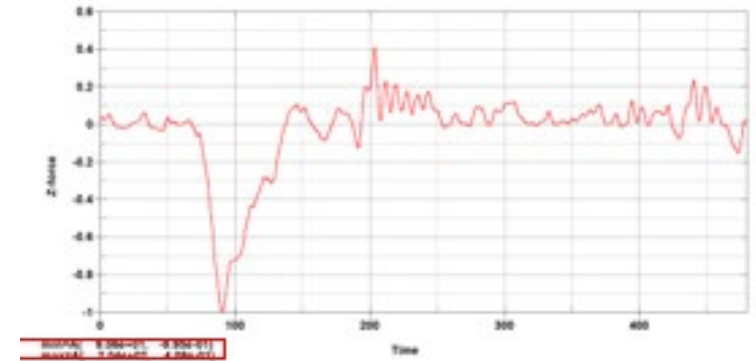
### Criterio de fuerza del fémur izquierdo.



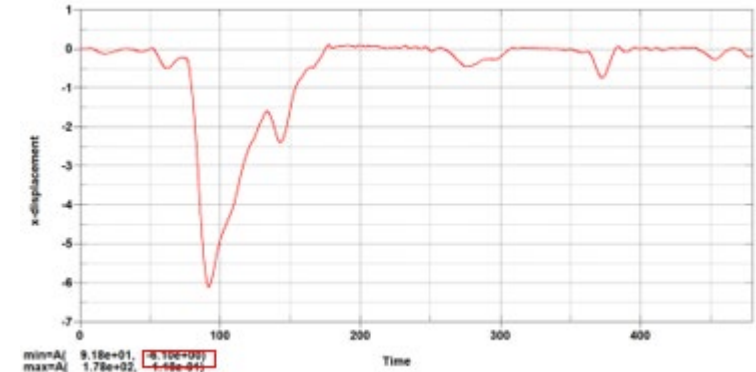
## Criterios de lesiones de impacto posterior con maniquí parte delantera

Fuerza del fémur derecho			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	0.99 kN	90.6 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			✓
Análisis de lesión en las rodillas			
Desplazamiento de la rodilla izquierda			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	6.10 mm	95 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			✓
Desplazamiento de la rodilla izquierda			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	5.55 mm	95 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			✓

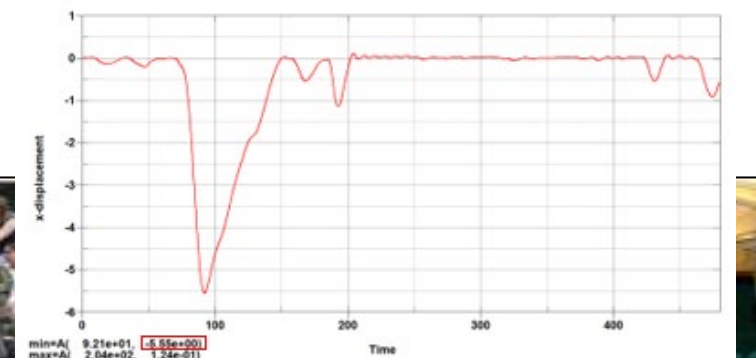
### Criterio de fuerza del fémur derecho



### Curva de desplazamiento de rodilla izquierda



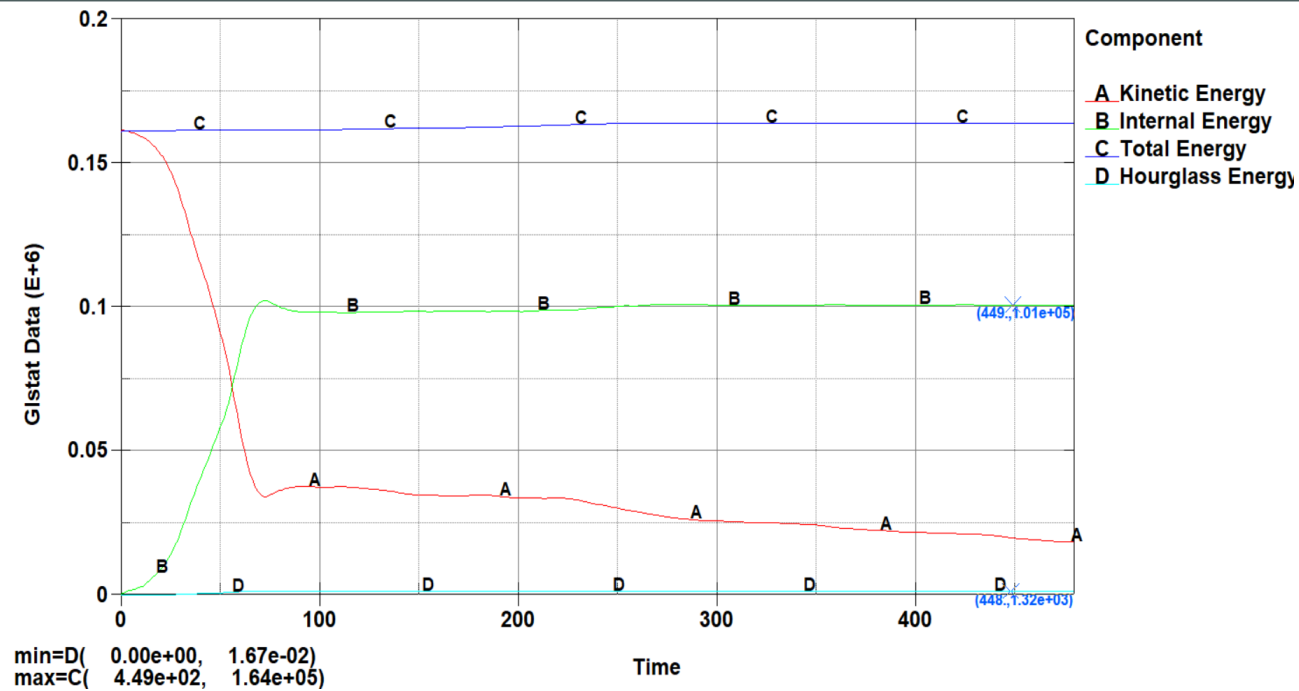
### Curva de desplazamiento de rodilla derecha



## Verificación de la energía de Hourglass

### Energía de Hourglass en impacto posterior con vehículo

Se obtuvieron valores de energía interna de  $1.01 \times 10^5$  y de energía de hourglass de  $1.32 \times 10^3$



