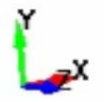
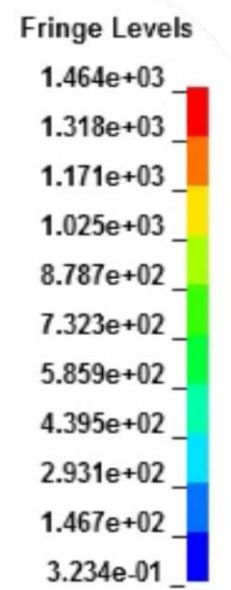


Contours of Effective Stress (v-m)
outer shell surface
min=0.3233e5, at element 40061
max=1.464e+03, at element 63063





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE UNA CARROCERÍA DE BUS INTERPROVINCIAL BASADO EN SIMULACIÓN VIRTUAL DE IMPACTO FRONTAL Y POSTERIOR PARA VERIFICAR MATERIALES Y GEOMETRÍAS DE CONSTRUCCIÓN

AUTOR: VÍCTOR SANTIAGO CHÁFUEL ORTEGA

DIRECTOR: ING. STALIN MENA PALACIOS.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las normativas actuales vigentes exigen que los vehículos brinden la máxima protección a los pasajeros.

La empresa Carrocerías Peres requiere el análisis estructural de sus armazones mediante ensayos virtuales de impacto frontal y posterior mejorar las técnicas de producción de buses. La Empresa se encuentra ubicada en el cantón Latacunga-Parroquia Eloy Alfaro Sector El Chan, provincia de Cotopaxi.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

JUSTIFICACIÓN

Contribuirá a la universidad en áreas investigativas, esperando obtener resultados que permitan generar fuentes de empleo basadas en construcción de carrocerías que brinden seguridad a los pasajeros del vehículo, además se considera que estos procesos de investigación contribuyen al mejoramiento de la matriz productiva del país.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVO GENERAL:

Analizar la estructura por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial basado en simulación virtual de impacto frontal y posterior para verificar materiales y geometrías de construcción.





OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar Normas Técnicas de Estándares Internacionales para la simulación virtual de impacto frontal y posterior de una carrocería de bus interprovincial.
- Analizar diferentes materiales utilizados en la construcción de una carrocería de bus, para determinar el material que cumple con las características y propiedades de resistencia necesaria al someterse a un fenómeno de colisión.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Modelar la geometría en 3D de la carrocería del bus Interprovincial en un sistema CAD.
- Realizar la comparación entre dos geometrías de carrocerías de buses interprovinciales, a fin de determinar la geometría idónea y así contribuir al desarrollo de la competencia creativa y analítica de la empresa Carrocerías Peres en lo que respecta a seguridad de pasajeros.





OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Configurar y ejecutar la simulación virtual de impacto frontal y posterior por el método de elementos finitos con los parámetros definidos en la reglamentación para el ensayo de impacto.
- Obtener resultados de la prueba virtual de impacto frontal y posterior que permitan verificar y analizar las consideraciones de la geometría y materiales de construcción de la carrocería.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

HIPÓTESIS:

¿Es el armazón frontal la sección que presenta mayor deformación respecto al armazón posterior una vez producida la simulación virtual de impacto?





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

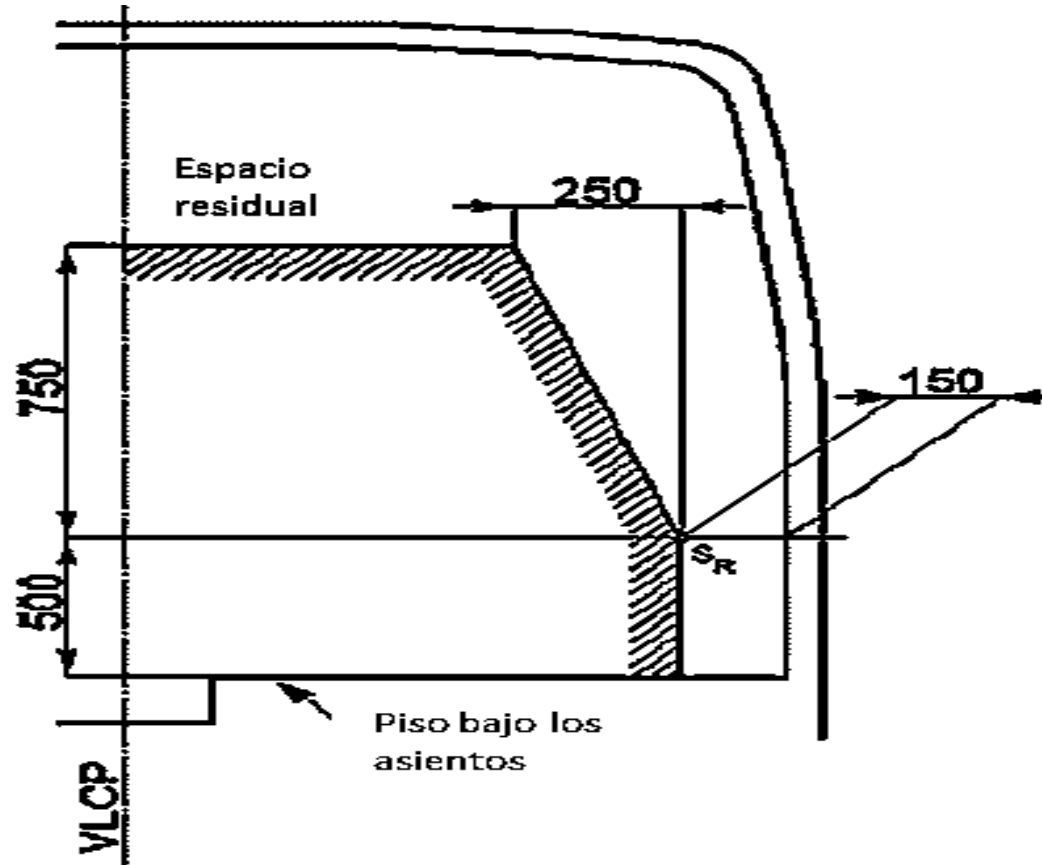
CARROCERÍA DE BUS

Un bus es un vehículo automotor compuesto por un chasis y una carrocería acondicionada para el transporte de pasajeros con una capacidad especificada de asientos. (Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 043, 2014)





Zona de supervivencia





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS DE IMPACTO

- Impacto frontal
- Impacto posterior



Prueba de impacto frontal EuroNCAP

Fuente: (EuroNCAP, 2015)



Impacto posterior a un vehículo según EuroNCAP

Fuente: (Martín Valencia, 2008)





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

NORMATIVA INTERNACIONAL PARA IMPACTO FRONTAL Y POSTERIOR

- **Regulación ECE R94.**

Velocidad de prueba: **56 km/h**

- **Regulación ECE R32**

Velocidad: 35 km/h.

El peso total (masa) del carro y del impactador será de 1.100 ± 20 kg.





