



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



## DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

TEMA: “Modelado de la carrocería del vehículo escolar Volkswagen 9-150 IBIMCO  
para simular un impacto frontal y posterior”

**AUTORES:**

**BOLAGAY MARCILLO, DIEGO GASPAR  
QUISHPE URRUTIA, JOB NICOLÁS**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. MENA PALACIOS, JORGE STALIN**

**LATACUNGA  
AGOSTO, 2022**





*“Hay cualidades que conducen al éxito.*

*Coraje, la capacidad de soñar y perseverar”*

*Soichiro Honda.*



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

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

- Resumen
- Problema de investigación
- Objetivos
- Ingeniería asistida por computador aplicada a la carrocería del bus
- Resultados y discusión
- Conclusiones
- Recomendaciones



# RESUMEN

Modelado del bus escolar Volkswagen 9-150 IBIMCO perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, tomando como referencia normas de diseño INEN 1323 y RTE 041 en el software CAD usando el método Shell

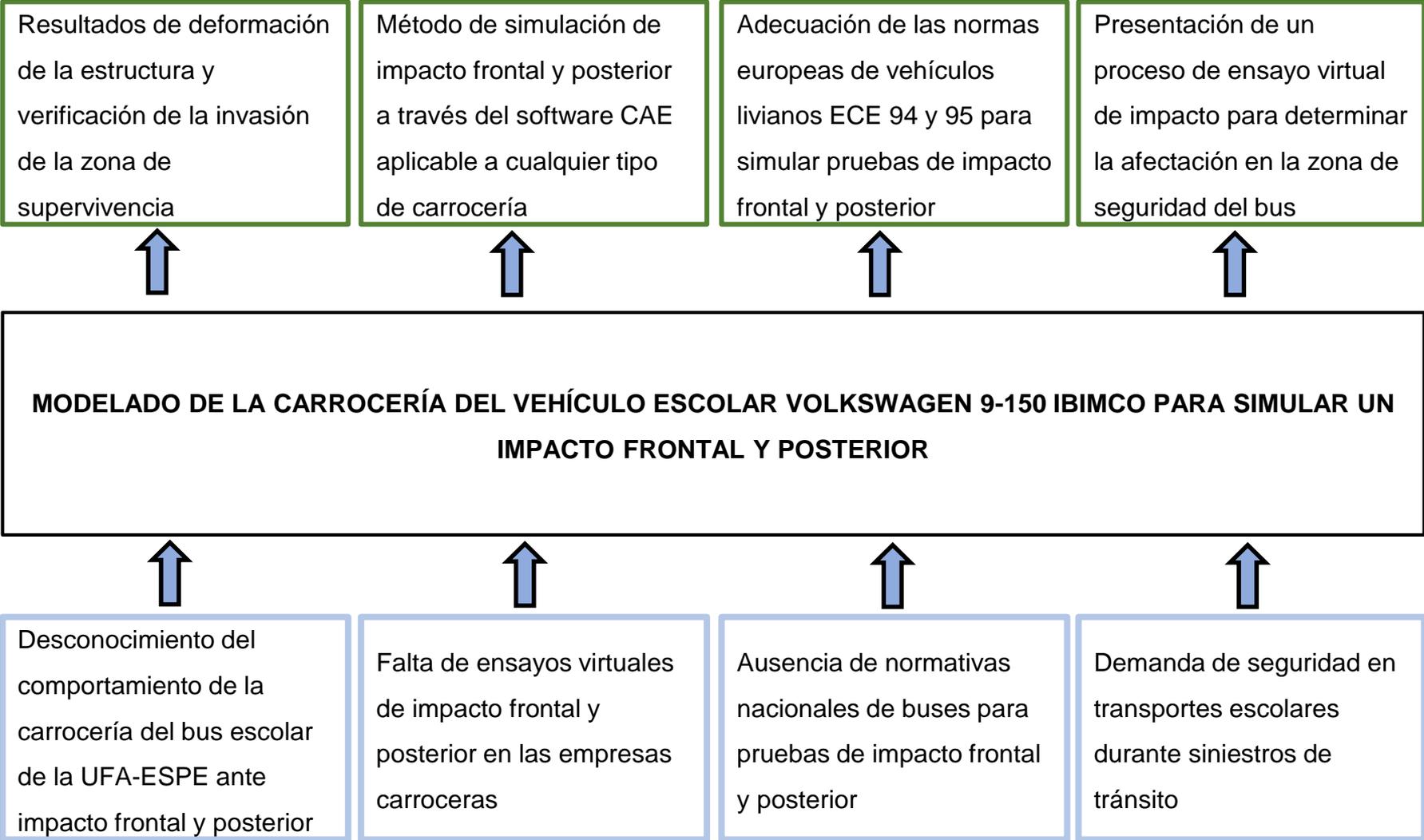
Realizar la etapa de pre-procesamiento en el software CAE para crear las uniones soldadas y el mallado, para posterior aplicar las condiciones de frontera y cartas de control en entorno de simulación.

Realizar la simulación de impacto frontal y posterior en el software CAE para obtener datos de deformaciones, esfuerzos efectivos, energías y control de Hourglass.

En la etapa de post-procesamiento se analiza mediante gráficas generadas y cálculos matemáticos el comportamiento de la estructura ante estas colisiones y se comprueba que los componentes estructurales de la carrocería invaden la zona de supervivencia.



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



# JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto, exhibe un método de simulación virtual de impacto frontal y posterior y su efecto en la carrocería del vehículo escolar de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.



El aporte que se realiza a la industria carrocería del Ecuador es de una metodología basada en diseño y simulaciones computacionales que logren reducir costos en cuanto a pruebas de resistencia y, garantizando que los nuevos diseños de carrocerías cumplan con estándares altos de seguridad



Logrando visualizar las deformaciones estructurales que se presentan en una colisión y la invasión de la zona de supervivencia de los pasajeros, consiguiendo solventar la falta de ensayos virtuales de impacto que carecen las empresas carroceras del Ecuador.





## OBJETIVO GENERAL

- ⑩ Modelar la carrocería del vehículo escolar Volkswagen 9-150 IBIMCO para la simulación de un impacto frontal y posterior, a través del software de ingeniería CAD/CAE, evidenciando su comportamiento ante los impactos.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS



- ⑩ Realizar la fundamentación teórica científica sobre el diseño y construcción de la carrocería del bus escolar Volkswagen 9-150 IBIMCO de la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE, por medio de la consulta bibliográfica de los diferentes tipos de carrocerías para el transporte de pasajeros, normas nacionales referentes al diseño y construcción de carrocerías.
- ⑩ Investigar normas técnicas de estándares nacionales e internacionales para la simulación y ensayos de impacto frontal y posterior de una carrocería de bus escolar.
- ⑩ Modelar la estructura de la carrocería del bus escolar de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, mediante el uso de herramientas computacionales de ingeniería asistida por computador CAD.



## OBJETIVOS ESPECÍFICOS



- ⑩ Simular el ensayo de impacto frontal y posterior por el método de elementos finitos mediante el uso de software CAE estableciendo condiciones basadas en la norma ECE R94 y ECE R95 para impacto frontal y posterior respectivamente.
- ⑩ Interpretar los resultados obtenidos de la simulación de impacto frontal y posterior por medio de gráficas de deformación, desplazamiento, esfuerzos y energías.
- ⑩ Validar el ensayo computacional de impacto frontal y posterior a través de un análisis en el control de la Energía de Hourglass.

La simulación en el software CAE aplicado a la carrocería modelada del bus escolar Volkswagen 9-150 emite un resultado de deformación estructural en los paneles frontales y posteriores, evidenciando la invasión a la zona de seguridad de los ocupantes.



## Construcción del modelo de la carrocería del bus escolar

Para realizar la construcción del modelado y la simulación de impacto del minibús se tiene el siguiente proceso:

**Figura 1**  
*Etapas del proceso sistemático para realizar la simulación*



# FICHA TÉCNICA DEL BUS ESCOLAR

**Figura 3**  
Dimensiones del chasis Volkswagen 9-150

**Figura 2**  
Ficha técnica del bus escolar

PARQUE AUTOMOTOR DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA			
FICHA TÉCNICA DE VEHÍCULOS PESADOS			
<b>FECHA</b>		22/03/2011	
<b>TIPO: BUS</b>		<b>ESPECIFICACIONES DEL MOTOR</b>	
<b>DATOS:</b>		<b>DIMENSIONES</b>	
SECCIÓN	TRANSPORTES	TIPO	LARGO TOTAL (mm)
RESPONSABLE	SGOP. CAISA WILMER	POSICIÓN	ANCHO TOTAL (mm)
PLACAS	FTF-975	CILDRADA	ALTO TOTAL (mm)
REGISTRO	EE-24-0454	No DE CILINDROS/DISPOSICIÓN	DISTANCIA ENTRE EJES (mm)
DEPENDENCIA	ADM.	POTENCIA MÁX.	PESO VACIO (kg)
<b>DATOS VEHÍCULO</b>		TORQUE MÁX.	PESO BRUTO (kg)
MARCA	WOLSVAGEN	DIÁMETRO POR CARRERA	<b>TRANSMISIÓN</b>
MODELO	91500D	ORDEN DE ENCENDIDO	TIPO
AÑO DE FABRICACIÓN	2009	RELACIÓN DE COMPRESIÓN	SISTEMA DE TRACCIÓN
PAIS DE PROCEDENCIA		MOTOR DE ARRANQUE	TIPO DE EMBRAGUE
No DE MOTOR	E1T146977	ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	<b>OBSERVACIONES</b>
No DE CHÁSIS	9BW0052P38R83295	TIPO DE COMBUSTIBLE	
COLOR	BLANCO VERDE	DIESEL	
<b>SUSPENSIÓN DELANTERA</b>		<b>DIRECCIÓN</b>	
TIPO		TIPO	
<b>SUSPENSIÓN TRASERA</b>		<b>FRENOS</b>	
TIPO		TIPOS	
		DELANTEROS	
		POSTERIORES	

DIMENSIONES (mm)		
Distancia entre ejes (DEE)		4.300
Voladizo	delantero	1.200
	trasero	2.050
Largo Total		7.550
Ancho máximo	delantero	2.218
	trasero	2.144
Trocha	delantera	1.894
	trasera	1.669
Despeje del suelo	delantero	213
	trasero	194

PESOS (kg)		
Peso en orden de marcha		
	eje delantero	2.060
	eje trasero	930
	total	2.990
Peso Bruto Máximo Admisible (P.B.T.)		
	delantero	3.200
	trasero	5.300
	total admisible	8.500

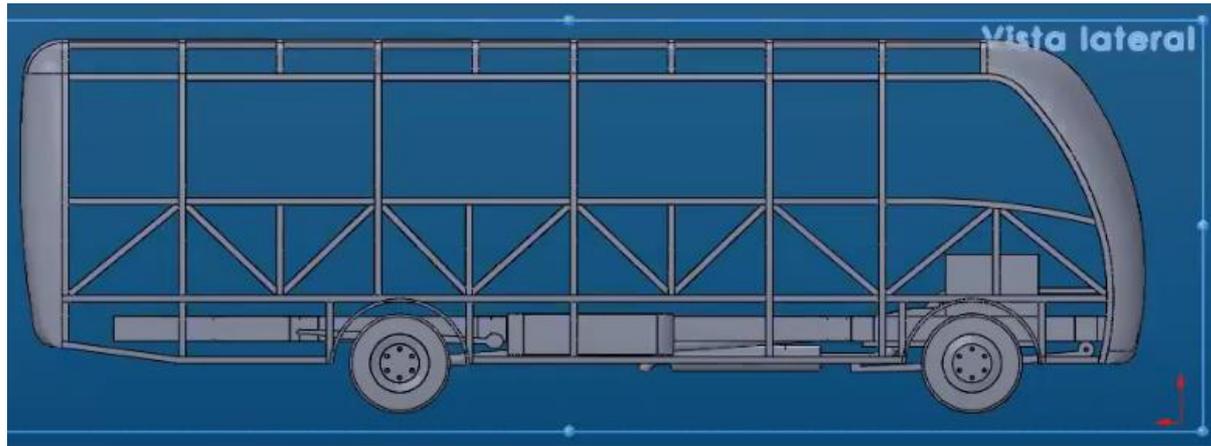
# FICHA TÉCNICA DEL BUS ESCOLAR

**Figura 4**  
Matrícula del minibús escolar

REPÚBLICA DEL ECUADOR GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN LATACUNGA MATRICULACIÓN VEHICULAR				REGISTRO DEL PROPIETARIO ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO SEDE LATACUNGA		
AGENCIA NACIONAL DE TRÁNSITO LATACUNGA www.mtc.gov.ec				C.E. / PASAPORTE / RUC 0550011230001	PROVINCIA COTOPAXI	CANTÓN LATACUNGA 0056986
PLACA ACTUAL <b>XEC1023</b>	PLACA ANTERIOR IMPORTA	AÑO 2017		DOMICILIO QUIJANO Y ORDOÑEZ Y HIJAS PAEZ		TELÉFONO 032810208
NÚMERO VIN (CHASIS) 9BWDD52R58R8J2395	NÚMERO MOTOR E1T146377	RAMV / CPH C00764200		CLASE DE TRANSPORTE PARTICULAR	TIPO DE TRANSPORTE (MODALIDAD)	ÁMBITO DE OPERACIÓN
MARCA VOLKSWAGEN	MODELO 9150 OD TORPEDO	CILINDRAJE 4300	AÑO MODELO 2008	OPERADOR DE TRANSPORTE		DISCO
CLASE DE VEHICULO AUTOBUS	TIPO DE VEHICULO MINIBUS	PASAJEROS 28	TONELADAS 4	AVALÚO 3190		VALOR MATRICULA 36,00
PAIS DE ORIGEN BRASIL	COMBUSTIBLE DIE	CARROCERIA MET	TIPO DE PESO PESADO (3.5-T)	FIRMA RESPONSABLE 	DIGITADOR MESTRELLA	FECHA COMPRA 11-ABR-2017
COLOR 1 BLANCO	COLOR 2 BLANCO	ORTOPÉDICO	REMARCADO NO	LUGAR EMISIÓN GAD LATACUNGA		FECHA CADUCA 10-ABR-2022
OBSERVACIONES						