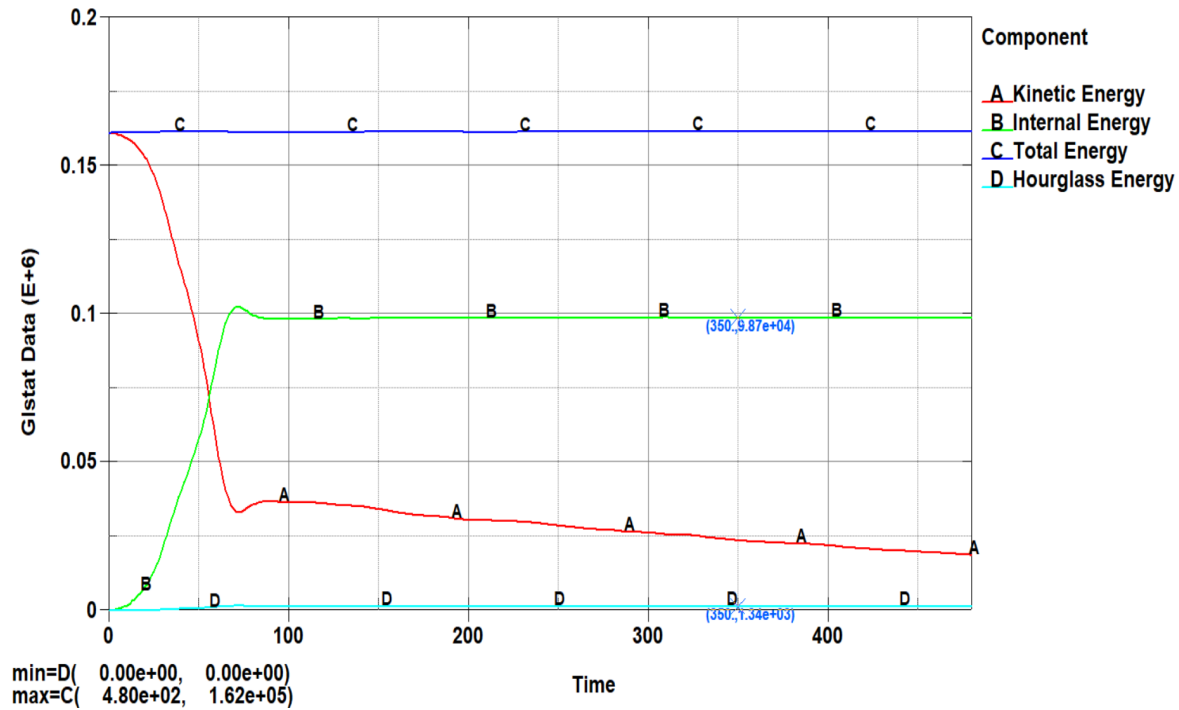
Curvas de energías vs tiempo del impacto posterior de un minibús con vehículo





### Energía de Hourglass en impacto posterior con vehículo (Maniquí ubicado en parte del medio)

Se obtuvieron valores de energía interna de  $9.87 \times 10^4$  y de energía de hourglass de  $1.34 \times 10^3$

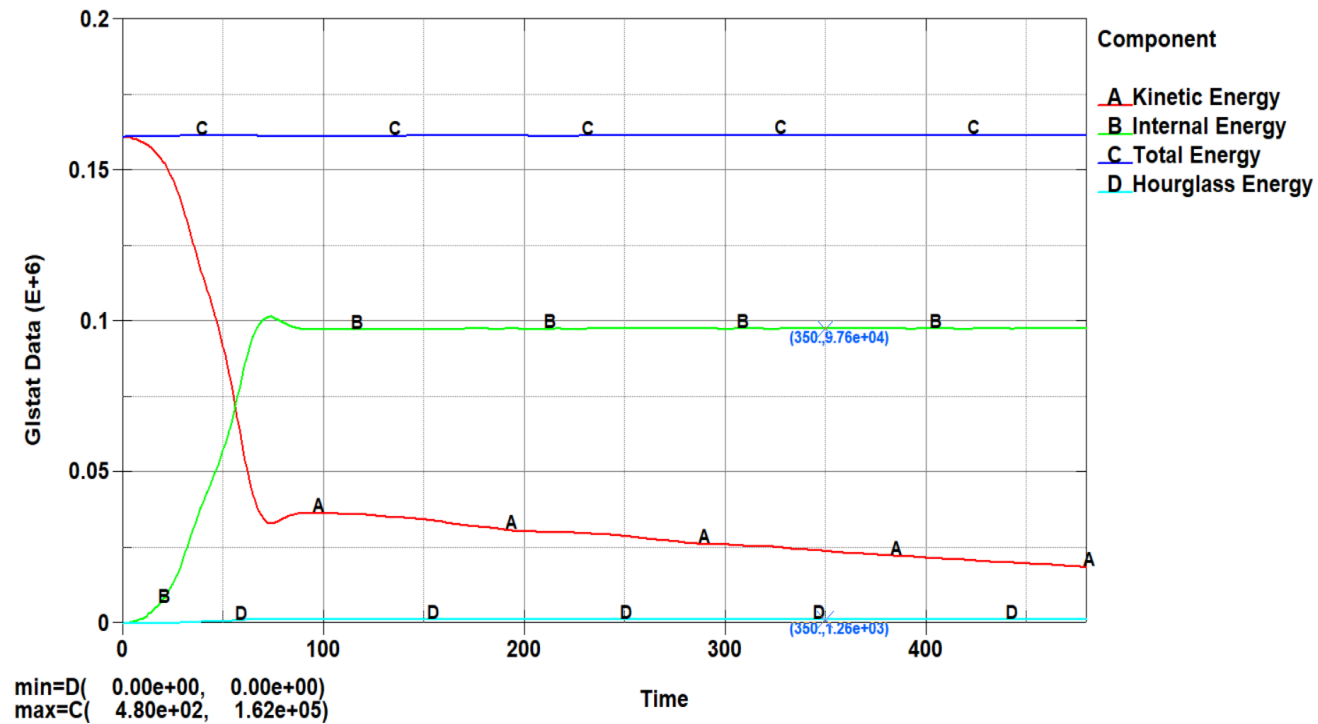


Curvas de energías vs tiempo del impacto posterior de un minibús con vehículo. (Maniquí ubicado en la parte del medio)



## Energía de Hourglass en impacto posterior con vehículo (Maniquí ubicado en la parte delantera)

Se obtuvieron valores de energía interna de  $9.76 \times 10^4$  y de energía de hourglass de  $1.26 \times 10^3$



Curvas de energías vs tiempo del impacto posterior de un minibús con vehículo (Maniquí ubicado en la parte delantera)



## Conclusiones

La carrocería del minibús tipo escolar es modelado según la normativa RTE INEN 041 para posteriormente ubicarle un maniquí Híbrido III 50% percentil masculino para analizarle el criterio de lesiones en impactos frontales y posteriores.

Se utilizó el criterio jacobiano de malla de un valor de 0.3 que indica una calidad de “MUY BUENA”; para aplicar el criterio se utilizó el módulo de Element and Mesh – Element Editing – Quality Queck, donde se verificó a todos los elementos del modelo.