Materiales utilizados en la construcción de la carrocería

Propiedades mecánicas del Acero ASTM A500

Módulo de elasticidad

$E = 200 \text{ GPa}$

Módulo de elasticidad por cortante

$G = 76,923 \text{ GPa}$

Resistencia a la fluencia

$F_y = 320 \text{ MPa}$

Resistencia última

$F_u = 405 \text{ MPa}$

Porcentaje de elongación

21%-25%

Fuente: (AHMSA, 2014)





Materiales utilizados en la construcción de la carrocería

Propiedades mecánicas Acero Galvanizado

Propiedades mecánicas			
Calidad	Fluencia (MPa)	Resistencia (MPa)	% Elongación
CS Comercial	-	-	25
SS G33 (230)	230	310	20
SS G40 (275)	275	380	16
SS G50 (350)	350	450	12

Fuente: (Páginas Amarillas Cantv, 2014)





Especificaciones de perfiles utilizados en la carrocería

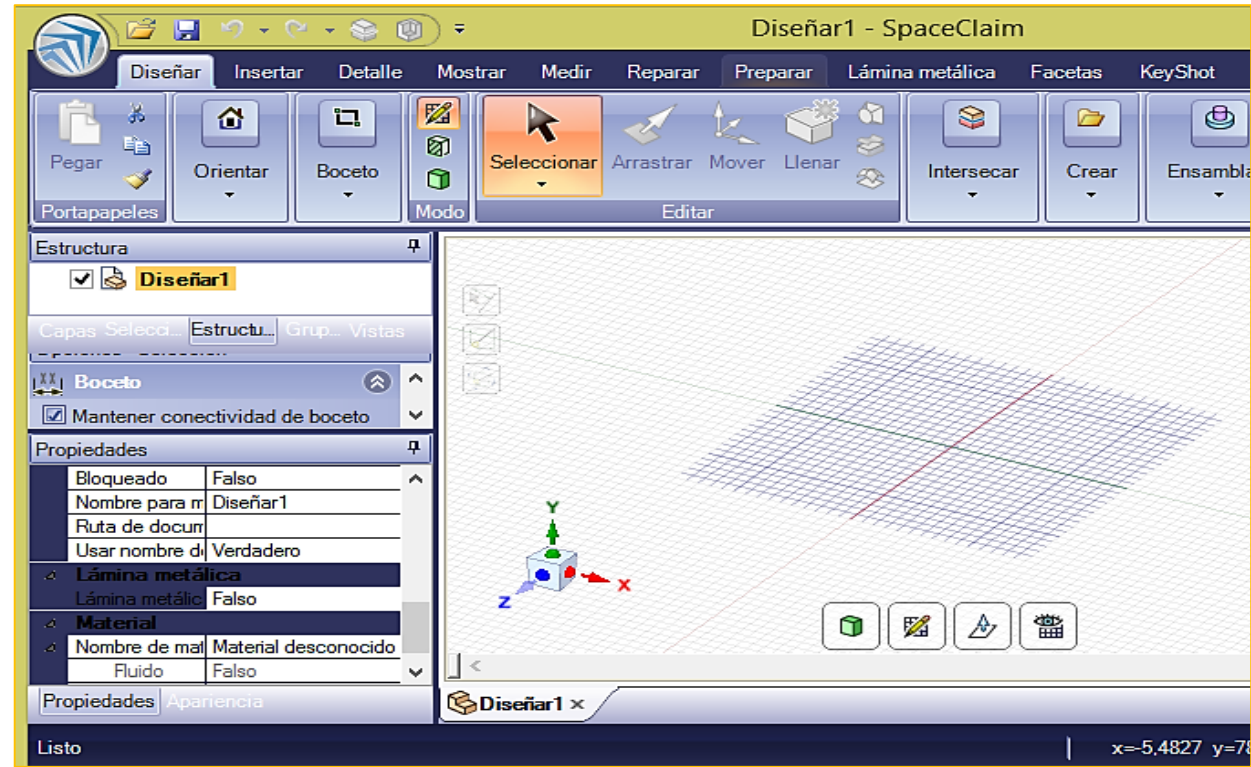
Unidad Estructural	Designación (mm)	Material Acero
Piso (Plataforma)	Tubo cuadrado 50*50*3	ASTM
	Tubo rectangular 100*50*3	A500/Acero
	Tubo rectangular 60*40*3	Galvanizado
	Perfil C 100*50*50*3	
Laterales	Tubo cuadrado 50*50*2	ASTM
	Perfil C 50*25*25*2	A500/Acero
	Perfil L 50*50*3	Galvanizado
	Perfil Zócalo 216*39*28*23*2	
Techo	Tubo cuadrado 50*50*2	ASTM
	Tubo rectangular 50*25*2	A500/Acero
	Perfil Z	Galvanizado
Frontal	Tubo cuadrado 50*50*2	ASTM
	Tubo cuadrado 40*40*2	A500/Acero
Posterior	Tubo cuadrado 50*50*2	Galvanizado
	Tubo cuadrado 40*40*2	ASTM
		A500/Acero
		Galvanizado





