

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

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

**“ Modelado de la carrocería del vehículo escolar Volkswagen 9-150 IBIMCO para simular un
impacto lateral izquierdo y lateral derecho ”**

Autores: Cangui Toapanta, Junior Steven y Padilla Castro, Fernando José

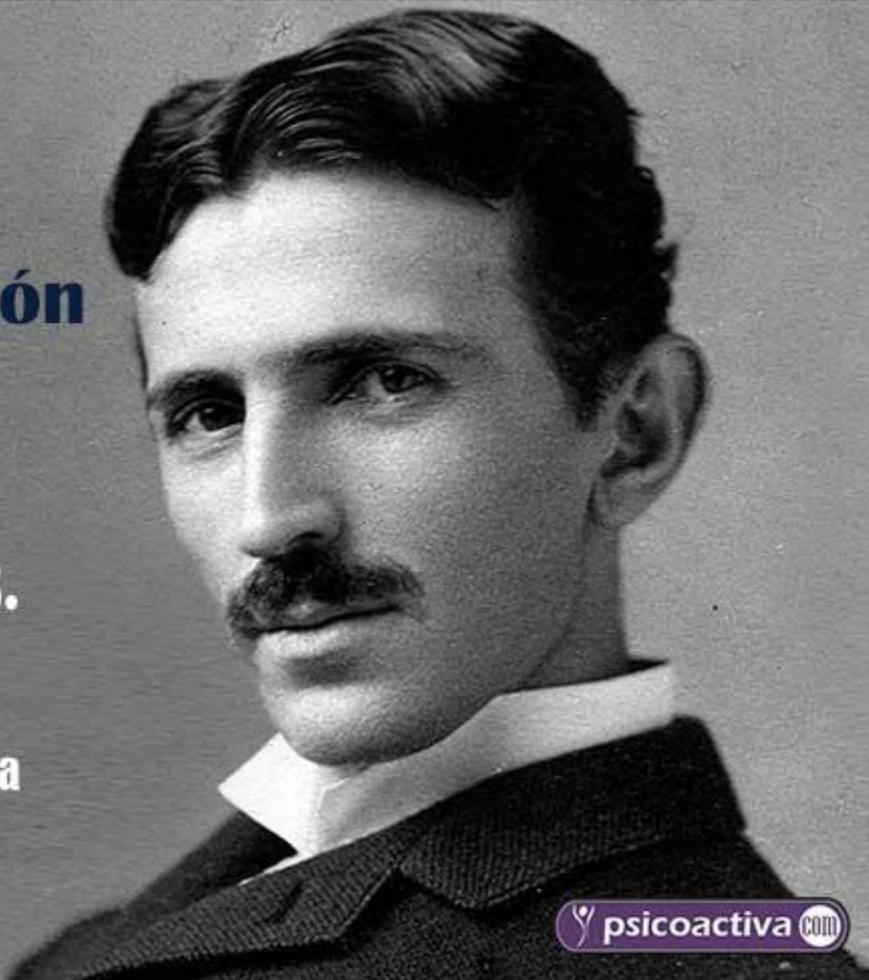
Director: Ing. Mena Palacios, Jorge Stalin

Latacunga, Agosto 2022



La vida es y seguirá
siendo una **ecuación**
sin solución, pero
contiene algunos
factores conocidos.

Nikola Tesla



psicoactiva.com



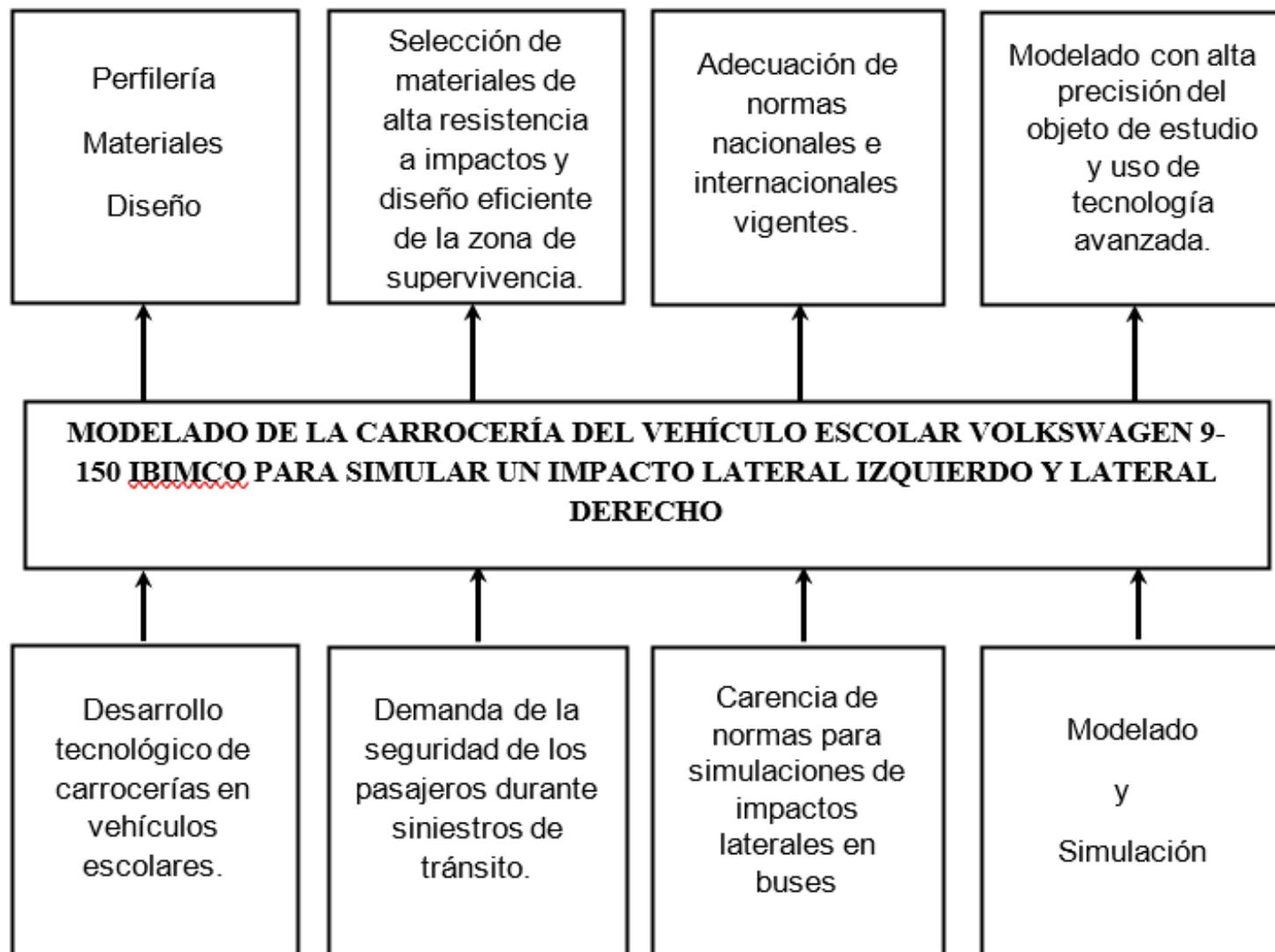
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONTENIDO

- Planteamiento del problema
- Justificación
- Objetivos
- Hipótesis
- Marco Metodológico de la Investigación
- Ingeniería Asistida por Computador Aplicada a la Carrocería
- Análisis de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



JUSTIFICACIÓN



La Agencia Nacional de Tránsito realiza estadísticas anuales que exponen el aumento del índice de mortalidad en siniestros producidos por impactos laterales. No se han desarrollado estudios e investigaciones sobre los medios de protección y resguardo de los ocupantes como en el caso de colisiones frontales y por alcance.



Este proyecto contribuirá a la necesidad de verificar la incidencia de impactos laterales en cuanto a la zona de supervivencia con el objetivo principal de salvaguardar la vida de la comunidad universitaria que hace uso del vehículo escolar ; además de aportar con datos cuantitativos computacionalmente fiables de gran relevancia al parque carrocerero del país mediante las simulaciones virtuales para así optimizar sus procesos de diseño y construcción.



OBJETIVO GENERAL:

- Modelar la carrocería del vehículo escolar Volkswagen 9-150 IBIMCO para simular un impacto lateral izquierdo y lateral derecho, mediante ingeniería asistida por computador.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la investigación teórica científica del diseño, construcción y simulación de impactos laterales de la carrocería del vehículo escolar Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE mediante fuentes bibliográficas en cuanto a normas vigentes nacionales e internacionales.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar la estructura de la carrocería del vehículo de transporte escolar Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, a través de sistemas de diseño asistido por computador CAD y método de elementos tipo Shell.
- Ejecutar las simulaciones virtuales impacto o lateral izquierdo y derecho a la carrocería del vehículo escolar, mediante los parámetros establecidos en la Regulación ECE R95 de las Naciones Unidas para obtener resultados computacionalmente fiables que nos permitan concluir el comportamiento en cuanto a la incidencia de los impactos laterales en la zona de supervivencia.



HIPÓTESIS

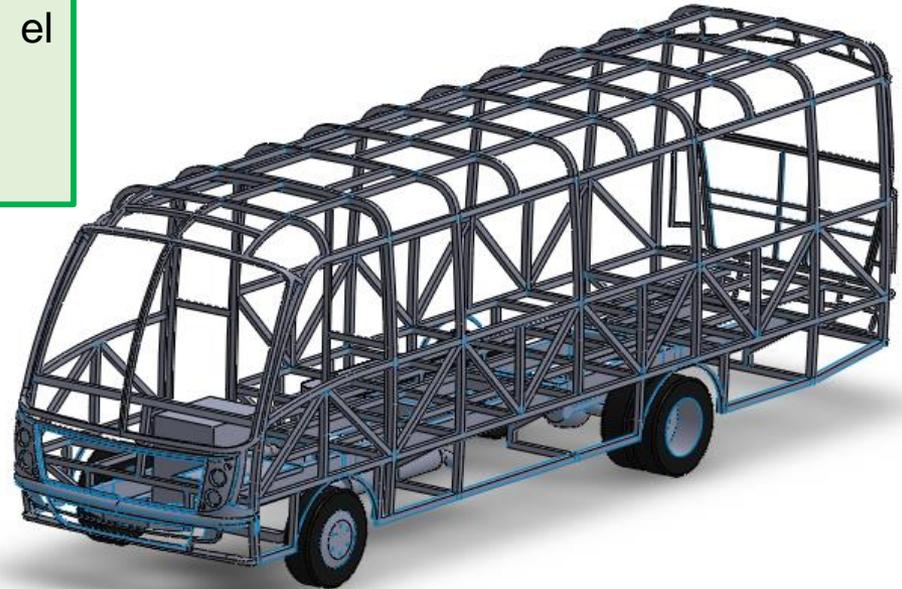


¿El vehículo escolar Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE es seguro a impactos laterales en cuanto a la incidencia en la zona de supervivencia, una vez producida la simulación computacional de acuerdo a los resultados obtenidos de energías, deformaciones y esfuerzos?



LA CARROCERÍA DE BUSES

Una carrocería de bus es aquella estructura generalmente de acero que va montada sobre un chasis, base o plataforma y crea el espacio donde se ubican todos los componentes de acondicionamiento para el transporte de pasajeros, además es la encargada de soportar cargas estáticas y dinámicas durante el movimiento del bus.



MINIBÚS ESCOLAR VOLKSWAGEN 9-150



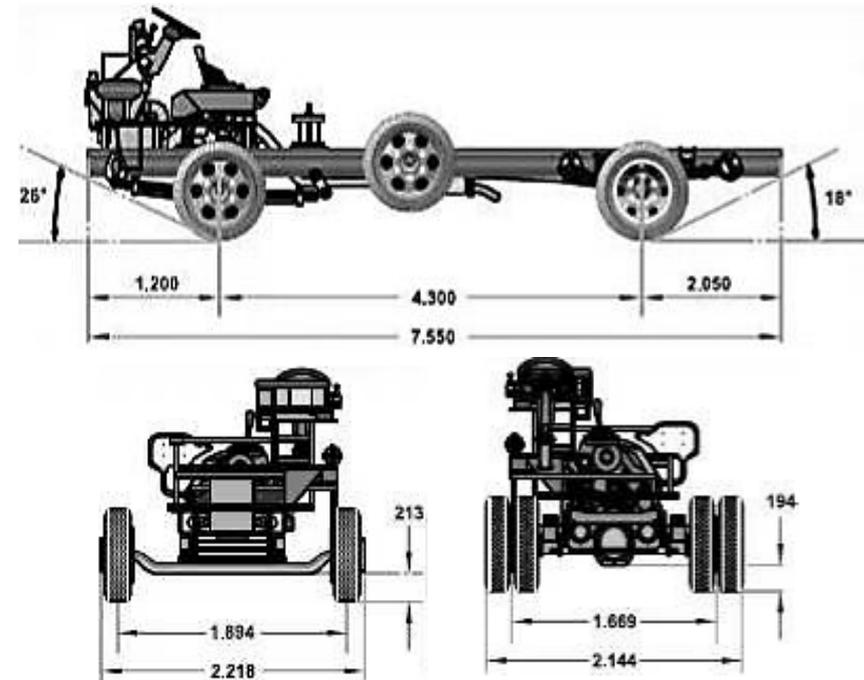
DATOS DEL VEHÍCULO	
DATOS:	
Sección	Transportes
Placas	FTF-975
Registro	EE-24-0454
Dependencia	ADM
Marca	Volkswagen
Modelo	9-150 OD
Año de fabricación	2009
No. de motor	E1T146377
No. De chasis	9BWDD52R58R832395
Color	Blanco - verde