Los valores límites permitidos según el reglamento n°94 de CEPE para criterio de lesiones en el cuello es 1.1 kN para tiempos superiores a 45 ms para la fuerza cortante del cuello y para la fuerza axial del cuello es de 1.1 kN para tiempos superiores a 60 ms. El valor obtenido para impactos posteriores con vehículo tipo hatchback cuando el maniquí está ubicado en la última fila para la fuerza cortante del cuello es 1.0 kN en un tiempo de 103 ms que no supera el valor permitido y para la fuerza axial del cuello es de 6.54 kN en un tiempo de 103 ms que supera el valor permitido. Los valores obtenidos por pulso de aceleración para la fuerza cortante del cuello son de 1.3 kN en un tiempo de 178 ms que supera el valor permitido y para la fuerza axial del cuello es de 1.73 kN en un tiempo de 178 ms que supera el valor permitido. Después ubicamos el maniquí en el medio y obtenemos valores para la fuerza cortante del cuello de 1.15 kN en un tiempo de 127 ms que superan el valor permitido y para la fuerza axial del cuello es de 4.27 kN en un tiempo de 127 ms que supera el valor permitido.







## Recomendaciones

Dar continuidad a este estudio biomecánico ubicando el maniquí Híbrido III 50% percentil masculino en la penúltima fila y filas diferentes a las analizadas en este proyecto para analizar el criterio de lesiones en impactos frontales y posteriores de todas las filas en las que son situados los ocupantes y de esta manera tener valores para determinar la afectación al momento de una colisión.

En este estudio se usó el acero estructural ASTM A500 grado A, definir otro material alternativo para la construcción de carrocerías, además realizar un análisis estructural y biomecánico con el maniquí Híbrido III 50% percentil masculino para determinar el uso alternativo de material para la fabricación de carrocerías en el Ecuador. Utilizar un índice de criterio jacobiano de un valor de 0.3 para verificar la calidad de la malla del modelado y todos los elementos, dicho valor indica una calidad de “MUY BUENA”.

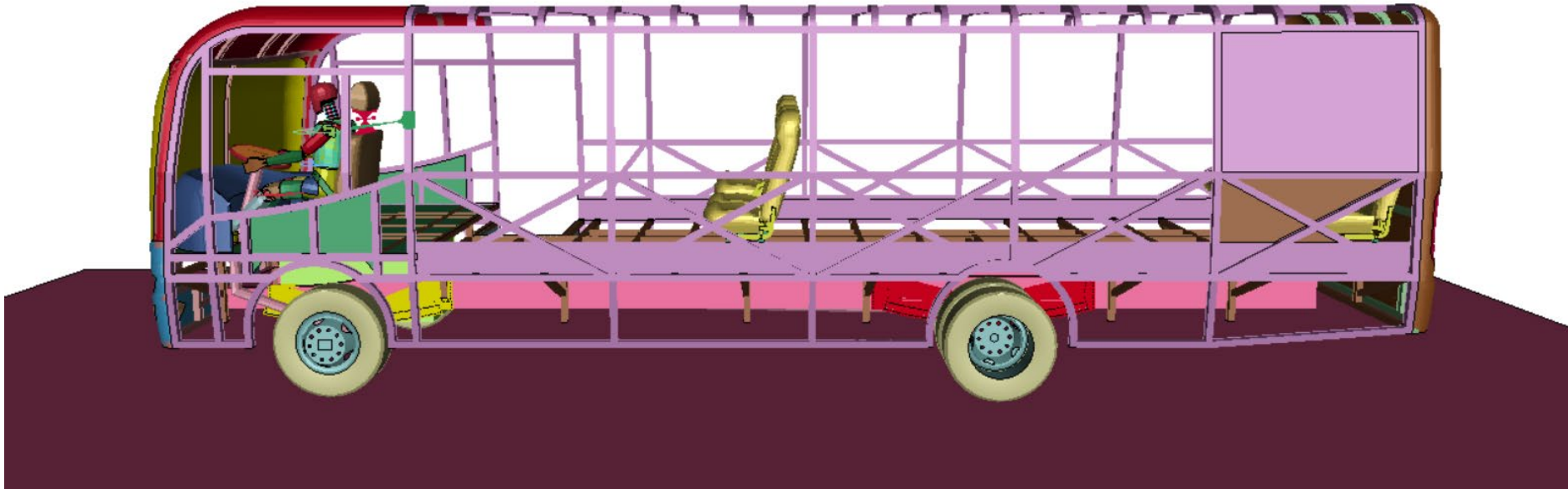
Poner énfasis en la creación de una normativa ecuatoriana para la simulación de impactos, si bien Ecuador ocupa normativas europeas, no estaría mal investigar diferentes normativas utilizadas en el resto del mundo para validaciones biomecánicas y aplicarlas en el país.





## SIMULACIÓN DE IMPACTO FRONTAL CON PULSO DE ACCELERACIÓN

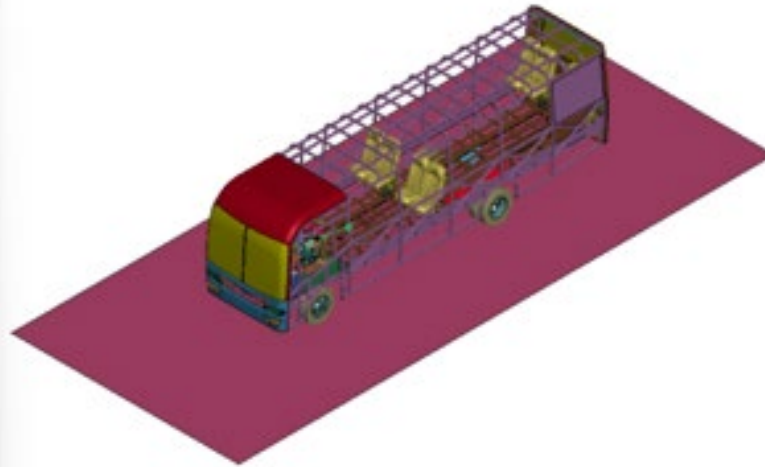
La simulación consta del minibús con asientos de pasajeros y conductor, el maniquí para impactos HÍBRIDO III % percentil masculino y el piso como se indica en la Figura.







General Info	
State:	1
<b>Nodes:</b>	<b>248939</b>
Beams:	0
<b>Shells:</b>	<b>254495</b>
TShell:	0
<b>Solids:</b>	<b>2644</b>
SPH Nodes:	0
Discrete Elements:	7
Seatbelt Elements:	0
Nurbs Elements:	0
Discrete Spherics:	0
Mass Elements:	52
Inertia Elements:	0
<b>Nodal Rigid Bodies:</b>	<b>10</b>
Rigid Elements:	1712
Deformable Elements:	25437
Total no. of Elements:	257149
Total no. of Parts:	186