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sistema CAD

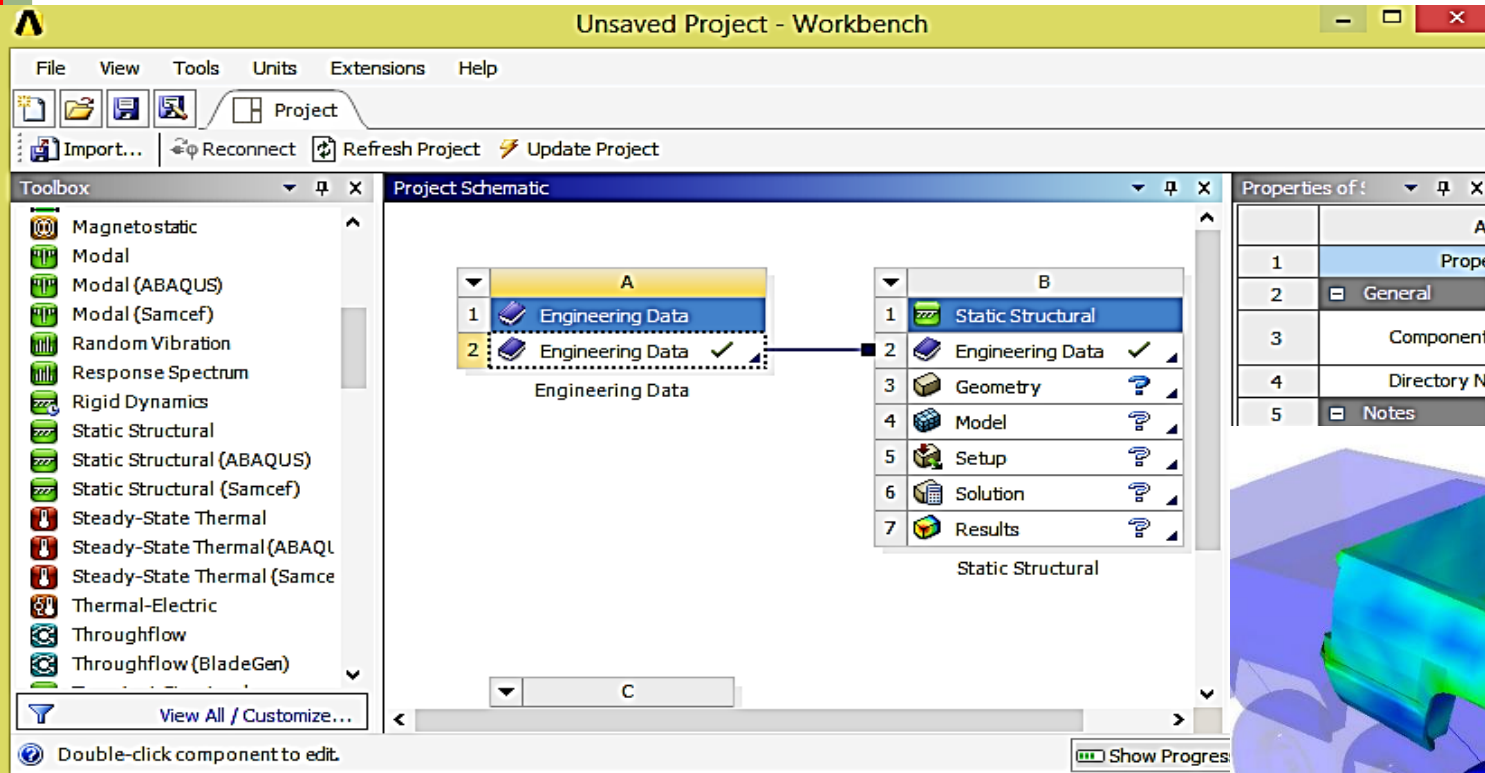


Interfaz del Software CAD

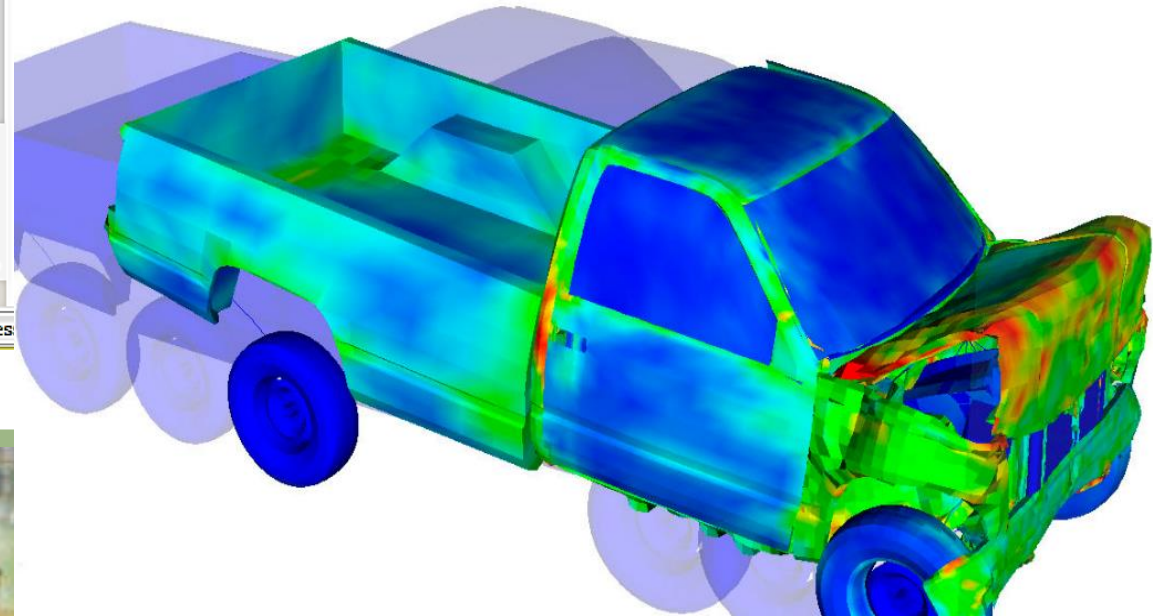




Sistema CAE



Interfaz del sistema CAE



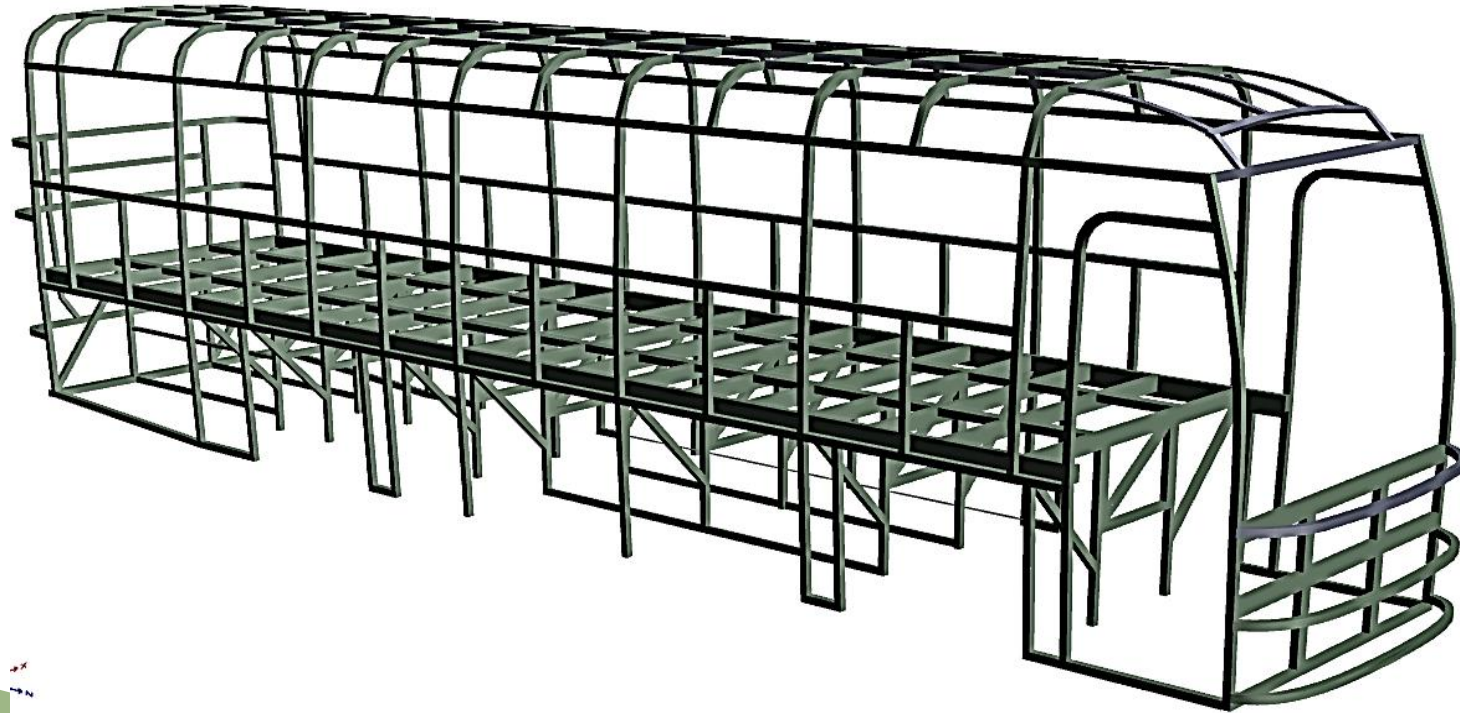


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR APLICADA A LA CARROCERÍA

Construcción del modelo





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR APLICADA A LA CARROCERÍA

Especificación de las propiedades de los materiales

3	ACERO ASTM A500	<input type="checkbox"/> General Materials Non-linear.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, D 2, Table 5-110.1
Properties of Outline Row 3: ACERO ASTM A500			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	<input checked="" type="checkbox"/> Density	7850	kg m ⁻³
3	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulus and Poiss...	
5	Young's Modulus	2E+11	Pa
6	Poisson's Ratio	0,3	
7	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
8	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
9	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Field Variables		
10	Temperature	Yes	
11	Shear Angle	No	
12	Degradation Factor	No	
13	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Bilinear Isotropic Hardening		
14	Yield Strength	320	MPa
15	Tangent Modulus	1,45E+09	Pa
16	<input checked="" type="checkbox"/> Tensile Ultimate Strength	405	MPa
17	<input checked="" type="checkbox"/> Specific Heat	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR APLICADA A LA CARROCERÍA