CHASIS VOLKSWAGEN 9-150 OD	
Representante de la marca	Intrans
Marca	Volkswagen
Modelo	9.150 OD
Versión	N/A
Descripción de la versión	4300 cm3 diesel TM 4X2
Clase	Chasis motorizado (Minibús)
Subclase	M3
Capacidades [kg]	PBV: 8150 kg Cap. Carga: 5600 kg
Aplicación	Público: Interprovincial o Intraregional o Intraprovincial o Intracantonal (Urbano) o Comercial: Escolar e Institucional o Turismo



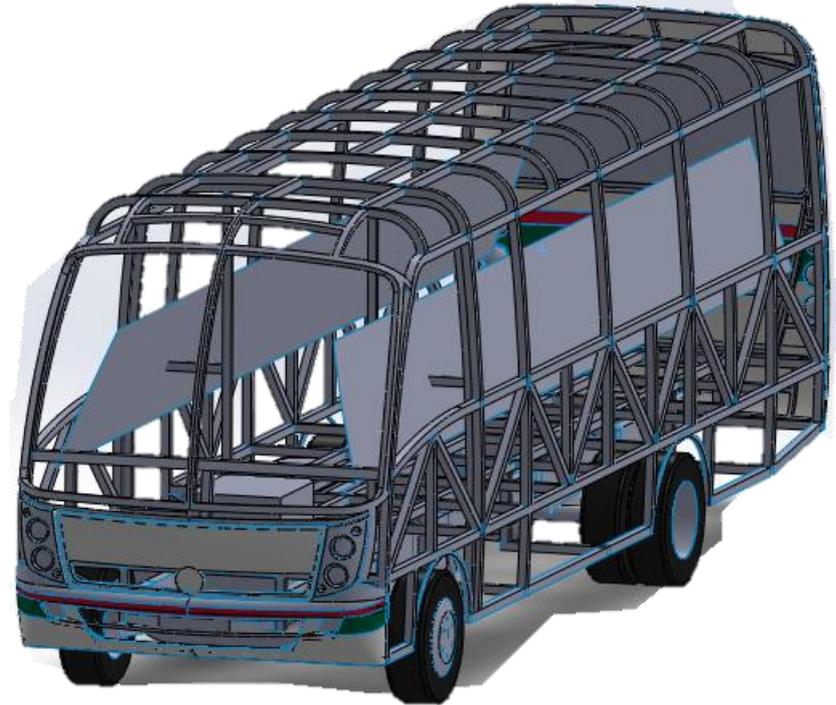
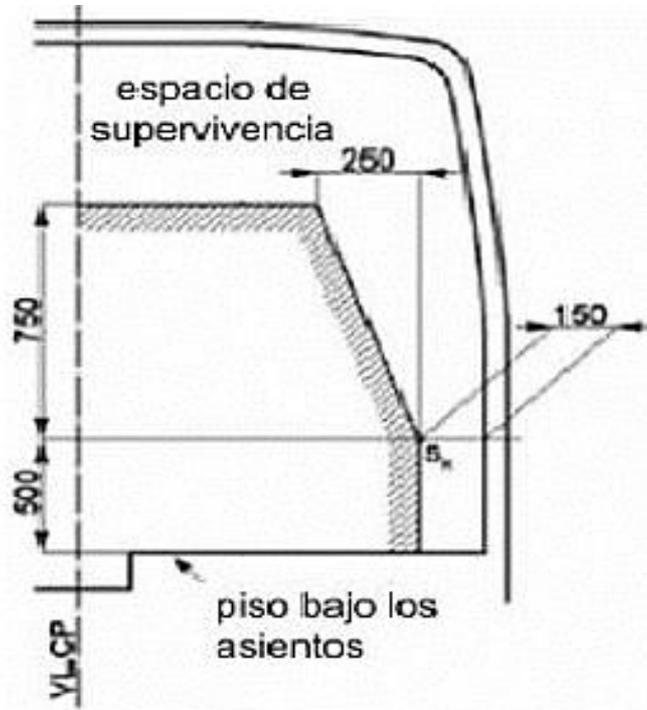
MINIBÚS ESCOLAR VOLKSWAGEN 9-150

DIMENSIONES DEL CHASIS (mm)	
Distancia entre ejes (DEE)	4300
Voladizo delantero	1200
Voladizo posterior	2050
Largo Total	7550
Ancho máximo delantero	2218
Ancho máximo posterior	2144
Trocha delantera	1894
Trocha posterior	1669
Despeje del suelo delantero	213
Despeje del suelo posterior	194



NORMA TÉCNICA ECUATORIANA (NTE INEN 1323:2009)

- Zona de supervivencia



NORMA INTERNACIONAL PARA IMPACTO LATERAL

REGLAMENTO 95 DE LA COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA

Condiciones de ensayo

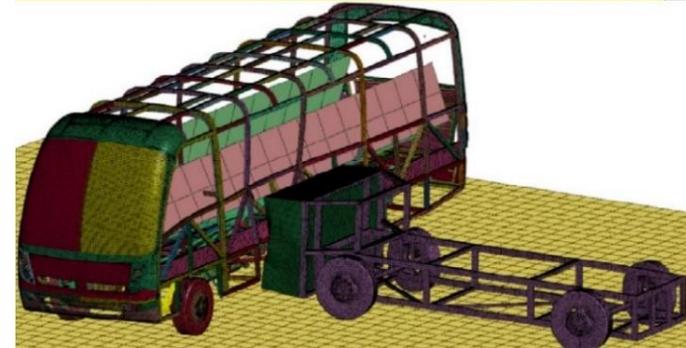
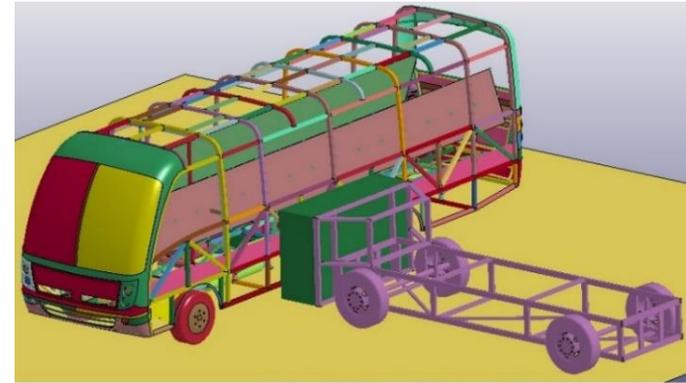
•El vehículo que se somete a prueba se encuentra en estado estacionario.

•La trayectoria de la barrera deformable móvil es perpendicular al vehículo impactado.

•La velocidad de la barrera deformable móvil (BDM) en el momento del impacto es de 50 ± 1 km/h. Esta velocidad debe ser estable al menos 0,5 m antes del impacto.

•La masa total de la BDM es de 950 ± 20 kg.

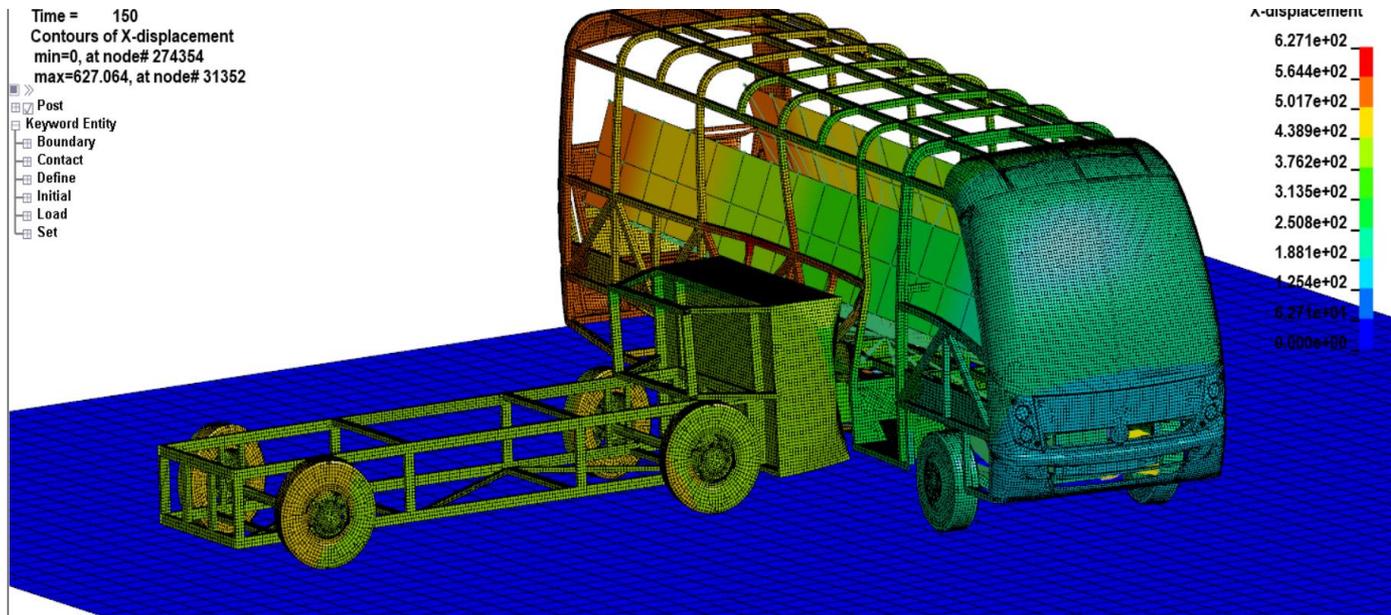
•La distancia al suelo del impactador es de 300 ± 5 mm medidos en condiciones estáticas, antes del impacto.



MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF)

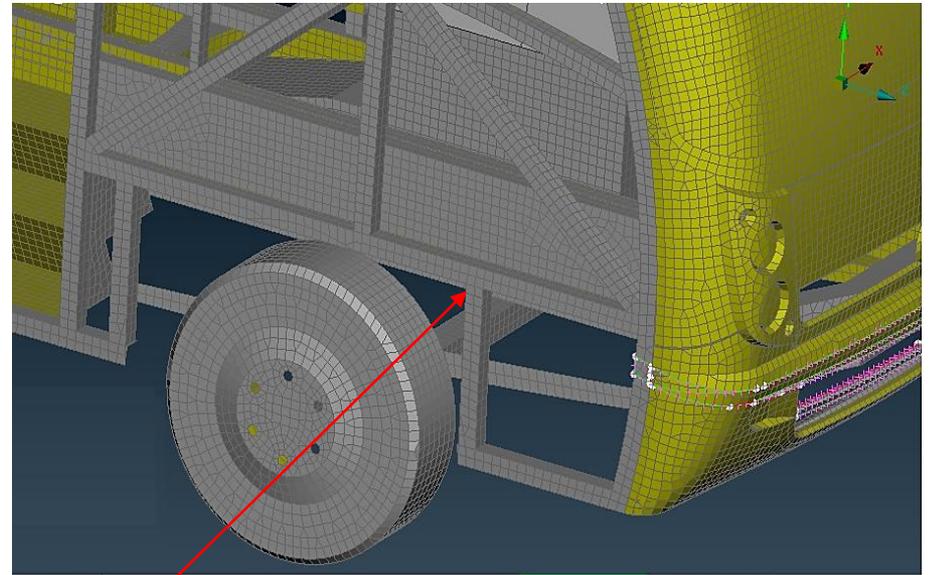
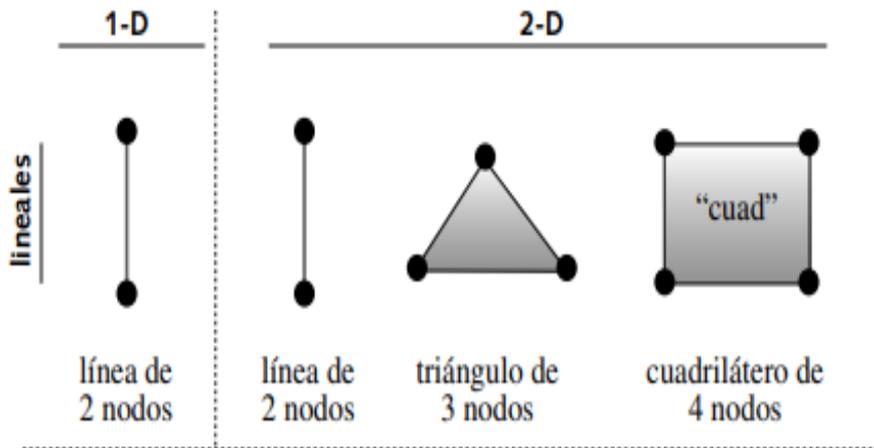
Este método es definido como:

Una técnica computacional, que se utiliza para solucionar los problemas de ingeniería, en el que el sistema a ser resuelto se divide en secciones o elementos de aprendizaje simples, para así reconstruirlo ensamblando la contribución de cada elemento y de esta manera predecir su comportamiento general



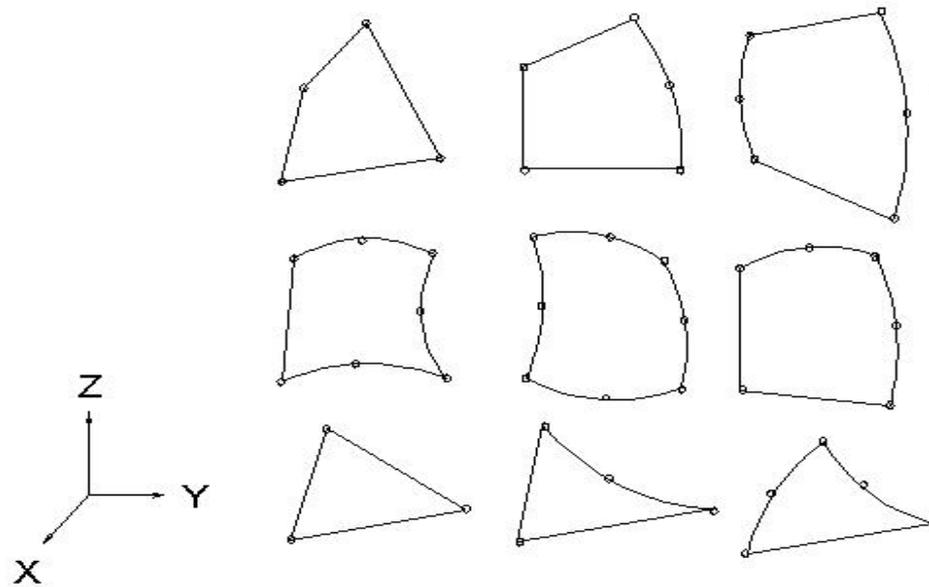
Tipos de elementos

Los elementos son uni, bi o tridimensionales, llamados también elementos de línea, superficie y volumen, respectivamente.