# MODELADO DE LA CARROCERÍA

**Figura 5**  
*Modelado de la carrocería*



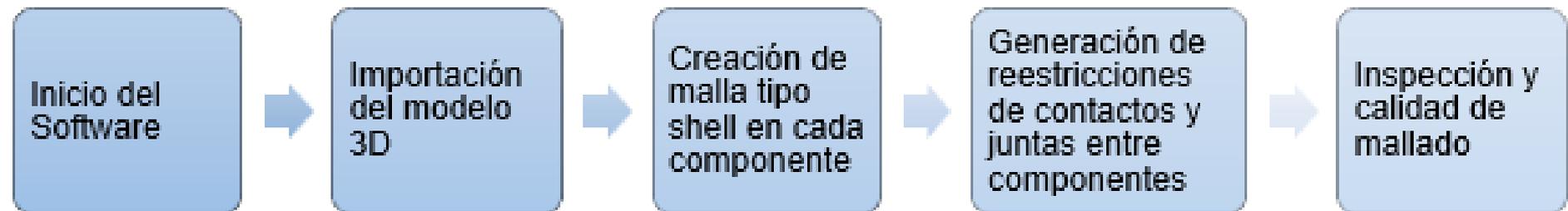
**Figura 6**  
*Zona de supervivencia*



# ETAPA DE PRE-PROCESAMIENTO

Comienza cuando haya terminado el modelado de la carrocería y se tiene el siguiente procedimiento

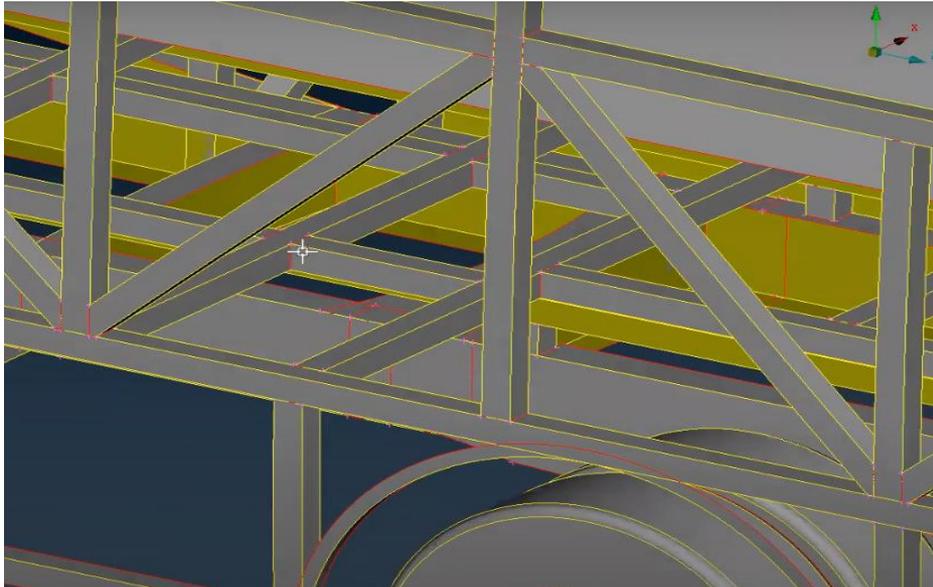
**Figura 7**  
*Etapa de preprocesamiento*



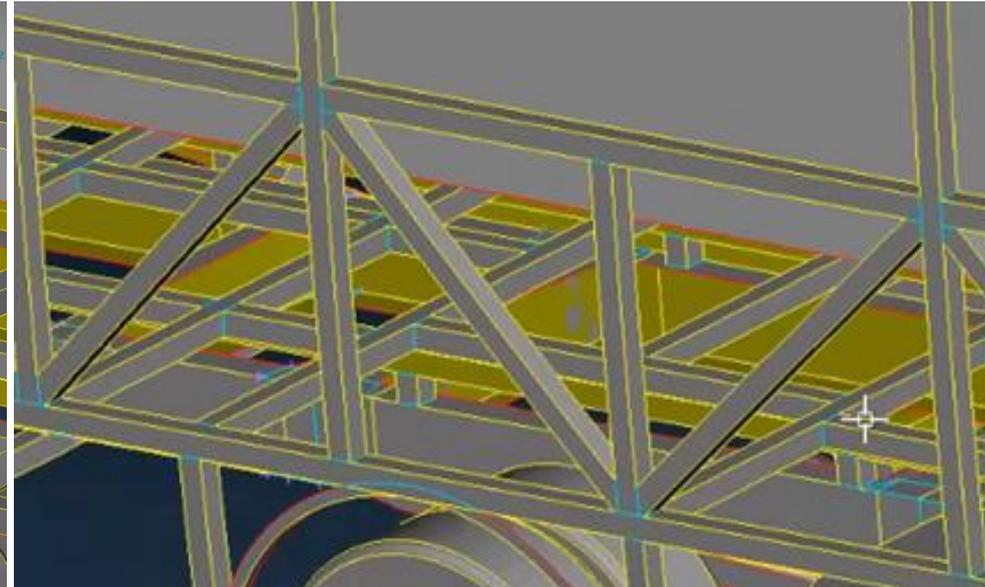
# UNIONES DE ELEMENTOS

En el Software ANSA se generan las uniones (soldadura entre elementos) y posteriormente el mallado

**Figura 8**  
*Elementos sin unión o suelda*

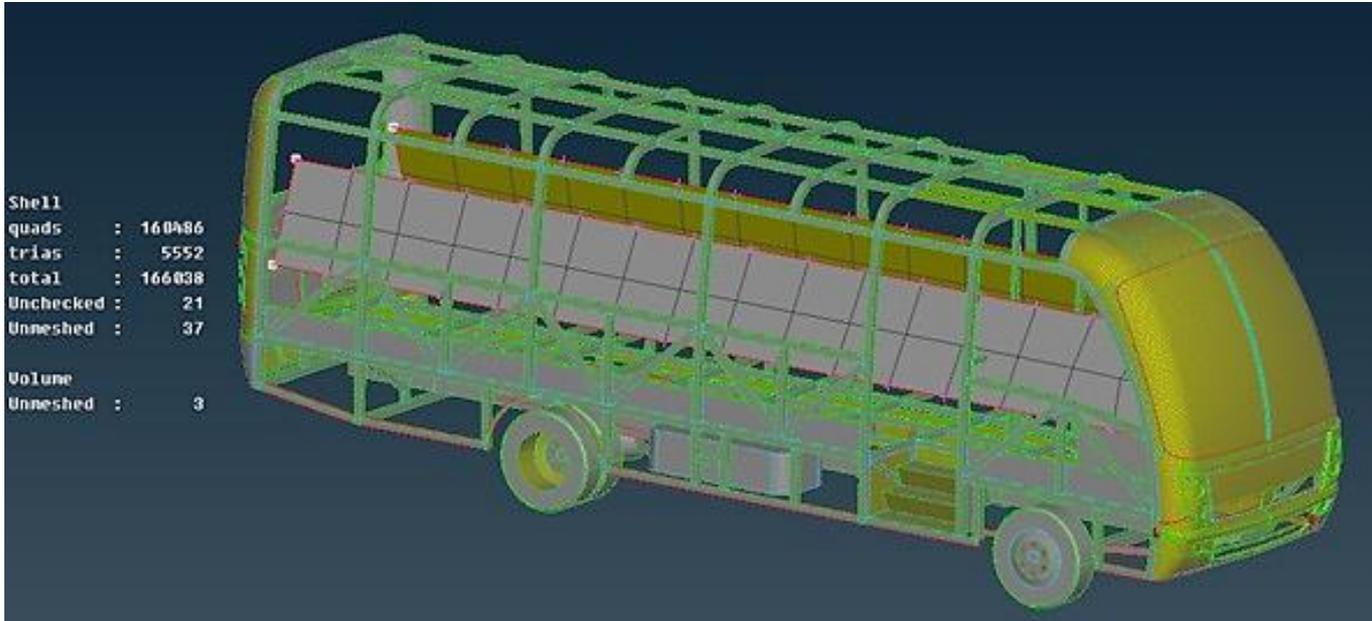


**Figura 9**  
*Elementos unidos o soldados*



# GENERACIÓN DE MALLA

Figura 10  
*Estructura del minibús mallada*

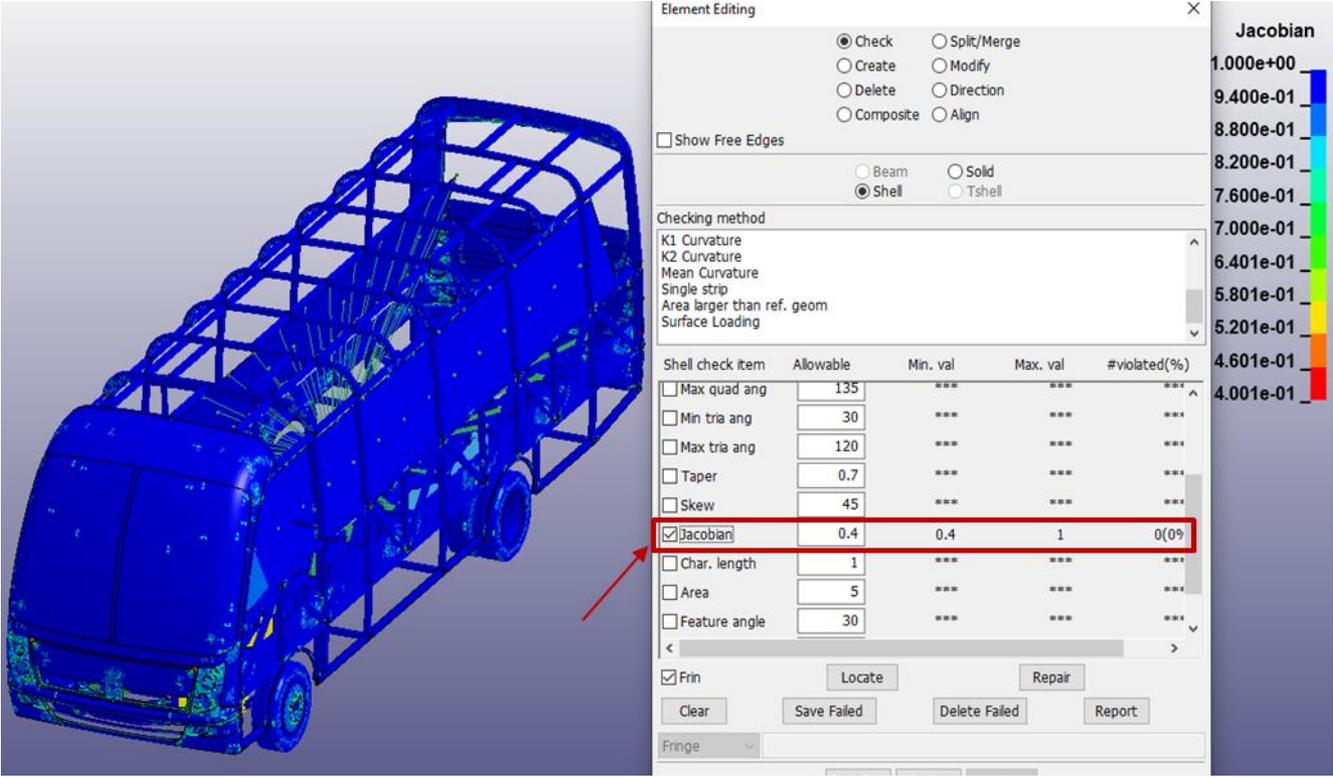


Malla	Cantidad de elementos
Cuadrangulares	160486
Triangular	5552
Total, elementos mallados	166038