Especificación de las propiedades de los materiales

4	<input checked="" type="checkbox"/> ACERO GALVANIZADO	<input type="checkbox"/> General Materials Non-linear.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, I 2, Table 5-110.1
Properties of Outline Row 4: ACERO GALVANIZADO			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	<input checked="" type="checkbox"/> Density	7850	kg m ⁻³
3	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulus and Poiss...	
5	Young's Modulus	2E+11	Pa
6	Poisson's Ratio	0,3	
7	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
8	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
9	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Field Variables		
10	Temperature	Yes	
11	Shear Angle	No	
12	Degradation Factor	No	
13	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Bilinear Isotropic Hardening		
14	Yield Strength	350	MPa
15	Tangent Modulus	1,45E+09	Pa
16	<input checked="" type="checkbox"/> Tensile Ultimate Strength	450	MPa
17	<input checked="" type="checkbox"/> Specific Heat	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹





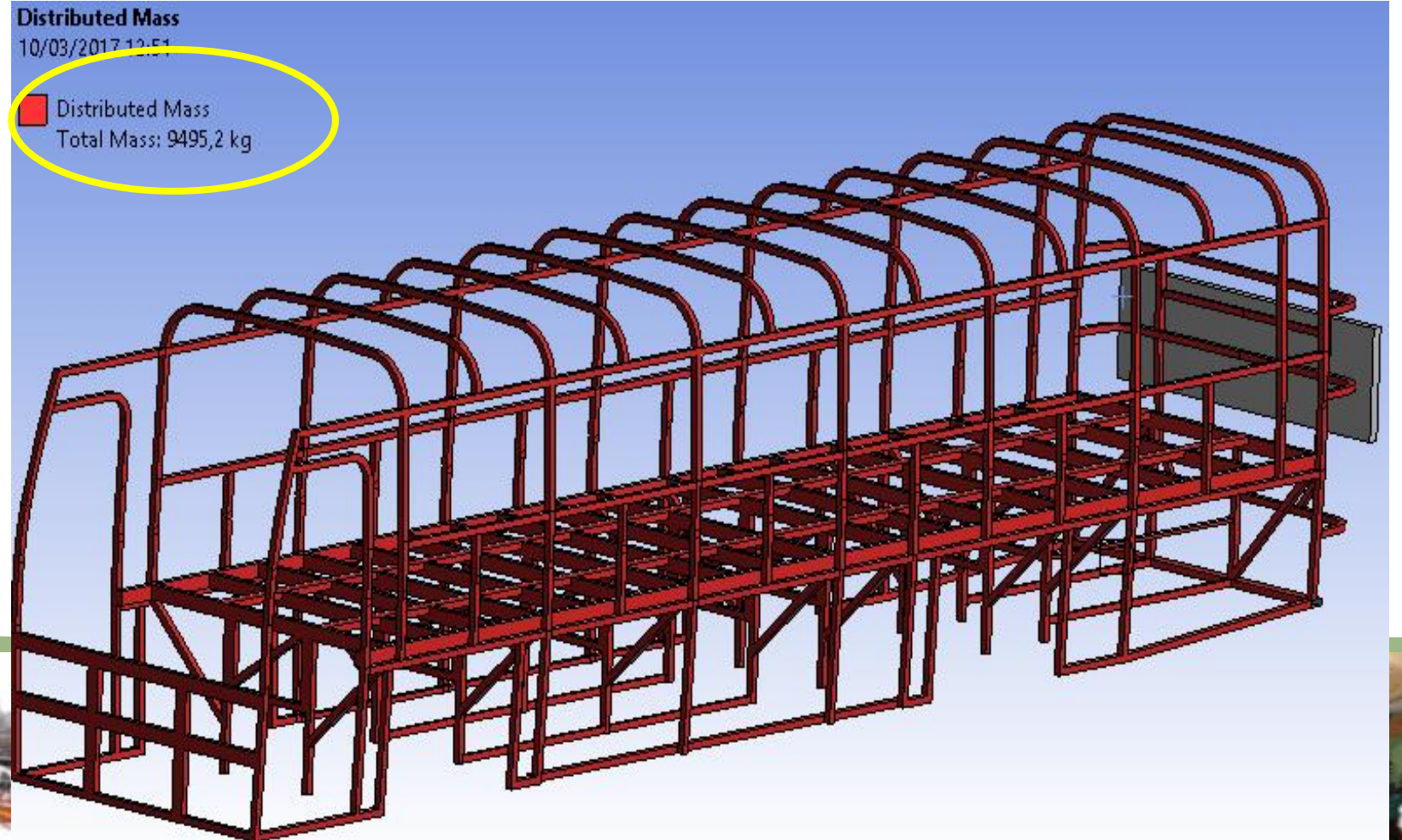
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR APLICADA A LA CARROCERÍA

Condiciones de frontera

1. Masa distribuida





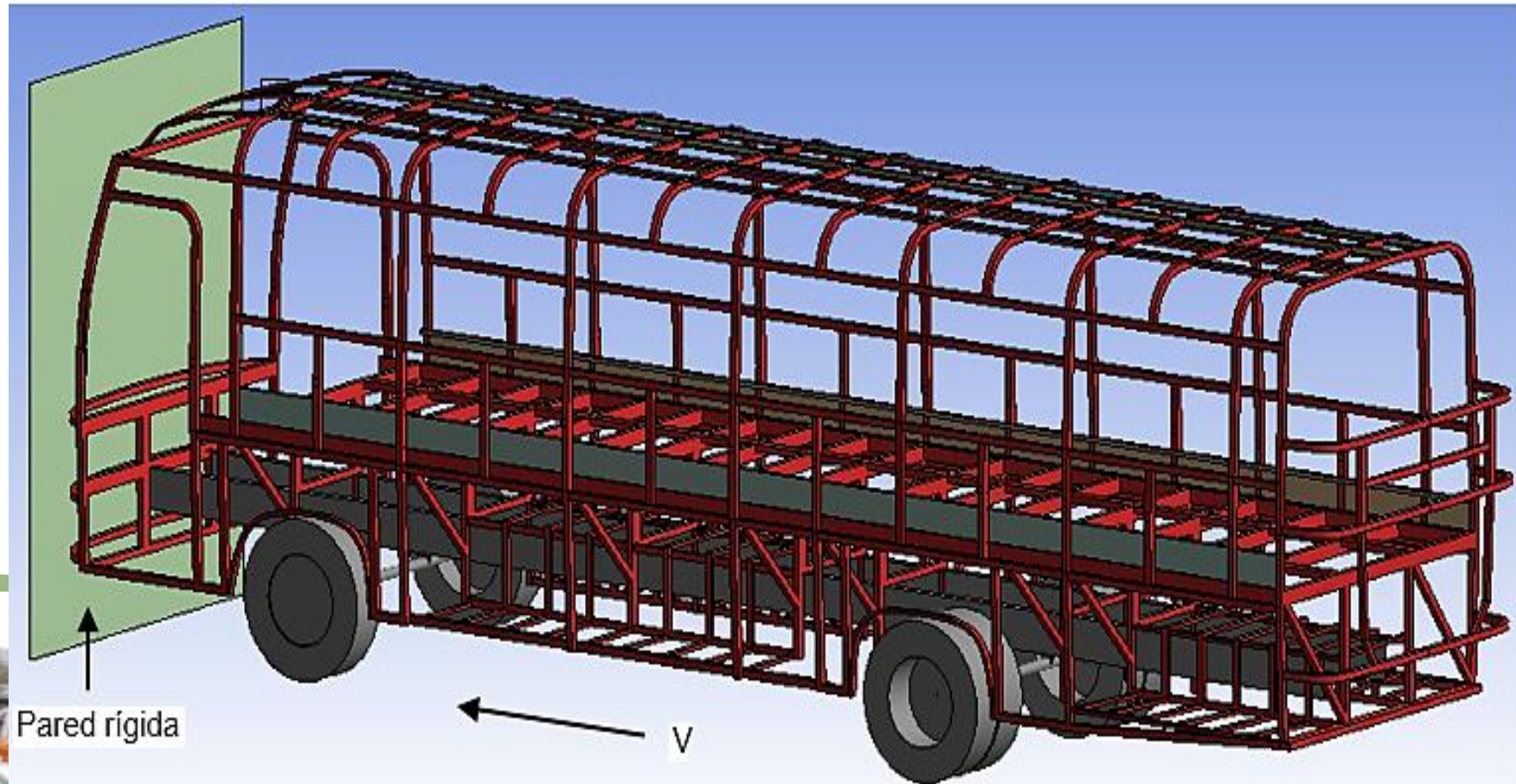
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR APLICADA A LA CARROCERÍA