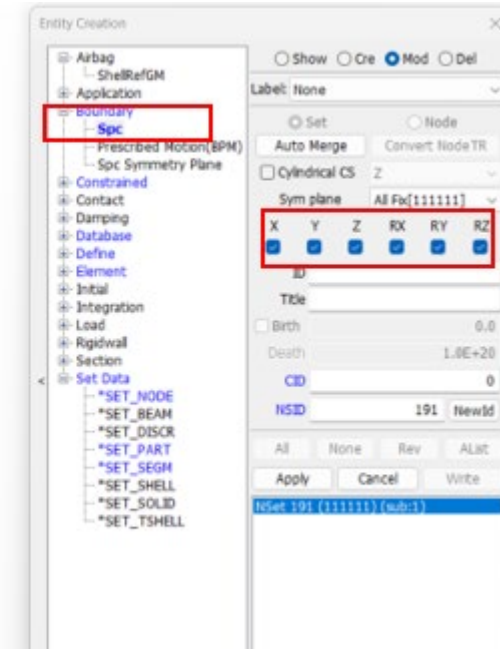
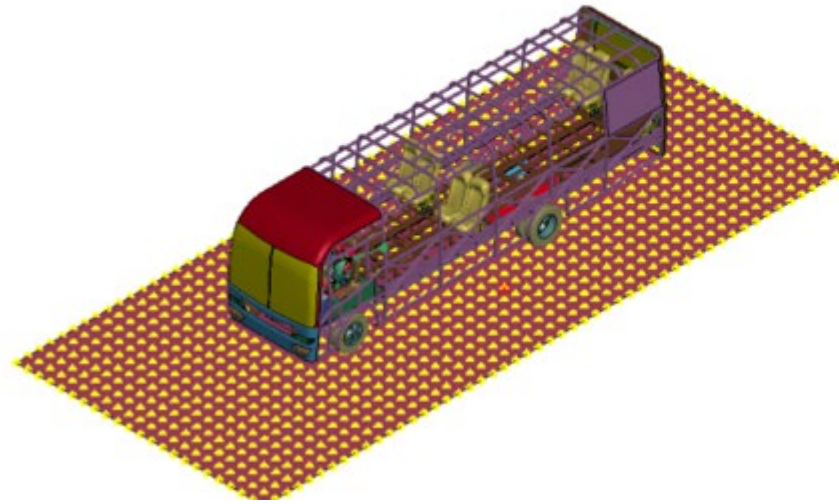
Elementos	Característica/Cantidad
Nodos	248939
Shells	254495
Solids	2466
Nodal Rigid Bodies	10
Tipos de elementos	Shell 2D y Solids



## Condiciones de simulación

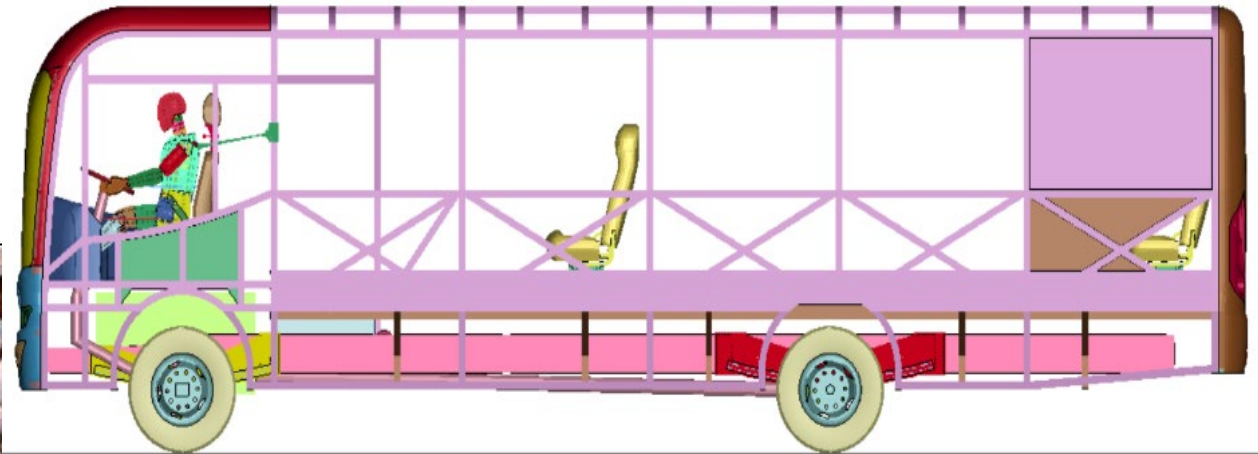
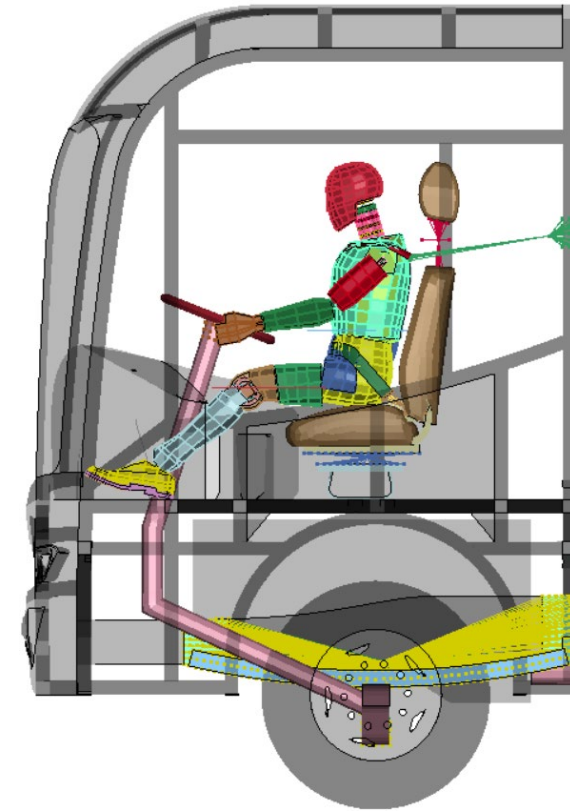
### Restricciones

Las principales restricciones se dan para los desplazamientos y rotaciones en todos los ejes del piso y la barrera fija, a través del módulo *Entity creation* – *Boundary – Spc*, como se indica en la Figura 29.



### CONDICIONES DE SIMULACIÓN

Bus	Minibús
Restricciones de desplazamiento y rotación	En todos los ejes del piso
Modelo de maniquí de prueba de impacto	HÍBRIDO III 50% percentil masculino
Tipo de cinturón de seguridad	3 puntos
Pulso de aceleración	A 30 km/h
Gravedad	0.0098066 mm/ms <sup>2</sup>
Tipos de contactos	AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE
Tiempo de simulación	500 ms

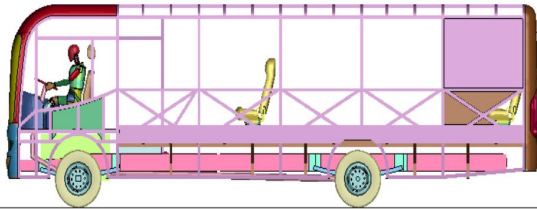




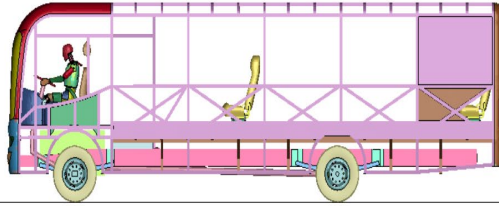
## Simulación impacto frontal “Maniquí en el frente” con pulso de aceleración

Los resultados finales se indican a través de una secuencia de imágenes en determinados intervalos de tiempo para un total de 500 ms.