Elementos tipo shell

Al tratar con un elemento Shell, es intinar con un elemento finito, por lo general se encuentra conformado por 3 o 4 lados. Los elementos tipo Shell son de tipo cáscara en dos dimensiones que carecen de espesor. Esto nos garantiza un modelado CAD continuo y sin interferencias que afecten los resultados al realizar los ensayos virtuales.



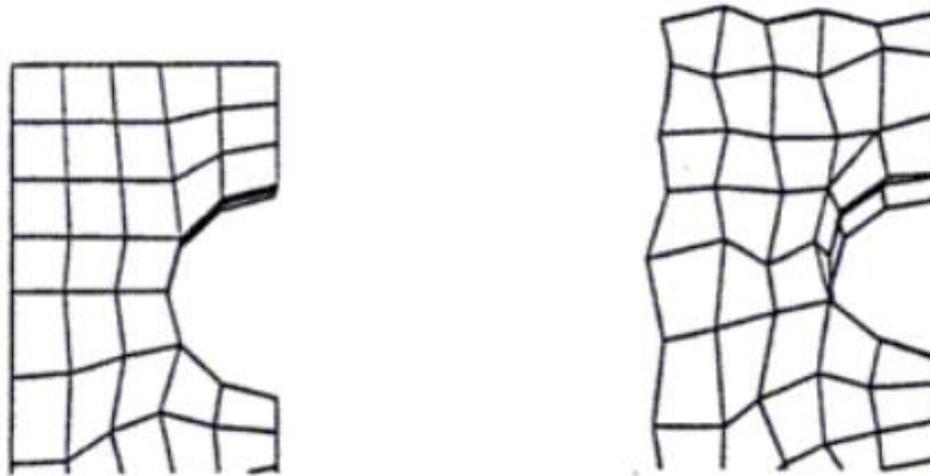
Criterio jacobiano

- Determina la calidad de la malla, aprueba y calcula todos los elementos excepto los triángulos y tetraedros.
- Una relación alta indica que la correspondencia entre el área y el área total del elemento se vuelve computacionalmente poco confiable.
- Un cuadrilátero tiene una razón jacobiana de ,1 si sus caras opuestas son todas paralelas. (© 2015 ANSYS, Inc., 2014)



Energía de Hourglass

La energía hourglassing no debe superar el 10% de la energía interna. (© 2015 ANSYS, Inc., 2014)



- Material utilizado en el modelado de la carrocería

Propiedades mecánicas del Acero ASTM A500	
Límite de fluencia mínima	270 [MPa]
Resistencia a la tracción mínima	310 [MPa]
Elongación mínima en 50 mm %	25 ^a

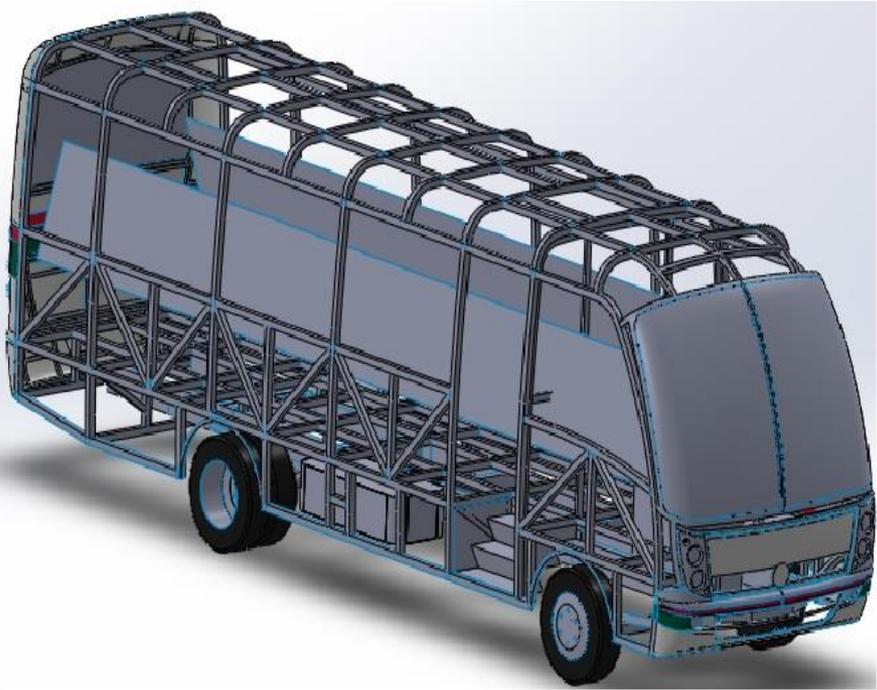
Grado	Descripción	Límite de fluencia mínima (Mpa)	Resistencia a la tracción mínima (Mpa)	Elongación mínima en 50 mm %
AC	Tubos para usos generales	--	290	≥ 35
A	Tubos estructurales sección circular	230	310	25 ^a
B		290	400	25 ^a
C		315	425	25 ^a
D		250	400	25 ^a
A	Tubos estructurales sección cuadrada, rectangular o especial	270	310	25 ^a
B		315	400	25 ^a
C		345	425	25 ^a
D		250	400	25 ^a



INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR PARA EL ANÁLISIS DE LA CARROCERÍA

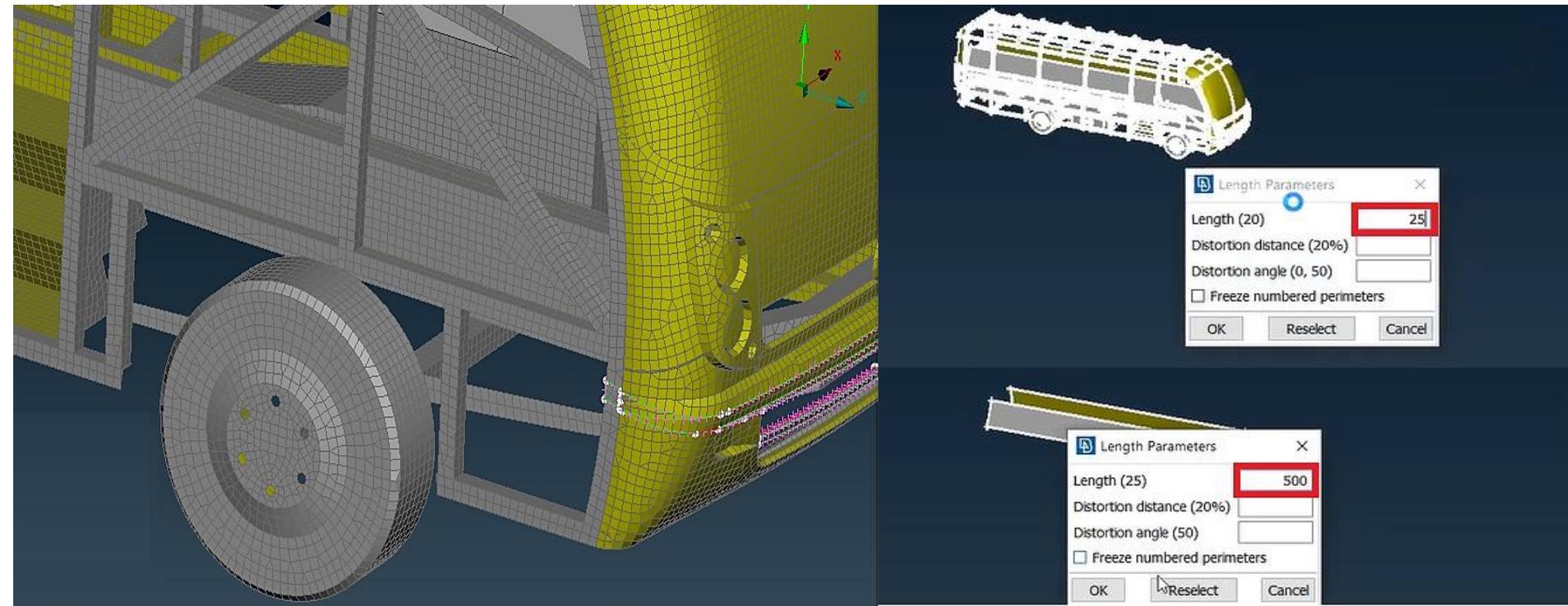


Construcción del modelo



Generación de malla

- Elementos cuadriláteros: 160489
- Elementos triangulares: 5552
- Elementos totales: 166038



Índice de jacobiano

LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost
Contours of Jacobian
min=0.400072, at elem# 195525
max=1.00001, at elem# 21641

Assembly 1
FEM Parts



Jacobian

1.000e+00
9.727e-01
9.455e-01
9.182e-01
8.909e-01
8.637e-01
8.364e-01
8.091e-01
7.819e-01
7.546e-01
7.273e-01
7.000e-01
6.728e-01
6.455e-01
6.182e-01
5.910e-01
5.637e-01
5.364e-01
5.092e-01
4.819e-01
4.546e-01
4.273e-01
4.001e-01

Element Editing

Check Split/Merge
 Create Modify
 Delete Direction
 Composite Align

Show Free Edges

Beam Solid
 Shell Tshell

Checking method
Quality Check
Duplicate
Normal
Free - Unattached
UnderCut
Curvature

Shell check item	Allowable	Min. val	Max. val	#violated(%)
<input type="checkbox"/> Taper	0.7	***	***	***
<input type="checkbox"/> Skew	45	***	***	***
<input checked="" type="checkbox"/> Jacobian	0.4	0.4	1	***
<input type="checkbox"/> Char. length	1	***	***	***
<input type="checkbox"/> Area	5	***	***	***

Frn Locate 1 Repair

Clear Save Failed Delete Failed Report

Fringe

Solid Ray Check Save Failed

Done



Condiciones de frontera

- *Propiedades mecánicas del ACERO ASTM A500 GRADO A*

Designación en LS-PrePost	Propiedades mecánicas	Valor NTE INEN 2415 y generales	Valor equivalente (LS-PrePost)
RO	Densidad del acero	7800 kg/m ³	7,8E-6 Kg/mm ³
E	Módulo de Young	2e-9 MPa	2E+2 GPa
PR	Radio de Poisson	0.3	0.3
SIGY	Deformación unitaria	21% - 25%	25%
FAIL	A que valor máxima de elongación falla el material	0.25	0.25
LCSS	Curva esfuerzo deformación	Sy: 270 MPa Su: 310 MPa	0.270 GPa 0.310 GPa

Nota. El grafico representa la designación de cada parámetro a ingresar en la interfaz del software LS-PrePost.



Condiciones de frontera

- Asignación de material en la carrocería

Keyword Input Form

NewID

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 c Accept changes Setting)

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_(TITLE) (024) (0)

TITLE

ACERO ASTM A500 GRA

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>
1		7.8E-6	2E+2	0.3		0.0	0.25	0.0
2	<u>C</u>	<u>P</u>	<u>LCSS</u>	<u>LCSR</u>	<u>VP</u>			
0.0	0.0	1	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	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	0.0

COMMENT:

LCSS:= Load curve ID or Table ID.
Load curve ID defining effective stress versus effective plastic strain. If defined EPS1-EPS8 and ES1-ES8 are ignored.
The table ID defines for each strain rate value a load curve ID giving the stress versus effective plastic strain for that rate. The stress strain curve for the lowest value of strain rate is used if the strain rate falls below the minimum value. Likewise, the stress versus effective plastic strain curve for the highest value of strain rate is used if the strain rate exceeds the maximum value. If defined C, P, curve ID, LCSR, EPS1-E

Link DEFINE_CURVE(TABLE)

CURVE

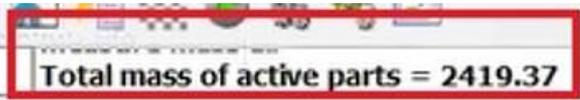
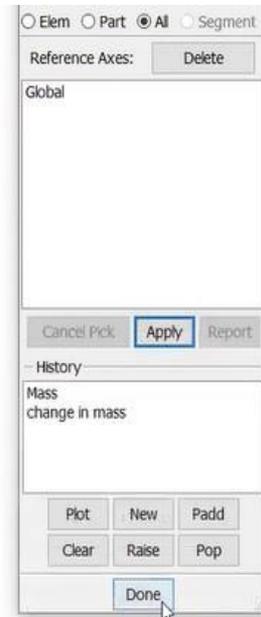
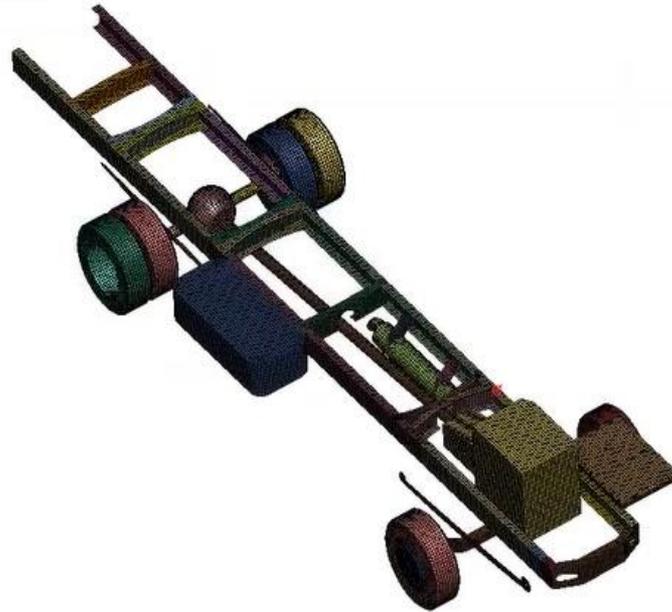
1 URVA ESFUERZO VS DEFORMACION ASTM A