Condiciones de frontera

2. Velocidad inicial





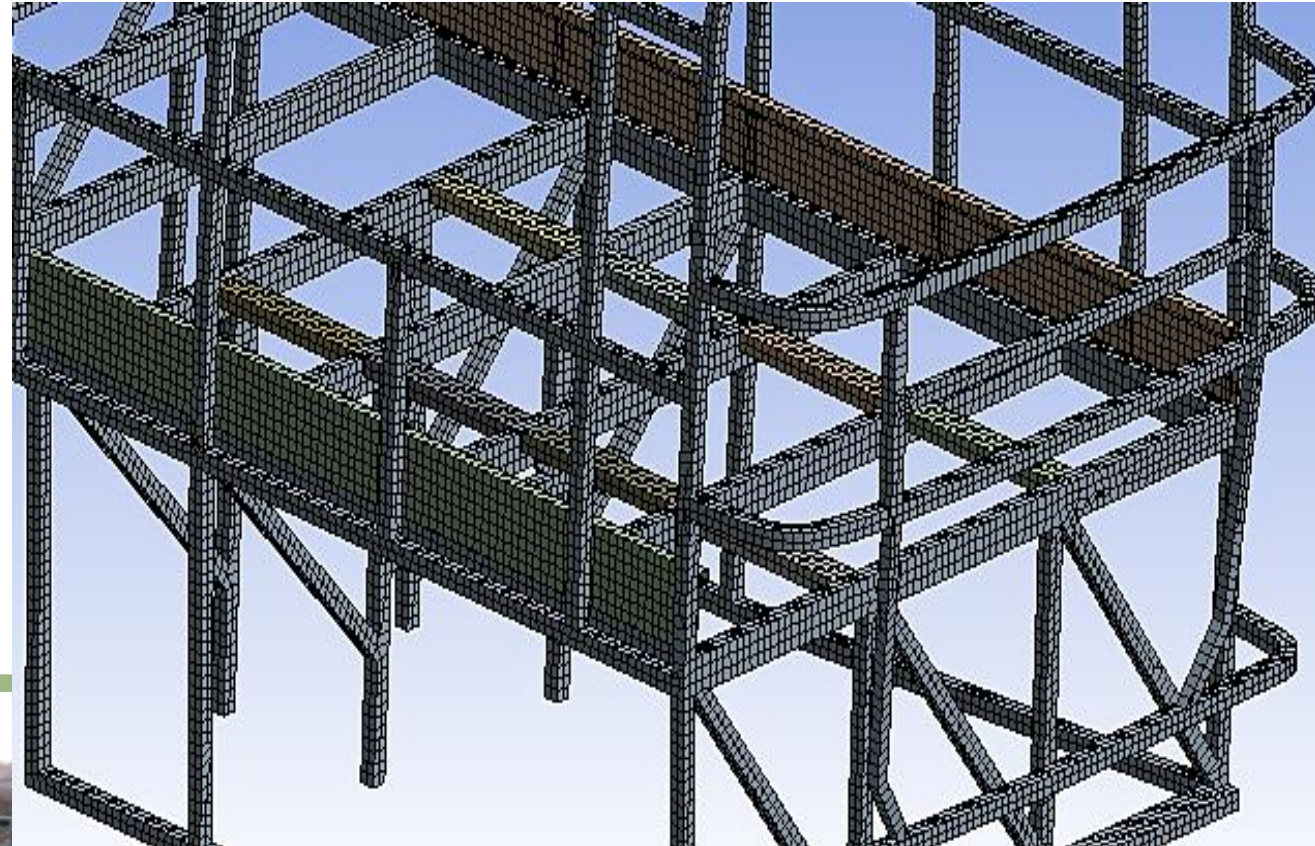
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR APLICADA A LA CARROCERÍA

Configuración para la simulación por el Método elementos finitos

1. Generación de malla





ESPE

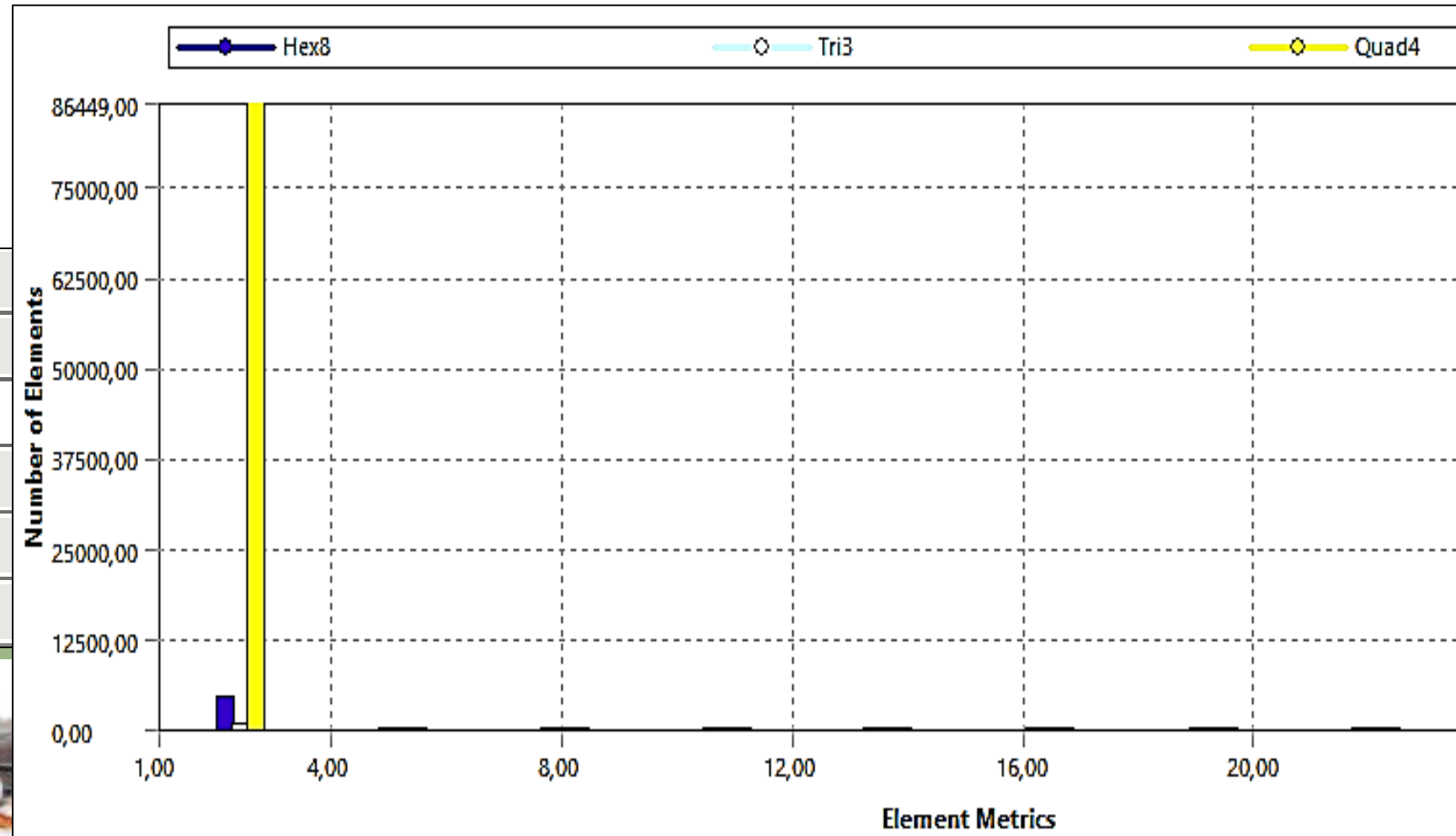
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR APLICADA A LA CARROCERÍA