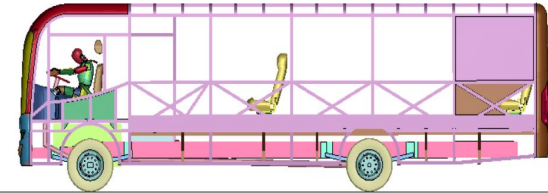
Time = 0



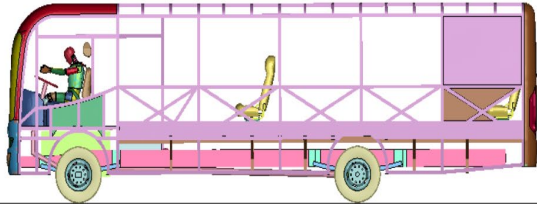
Time = 49.999



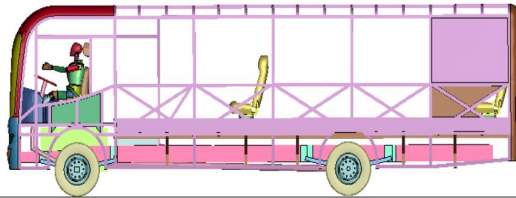
Time = 99.998



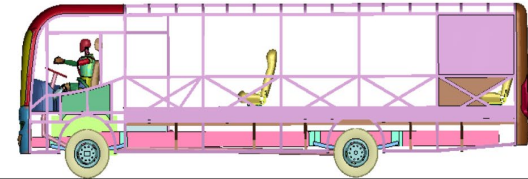
Time = 150



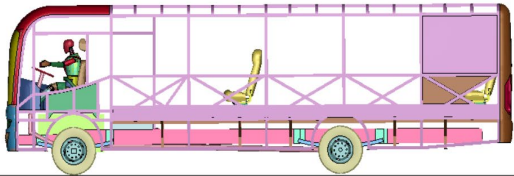
Time = 200



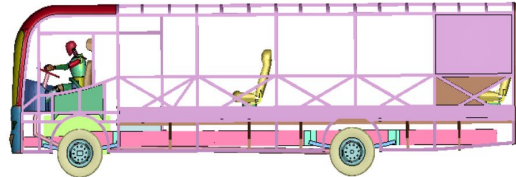
Time = 250



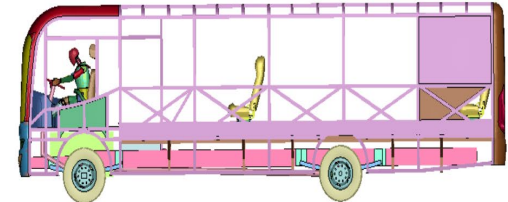
Time = 300



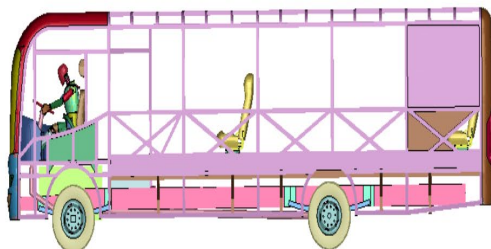
Time = 350



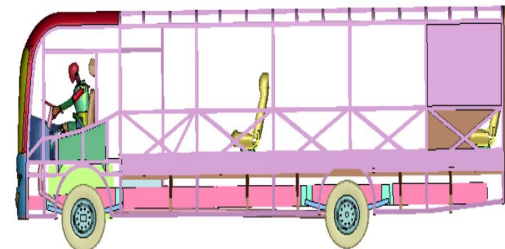
Time = 400



Time = 450



Time = 500



## Criterios de lesiones de impacto frontal con pulso de aceleración

### SIMULACIÓN IMPACTO FRONTAL “Maniquí frontal” con pulso de aceleración

#### Análisis a la cabeza (HIC)

Fuerza máxima permitida	En un tiempo máximo	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	3 ms	444.7 kN	204 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

#### Análisis de lesión en el cuello (NIC)

#### Fuerza cortante en el cuello

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superiores	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	45 ms	0.99 kN	90 ms

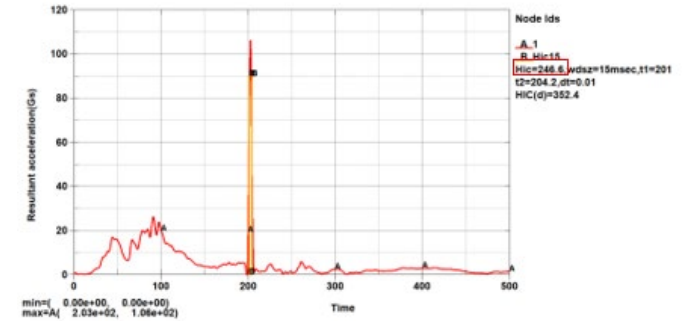
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

#### Fuerza axial en el cuello

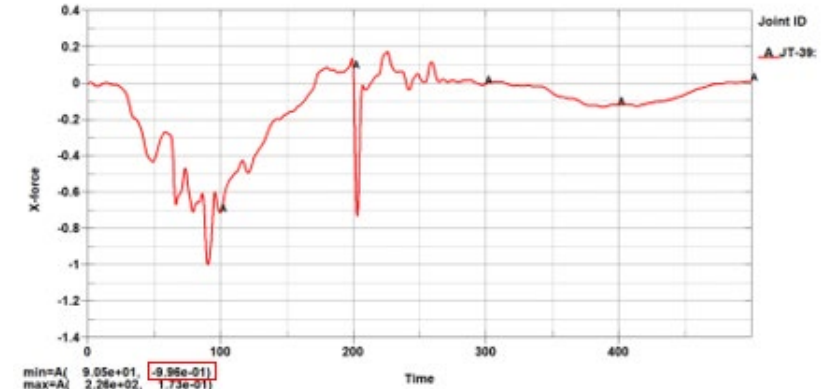
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	60 ms	1.6 kN	90 ms

Nota. El valor obtenido si supera el límite permitido. El conductor sufre lesión de fuerza axial.