Condiciones de frontera

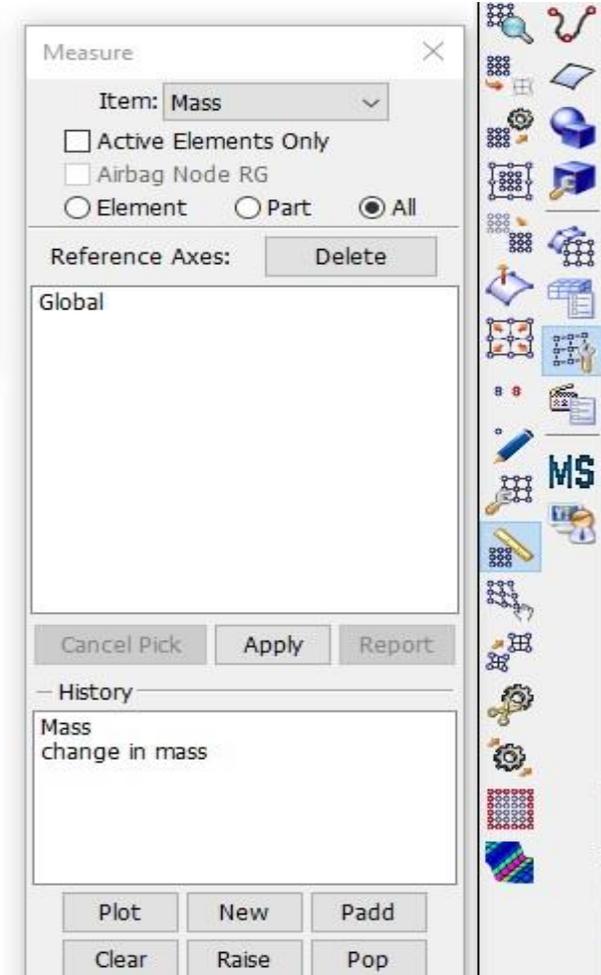
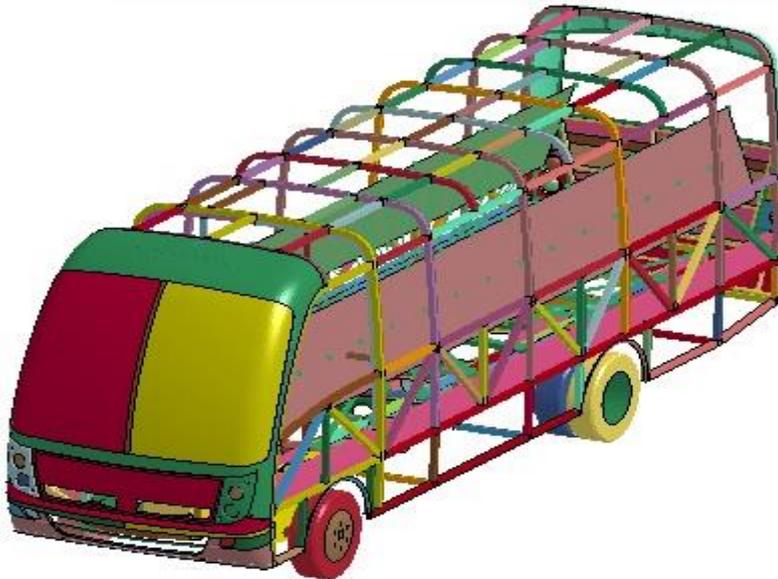
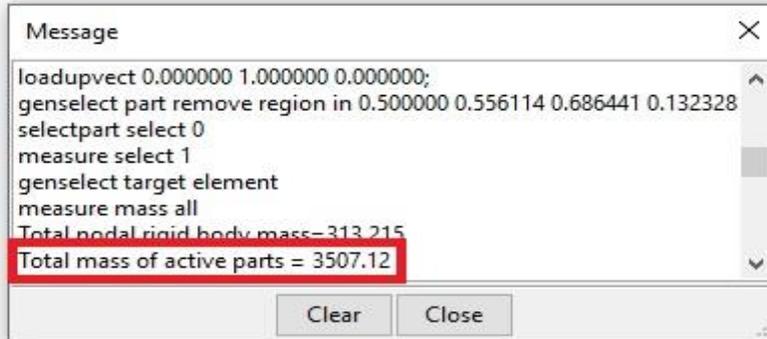
- Masa distribuida chasis

- Peso bruto vehicular (PBV): 8150 kg
- Cap. Carga: 5600 kg
- Peso chasis: $PBV - Cap. Carga = 2550$ kg



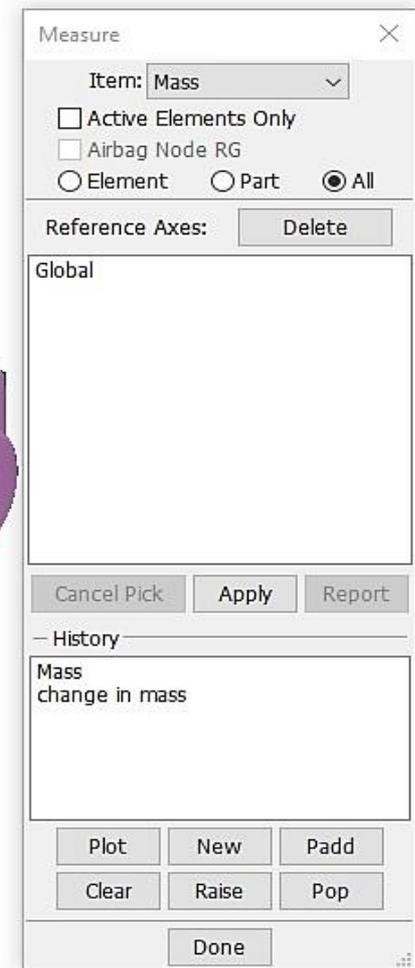
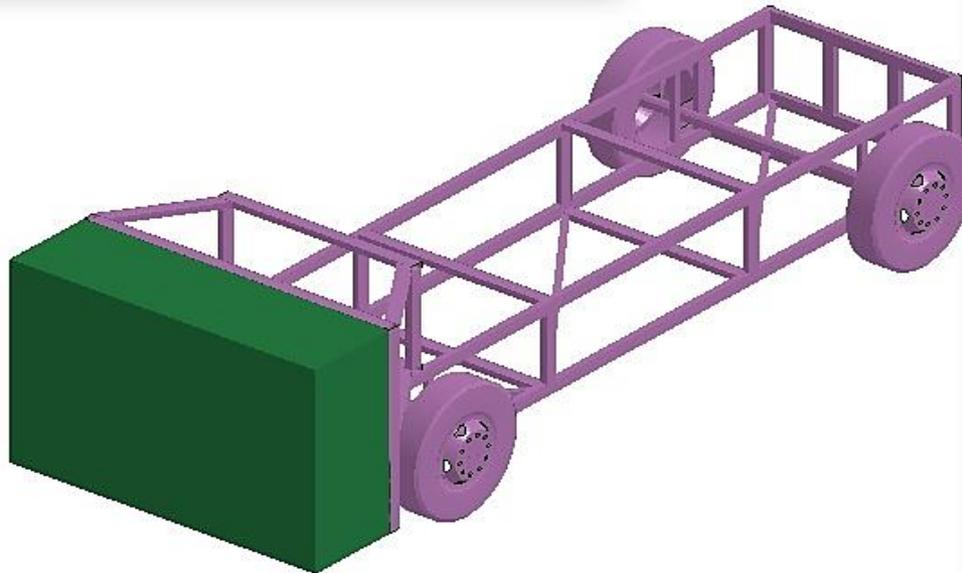
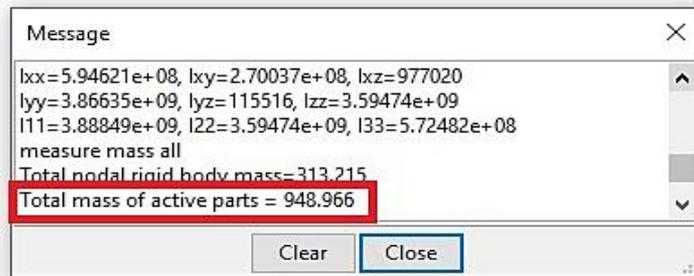
Condiciones de frontera

- Masa distribuida carrocería



Condiciones de frontera

- Masa distribuida BDM



Condiciones de frontera

- Velocidad de la barrera deformable móvil



Keyword Input Form

NewID Draw Pick Add Accept

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 IMPACTO LATERAL)

*INITIAL_VELOCITY (1)

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

COMMENT:

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

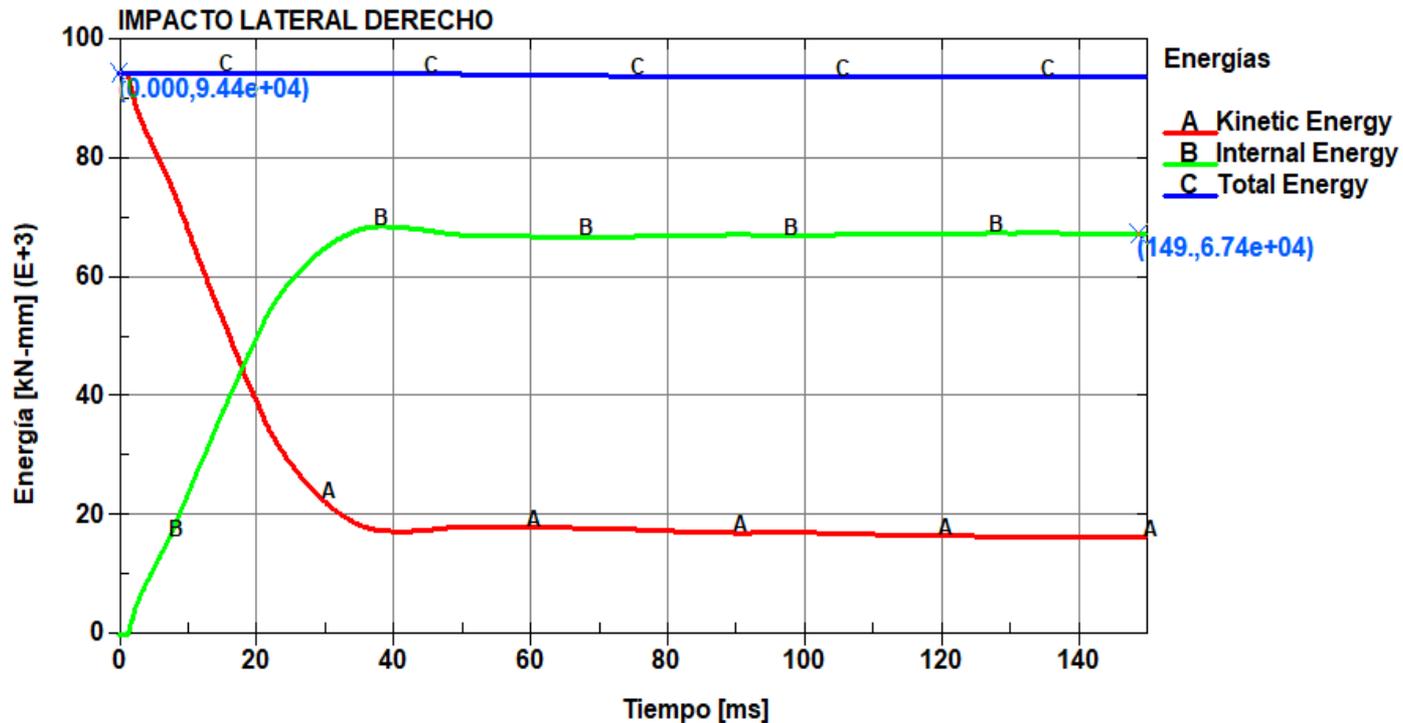


ANÁLISIS DE RESULTADOS



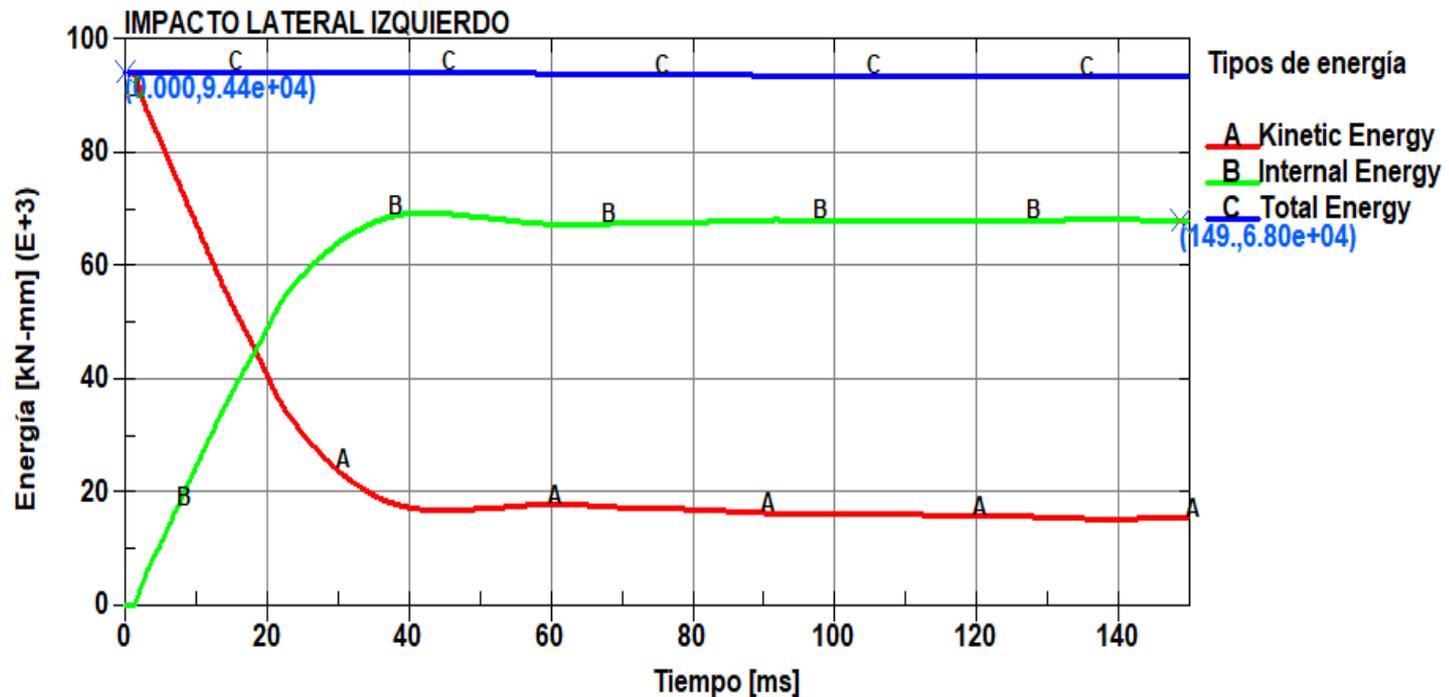
Energías impacto lateral derecho

La energía total permanece constante durante todo el ensayo, mientras que la energía cinética generada antes del impacto tiene un valor de 9.44×10^4 [J] esta energía se disipa en un 71 % con un valor de 6.74×10^4 [J] por la deformación de la carrocería después de haberse producido el impacto.



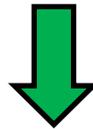
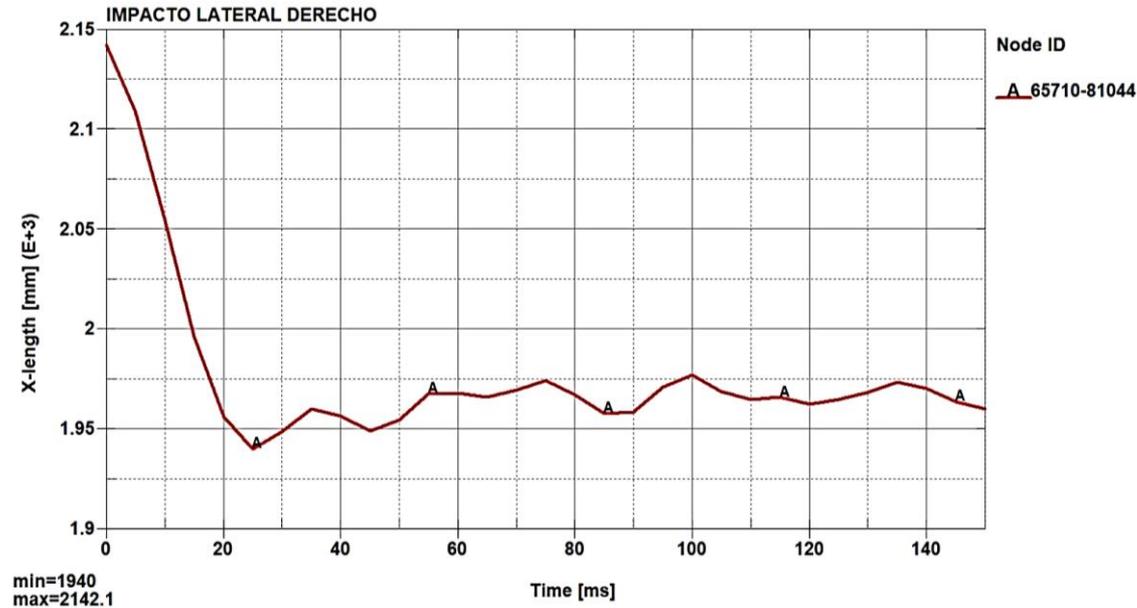
Energías impacto lateral izquierdo

La energía total permanece constante durante todo el ensayo, mientras que la energía cinética generada antes del impacto tiene un valor de 9.44×10^4 [J] esta energía se disipa en un 72 % con un valor de 6.80×10^4 [J] por la deformación de la carrocería después de haberse producido el impacto.



IMPACTO LATERAL DERECHO

- Deformación Estructural e invasión de la zona de supervivencia



$$\Delta L = l_0 - l_f$$

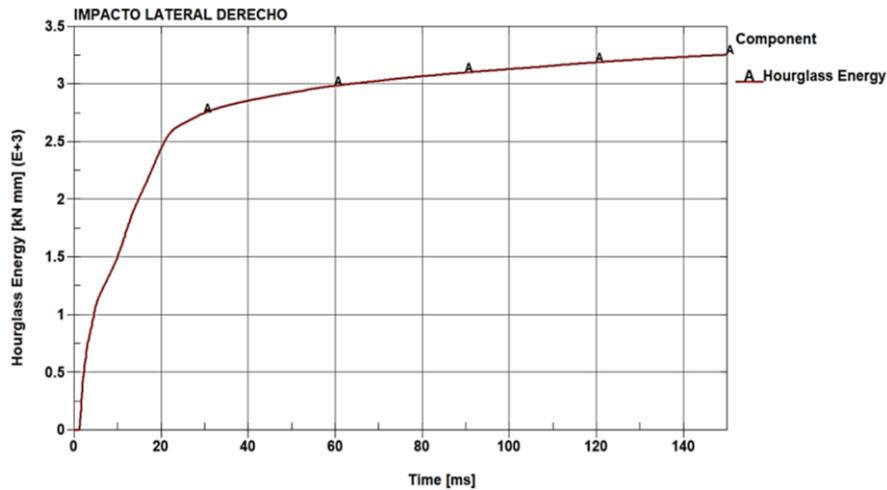
$$\Delta L = 2142.1 [mm] - 1940 [mm]$$

$$\Delta L = 202.1 [mm]$$

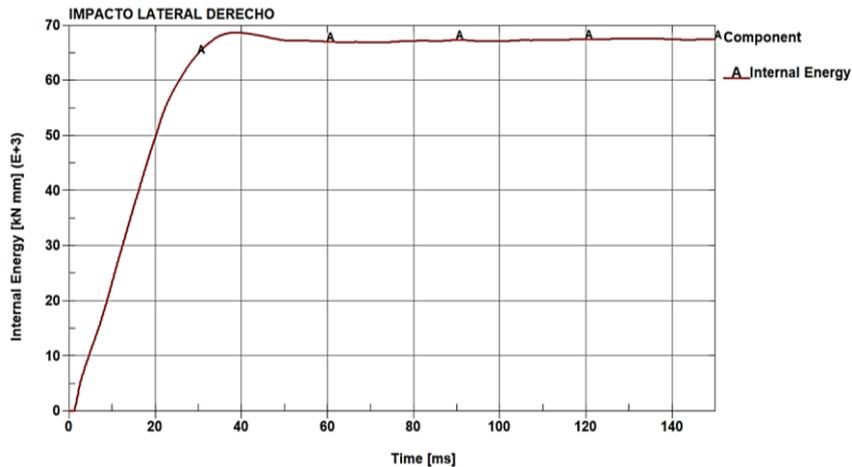


IMPACTO LATERAL DERECHO

- Validación del estudio virtual



Energía de Hourglass = 3.25×10^3 kN-mm



Energía Interna = 6.74×10^3 kN-mm

$$H = \frac{E. Hourglass}{E. Interna} * 100\%$$

$$H = \frac{3.25 \times 10^3}{6.74 \times 10^3} * 100\%$$

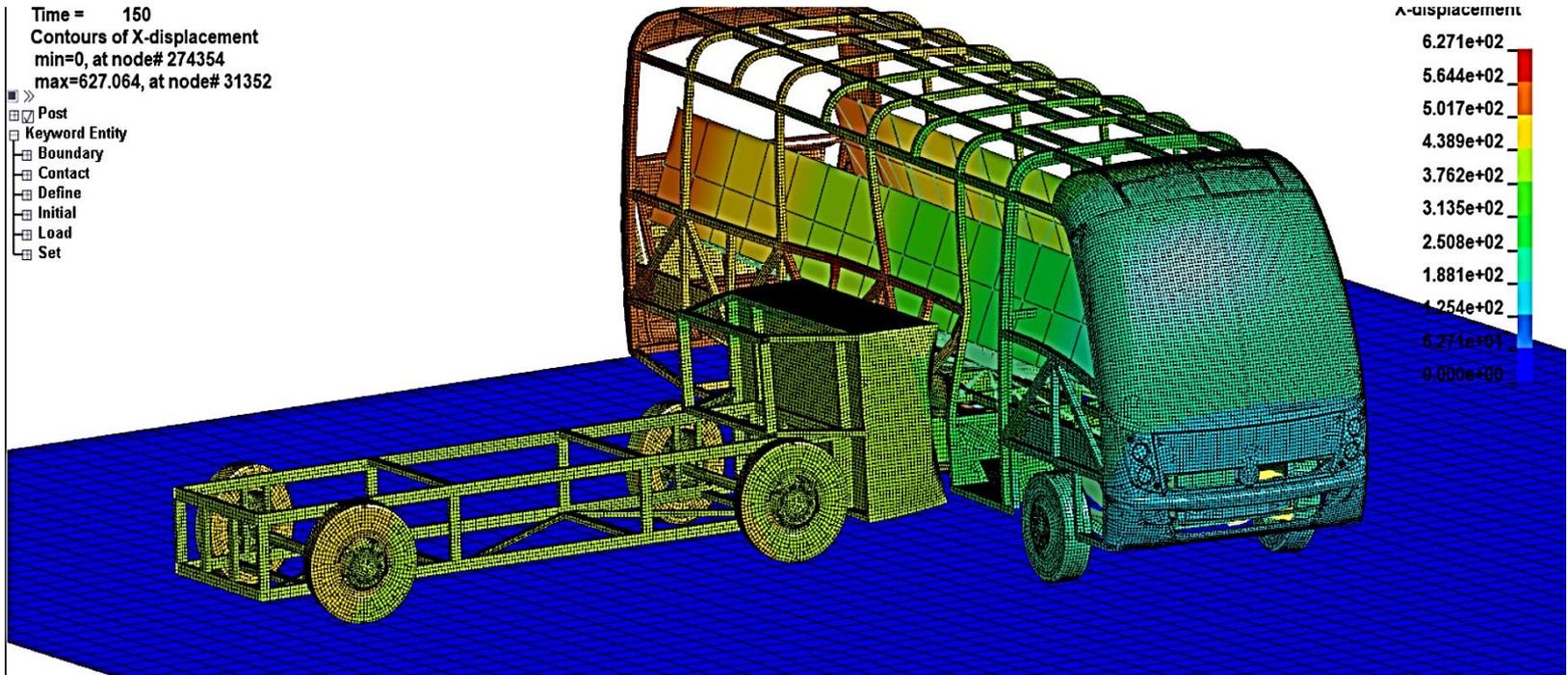
$$H = 4,8 \%$$

$$H < 10\%$$



IMPACTO LATERAL DERECHO

- Deformación direccional



Desplazamiento direccional en el eje X = 627 mm.



IMPACTO LATERAL DERECHO

- Análisis de elementos críticos

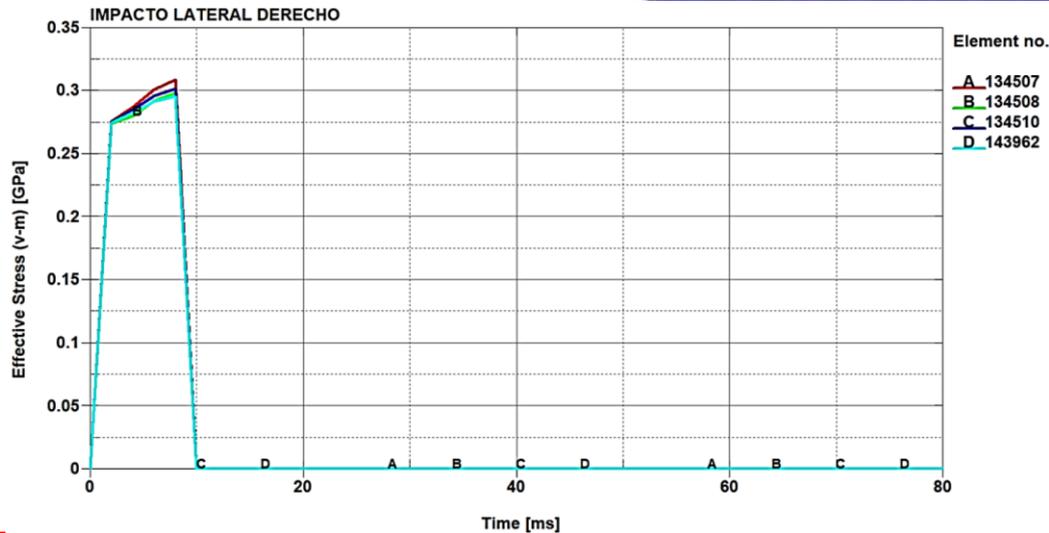
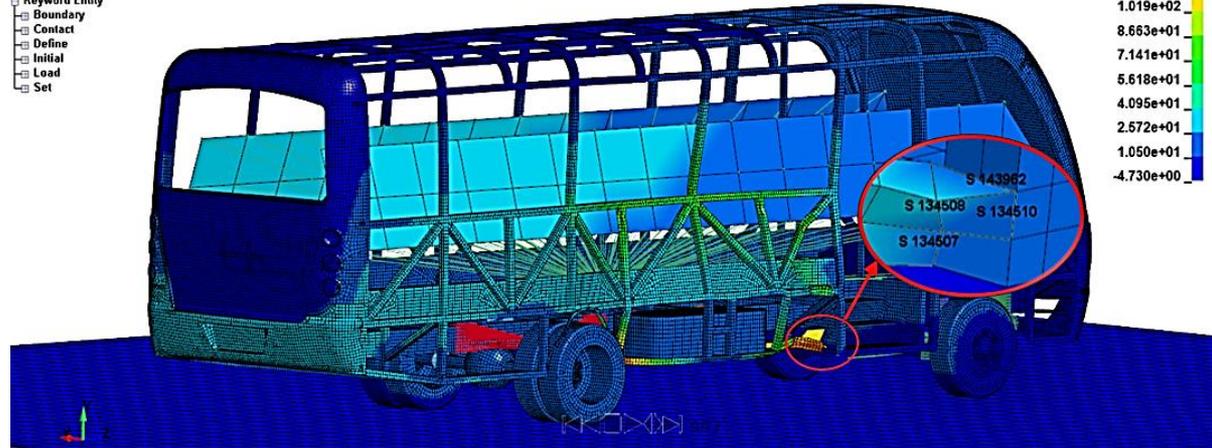
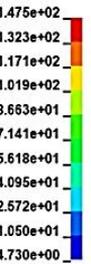
Elementos críticos seleccionados:

- ✓ 134507
- ✓ 134508
- ✓ 134510
- ✓ 143962

Time = 15.997
Contours of X-displacement
min=-4.73022, at node# 108265
max=147.542, at node# 31352

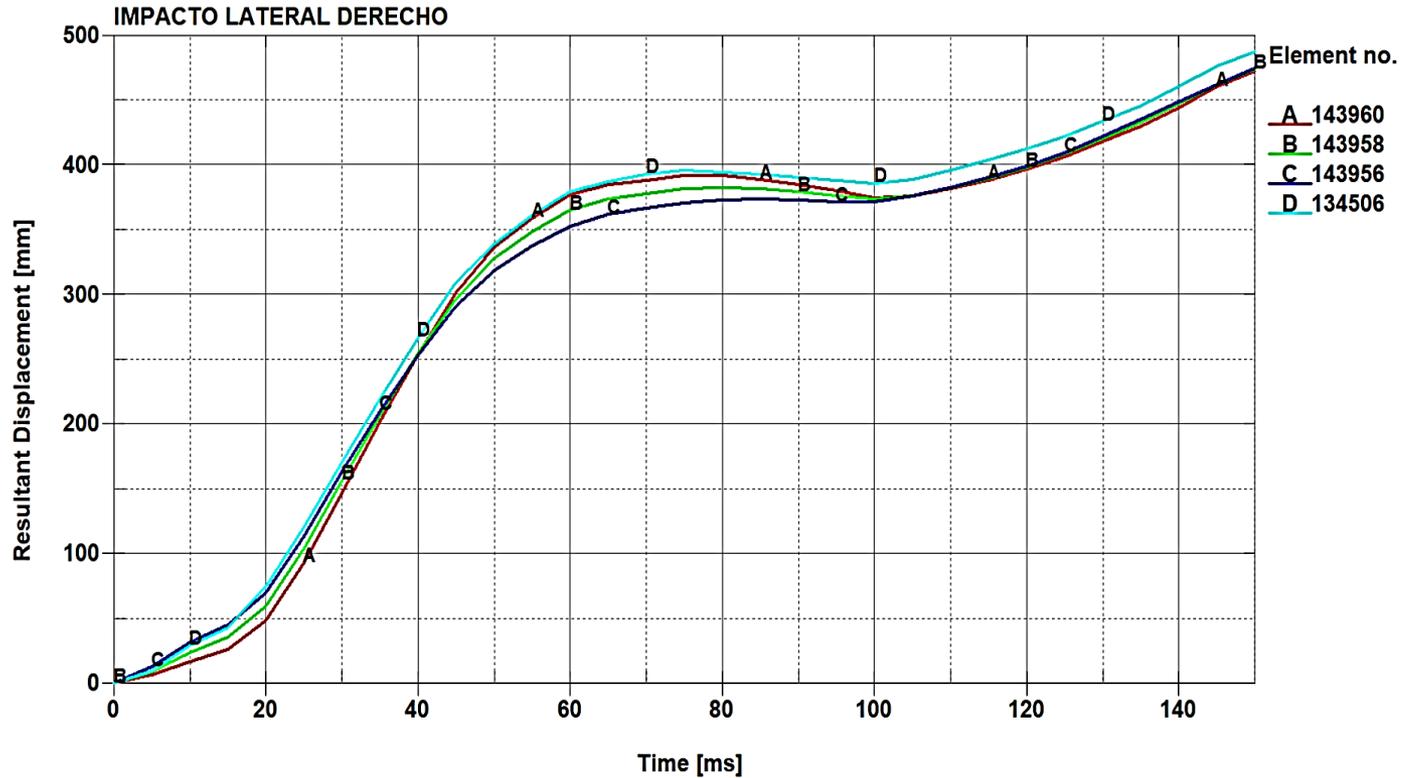
- Post
- Keyword Entity
- Boundary
- Contact
- Define
- Initial
- Load
- Set

X-displacement



IMPACTO LATERAL DERECHO

- Análisis de elementos críticos

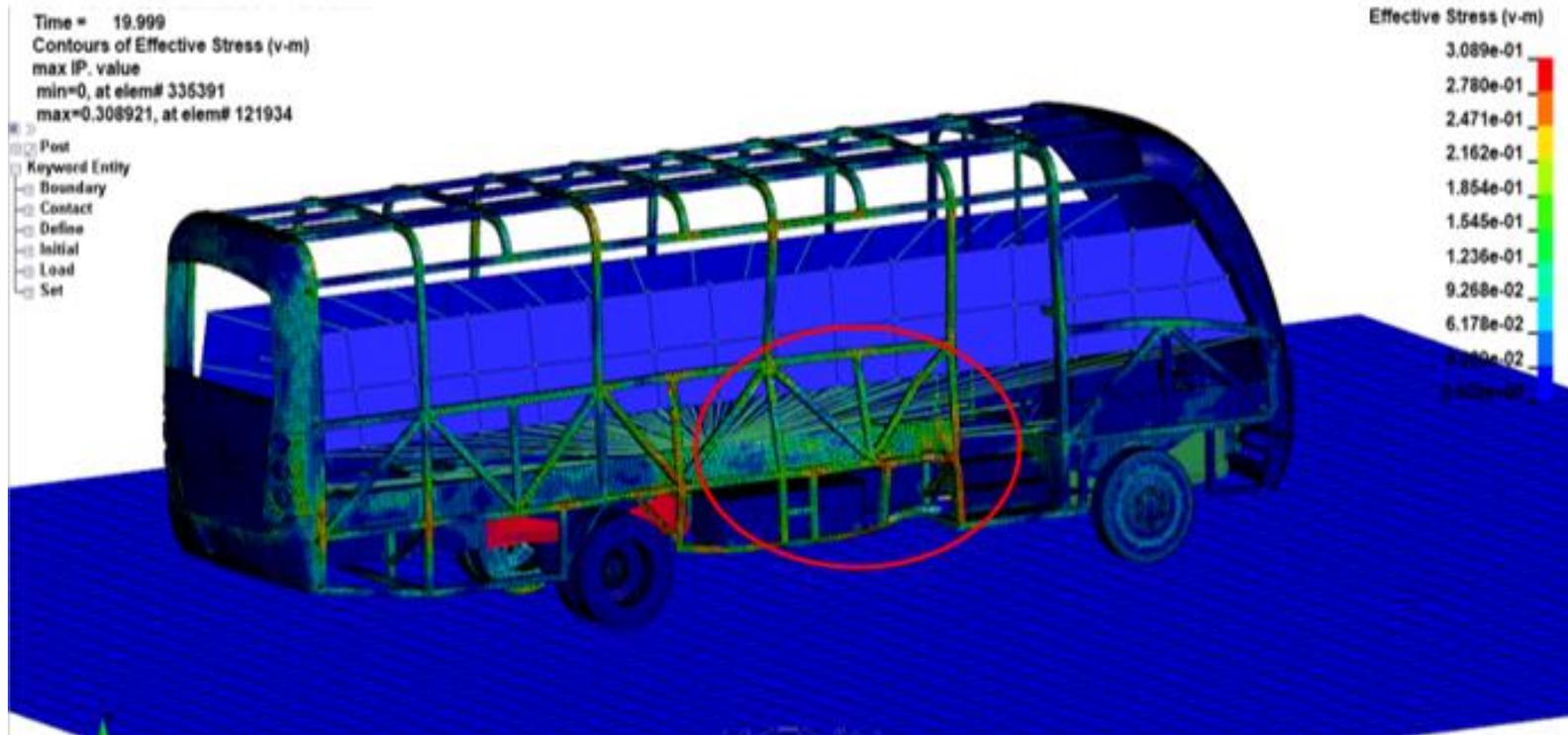


Desplazamiento resultante en los elementos seleccionados



IMPACTO LATERAL DERECHO

- Esfuerzo efectivo de Von Mises



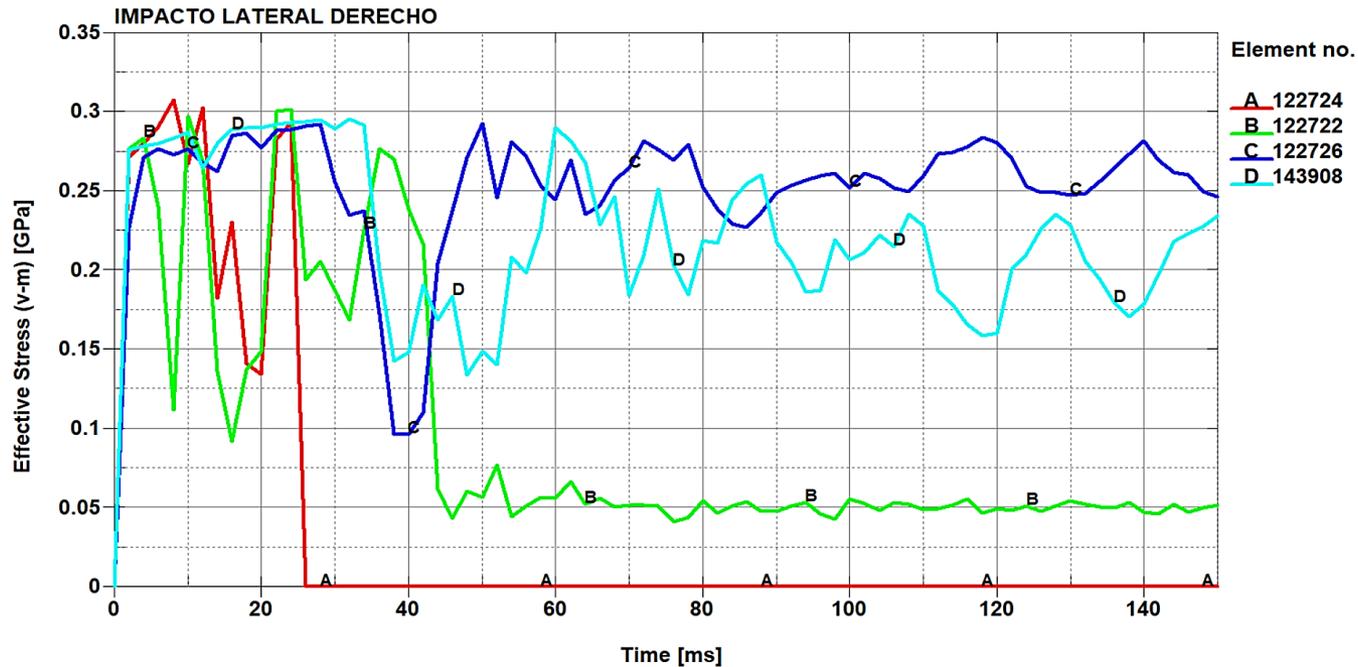
En la estructura se suscita un esfuerzo máximo de Von Mises en el elemento 121934