Configuración para la simulación por el Método elementos finitos

2. Relación Jacobiana

<input type="checkbox"/> Nodes	104305
<input type="checkbox"/> Elements	91480
Mesh Metric	Jacobian Ratio
<input type="checkbox"/> Min	1,
<input type="checkbox"/> Max	29,144
<input type="checkbox"/> Average	1,048





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ANÁLISIS DE RESULTADOS





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Las simulaciones realizadas con materiales y geometrías de construcción diferentes.

Material 1 (M1): Acero ASTM A500

Material 2 (M2): Acero Galvanizado

Geometría 1 (G1): Carrocería estándar

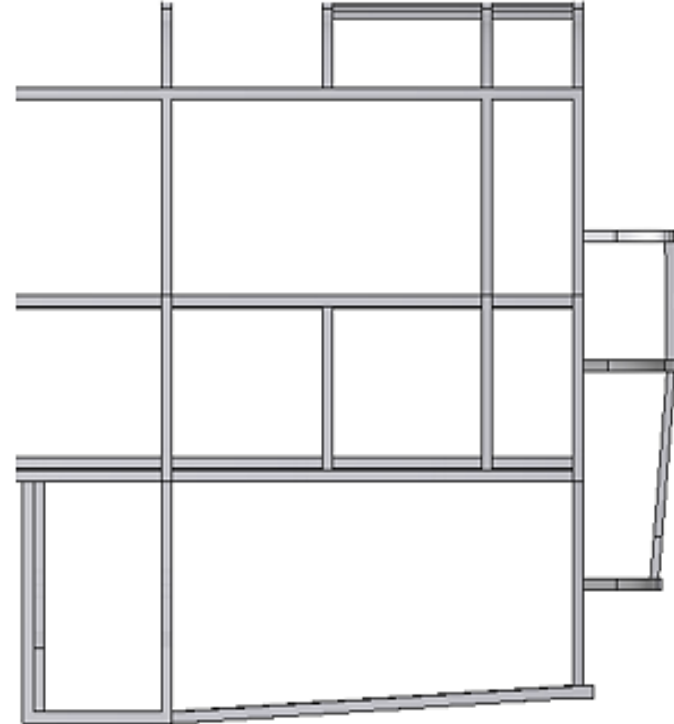
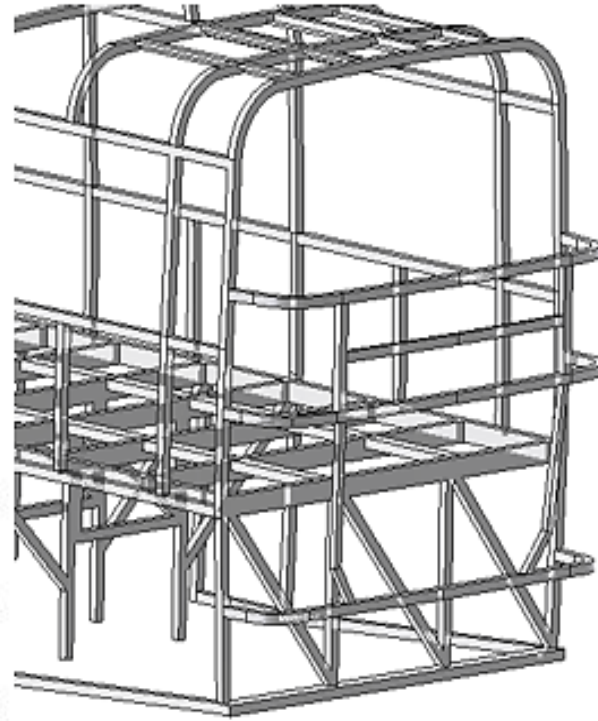
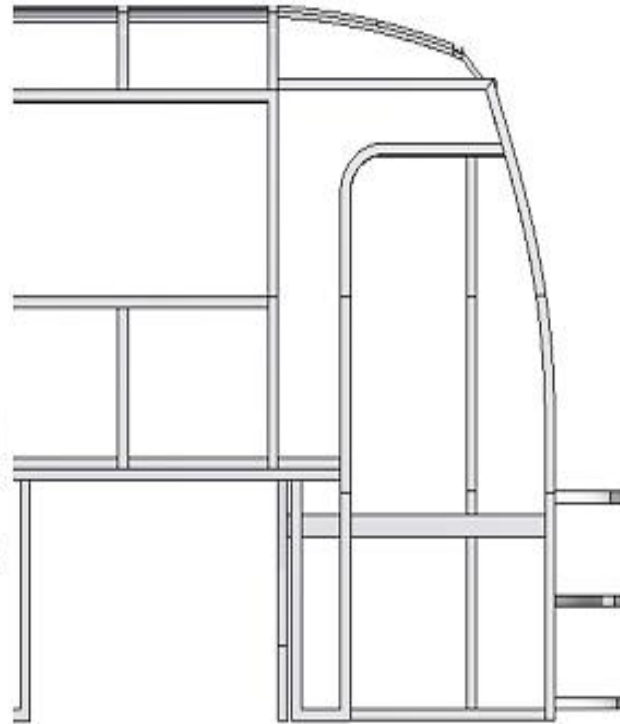
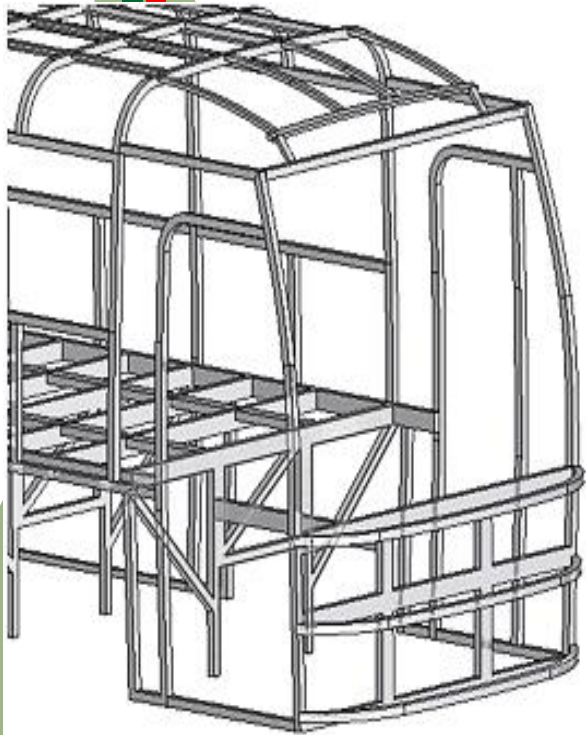
Geometría 2 (G2): Carrocería modificada