# CALIDAD DE MALLA

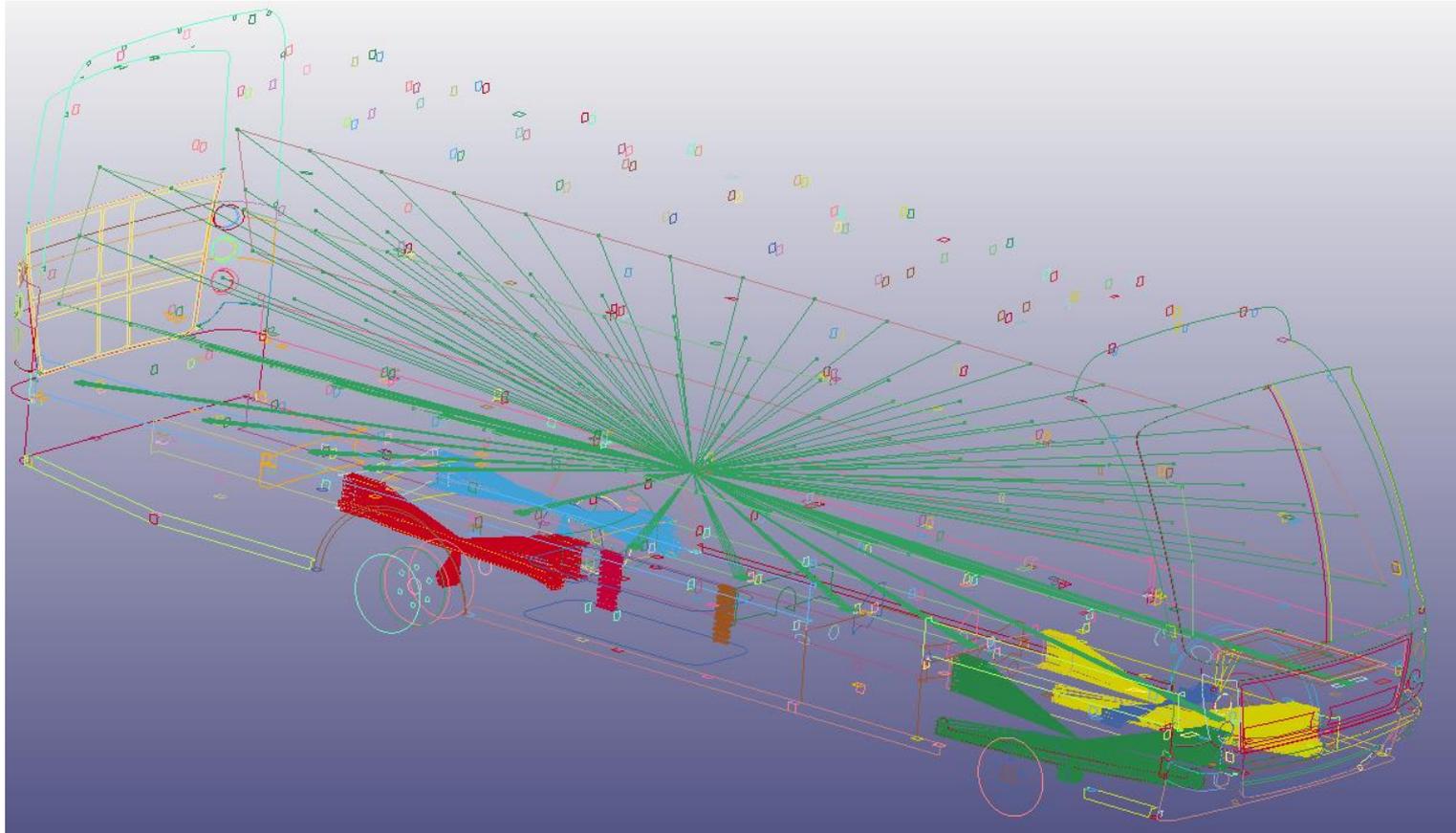
**Figura 11**  
*Estructura del minibús mallada*



Valores de calidad de la malla	Cociente Jacobiano
Mínimo	0,4
Máximo	1,0
Promedio	0,7

**Figura 12**

*Fijación de los componentes del minibús*



# UNIDADES UTILIZADAS EN EL SOFTWARE LS-DYNA

El Software LS-DYNA no dispone de una interfaz gráfica que indique unidades

**Figura 13**

*Unidades seleccionadas*

Magnitud	Unidad
Masa	[Kg]
Longitud	[mm]
Tiempo	[ms]
Fuerza	[kN]
Esfuerzo	[GPa]
Energía	[kN-mm]
Densidad	$\left[ \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \right]$
Módulo de Young	[GPa]
Velocidad	$\left[ \frac{\text{mm}}{\text{ms}} \right]$
Gravedad	$\left[ \frac{\text{mm}}{\text{ms}^2} \right]$

**Figura 14**

*Propiedades mecánicas del acero ASTM A-500*

Acero estructural ASTM A-500 Grado A	
Propiedades mecánicas	Valor
Densidad del material $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \right]$	7,83 e-06
Módulo de Young [GPa]	207
Radio de Poisson $\left[ \frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$	0,3
Límite de fluencia [GPa]	0,270
Resistencia ultima a la tracción [GPa]	0,310
Deformación unitaria máxima	0,25



# ASIGNACIÓN DEL MATERIAL

Figura 15  
Carta de control "024-PIECEWISE\_LINEAR PLASTICITY"

Keyword Input Form

Buttons: NewID, MatDB, RefBy, Pick, Add, Accept, Dele

Options:  Use \*Parameter  Comment (Subsys: 1 IMPACTO PO)

\*MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY\_(TITLE) (024) (3)

TITLE: ACERO ASTM A500 GRA

1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	TDEL
1		7.800e-06	207.00000	0.3000000	0.0	0.0	0.2500000	0.0
2	C	P	LCSS	LCSR	VP			
	0.0	0.0	1	0	0.0			
3	EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Keyword Manager

Keyword Edit Keyword Search

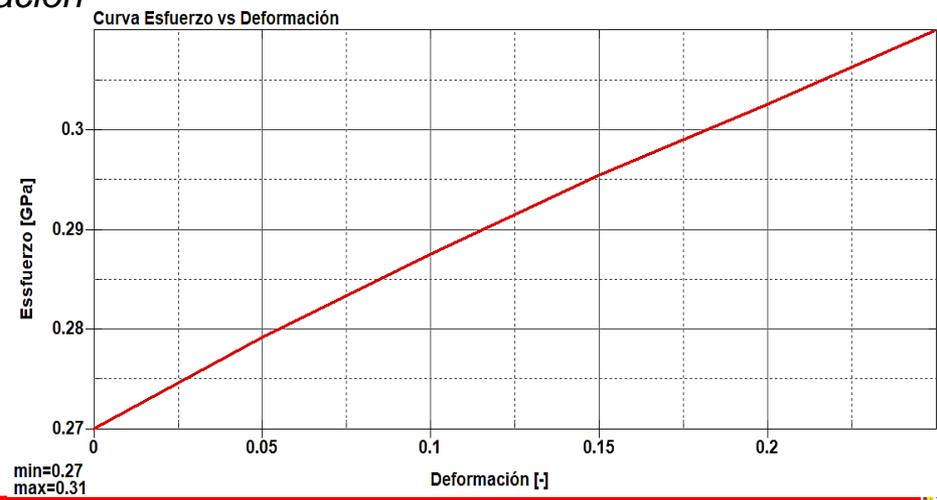
Edit: MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICIT

Model A

Name

- INITIAL
- KEYWORD
- LOAD
- MAT
  - 024-PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY
- NODE
- PART
- SECTION
- SET
- TITLE

Figura 16  
Curva Esfuerzo vs Deformación



# SECCIONES

**Figura 17**  
*Carta de control "SECTION\_SHELL"*

Keyword Input Form

NewID Draw RefBy Sort/T1 Add Accept Delete Default Done

Use \*Parameter  Comment (Subsys: 1 IMPACTO POSTERIOR.k) Setting

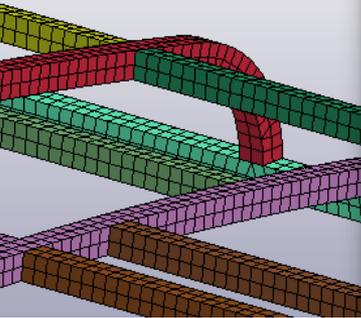
\*SECTION\_SHELL\_(TITLE) (7)

TITLE  
DOS MM

SECID	ELFORM	SHRF	NIP	PROPT	QR/IRID	ICOMP	SETYP
1	2	1.0000000	2	1	0	0	1
T1	T2	T3	T4	NLOC	MAREA	IDOF	EDGSET
2.0000000	2.0000000	2.0000000	2.0000000	0.0	0.0	0.0	0

- 1 DOS MM
- 2 7 MM
- 3 80 MM
- 5 40 MM

**Figura 18**  
*Asignación de materiales y espesor a elementos*



Part Data

Show Create Modify Search  
Assign Property Replace

Part Type Shell

\*PART Parameter \*SECTION Formulation

\*PART Property:

SECID	MID	EOSID	HGID
1	1	0	0

T MID GRAV ADOPT

0 NA NA

Assign Part Apply

Assign Automatically

Settings  SameMatId AutoAssign

**Figura 19**  
*Espesores utilizados en la estructura*

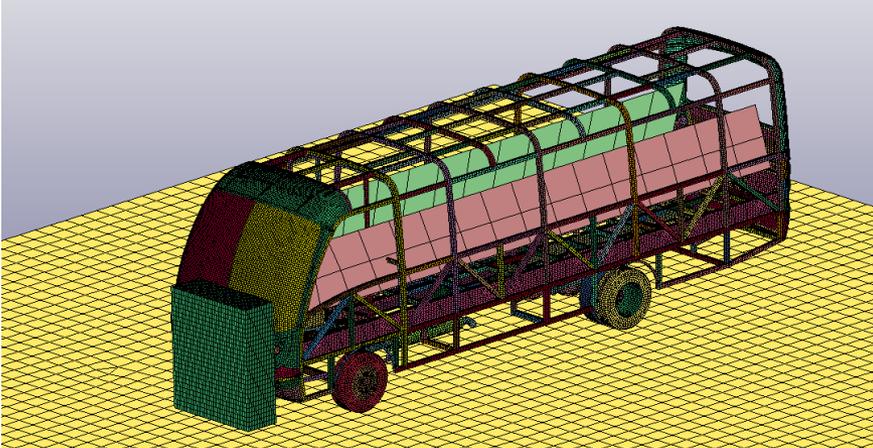
Elementos de minibús	Espesor de malla
Perfiles estructurales	2 [mm]
Chasis	7 [mm]
Ballestas	80 [mm]
Motor y transmisión	40 [mm]



# BARRERA FIJA PARA IMPACTO FRONTAL

- Elemento esclavo (minibús): velocidad de 15,5556 m/s o 56 km/h
- Elemento master (barrera fija)

**Figura 20**  
*Barrera fija*



**Figura 22**  
*Dimensiones barrera fija*

DIMENSIÓN	VALOR
Ancho	1312,2 [mm]
Alto	1557,27 [mm]
Grosor	450 [mm]

**Figura 21**  
*Contacto entre el minibús y la barrera fija*

\*CONTACT\_AUTOMATIC\_SURFACE\_TO\_SURFACE\_(ID/TITLE/MPP\_(THERMAL) (1)

1	<u>CID</u>	<u>TITLE</u>						
	1	bus vs impactor/piso						
			<input type="checkbox"/> MPP1	<input type="checkbox"/> MPP2				
2	<u>IGNORE</u>	<u>BUCKET</u>	<u>LCBUCKET</u>	<u>NS2TRACK</u>	<u>INITITER</u>	<u>PARMAX</u>	<u>UNUSED</u>	<u>CPARMB</u>
	0	200		3	2	1.0005		0
3	<u>UNUSED</u>	<u>CHKSEGS</u>	<u>PENSE</u>	<u>GRPABLE</u>				
		0	1.0	0				
4	<u>SSID</u>	<u>MSID</u>	<u>SSTYP</u>	<u>MSTYP</u>	<u>SBOXID</u>	<u>MBOXID</u>	<u>SPR</u>	<u>MPR</u>
	1	2	2	2	0	0	0	0