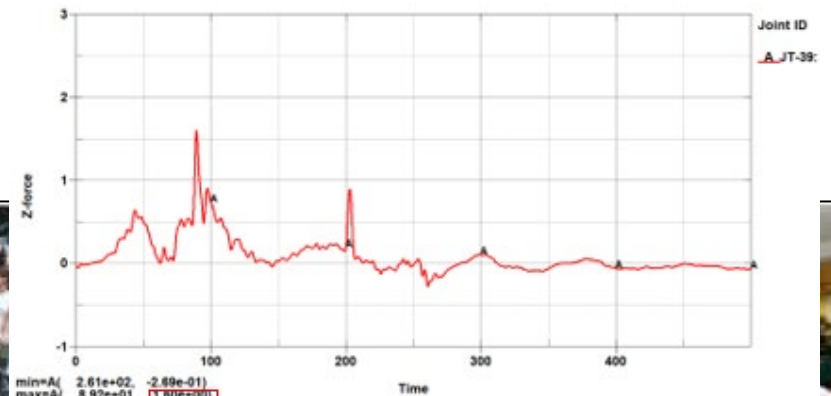
### Criterios de lesión en la cabeza (HIC)



### Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza cortante)



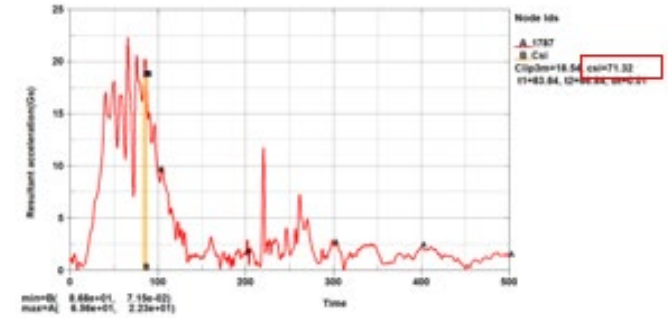
### Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza axial)



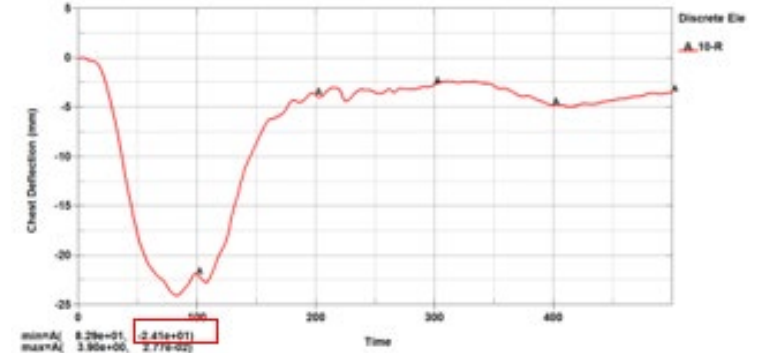
## Criterios de lesiones de impacto frontal con pulso de aceleración

Análisis de lesión en el Pecho (CSI)			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	----	71.34 kN	86.84 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			
Análisis de lesión en el Tórax (ThCC)			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
50 mm	----	24.1 mm	70 ms
Análisis de lesión en el Fémur			
Fuerza del fémur izquierdo			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	1.26 kN	59 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			

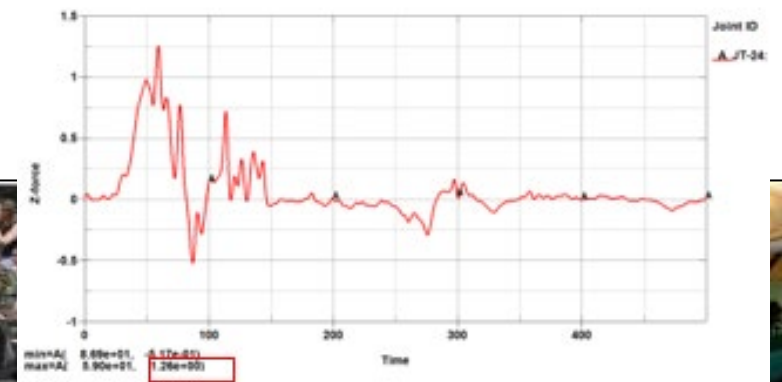
**Curva de Índice de severidad en el pecho**



**Curva del desplazamiento del tórax.**



**Criterio de fuerza del fémur izquierdo.**

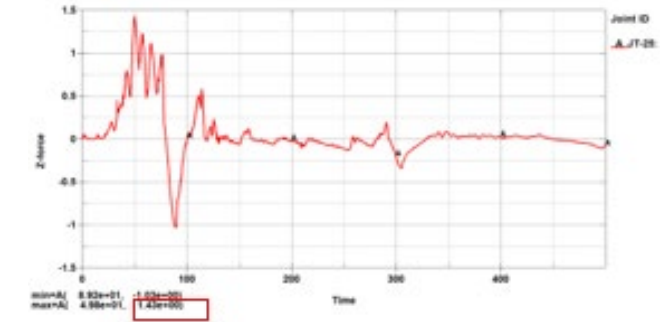




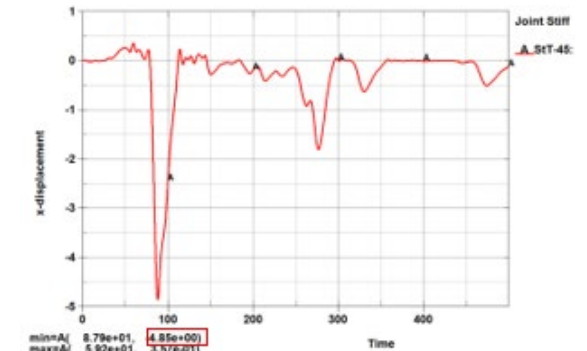
## Criterios de lesiones de impacto frontal con pulso de aceleración

Fuerza del fémur derecho			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	1.43 kN	49.8 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			✔
Análisis de lesión en las rodillas			
Desplazamiento de la rodilla izquierda			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	4.85 mm	145 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			✔
Desplazamiento de la rodilla derecha			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	8.22 mm	255 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.			✔

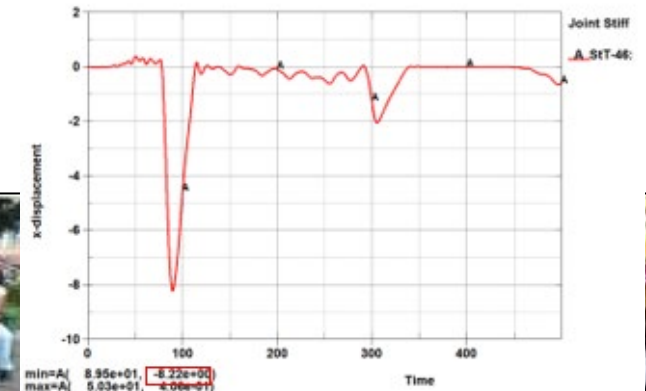
### Criterio de fuerza del fémur derecho



### Curva de desplazamiento de rodilla izquierda



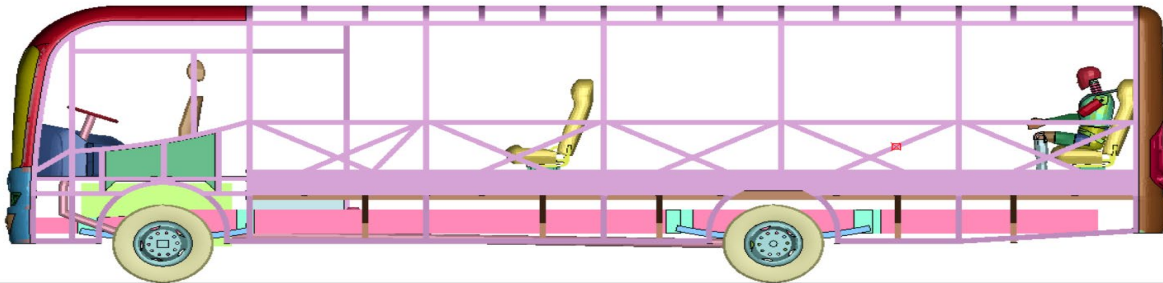
### Curva de desplazamiento de rodilla derecha



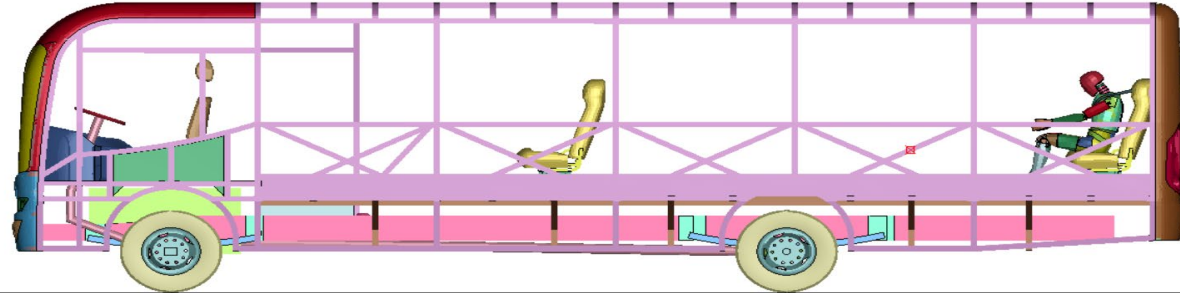
## Simulación de impacto posterior “Maniquí Posterior” con pulso de aceleración

Los resultados finales se indican a través de una secuencia de imágenes en determinados intervalos de tiempo para un total de 150 ms.

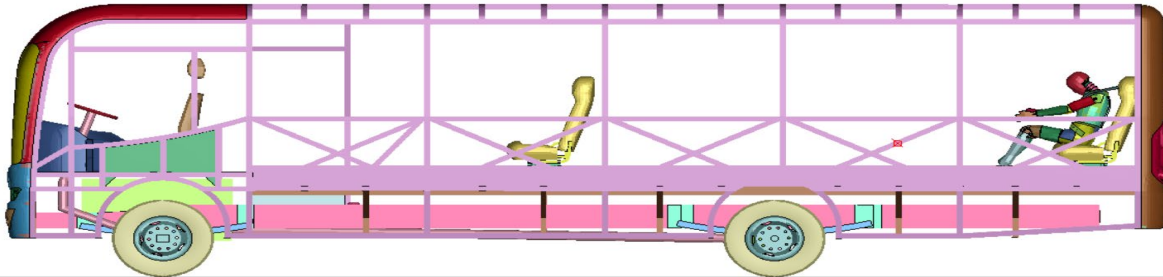
Time = 0  
Post



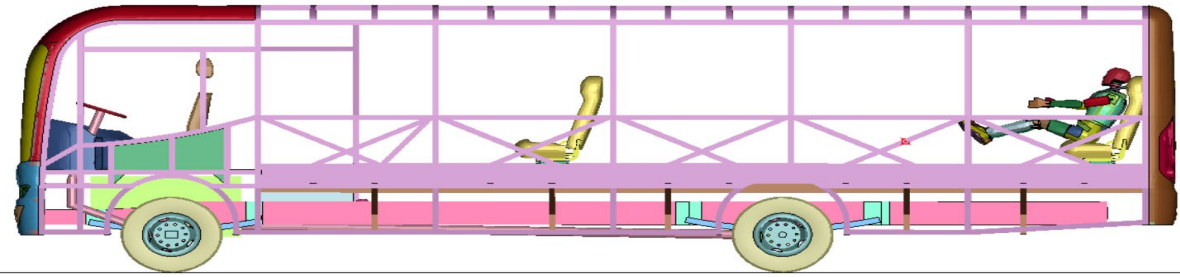
Time = 79.999  
Post



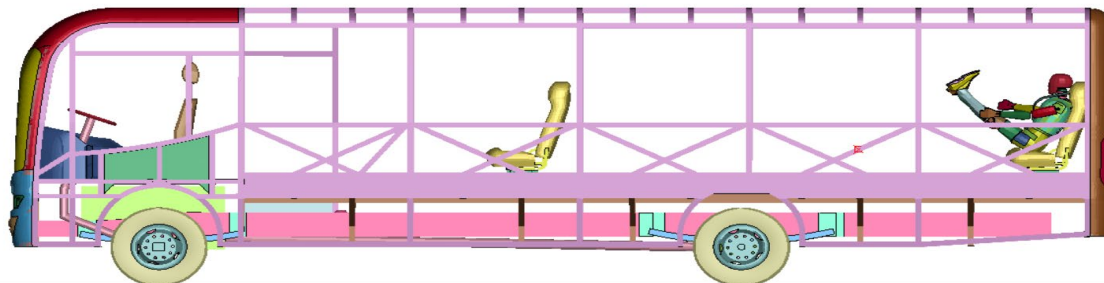
Time = 105  
Post



Time = 175  
Post



Time = 300  
Post



SIMULACIÓN IMPACTO POSTERIOR “Maniquí Posterior” con pulso de aceleración

Análisis a la cabeza (HIC)

Fuerza máxima permitida	En un tiempo máximo	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	3 ms	578.9 kN	179 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

Análisis de lesión en el cuello (NIC)

Fuerza cortante en el cuello

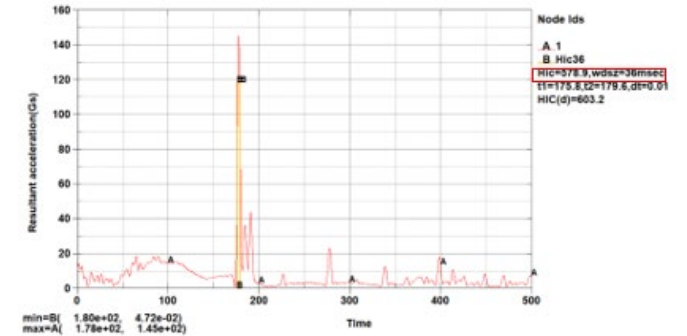
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	45 ms	1.30 kN	178 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

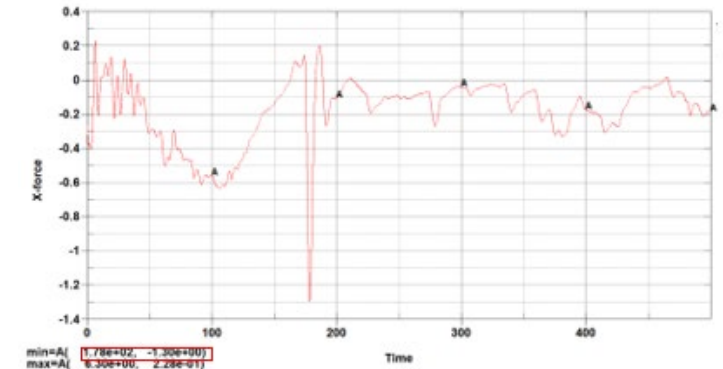
Fuerza axial en el cuello

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1.1 kN	60 ms	1.73 kN	178 ms

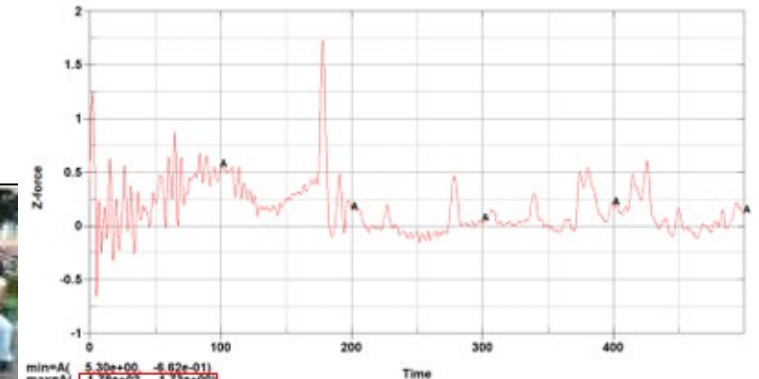
Nota. El valor obtenido si supera el límite permitido. El conductor sufre lesión de fuerza axial.



*Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza cortante)*



*Criterios de lesiones en el cuello (Fuerza axial)*





## Criterios de lesiones de impacto posterior “Maniquí Posterior” con pulso de aceleración

### Curva de Índice de severidad en el pecho

#### Análisis de lesión en el Pecho (CSI)

Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
1000 kN	-----	123.3 kN	3.28 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

#### Análisis de lesión en el Tórax (ThCC)

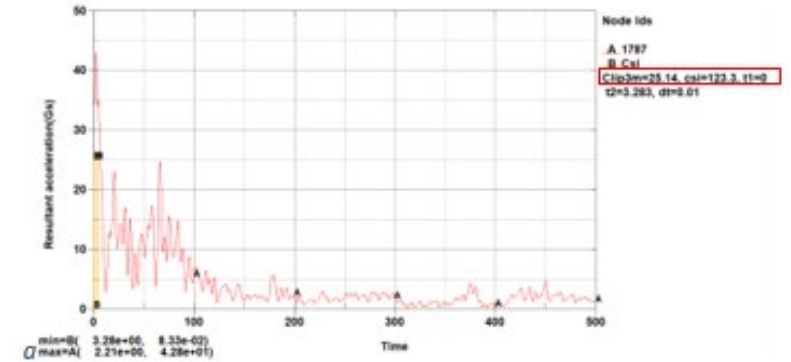
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
50 mm	----	0.0920 mm	90 ms

Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión.

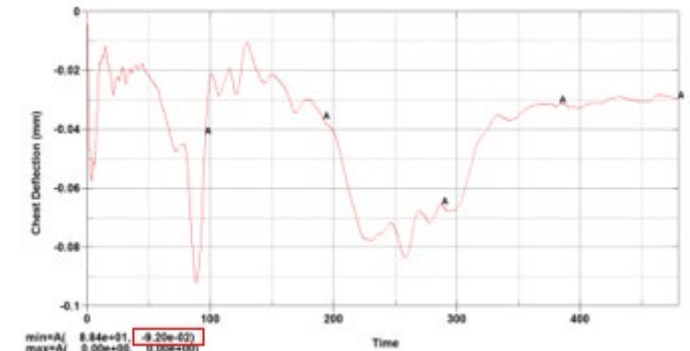
#### Análisis de lesión en el Fémur

##### Fuerza del fémur izquierdo

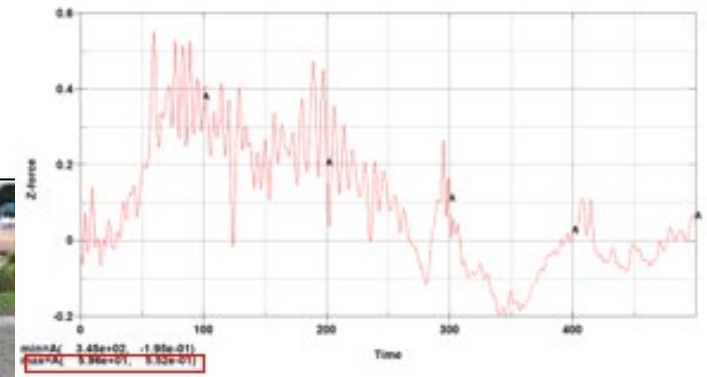
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	0.552 kN	59.6 ms



### Curva del desplazamiento del tórax.

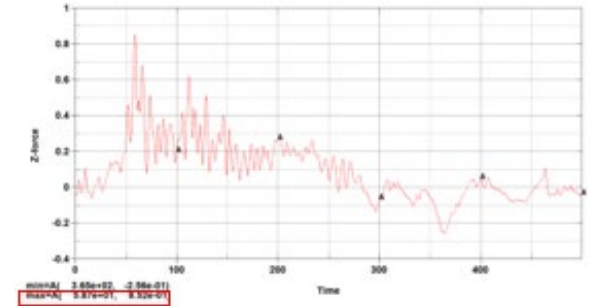


### Criterio de fuerza del fémur izquierdo.

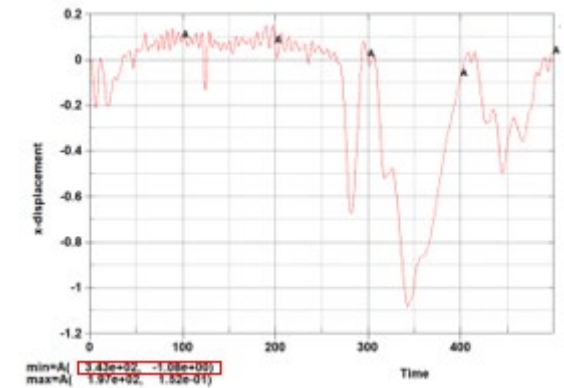


**Criterio de fuerza del fémur derecho**

Fuerza del fémur derecho			
Fuerza máxima permitida	En un tiempo superior	Fuerza máxima analizada	En un tiempo de
7.58 kN	10 ms	0.852 kN	59.6 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			
Análisis de lesión en las rodillas			
Desplazamiento de la rodilla izquierda			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	1.08 mm	343 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			
Desplazamiento de la rodilla derecha			
Desplazamiento máximo permitido	En un tiempo superior	Desplazamiento analizado	En un tiempo de
15 mm	----	1.44 mm	365 ms
Nota. El valor obtenido no supera el límite permitido. El conductor no sufre lesión. <input checked="" type="checkbox"/>			



**Curva de desplazamiento de rodilla izquierda**



**Curva de desplazamiento de rodilla derecha**