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Geometría 1 (G1): Carrocería estándar



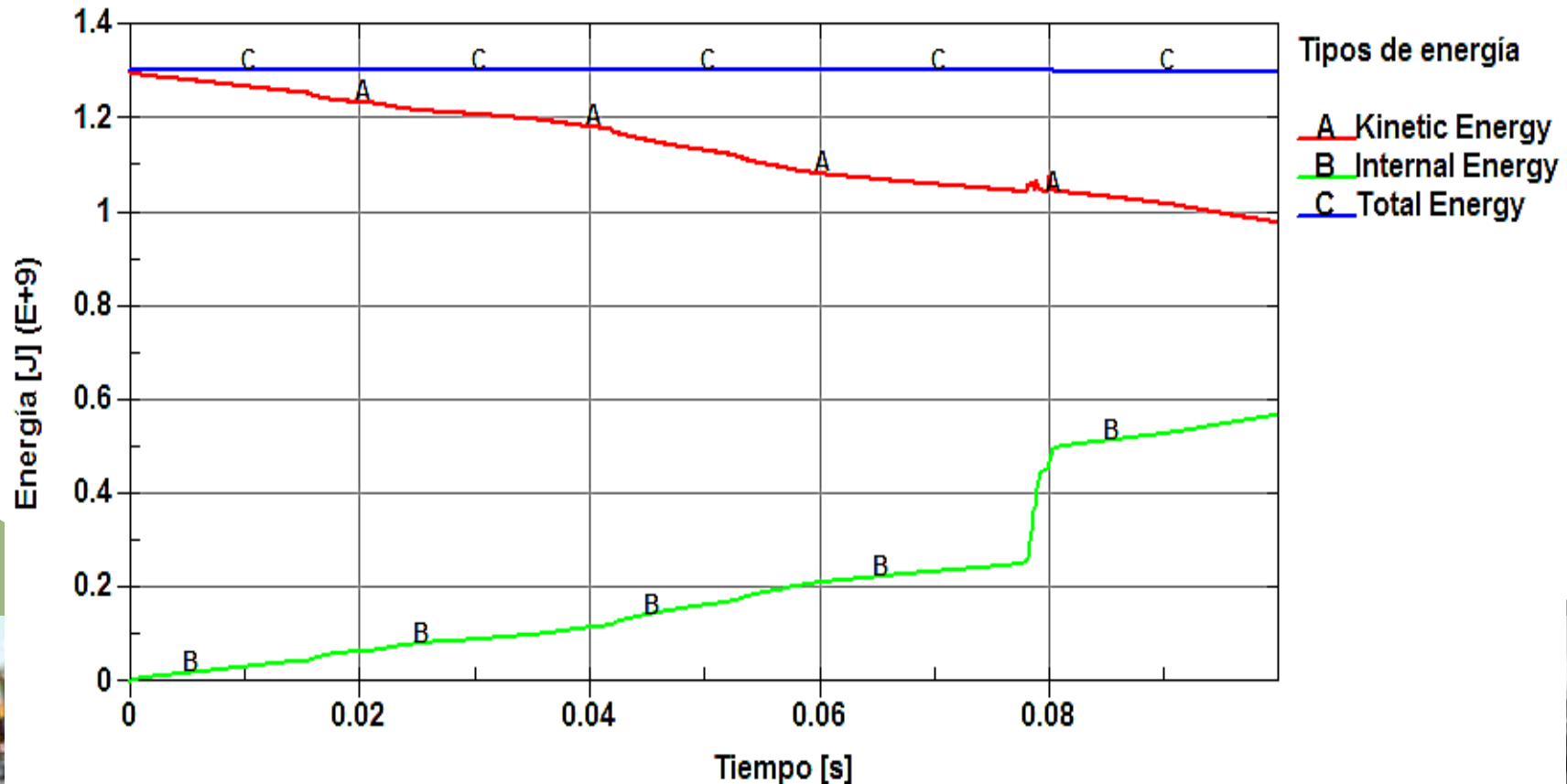


Geometría 2 (G2): Carrocería modificada



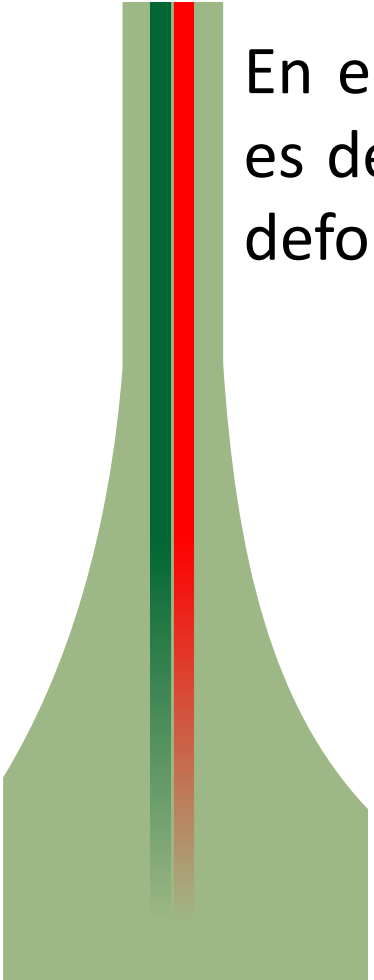
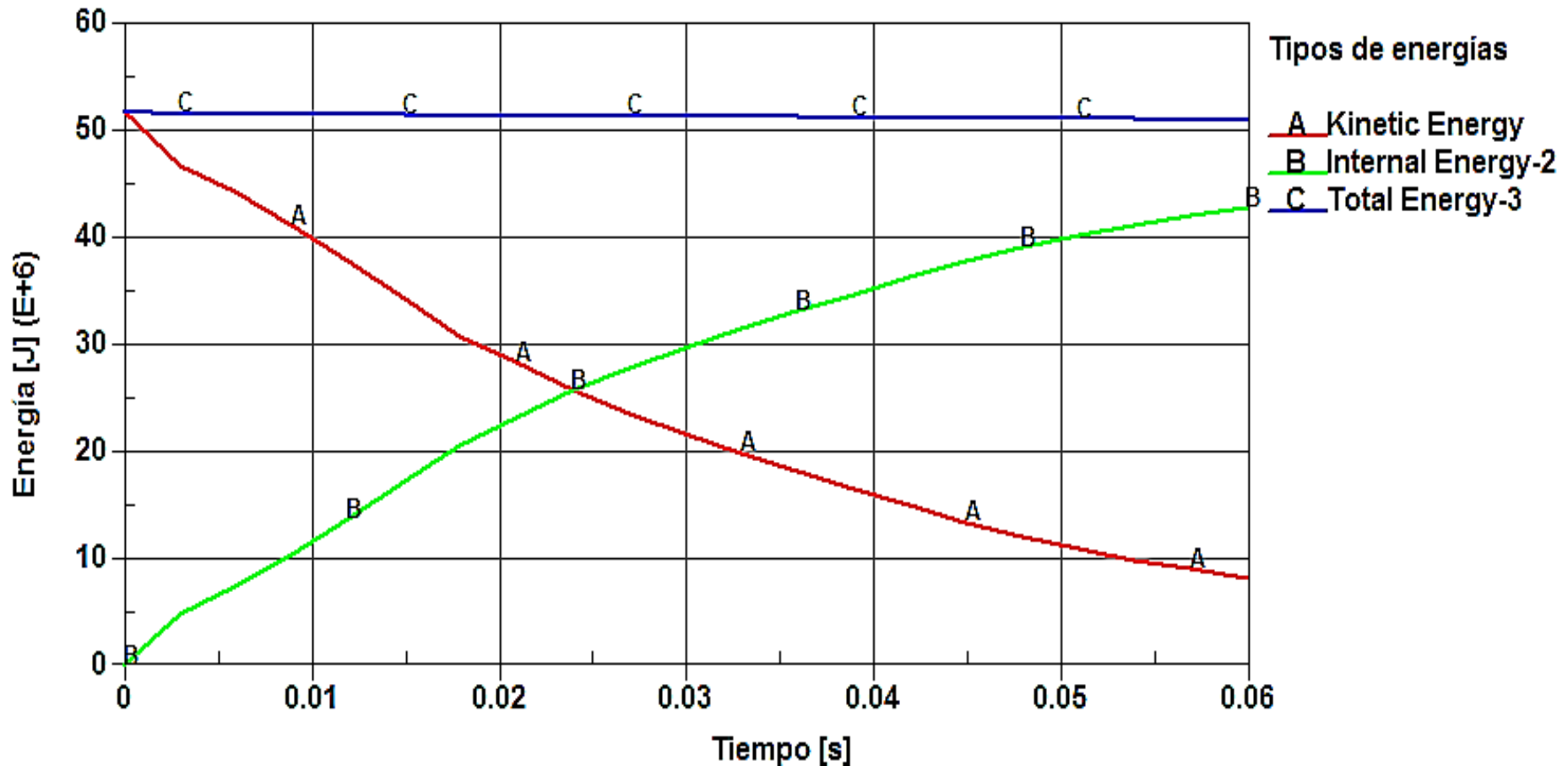


En el impacto frontal, la energía cinética producida antes del impacto es de 1.3×10^6 [J], ésta energía se disipa en un 85 % (1.10×10^6 [J]) por la deformación de la carrocería luego de haberse generado la colisión.





En el impacto posterior, la energía cinética producida antes del impacto es de 51×10^6 [J] la misma que se disipa en un 86 % (44×10^6 [J]) por la deformación de la carrocería luego del impacto.





CONCLUSIONES

- En el cálculo de la pérdida de energía del impacto frontal, la carrocería disipa un 87% ($1.14E6$ J) de la energía cinética producida antes del impacto y en el ensayo virtual se disipa el 85% ($0.58E9$ J) por medio del fenómeno de deformación; en el cálculo de la pérdida de energía del impacto posterior la carrocería disipa un 90% ($46.61E6$ J) de la energía cinética y en el ensayo virtual se disipa el 86% ($44E6$ J); esta diferencia de porcentajes se debe a factores como la geometría, velocidad de impacto, masas involucradas y tiempo de impacto.





CONCLUSIONES

- En el impacto frontal la carrocería estándar (G1) con material Acero ASTM A500 (M1) posee mayor capacidad para absorber la energía de la colisión con $431E6$ J respecto al impacto frontal de la carrocería (G2) con material Acero Galvanizado con $351E6$, esto demuestra que la carrocería G1M1 disipa 19% más energía que con la carrocería G2M2, al tratarse de una colisión totalmente frontal la estructura puede soportar mejor el impacto, consiguiendo menores deformaciones con la que el habitáculo de seguridad tiene un menor riesgo de verse afectado y de esta manera se puede garantizar la protección de los pasajeros.





CONCLUSIONES

- En el impacto posterior la carrocería estándar (G2) con material Acero Galvanizado (M2) posee mayor capacidad para absorber la energía de la colisión con $42.4E6$ J respecto al impacto posterior de la carrocería (G1) con material Acero ASTM A500 con $35E6$, además no existe la posibilidad de que la zona de supervivencia pueda verse afectada por la intrusión de algún elemento estructural, pues el armazón posterior puede soportar el impacto, consiguiendo una deformación de 624 mm, menor a las deformaciones experimentadas en las otros casos de estudio (Tabla 7).





CONCLUSIONES

- En el impacto frontal de la carrocería estándar (G1) con material Acero ASTM A500 (M1) el vehículo tiende a detenerse experimentando una desaceleración de 420 m/s^2 , pues al percibir este cambio brusco de aceleración, la energía del impacto se traduce en una disipación de energía por deformación del bus, pues por el hecho de ir dentro del bus, los ocupantes del mismo tienen energía cinética, y evidentemente la energía a disipar será mayor, lo que queda demostrado y se observa en la Tabla 7 que la energía disipada es mayor que en el resto de los casos. En el caso del impacto posterior la carrocería modificada (G2) con Acero Galvanizado (M2) experimenta la máxima desaceleración con un valor de 2615 m/s^2 que en el resto de los casos y por ende mayor capacidad de absorción de la energía del choque.





CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en todos los casos los esfuerzos máximos experimentados son inevitables, pues los elementos críticos fallan por concentración de esfuerzos y por deformación excesiva, debido a la magnitud del impacto, a las propiedades del material, al tiempo de impacto, a la geometría de la estructura, a las velocidades y desaceleraciones burdas presentes en el proceso de impacto.





CONCLUSIONES

- En el impacto frontal del bus, la carrocería G1M2 experimenta la máxima deformación de 1604 mm con una fuerza de impacto de $0.8138E6$; y en el caso del impacto posterior la carrocería G1M1 experimenta una máxima deformación de 718 mm con una fuerza de impacto de $0.0724E6$. Esto demuestra que a menor deformación que experimenta el bus tanto en el impacto frontal como posterior, mayor es la fuerza de impacto que se transmite a la estructura y por ende a los ocupantes del bus.





RECOMENDACIONES

- Se debe tener en cuenta que los resultados dependen del perfeccionamiento del modelado de la carrocería, ya que al no estar bien estructurada la carrocería del bus se presentarán errores al momento de realizar el estudio virtual, lo cual conllevará a más tiempo en la obtención de resultados y a la invalidación de los mismos.





RECOMENDACIONES

- Para reducir el gasto computacional o tiempo de cálculo del análisis de una estructura por medio del Método de Elementos Finitos se debe usar elementos tipo cáscara o Shell que el mismo programa posee, este tipo de elementos son muy utilizados en la actualidad en estructuras sometidas a flexión y deformación, además presentan fiabilidad en los resultados arrojados.





RECOMENDACIONES

- Se debería implementar en las reglamentaciones ecuatorianas requisitos para la validación de carrocerías de buses en todas sus modalidades, basados en ensayos o simulaciones virtuales de impacto, dentro de estos requisitos implementar condiciones o parámetros de velocidad relacionadas a las máximas permitidas en carretera, pues esto servirá para la homologación y calificación de empresas carroceras.





RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar sobre nuevos materiales que permitan otorgar la máxima seguridad a los ocupantes del vehículo en el caso de impactos frontales y posteriores. Estos materiales debe poseer una excelente capacidad de absorción de energía de impacto, con la finalidad de precautelar la seguridad de los pasajeros del bus.