**Figura 23**  
*Velocidad de impacto frontal*

NewID Draw Pick

Use \*Parameter  Comment

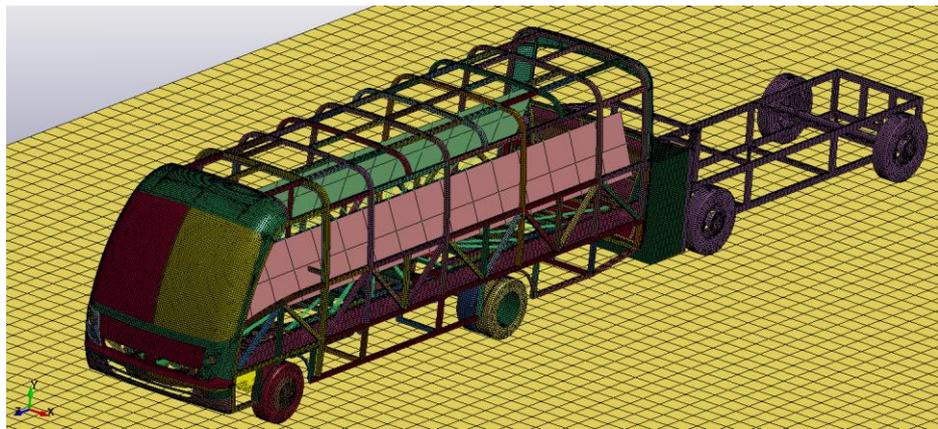
\*INITIAL\_VELOCITY (1)

1	<u>NSID</u>	<u>NSIDEX</u>	<u>BOXID</u>	<u>IRIGID</u>	<u>ICID</u>				
	β	0	0	0	0				
2	<u>VX</u>	<u>VY</u>	<u>VZ</u>	<u>VXR</u>	<u>VYR</u>	<u>VZR</u>			
	0.0	0.0	15.555600	0.0	0.0	0.0			

# BARRERA MÓVIL PARA IMPACTO POSTERIOR

- Elemento esclavo (barrera móvil): velocidad de 13,8889 m/s o 50 km/h
- Elemento master (minibús)

**Figura 24**  
*Barrera móvil*



**Figura 26**  
*Dimensiones barrera móvil*

Dimensiones	VALOR
Ancho	2019,42 [mm]
Alto	1300 [mm]
Grosor	600 [mm]
Peso	948.966 [kg]

**Figura 25**  
*Contacto entre barrera móvil y minibús*

\*CONTACT\_AUTOMATIC\_SURFACE\_TO\_SURFACE\_ID/TITLE/MPP\_(THERMAL) (3)

1	CID	TITLE						
	4	CARRO VS BUS						
			<input type="checkbox"/> MPP1	<input type="checkbox"/> MPP2				
2	IGNORE	BUCKET	LCBUCKET	NS2TRACK	INITITER	PARMAX	UNUSED	CPARMB
	0	200		3	2	1.0005		0
3	UNUSED	CHKSEGS	PENSE	GRPABLE				
		0	1.0	0				
4	SSID	MSID	SSTYP	MSTYP	SBOXID	MBOXID	SPR	MPR
	3	1	2	2	0	0	0	0

**Figura 27**  
*Velocidad de impacto posterior*

\*INITIAL\_VELOCITY (1)

1	NSID	NSIDEX	BOXID	IRIGID	ICID			
	11	0	0	0	0			
2	VX	VY	VZ	VXR	VYR	VZR		
	0.0	0.0	13.888900	0.0	0.0	0.0		

# TIEMPO DE SIMULACIÓN

**Figura 28**  
*Tiempo de simulación*

Keyword Input Form

Use \*Parameter     Comment

\*CONTROL\_TERMINATION (1)

1	ENDTIM	ENDCYC	DTMIN	ENDENG	ENDMAS	NOSOL
	150.00000	0	0.0	0.0	1.000e+08	0

**Figura 29**  
*Compilación del código k en el Software CAE*

```
DA\SDYNAMALS\INSTALAR\program\ls-dyna_smp_s_R11_1_0_winx64_ifort160.exe I=C:\Users\DELL\OneDrive\Desktop\PROYEC-1\CAR...
ratio = 1.6881E-01
1 t 0.0000E+00 dt 3.00E-03 flush i/o buffers 07/26/22 06:17:32
1 t 0.0000E+00 dt 3.00E-03 write d3plot file 07/26/22 06:17:32
cpu time per zone cycle..... 0 nanoseconds
average cpu time per zone cycle... 514 nanoseconds
average clock time per zone cycle.. 691 nanoseconds

estimated total cpu time = 4556 sec ( 1 hrs 15 mins)
estimated cpu time to complete = 4545 sec ( 1 hrs 15 mins)
estimated total clock time = 6119 sec ( 1 hrs 41 mins)
estimated clock time to complete = 6108 sec ( 1 hrs 41 mins)

added mass = 1.1661E+03
percentage increase = 1.6891E+01

termination time = 1.500E+02

.enter sense switch: stop

*** termination due to sense switch: stop ***
88 t 2.6397E-01 dt 3.00E-03 write d3plot file 07/26/22 06:17:37

Normal termination 07/26/22 06:17:37

Memory required to complete solution : 8885K
Additional dynamically allocated memory: 52M
Total: 61M
```

# RESULTADOS OBTENIDOS

**Figura 30**

*Panel lateral derecho del bus escolar*



**Figura 31**

*Panel lateral derecho modelado del bus escolar*



# RESULTADOS OBTENIDOS

**Figura 32**  
*Panel frontal del bus escolar*



**Figura 33**  
*Panel frontal modelado del bus escolar*

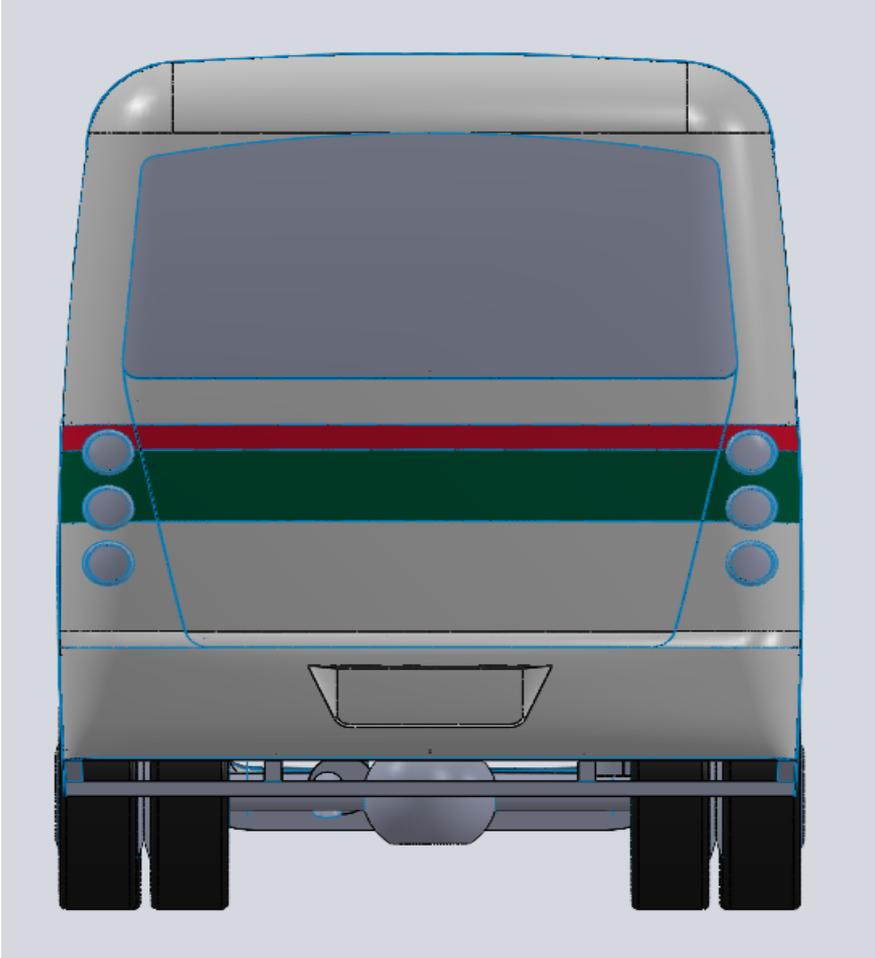


# RESULTADOS OBTENIDOS

**Figura 34**  
*Panel posterior del bus escolar*



**Figura 35**  
*Panel posterior modelado del bus escolar*



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

# RESULTADOS OBTENIDOS

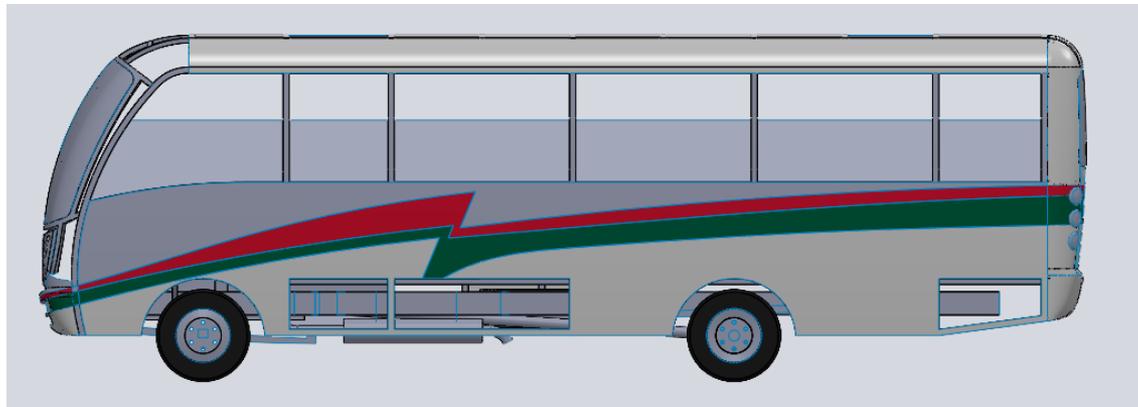
**Figura 36**

*Panel lateral izquierdo del bus escolar*



**Figura 37**

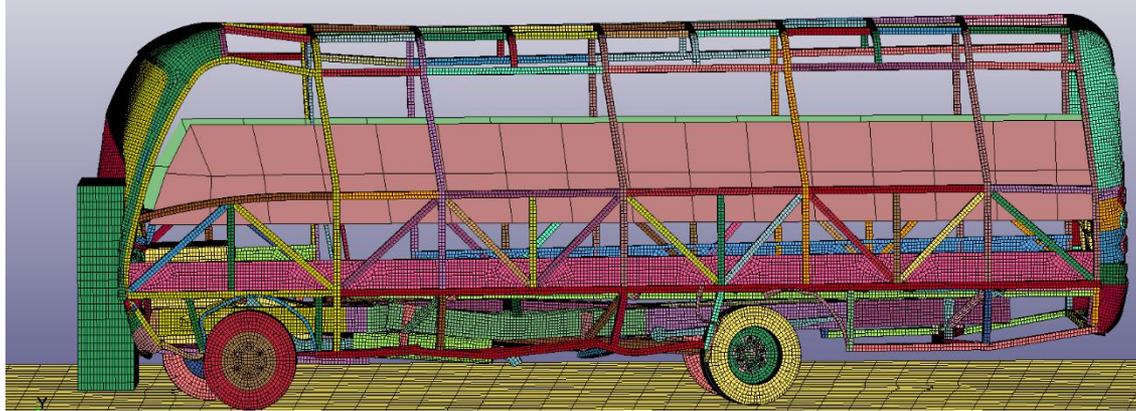
*Panel lateral izquierdo modelado del bus escolar*



# DEFORMACIÓN DEL DE LA CARROCERÍA TRAS IMPACTO FRONTAL

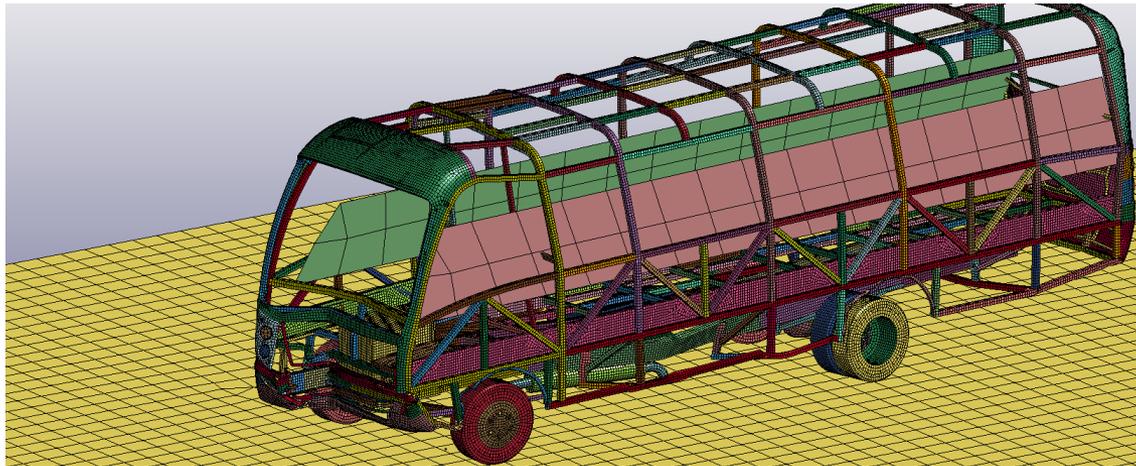
**Figura 38**

*Vista lateral del Impacto frontal*



**Figura 39**

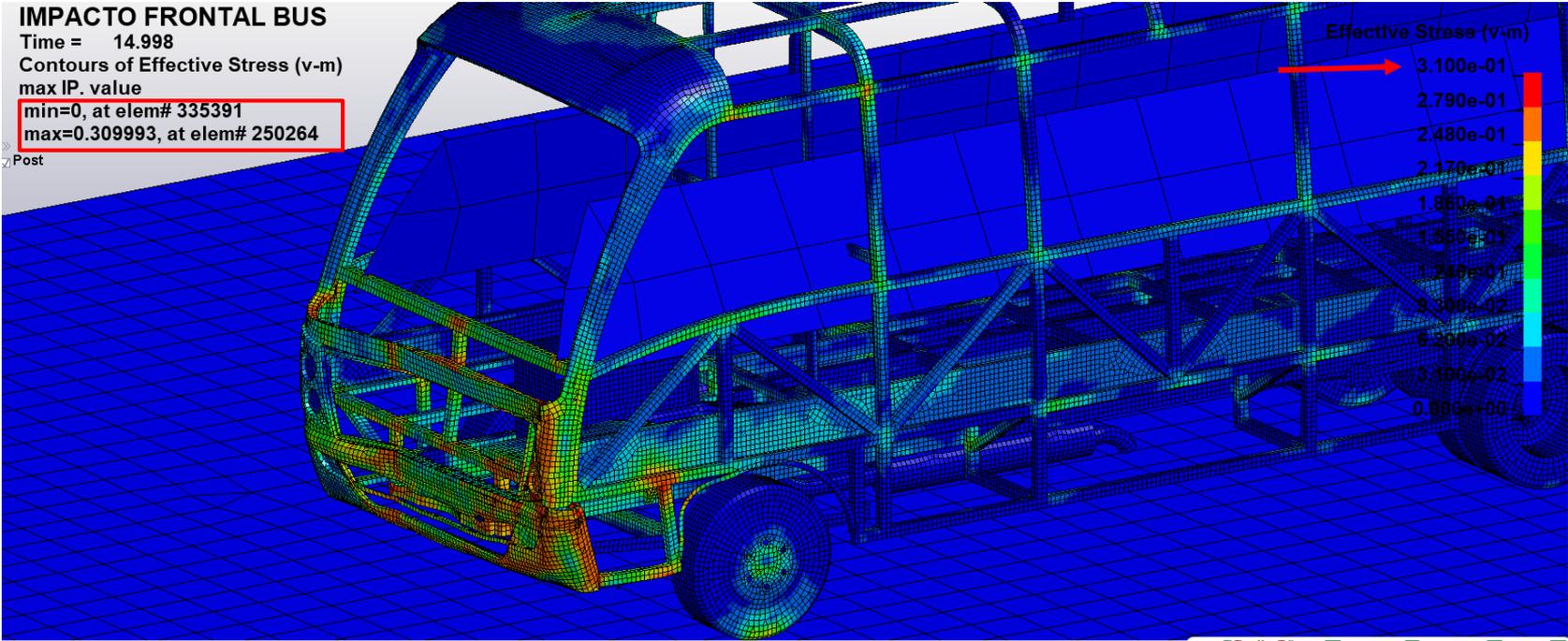
*Vista isométrica del impacto frontal*



# ESFUERZO DE VON MISES (ESFUERZO EFECTIVO) EN EL IMPACTO FRONTAL

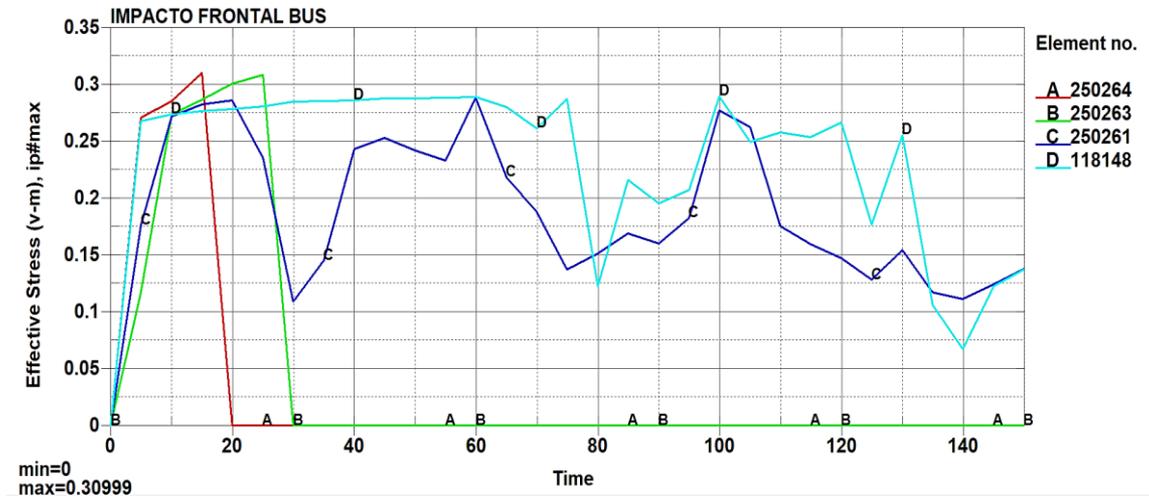
Elemento	ID	VALOR [GPa]
Elemento máximo	E250264	0,30993
Elemento mínimo	E335391	0

**Figura 40**  
*Esfuerzo de Von Mises de la estructura*

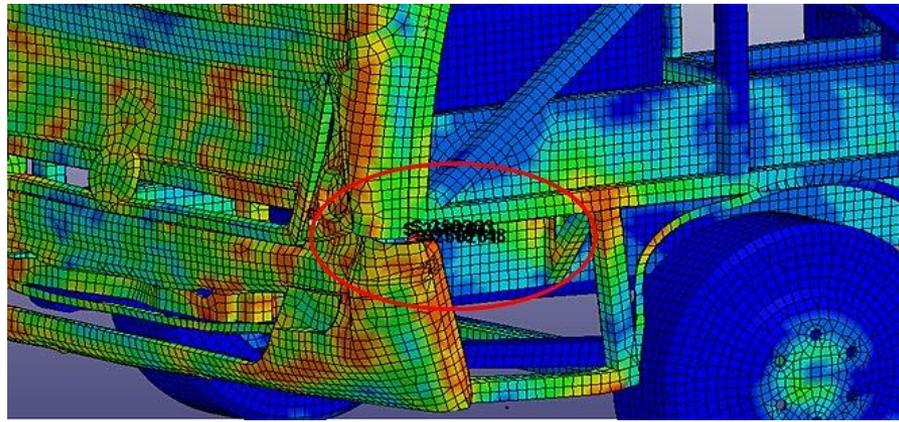


# ESFUERZO DE VON MISES (ESFUERZO EFECTIVO) EN EL IMPACTO FRONTAL

**Figura 41**  
*Gráfica de Esfuerzo de Von Mises vs Tiempo*



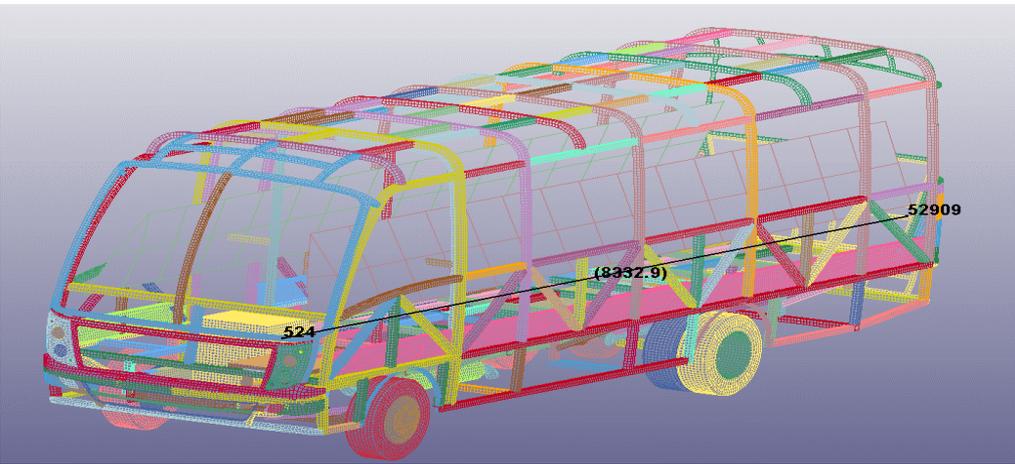
**Figura 42**  
*Selección de elementos críticos*



# INVASIÓN DE LA ZONA DE SUPERVIVENCIA EN EL IMPACTO FRONTAL

**Figura 43**

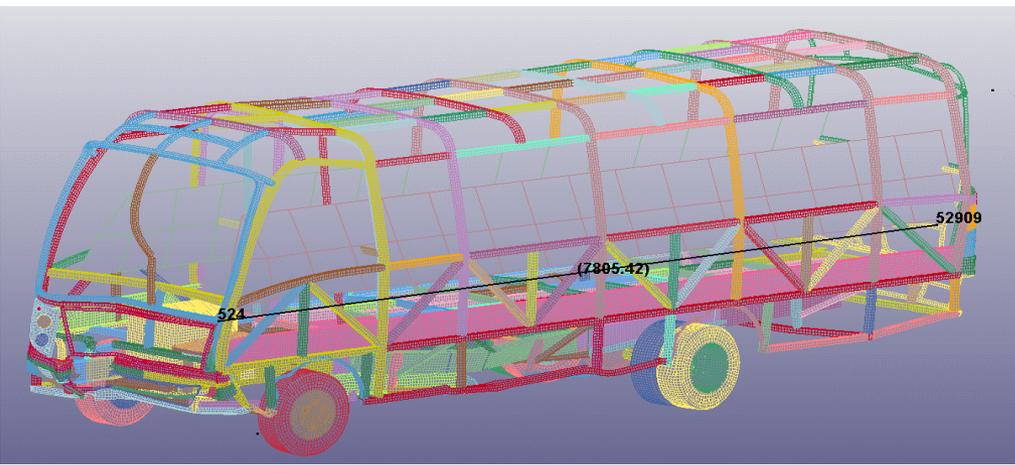
*Longitud inicial de la estructura antes del impacto frontal*



LONGITUD	ID	VALOR [mm]
Longitud inicial	N524 – N52909	8337,78 [mm]
Longitud final	N524 – N52909	7805,42 [mm]
Deformación máxima	N524 – N52909	7706,8 [mm]

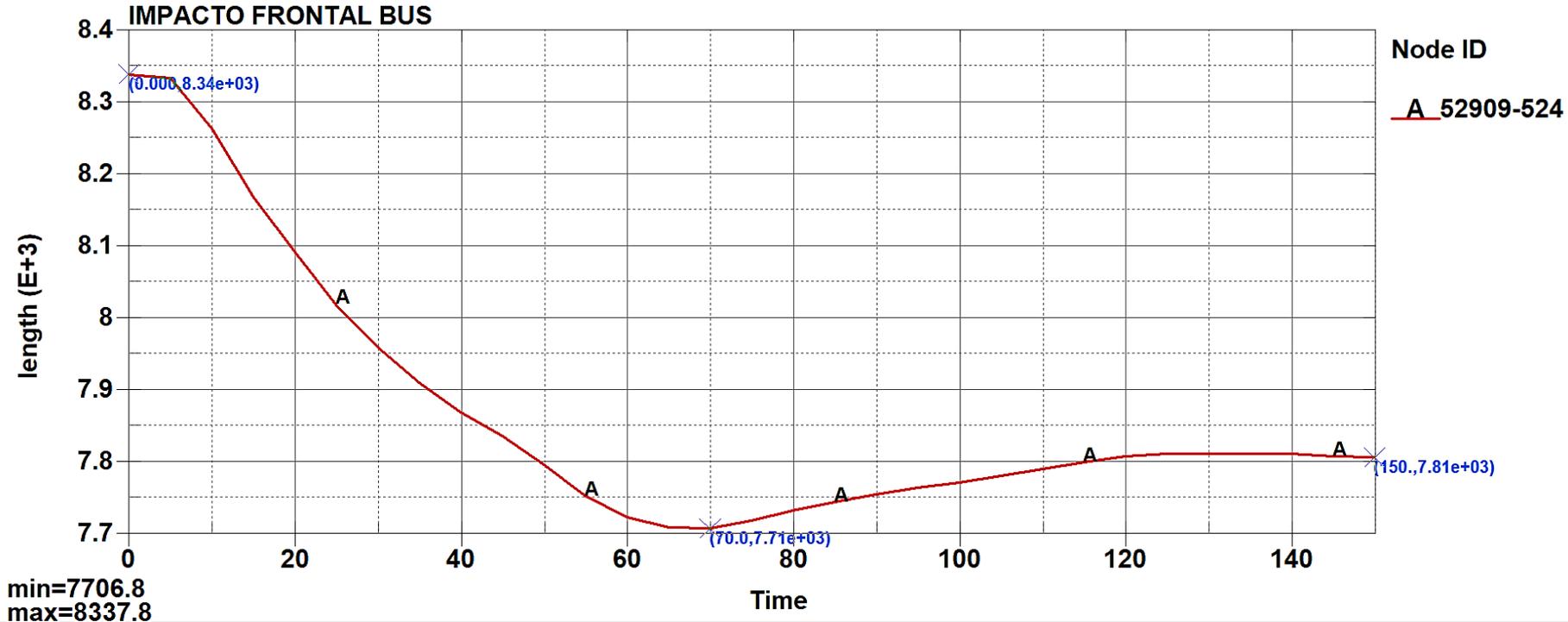
**Figura 44**

*Longitud final de la estructura después del impacto frontal*



# INVASIÓN DE LA ZONA DE SUPERVIVENCIA EN EL IMPACTO FRONTAL

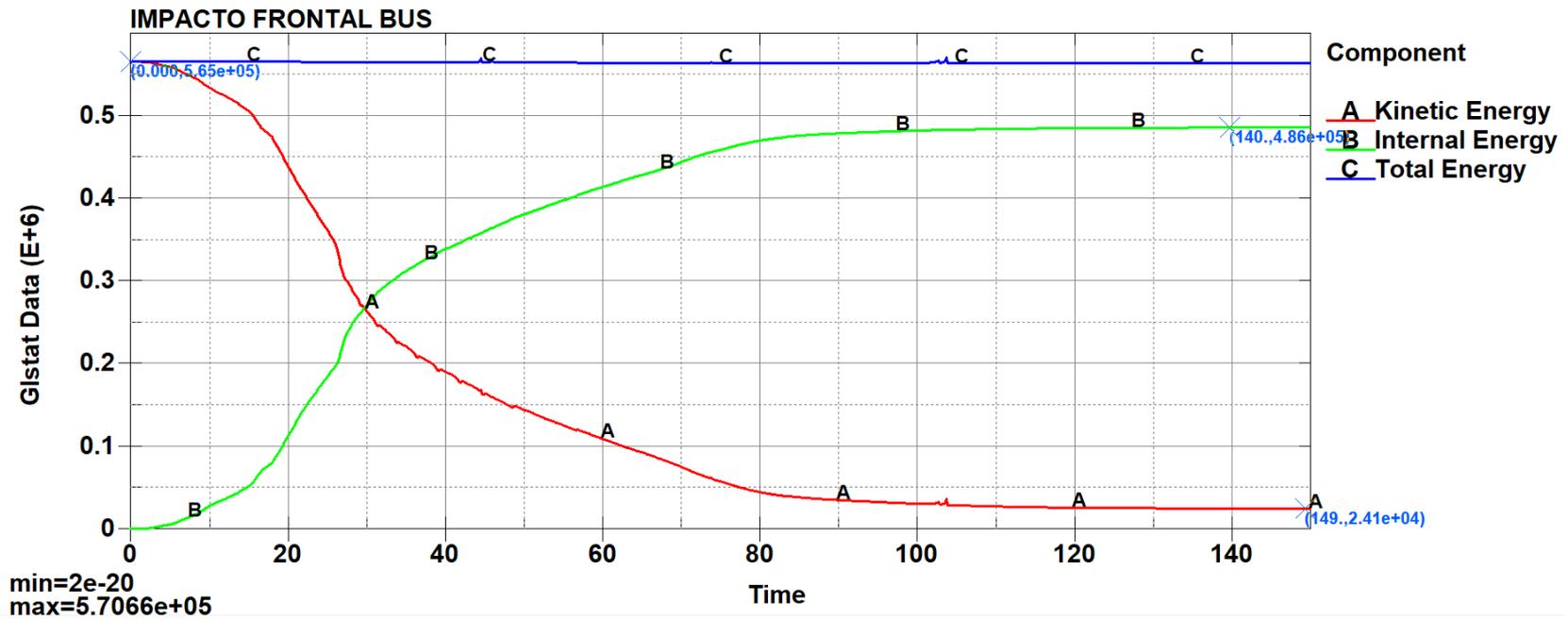
Figura 45  
Gráfica Deformación vs Tiempo



$$\Delta L = l_f - l_o$$
$$\Delta L = 8337,8 [mm] - 7706,8 [mm]$$
$$\Delta L = 631 [mm]$$

# BALANCE DE ENERGÍAS

**Figura 46**  
Energías presentes en el impacto frontal

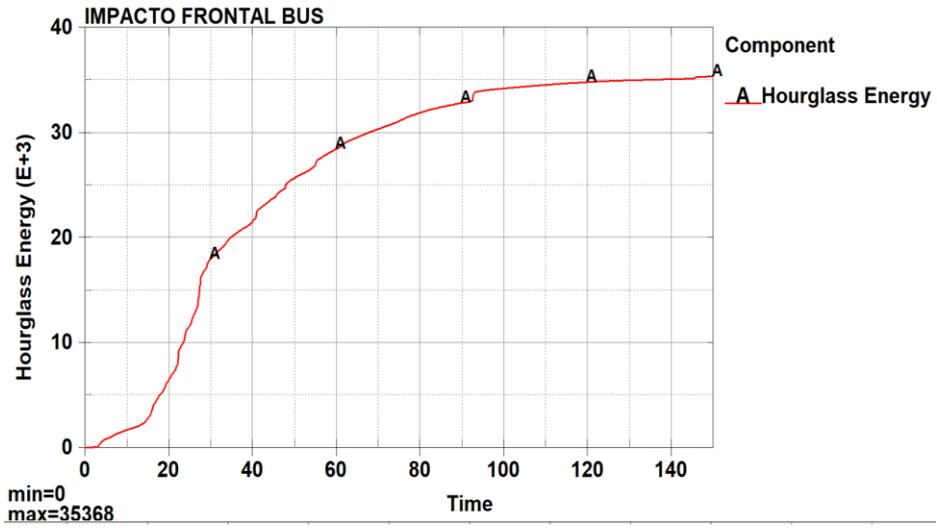


DESCRIPCIÓN	VALOR INICIAL [J]	VALOR FINAL [J]
Energía cinética	5,6541e+5	2,41e+4
Energía interna	0	4,8602e+5
Energía total	5,6541e+5	5,6541e+5

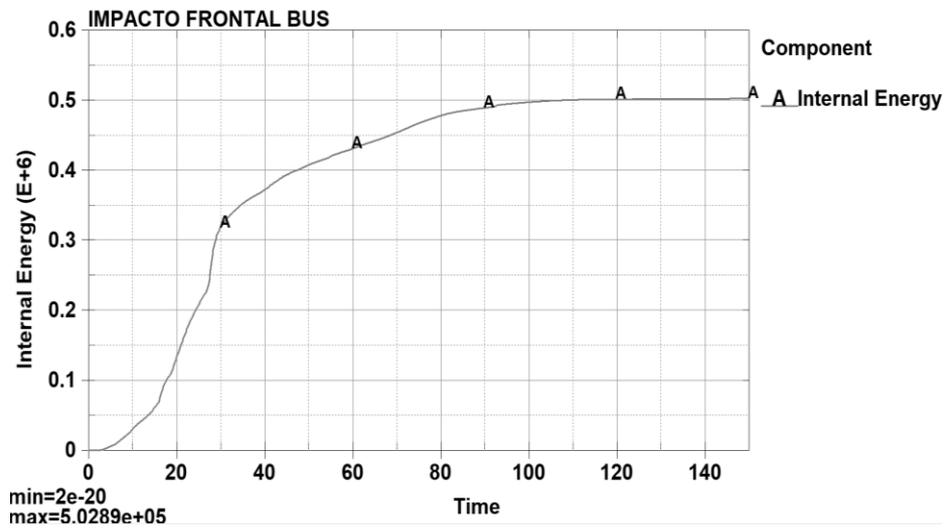
Se produce una disipación de la energía del 85,96%.

# CONTROL DE ENERGÍA DE HOURGLASS EN EL IMPACTO FRONTAL

**Figura 47**  
*Energía de Hourglass*



**Figura 48**  
*Energía de interna*



$$H = \frac{3,5368e + 4 \text{ [kN - mm]}}{5,0289e + 5 \text{ [kN - mm]}} * 100\%$$

$$H = 7,033\%$$

$$H < 10\%$$



# DEFORMACIÓN DEL DE LA CARROCERÍA TRAS IMPACTO FRONTAL

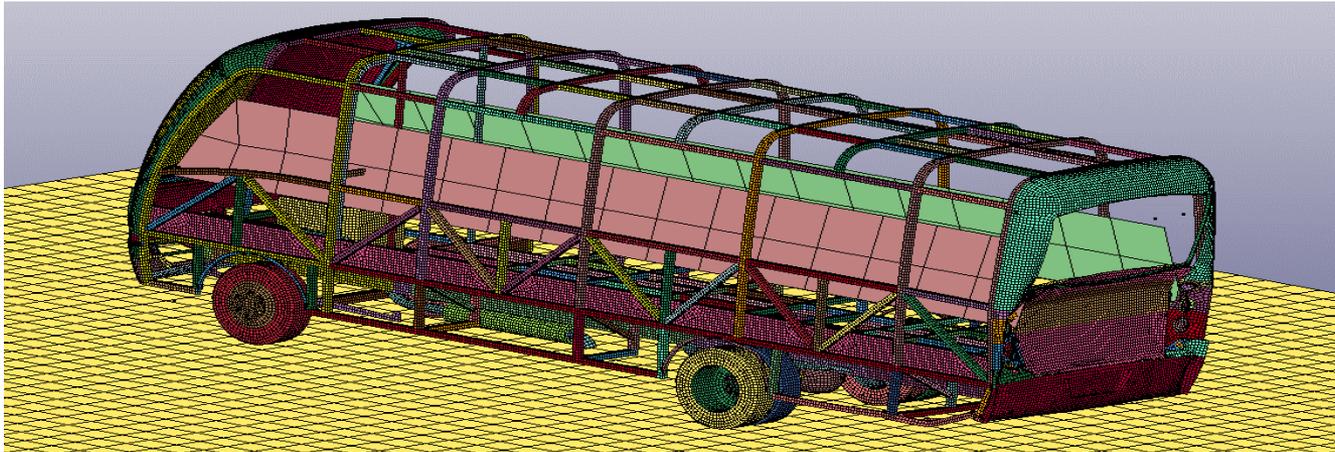
**Figura 49**

*Vista lateral del impacto posterior*



**Figura 50**

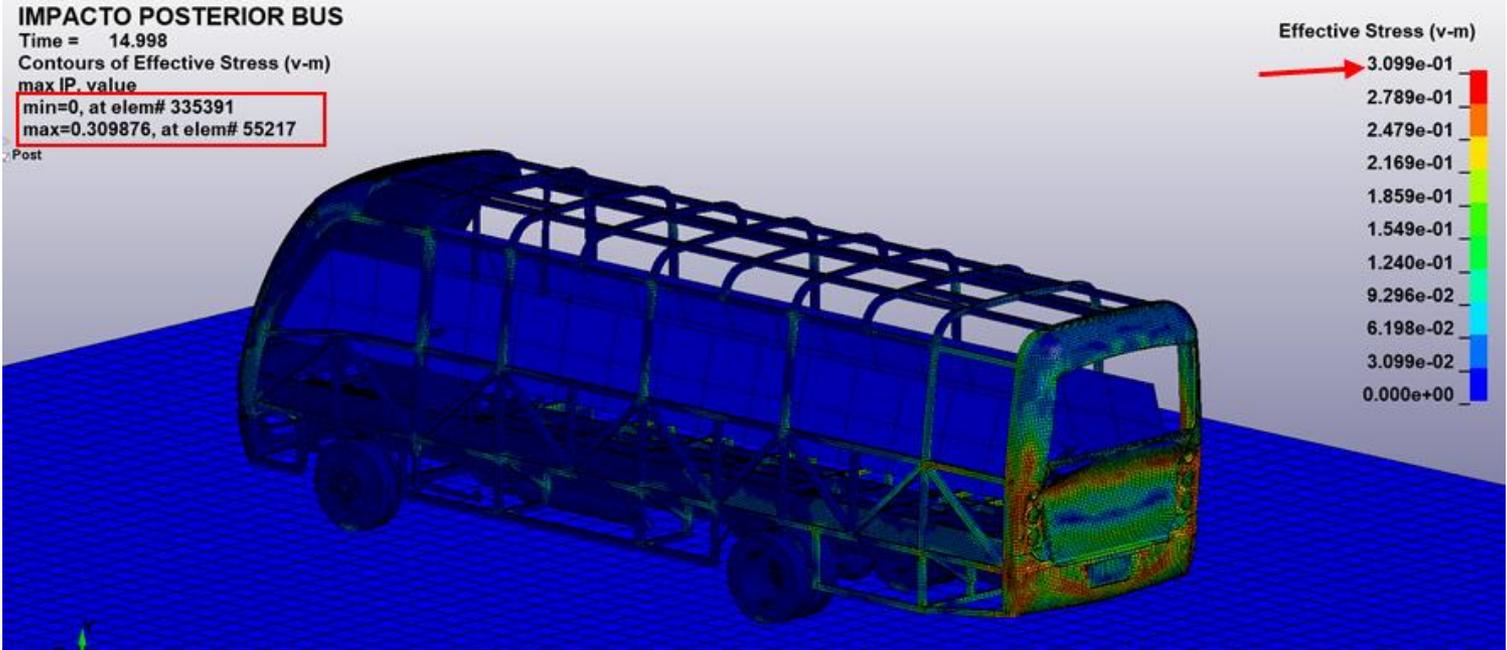
*Vista isométrica del impacto posterior*



# ESFUERZO DE VON MISES (ESFUERZO EFECTIVO) EN EL IMPACTO POSTERIOR

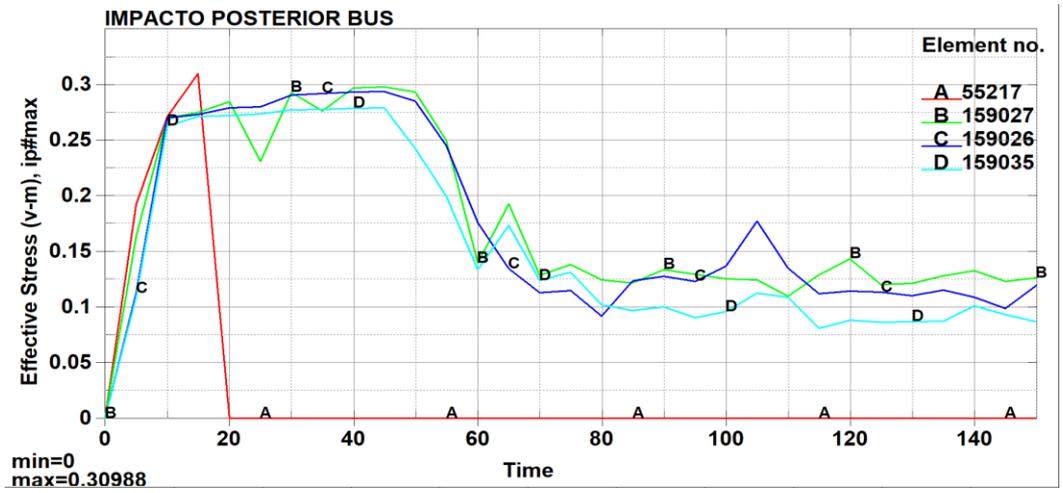
Elemento	ID	VALOR [GPa]
Elemento máximo	E55217	0,3098
Elemento mínimo	E335391	0

**Figura 51**  
*Esfuerzo de Von Mises de la estructura*

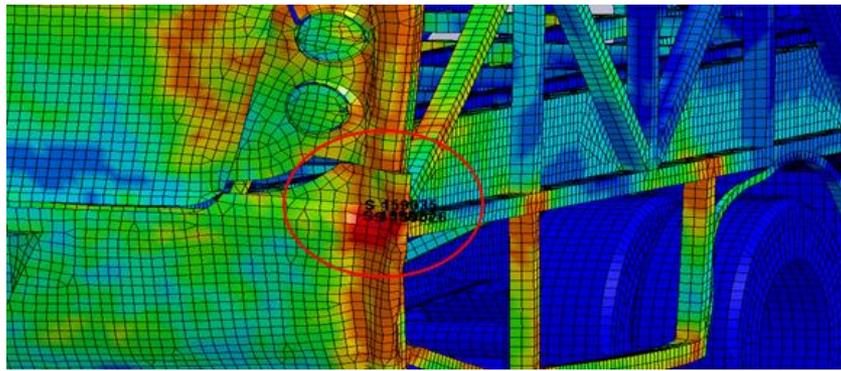


# ESFUERZO DE VON MISES (ESFUERZO EFECTIVO) EN EL IMPACTO POSTERIOR

**Figura 52**  
*Gráfica de Esfuerzo de Von Mises vs Tiempo*

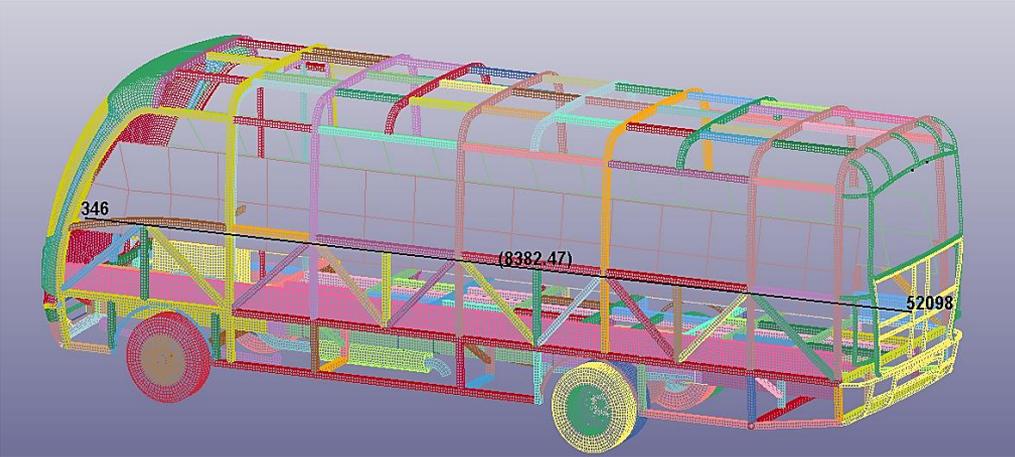


**Figura 53**  
*Selección de elementos críticos*



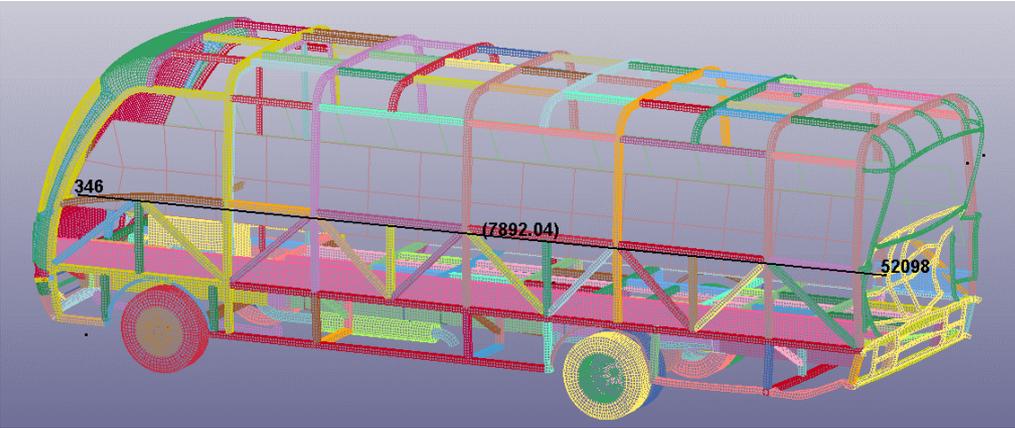
# INVASIÓN DE LA ZONA DE SUPERVIVENCIA EN EL IMPACTO POSTERIOR

**Figura 54**  
*Longitud inicial de la estructura antes del impacto posterior*



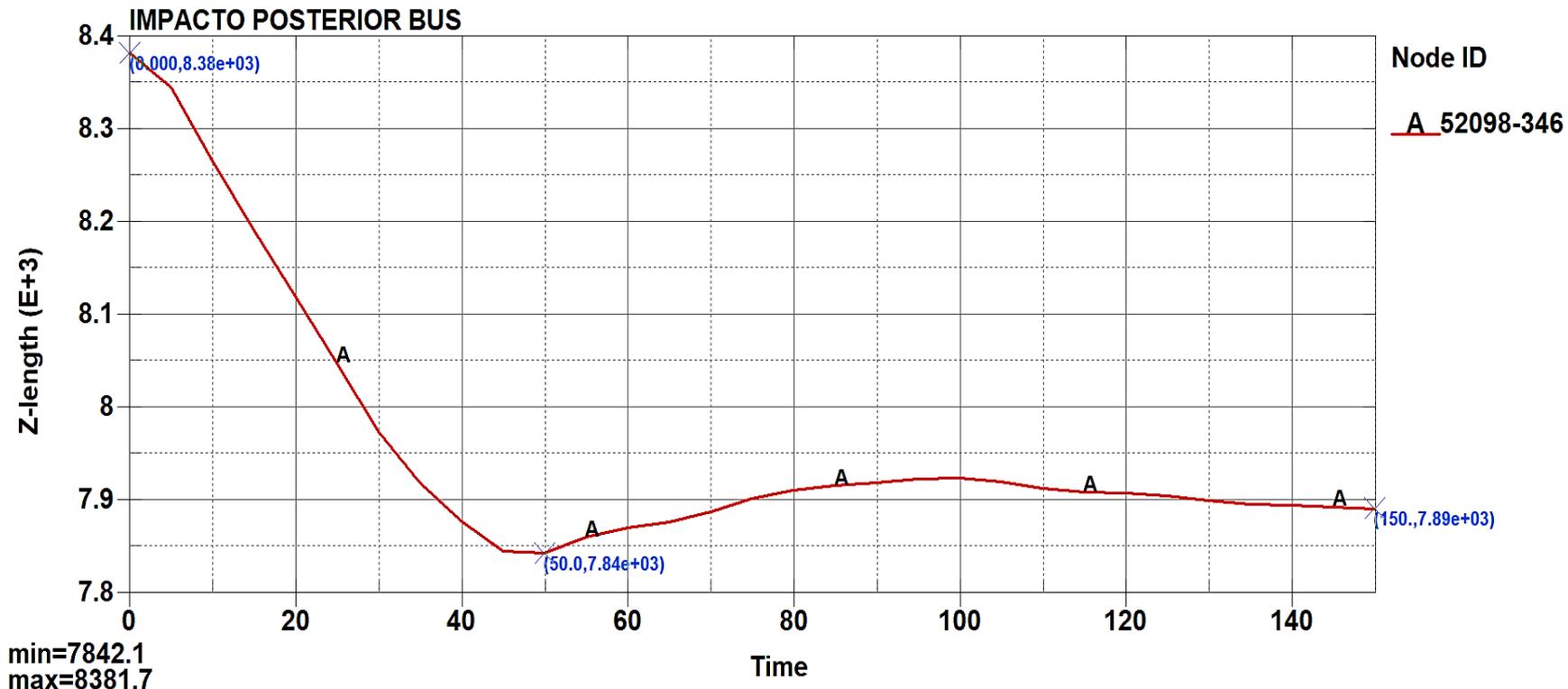
LONGITUD	ID	VALOR [mm]
Longitud inicial	N346 – N52098	8382,47 [mm]
Longitud final	N346 – N52098	7892,04 [mm]
Deformación máxima	N346 – N52098	7842,1 [mm]

**Figura 55**  
*Longitud final de la estructura después del impacto posterior*



# INVASIÓN DE LA ZONA DE SUPERVIVENCIA EN EL IMPACTO FRONTAL

Figura 56  
Gráfica Deformación vs Tiempo



$$\Delta L = l_f - l_o$$

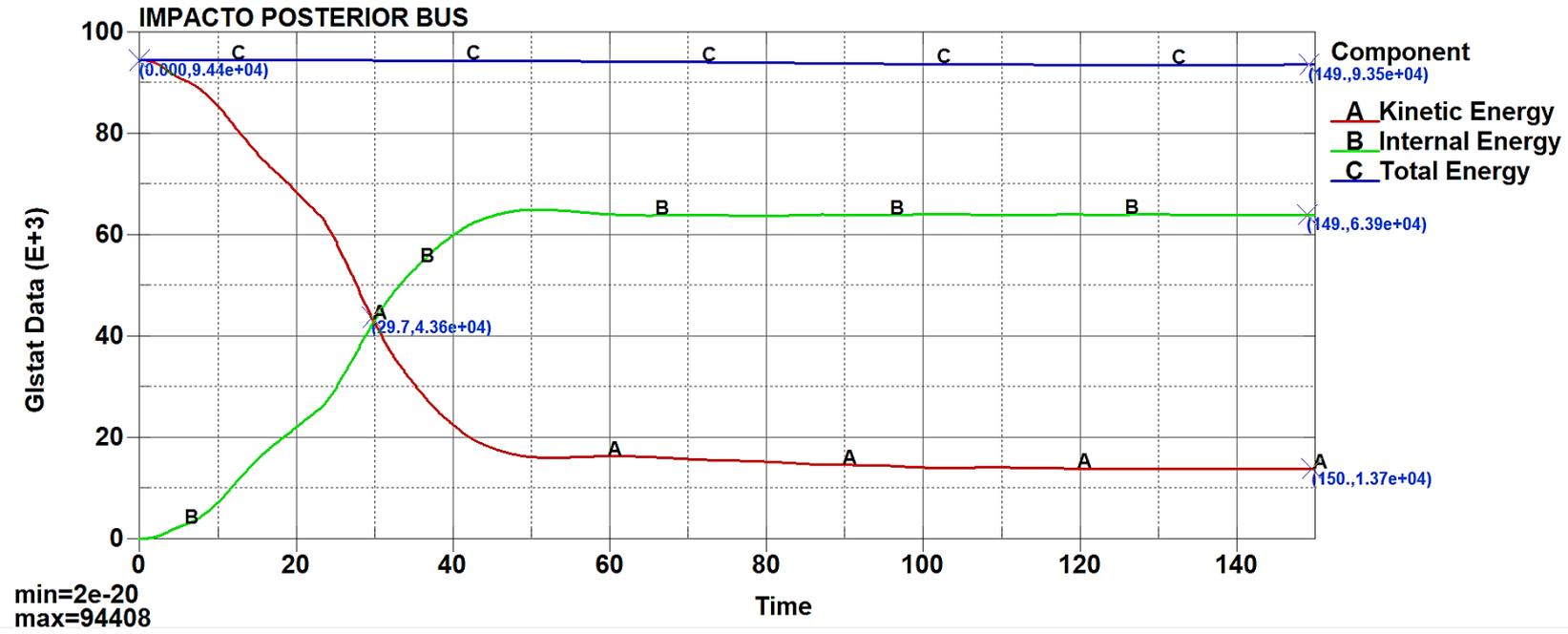
$$\Delta L = 8381,7 [mm] - 7842,1 [mm]$$

$$\Delta L = 539,6 [mm]$$



# BALANCE DE ENERGÍAS

**Figura 57**  
Energías presentes en el impacto posterior

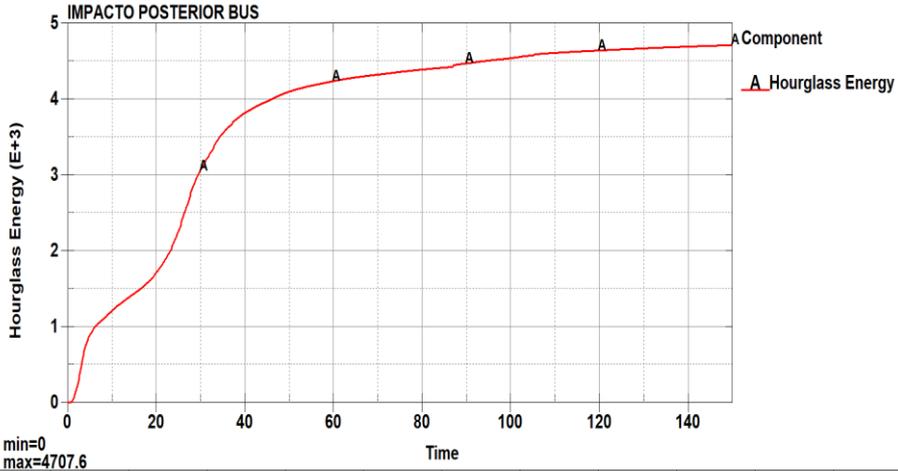


DESCRIPCIÓN	VALOR INICIAL [J]	VALOR FINAL [J]
Energía cinética	9,44e+4	1,37e+4
Energía interna	0	6,39e+4
Energía total	9,44e+4	9,44e+4

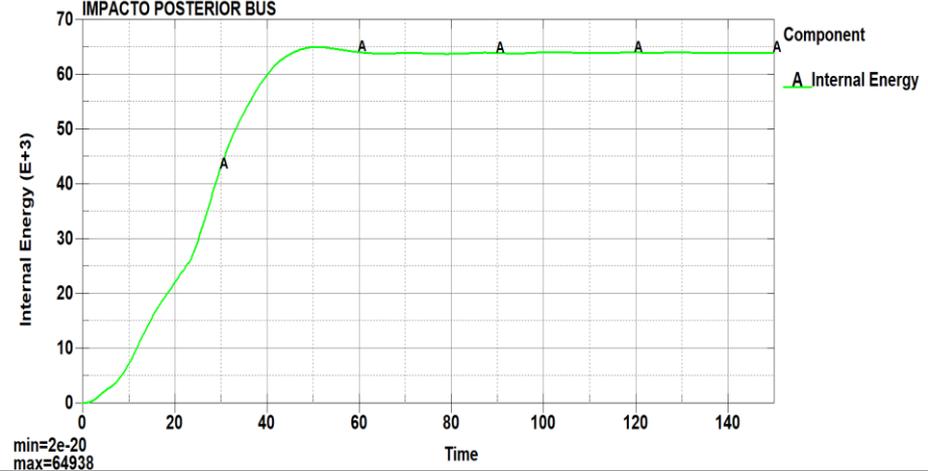
Se produce una disipación de la energía del 67,68%.

# CONTROL DE ENERGÍA DE HOURGLASS EN EL IMPACTO POSTERIOR

**Figura 58**  
*Energía de Hourglass*



**Figura 59**  
*Energía de interna*



$$H = \frac{4707,6 [J]}{64938[J]} * 100\%$$

$$H = 7,2494\%$$

$$H < 10\%$$

# CONCLUSIONES

Se concluyó que para el modelado de la carrocería del bus escolar se aplicó el método shell el cual se basa en realizar el diseño a través de elementos tipo cáscara o por operaciones de superficie consiguiendo un ahorro en el gasto computacional y disminuyendo el tiempo de compilación.

Se determinó que el material usado en el diseño de la carrocería es el Acero ASTM A-500 grado A, y las dimensiones aplicadas para el modelado de la estructura se rigen a las normas NTE INEN 1323 y RTE INEN 041, adicionalmente se tomaron medidas referenciales del bus ubicado en el patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga.



## CONCLUSIONES

Tras haber realizado el ensayo computacional de impacto frontal se logró evidenciar de forma visual que los elementos del panel frontal invaden la zona de supervivencia, esto se corroboró mediante un análisis matemático en donde se calcula la deformación que sufrió la carrocería tomando como referencia los nodos N524 y N52909 arrojando un valor de deformación de 631 [mm], distancia que invade la zona de supervivencia de la carrocería, ya que la distancia entre el asiento del conductor y el panel frontal según la norma NTE INEN 1323 es de 600 [mm] y la deformación de los elementos del panel frontal superan esta distancia.

Después de haber realizado la simulación virtual de impacto posterior se evidenció de forma visual que los componentes del panel posterior se deforman hasta invadir la zona de supervivencia, incluso existen algunos elementos que sufren ruptura, esto se sustenta con el cálculo de deformación de la carrocería, en donde se toma como referencia los nodos N346 y N52098 para medir la cantidad de deformación, calculando un valor de 539,4 [mm]. Este resultado nos asegura que la zona de seguridad es invadida ya que la distancia entre el asiento del final del pasajero y el panel posterior según la norma NTE INEN 1323 es de 200 [mm].



## CONCLUSIONES

Por medio del ensayo de impacto frontal se estableció que el esfuerzo de Von Mises (Esfuerzo efectivo) alcanza un valor máximo de 0,30999 [GPa] en el elemento crítico E250264 en el tiempo de simulación de 15 [ms], posterior a este tiempo el elemento sufre ruptura, consecuencia del alto nivel de fuerza al ocurrir el impacto.

A través de la simulación de impacto posterior se concluyó que el valor del esfuerzo de Von Mises es de 0,309876 [GPa] en el elemento crítico E55217, presentando un comportamiento plástico hasta los 15 [ms] de simulación, posterior a este tiempo el elemento sufre fractura debido al alto valor de fuerza alcanzada por el impactador.



# CONCLUSIONES

Mediante el software CAE, se consiguió el valor de la energía cinética con la que empieza el bus que posee una masa de 3820,34 [kg] y velocidad inicial de 15,56 [m/s], este valor es de  $5,65e+5$  [J] y que esta energía cinética se transforma en energía de deformación con un valor de  $4,86e+5$  [J], produciendo una disipación del 85,96%.

En el impacto posterior, la magnitud de la energía cinética que posee el coche impactador que tiene una masa de 949 [kg] y una velocidad inicial de 13,9 [m/s] es de  $9,4e+4$  [J] y después de haberse producido la colisión, la energía de deformación posee una magnitud de  $6,39e+4$  [J], lo que produce una disipación de energía del 67,68%.



# CONCLUSIONES

El cálculo de la energía de hourglass es importante para verificar la confiabilidad de los valores obtenidos en la simulación. Para el impacto frontal la energía interna alcanzó una magnitud de  $5,03e+5$  [J] y la energía de hourglass  $3,3e+4$  [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 el porcentaje es del 7,033%, validando la simulación.

Para el control de la energía de hourglass en el impacto posterior, se aplica el mismo principio que en el impacto frontal, obteniendo un valor de energía interna y de energía de hourglass de 64938 [J] y 4707,6 [J] respectivamente. El porcentaje calculado es del 7,25%, evidenciando que este valor es menor que el 10% por lo que se ratifica que los datos obtenidos en la simulación son válidos.



## RECOMENDACIONES

Este estudio se enfocó en la parte estructural de la carrocería, pero observamos como la tecnología va desarrollando muchas más herramientas en esta área, y la finalidad es de salvaguardar las vidas de los ocupantes al momento de producirse una colisión, por tal motivo es muy importante que dentro de las siguientes investigaciones se introduzca temas de biomecánica en donde los ensayos virtuales de impacto ocupen maniquíes de prueba para validar el diseño de la estructura y el nivel de seguridad del ocupante del vehículo.

Dentro del país el acero estructural ASTM A500 grado A es el más usado en la manufactura de carrocerías. A través de más estudios de simulación de impactos se podría dar alternativas para el empleo de nuevos tipos de materiales de fabricación de carrocerías que posean mejores propiedades mecánicas y que el precio no sea muy elevado dado que en el mercado actual no existe mucha variedad.



## RECOMENDACIONES

Una problemática que evidenció es que no existen normativas nacionales específicas para realizar ensayos de impactos, por lo que se podría investigar mucho más a profundidad sobre los procesos de validaciones estructurales que se les realiza a las carrocerías de buses en distintos países para posteriormente aplicarlas en el país.

Si bien es cierto las normativas y reglamentos INEN son las que se ocupan para el control de fabricación y montaje de carrocerías en el país, estas normas han estado ya mucho tiempo sin reformarse y su gran problema es que poseen un grado mínimo de seguridad. Así que, se podría realizar un estudio de la fabricación y diseño de carrocerías para homologar y garantizar su comportamiento ante un impacto salvaguardando la vida de los ocupantes.



Es conveniente dar continuidad a la validación de carrocerías por medio de ensayos computacionales de impacto, ya que estos son una herramienta para verificar el estado de deformación que van a tener las estructuras al momento de una posible colisión, consiguiendo que las empresas carroceras mejoren sus modelos y convirtiendo la carrocería en un elemento de seguridad pasiva del vehículo.



*“Seas quien seas, sea cual sea tu posición social, sea alta o baja; ten siempre mucha fuerza y determinación. Haz todo con mucho amor y con mucha fe en Dios porque un día llegarás a tu meta”.*

**Ayrton Senna**



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