IMPACTO LATERAL DERECHO

- Esfuerzo efectivo de Von Mises

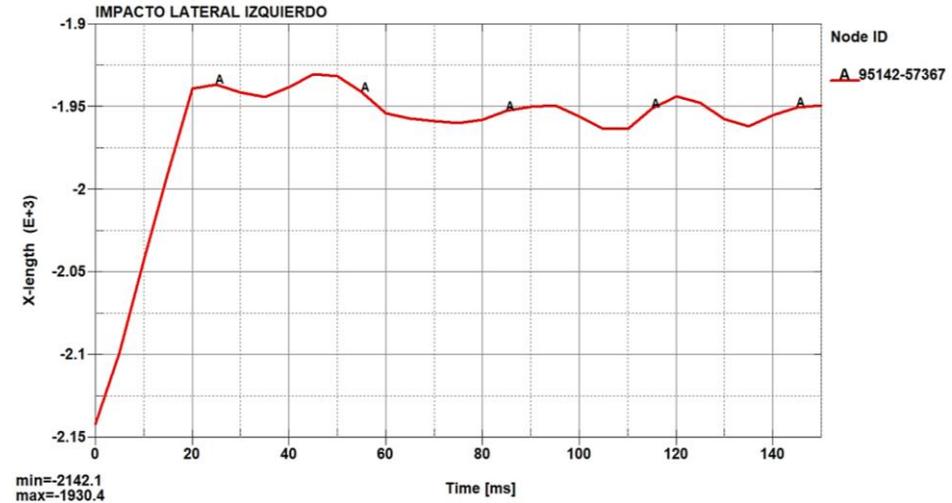
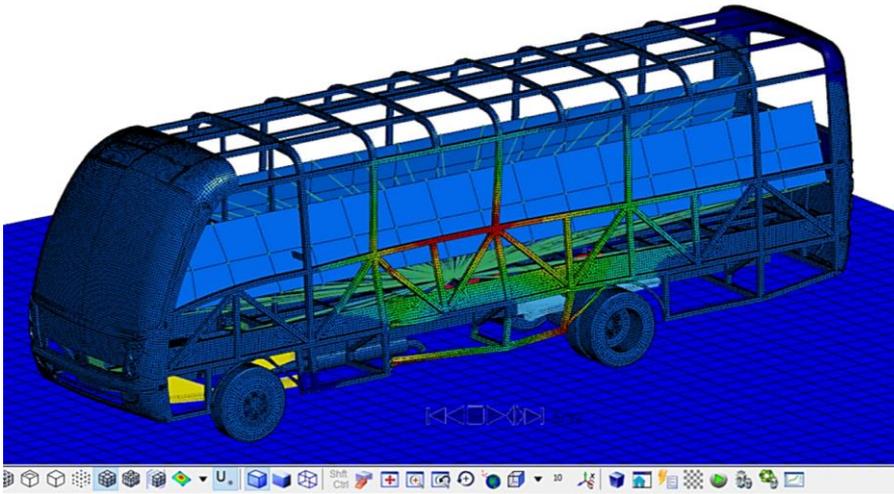
Elementos críticos seleccionados:

- ✓ 122724
- ✓ 122722
- ✓ 122726
- ✓ 143908



IMPACTO LATERAL IZQUIERDO

- Deformación estructural e invasión de la zona de supervivencia

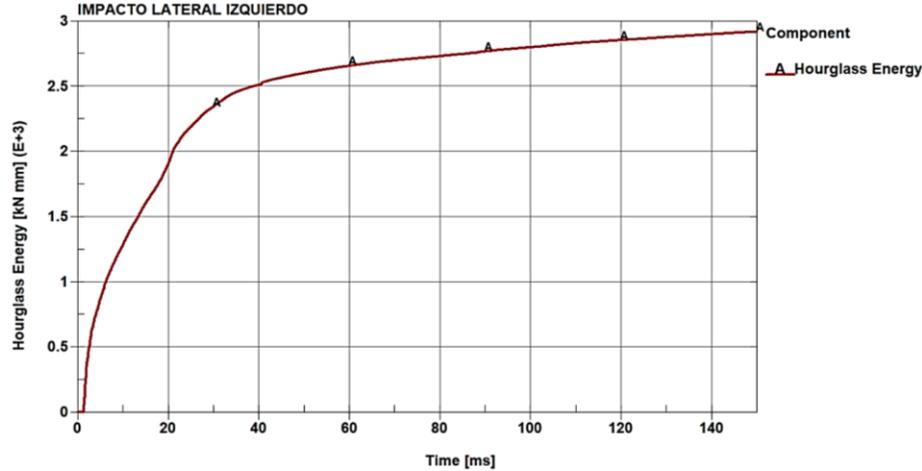


$$\Delta L = l_0 - l_f$$
$$\Delta L = 2142.1 [mm] - 1930.4 [mm]$$
$$\Delta L = 211.7 [mm]$$



IMPACTO LATERAL IZQUIERDO

- Validación del estudio virtual



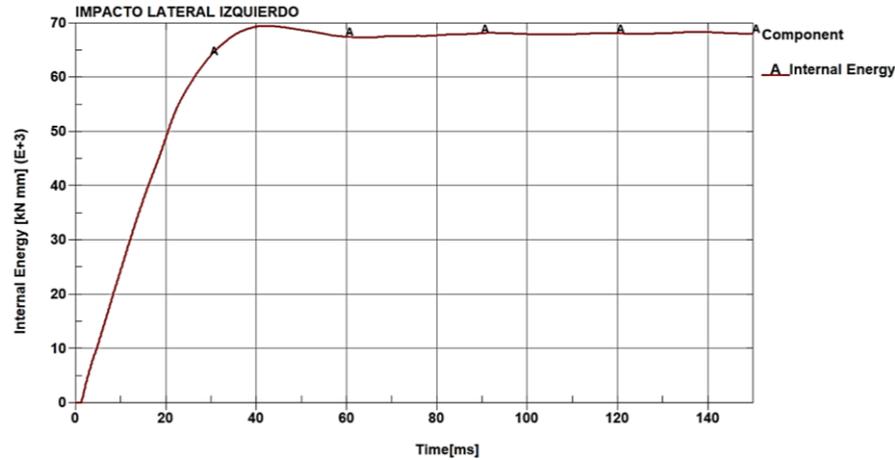
Energía de Hourglass = $2.92 \times 10^3 \text{ kN-mm}$

$$H = \frac{E. \text{Hourglass}}{E. \text{Interna}} * 100\%$$

$$H = \frac{2.92 \times 10^3}{6.80 \times 10^4} * 100\%$$

$$H = 4,2 \%$$

$$H < 10\%$$

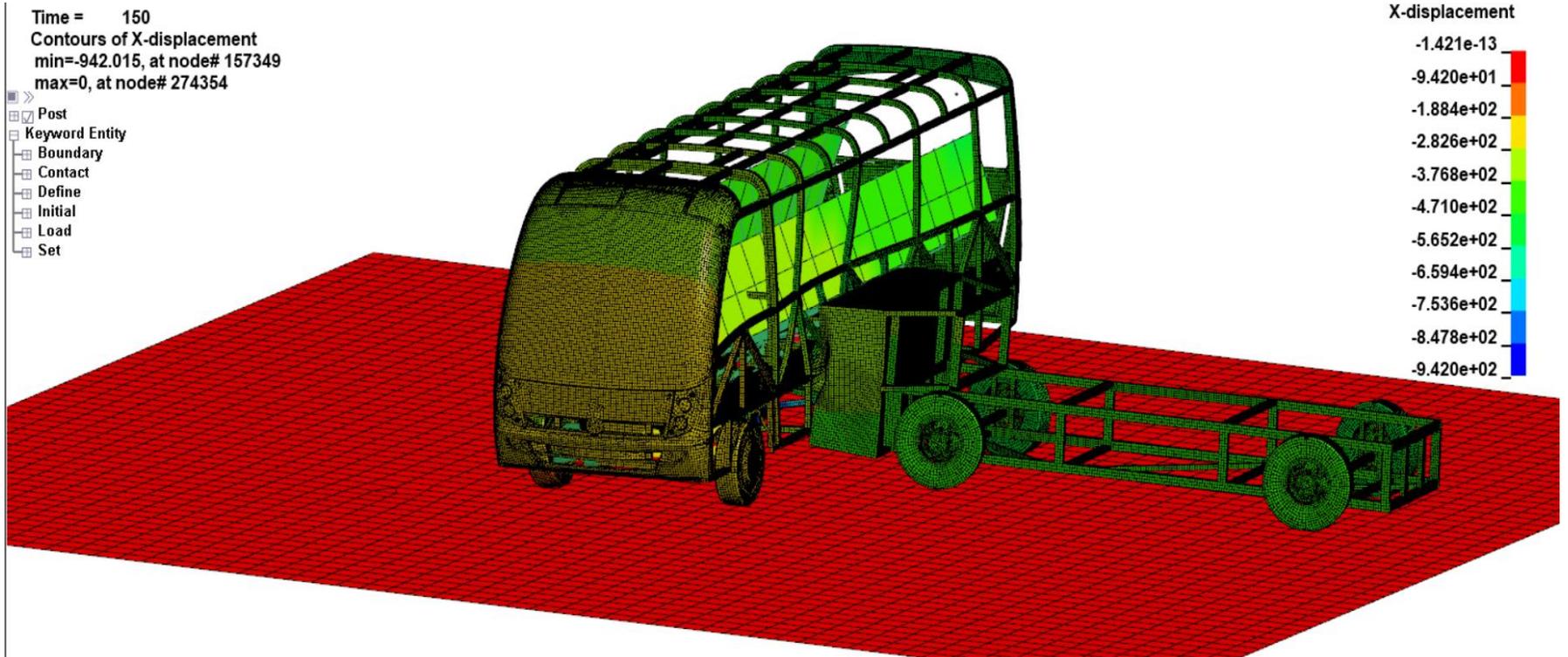


Energía Interna = $6.80 \times 10^3 \text{ kN-mm}$



IMPACTO LATERAL IZQUIERDO

- Deformación direccional



Desplazamiento direccional en el eje X = 942 mm.



IMPACTO LATERAL IZQUIERDO

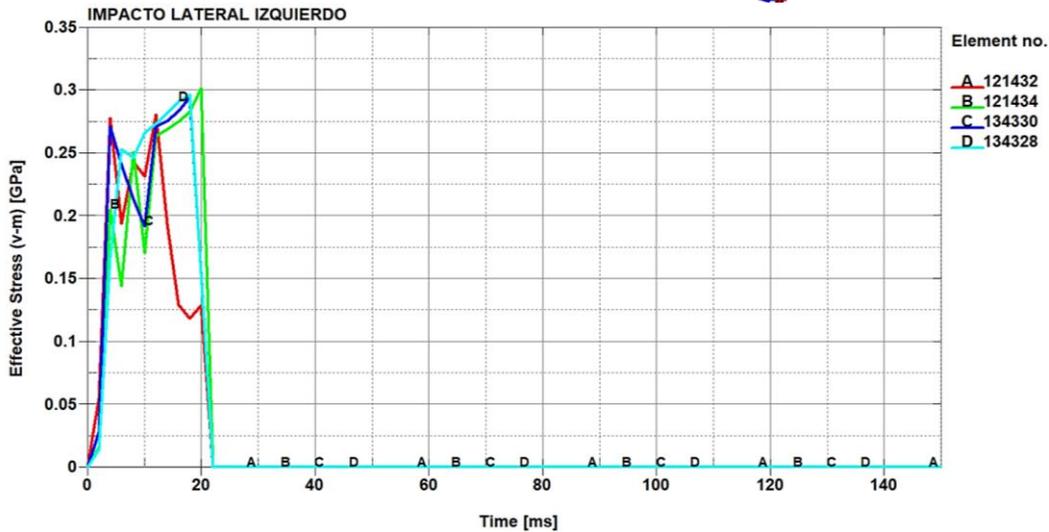
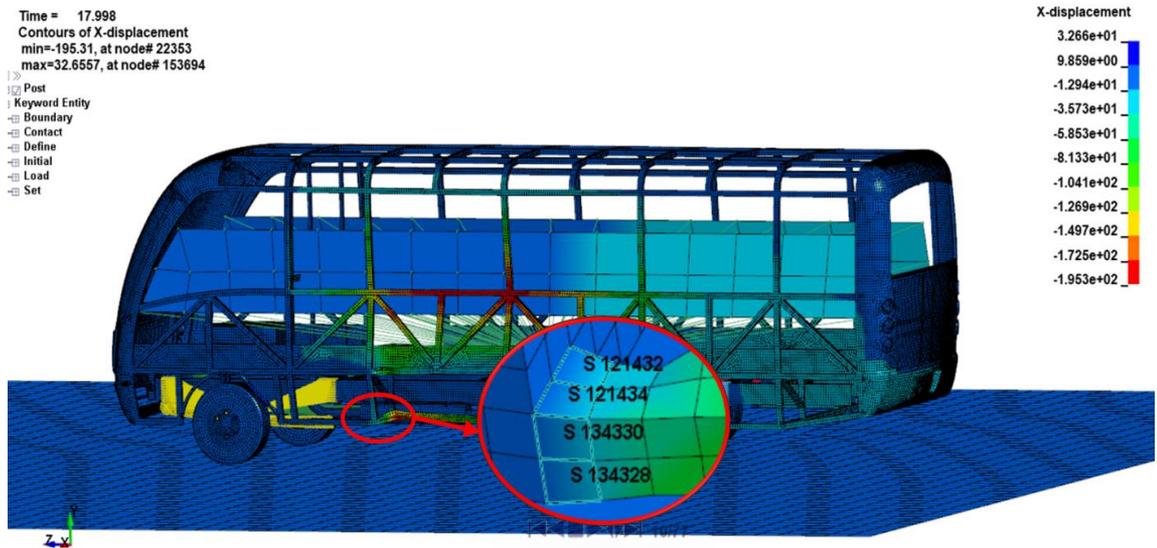
• Análisis de elementos críticos

Elementos críticos seleccionados:

- ✓ 121432
- ✓ 121434
- ✓ 134330
- ✓ 134328

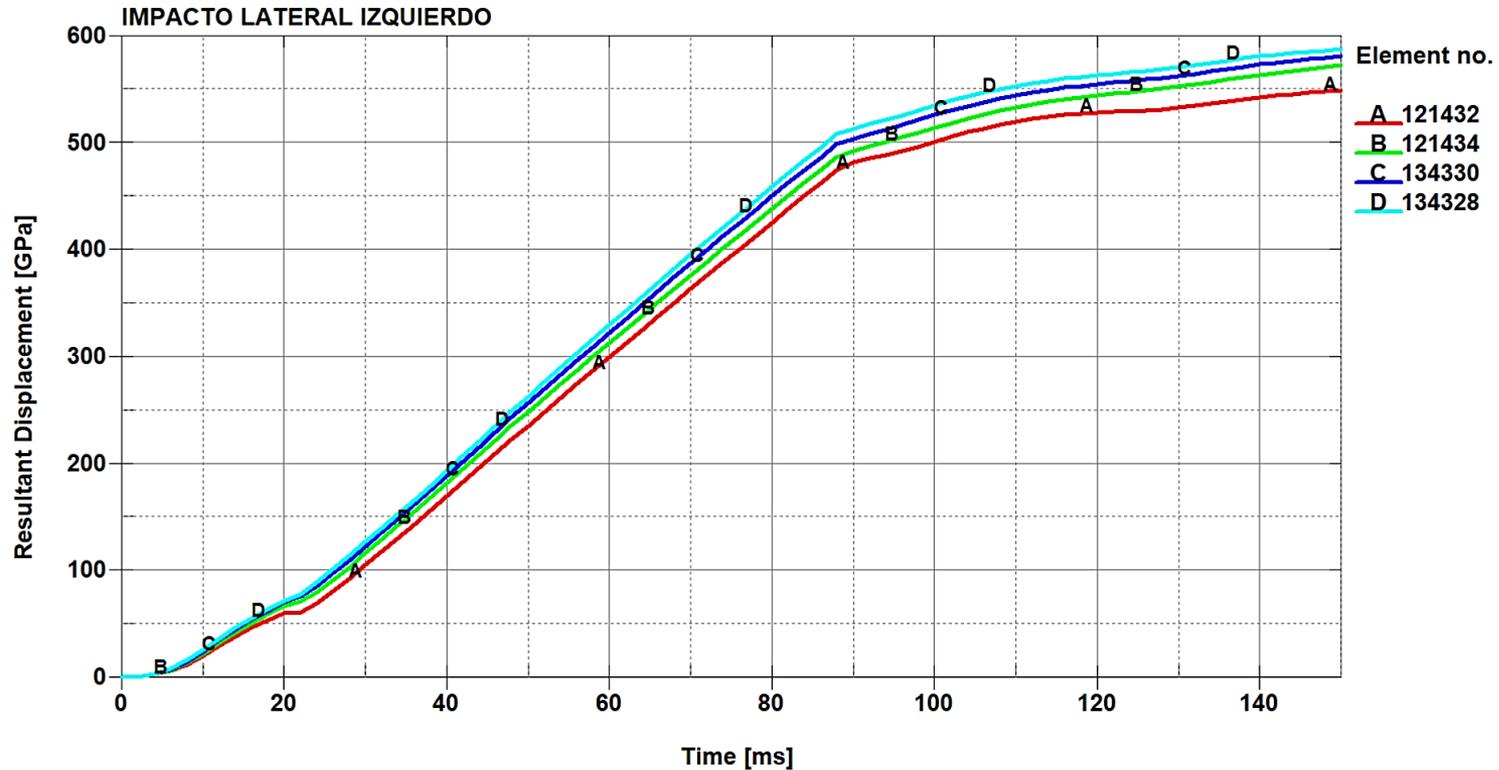
Time = 17.998
Contours of X-displacement
min=-195.31, at node# 22353
max=32.6557, at node# 153694

- Post
- Keyword Entity
- Boundary
- Contact
- Define
- Initial
- Load
- Set



IMPACTO LATERAL IZQUIERDO

- Análisis de elementos críticos

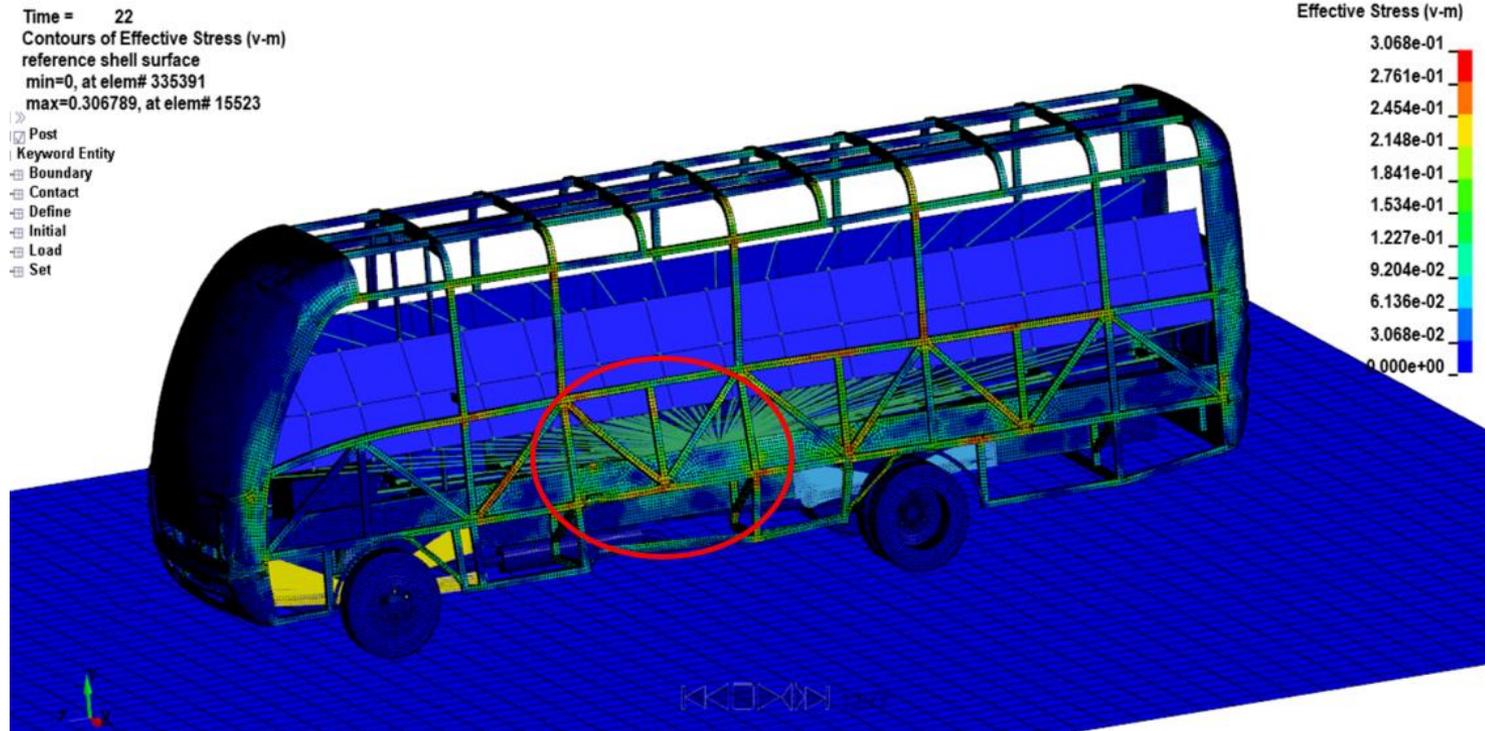


Desplazamiento resultante en los elementos seleccionados



IMPACTO LATERAL IZQUIERDO

- Esfuerzo efectivo de Von Mises



En la estructura se suscita un esfuerzo máximo de Von Mises en el elemento 15523

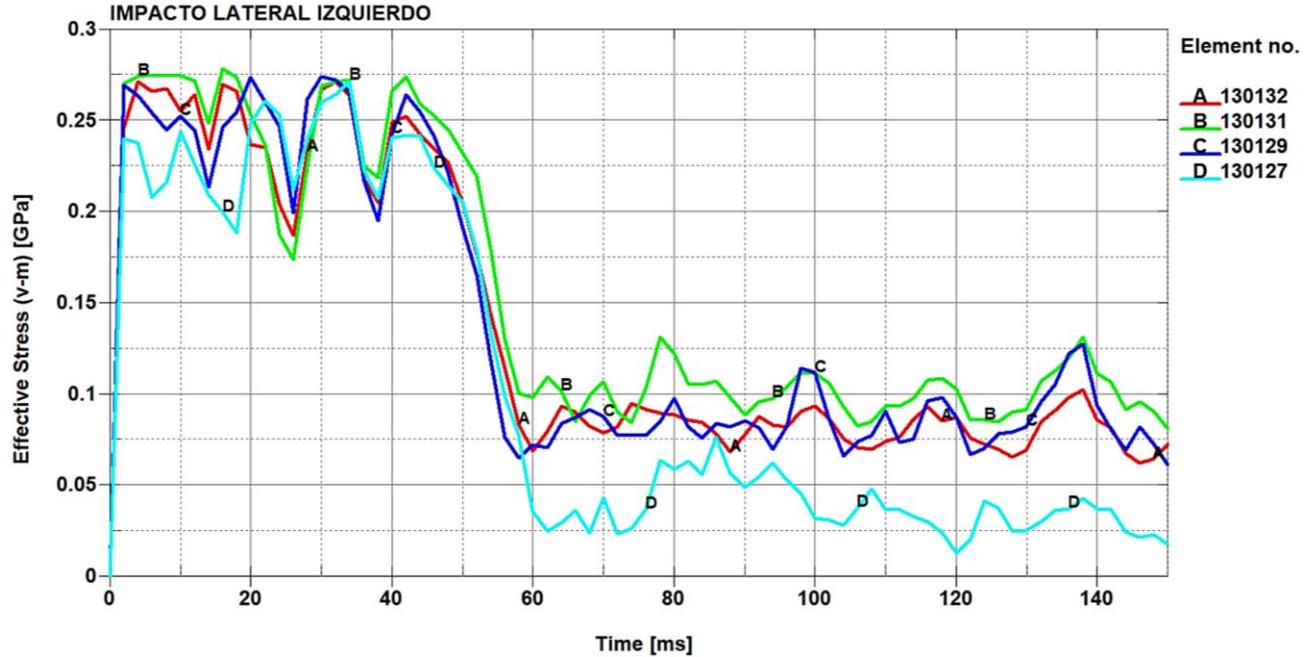


IMPACTO LATERAL IZQUIERDO

- Esfuerzo efectivo de Von Mises

Elementos críticos seleccionados:

- ✓ 130132
- ✓ 130131
- ✓ 130129
- ✓ 130127



CONCLUSIONES

- En el cálculo de la pérdida de energía del impacto lateral derecho la carrocería disipa un 79 % (7.203E4 J) de la energía cinética y en el ensayo virtual se disipa el 71% (6.74E4 J); En el cálculo de la pérdida de energía del impacto lateral izquierdo la carrocería disipa un 79 % (7.203E4 J) de la energía cinética y en el ensayo virtual se disipa el 72% (6.80E4 J) de acuerdo al fenómeno de deformación, esta diferencia de porcentajes se debe a factores como la geometría de los objetos de impacto, velocidad de impacto de la BDM, masas involucradas y tiempo de impacto; además el cálculo de pérdida de energía al 79% es la misma para los dos impactos laterales ya que no cambia la masa del bus y la velocidad de la barra deformable móvil de acuerdo a la ECE R95.
- Durante el análisis de impacto lateral derecho mediante el método de elementos finitos, ningún miembro estructural invade el habitáculo de la carrocería; sin embargo, la máxima deformación producida en la perfilería del panel izquierdo es de 202.1 mm, lo que representa una deformación significativa según las dimensiones de la carrocería del minibús escolar Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.



CONCLUSIONES

- Cuando se produce el análisis de impacto latera izquierdo mediante MEF, ningún miembro estructural invade el habitáculo de la carrocería; sin embargo, la máxima deformación producida en la perfilería del panel izquierdo es de 211.7 mm, lo que representa una deformación significativa según las dimensiones de la la carrocería del minibús escolar Volkswagen 9-150 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- En el impacto lateral derecho, la relación entre la energía interna y la energía de Hourglass es de 4,8%, menos del 10%, lo que demuestra que el estudio estructural es válido; los resultados son aceptables en las condiciones y características establecidas por la regulación R95.
- En el impacto lateral izquierdo, la relación entre la energía interna y la energía de Hourglass es de 4,2%, menos del 10%, lo que demuestra que el estudio estructural es válido; los resultados son aceptables en las condiciones y características establecidas por la regulación R95.



CONCLUSIONES

- Los elementos estructurales colapsan con mayor rapidez por concentración de esfuerzos que por deformación como se mostró en la figura 63 del impacto lateral derecho, debido a que: Los elementos críticos basado en el esfuerzo de Von Mises la carrocería presenta ruptura en la zona plástica pro deformación cuando alcanza un valor en el esfuerzo de 0.308 GPa, en el intervalo de tiempo de 0 a 20 ms, debido a la resolución de los resultados que estan dados cada 5 ms se presenta la ruptura antes de llegar 0.31 GPa, también el impacto afecta a la compuerta posterior debido a la deformación de la estructura provocada por el impacto, además se puede observar que los elementos no experimentan oscilaciones después de la zona proporcional, debido a que el material se rompe y las fuerzas internas se equilibran sin alterar a ningún elemento.



RECOMENDACIONES

- Realizar el diseño estructural de la carrocería tomando en cuenta el mayor porcentaje posible sus características tanto cualitativas como cuantitativas con el objetivo de que la simulación computacional no arroje resultados erróneos.
- Se recomienda realizar las simulaciones de impactos en equipos con tecnología de alta gama para obtener resultados a mínimas fracciones de tiempo desde que inicia el impacto hasta su finalización, lo cual nos mostrará datos mucho más aproximados a los reales, ya que al utilizar equipos informáticos básicos dichos resultados pueden tardar en procesarse varios días, semanas e incluso meses de acuerdo al tipo de estudio que se pretenda realizar.



RECOMENDACIONES

- Realizar simulaciones virtuales de todo tipo de impactos con la variación de parámetros como diseño, tipo de material, velocidad, y dimensionamiento de la barra deformable móvil asemejándose a vehículos livianos y pesados para obtener diferentes resultados que permitan interpretar lo que sucede en una situación real, ya que día a día se presentan varios siniestros de tránsito de distinta índole.
- En Ecuador se debe implementar una normativa que regule la realización de pruebas virtuales de impactos para buses en todas sus modalidades, que permita la validación de la estructura de la carrocería y establezca las condiciones y criterios para la homologación.





¡Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA