

**“Producción y caracterización de un fender
flares delantero de la camioneta Chevrolet
Dmax a base de agregado de resina de
poliéster y hebras de agave americana
(Marginata)”**

**Autores:
Geovanny Chiriboga**

UISEK



25 AÑOS

Quito, Marzo 2019

PROBLEMÁTICA

1. Cuidado del medio ambiente, para la creación de nuevas autopartes de vehículos con el 70% de desechos biodegradables.
2. Ecuador no existe la información suficiente sobre el manejo de nuevos materiales con fibras naturales.



Figura (a)



Figura (b)

JUSTIFICACIÓN

El número elevado de importaciones de piezas (Servicio Nacional de Aduana del Ecuador SENA), 36763 unidades en el año 2018.

La contaminación del plástico ABS al medio ambiente cuando son desechados una vez que cumplen con su vida útil (duración de descomposición de 500 años).

INTRODUCCIÓN

- **Objetivo General:** Caracterizar y aplicar el material compuesto de matriz polimérica de resina de poliéster y fibra de agave americana (*Marginata*), mediante una autoparte de vehículo que sea amigable con el medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

Objetivos Específicos:

- Determinar las propiedades mecánicas del compuesto de resina de poliéster y refuerzo de fibra de agave bajo las normativas ASTM D 3039 M - 00, ASTM D 7264 M - 15 para la caracterización del material.
- Analizar los materiales compuestos de las diferentes probetas con matriz polimérica y refuerzo de fibra de agave con un factor volumétrico del 20% en sentido unidireccional con fibra larga y fibra tejida.
- Realizar un análisis dinámico del Fender Flares delantero de una camioneta Dmax con las propiedades del material compuesto de resina de poliéster y refuerzo de fibra de agave.
- Fabricar un prototipo de protección laterales delanteros para una camioneta Chevrolet Dmax con el material compuesto de resina de poliéster y refuerzo de fibra de agave.

Metodología

Diseño, producción y caracterización de material compuesto De resina de poliéster y hebras de agave americana (Marginata).		
<i>Variable</i>	<i>Niveles</i>	
<i>Material a procesar</i>	Hebras de Agave Americana Marginata	
<i>Caracterización Matriz compuesta (Resina de Poliéster)</i>	Ensayo de Flexión (20%)	Ensayo de Tracción (20%)
	ASTM D 7264M – 15	ASTM D 3039M – 00
<i>Análisis Comparativo</i>	Hebras Larga Unidireccional y Hebras Tejida	

Elaboración de las probetas

Consideraciones
Longitud y diámetro

Hojas de agave



Raspador Metálico



Hebras de agave



Molde Ensayo de Tracción



Molde Ensayo de Flexión



Probetas



Configuración de las probetas

Porcentajes de los componentes a ser utilizados en la resina de poliéster

Componentes	Porcentaje a ser Utilizado
Peróxido MEK	1%
Octoato de Cobalto	0,40%
Estireno	10%



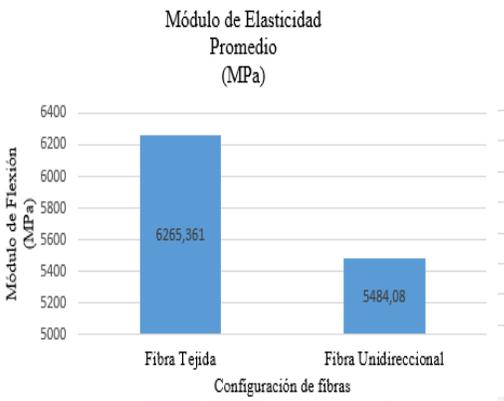
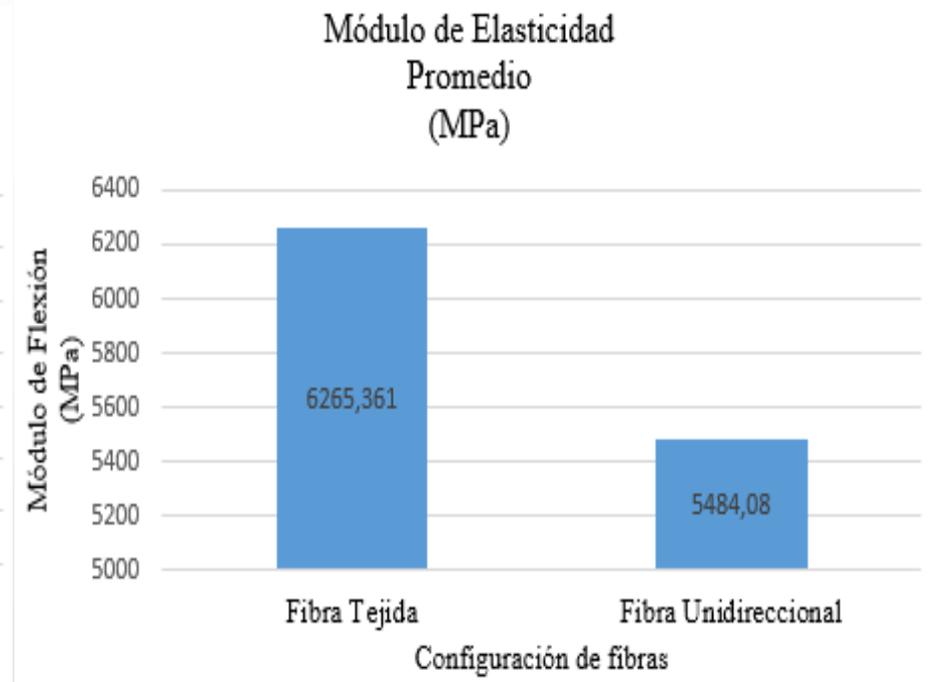
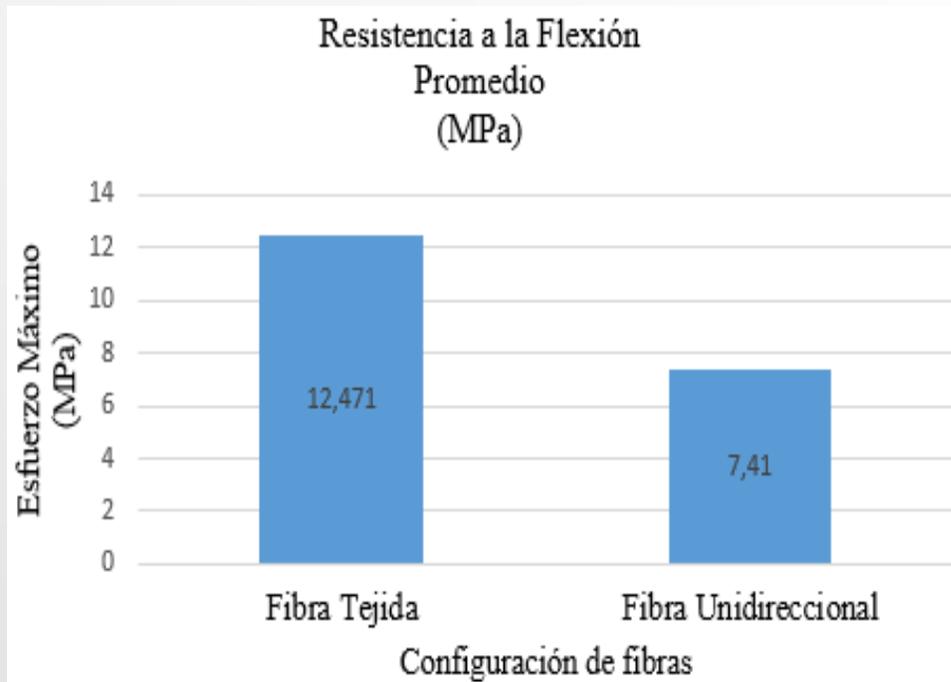
Parámetros Del Ensayo			
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM –D3039M-00
Matriz:	Resina Poliéster	Estratificación:	Manual
Refuerzo:	Hebras de Agave	Fracción Volumétrica:	80%
Capas Fibra:	1	Fracción Volumétrica:	20%
Dimensiones:	250mm*25mm*e	Número de Probetas:	7
4Temperatura:	24°C	Velocidad de ensayo:	10 mm/min
		Humedad:	4%

Parámetros Del Ensayo			
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM – D7264M15
Matriz:	Resina Poliéster	Estratificación:	Manual
Refuerzo:	Hebras de Agave	Fracción Volumétrica:	80%
Capas Fibra:	1	Fracción Volumétrica:	20%
Dimensiones:	160mm*13mm*e	Número de Probetas:	7
4Temperatura:	24°C	Velocidad de ensayo:	10 mm/min
		Humedad:	5%

RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO A FLEXIÓN

Configuración	Carga máxima (Kg)	Carga máxima (N)	Deformación máxima (mm)	Resistencia máxima a flexión (MPa)	Módulo de flexion (MPa)
Fibra Tejida	11,424	112,6	12,471	115,497	6265,36
Fibra Unidireccional	10,95	107,9	7,41	71,70	5484,08

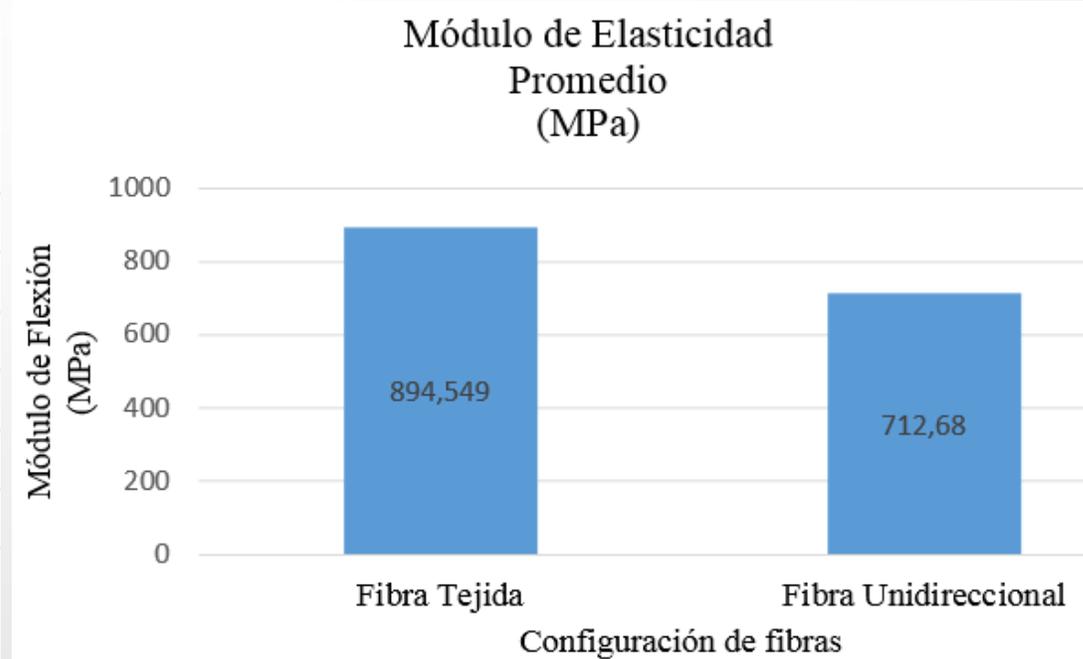
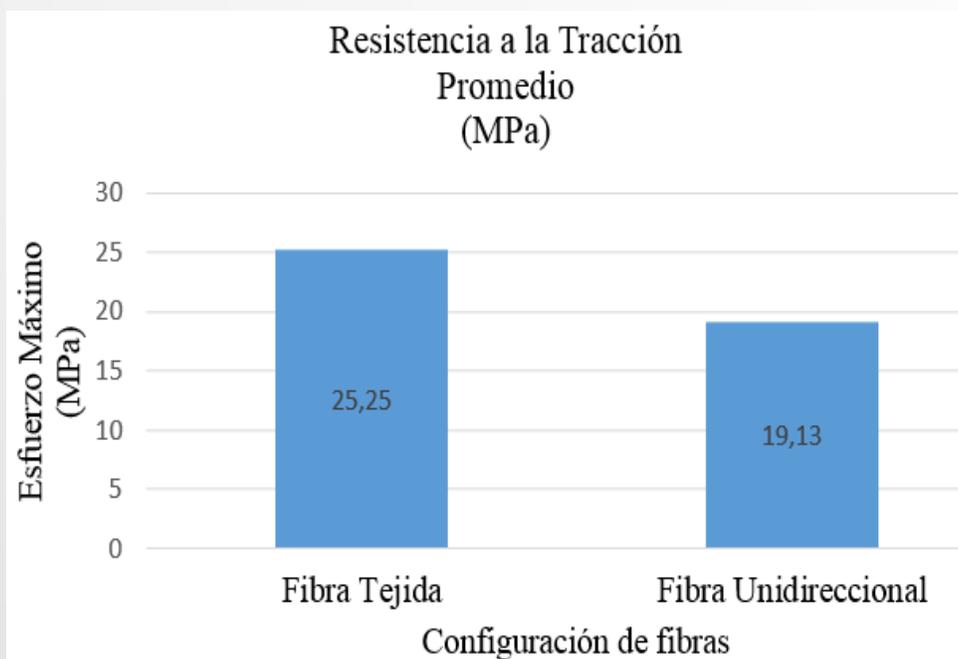
Representaciones gráficas



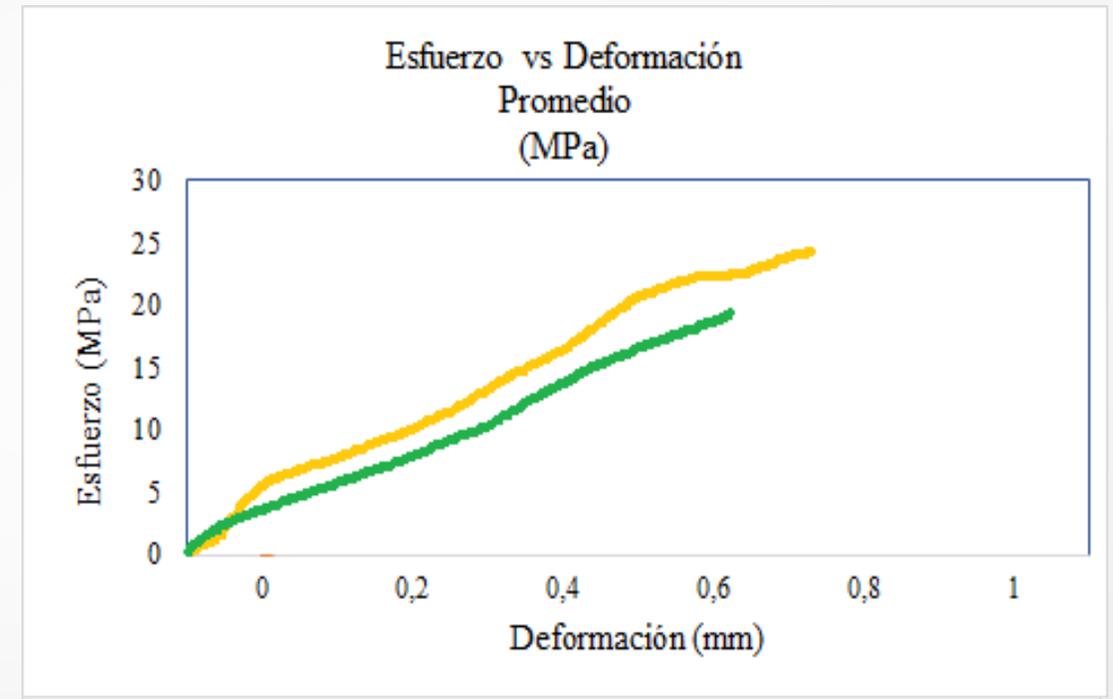
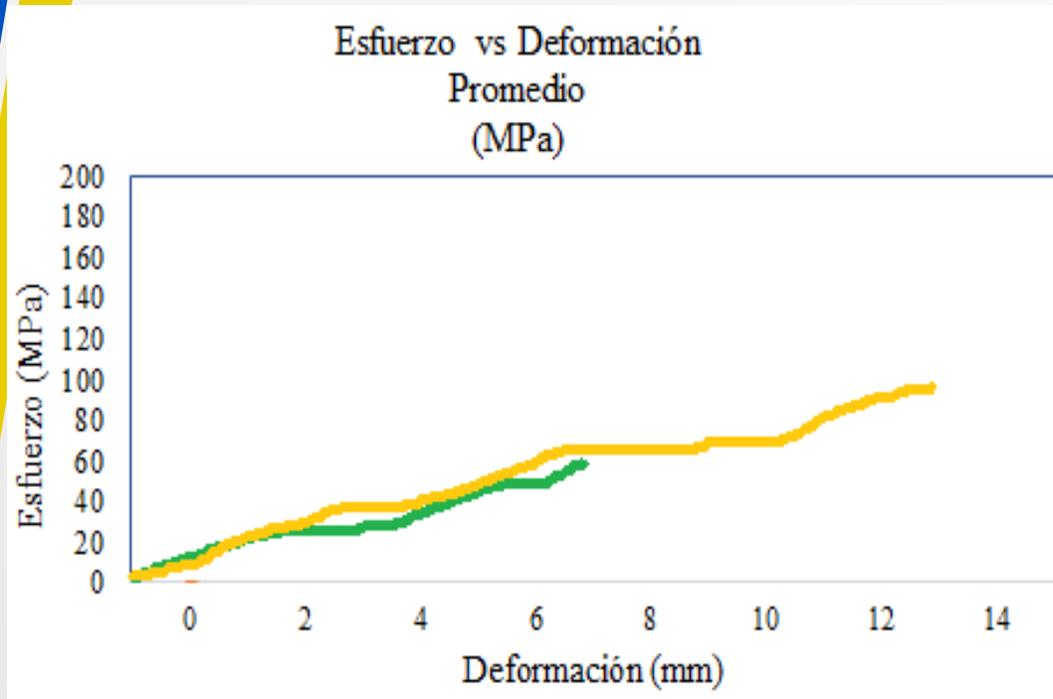
RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO A TRACCIÓN

Configuración	Carga máxima (Kg)	Carga máxima (N)	Deformación máxima (mm)	Esfuerzo máximo a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
Fibra Tejida	351,411	3029,079	0,724	25,25	894,549
Fibra Unidireccional	135,89	1339,89	0,66	19,13	712,68

Representaciones gráficas



Gráfica esfuerzo vs deformación ensayo a flexión fibra tejida (color amarillo) y fibra unidireccional (color verde)



Gráfica esfuerzo vs deformación ensayo a flexión fibra tejida (color amarillo) y fibra unidireccional (color verde)

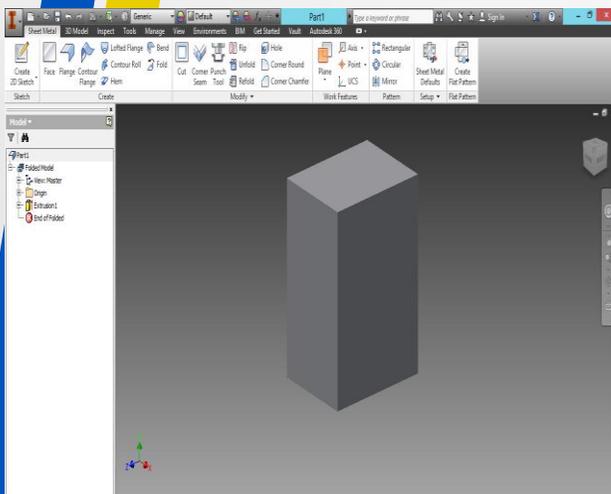
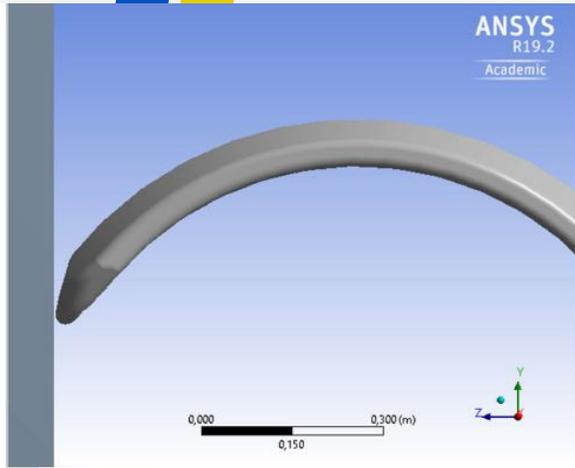
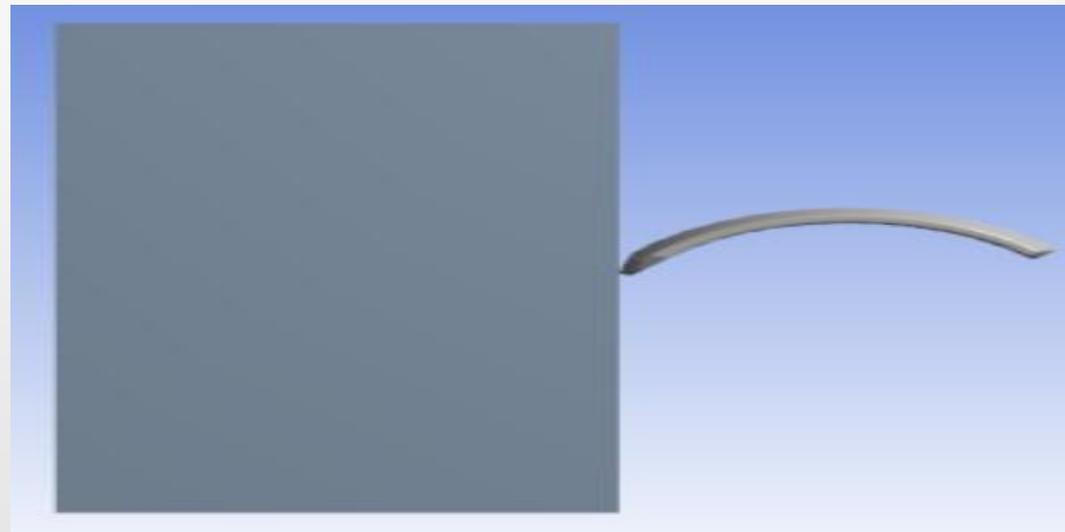
Análisis Computacional

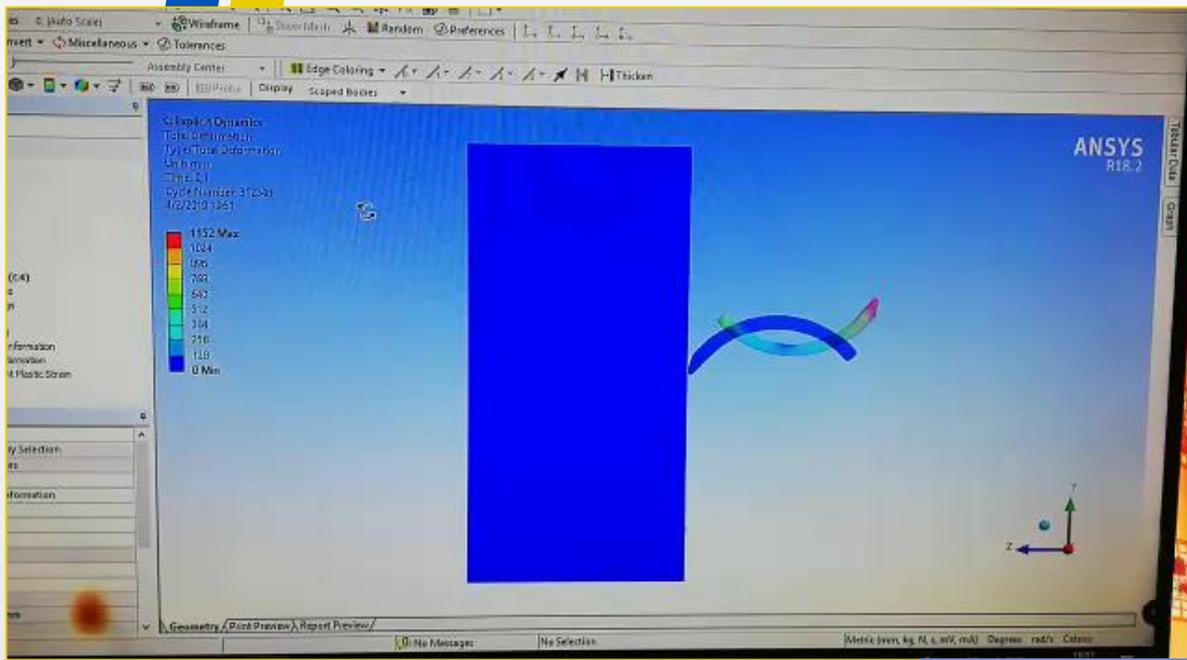
Análisis de impacto

La norma EURO NCAP TRANS-WP29-GRSP-2003-11e

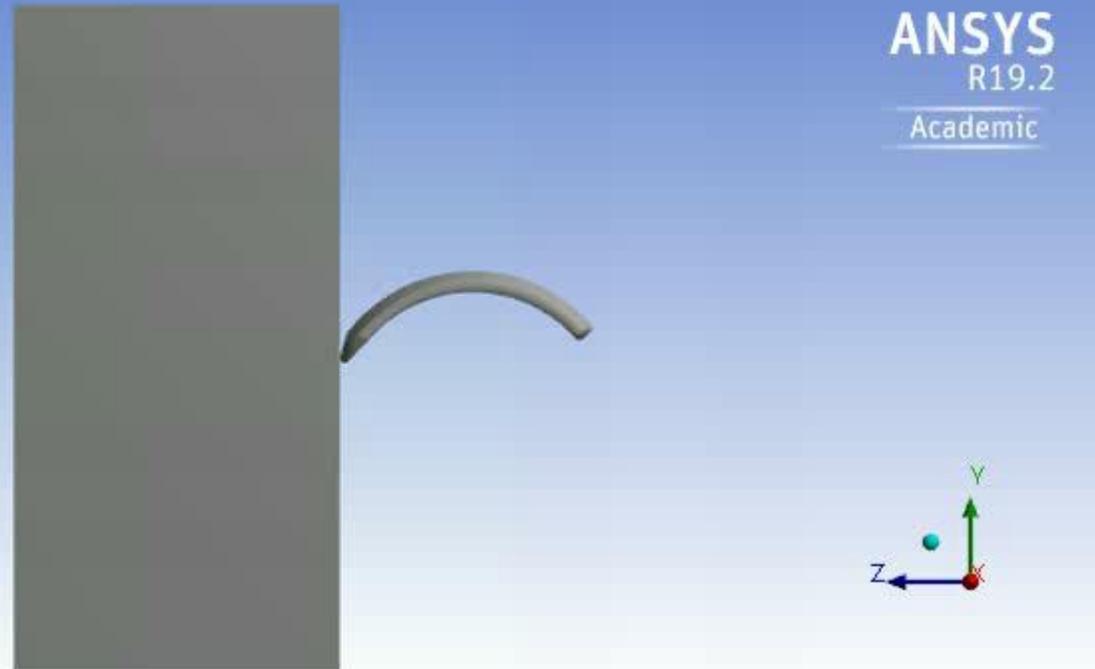
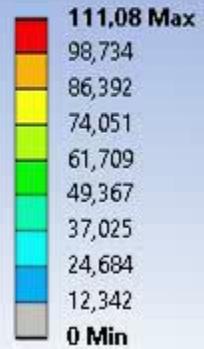
Especificaciones Norma EURO NCAP TRANS-WP29-GRSP-2003-11e

Tiempo	5 a 10 segundos
Velocidad	55 km/h o 15,5 m/s
Coeficiente de Fenómenos Hourglass	0,1
Pared (Muro)	60 Toneladas





C: Explicit Dynamics
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 7,e-003
Cycle Number: 93424
1/2/2019 6:55



Propiedades mecánicas de materiales a ser simulados en ANSYS

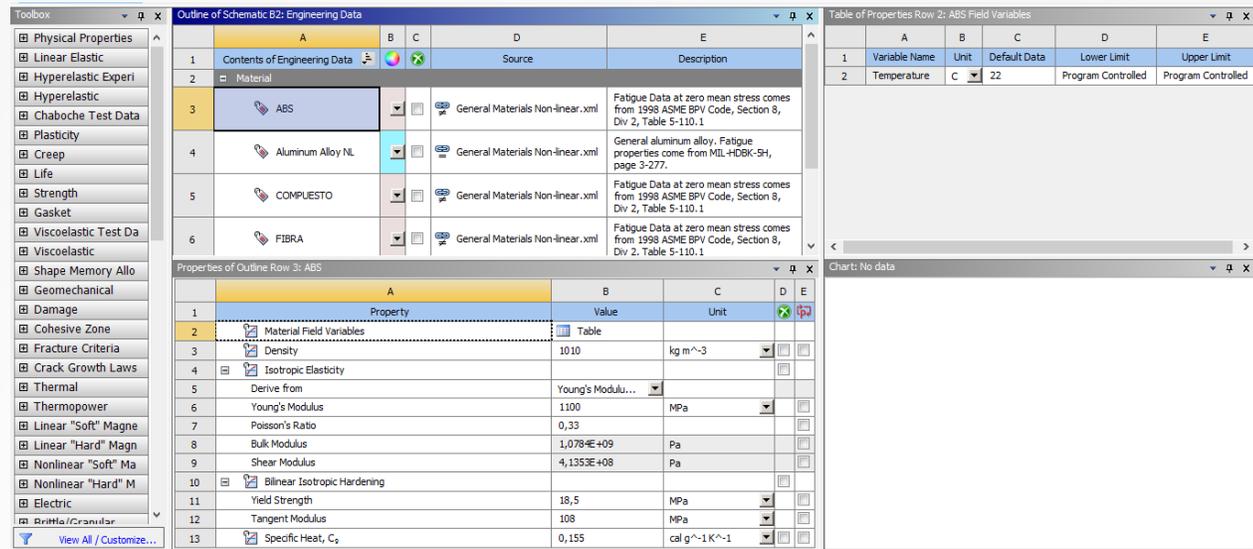
Propiedades mecánicas de diferentes materiales			
Propiedades	Resina de poliéster	Material ABS	Matriz compuesta (resina de poliéster y fibra de agave marginata)
Densidad de la fibra: Kg.cm^3	50	1010	840
Módulo de la elasticidad: GPA	43,8	1,1	0,8
Constante elástica:	----	0,33	0,18
Módulo de deformación: MPA	149,9	29,5	0,03
Módulo de corte: KJ.m^2	52	12	5
Fuerza de rendimiento: MPa	180	18,5	7,3
Modulo tangente: MPa	30,54	108	23
Resistencia a la tracción: MPa	342	42	7
Alargamiento a la rotura:	1,7	1,5	0,4
Calor específico: $\text{Kcal/ Kg } ^\circ\text{C}$	27	155	98

Nota. Fuente: Datos obtenidos mediante ensayos realizados en la Escuela Politécnica Nacional

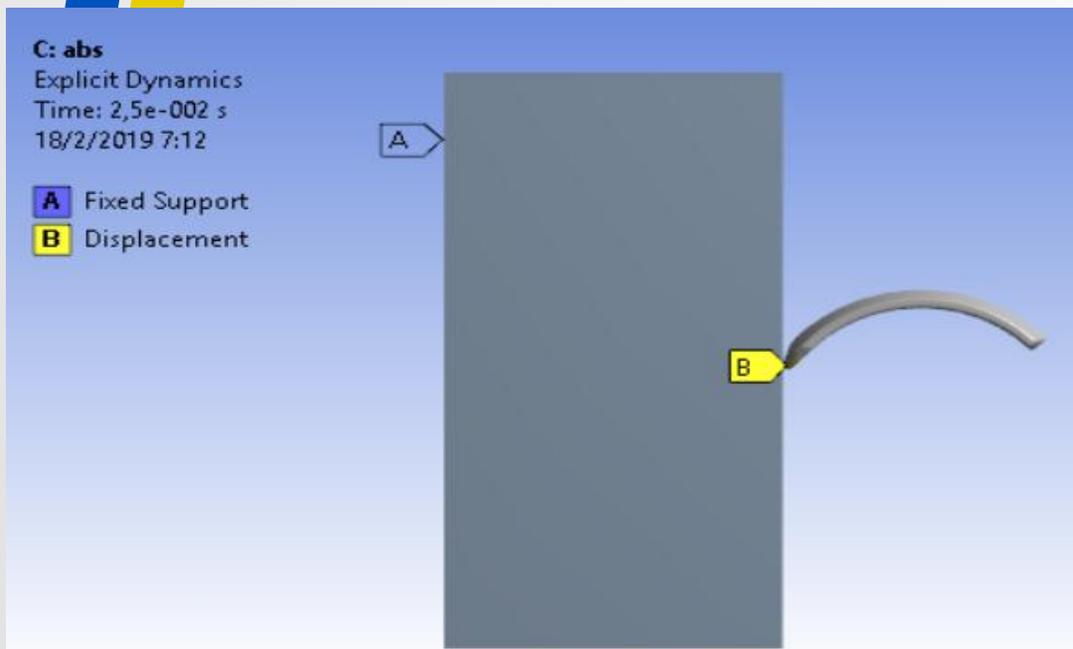
Condiciones de frontera



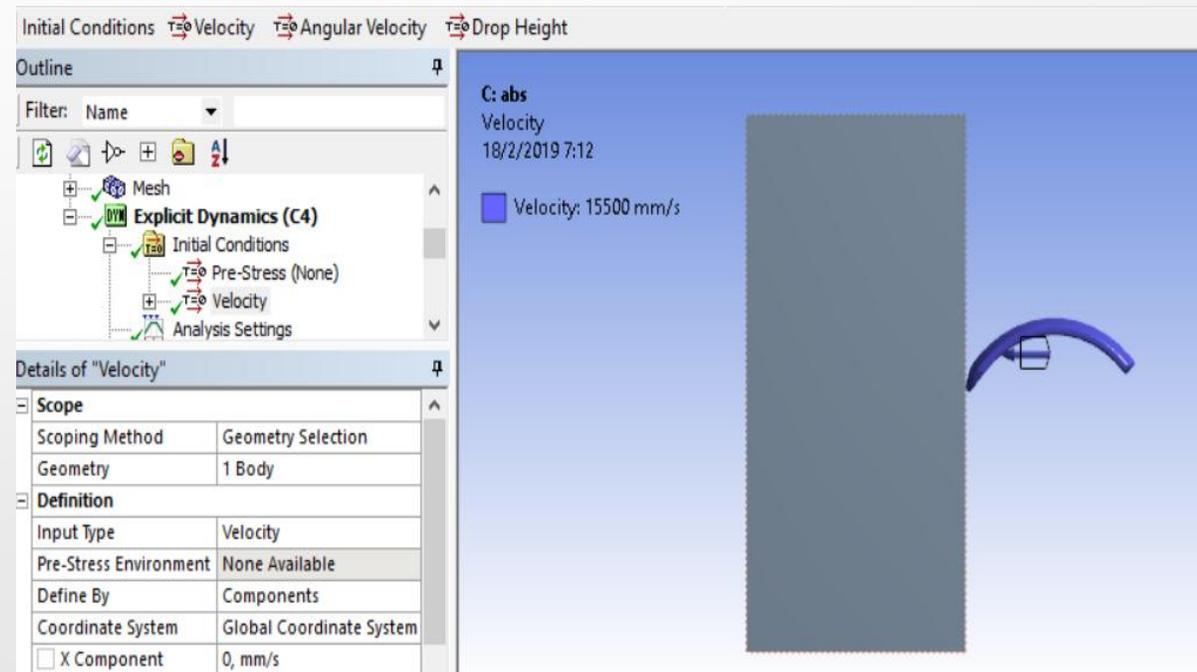
Creación de materiales



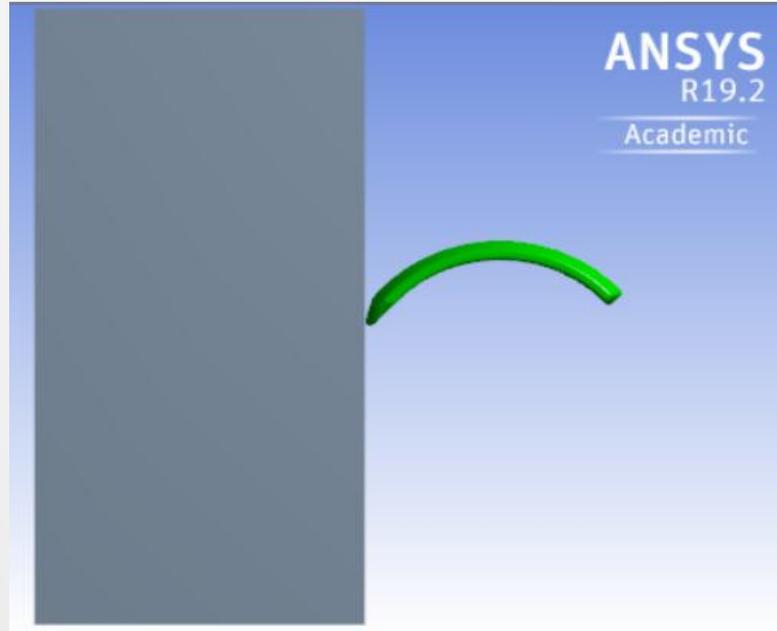
Condiciones Dinámicas



Velocidad de Impacto



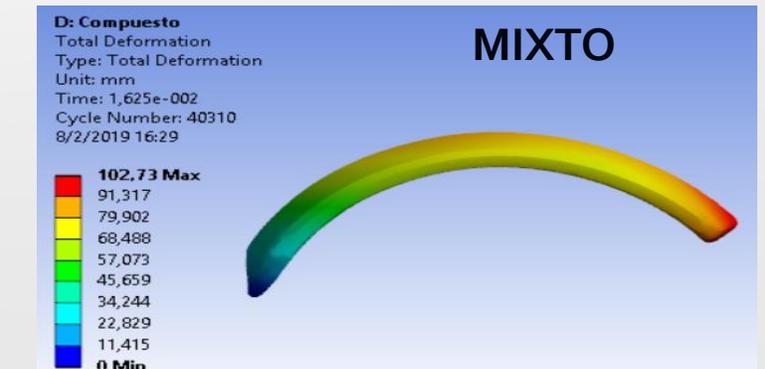
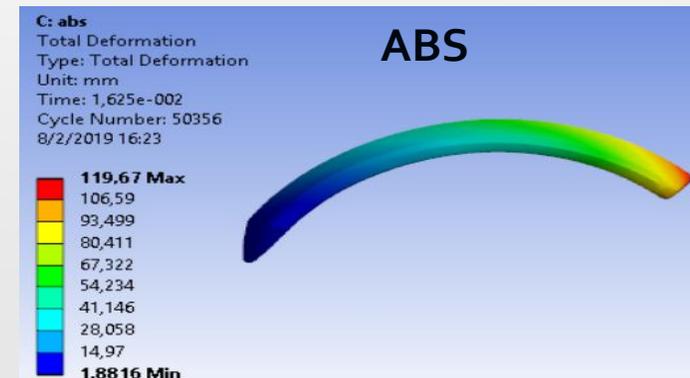
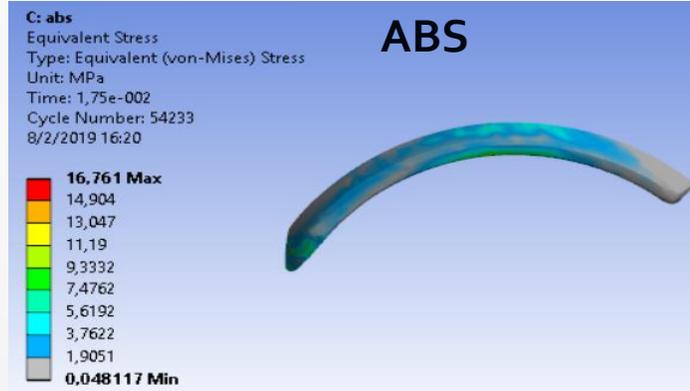
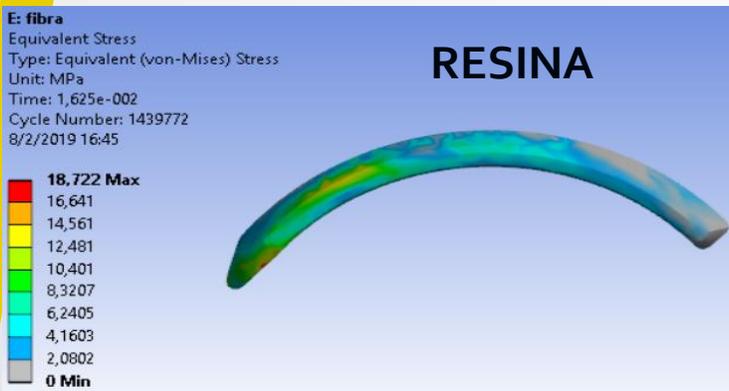
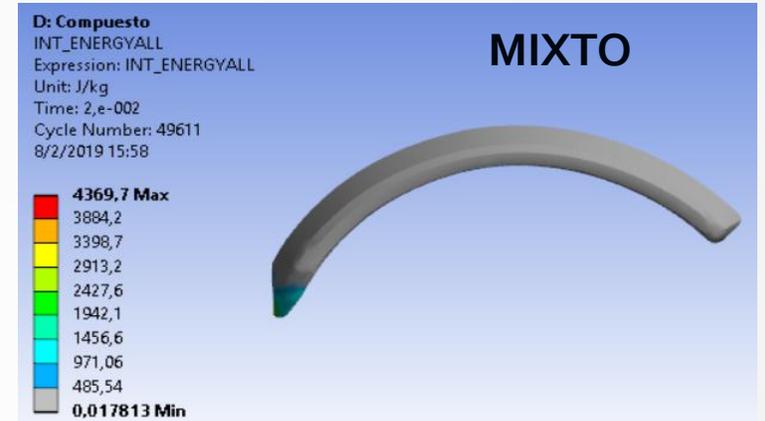
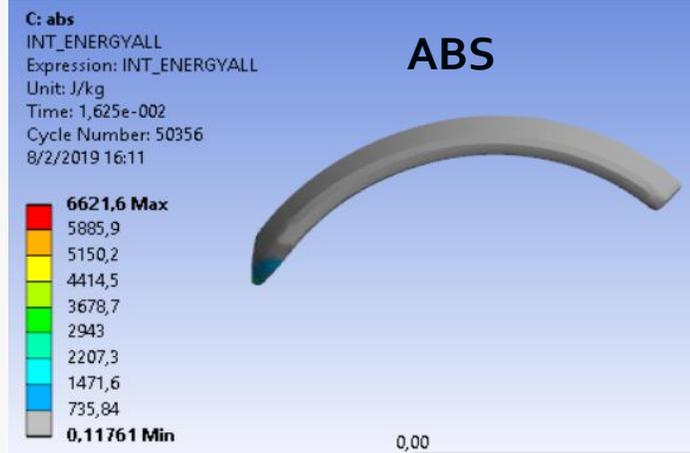
PROCESAMIENTO

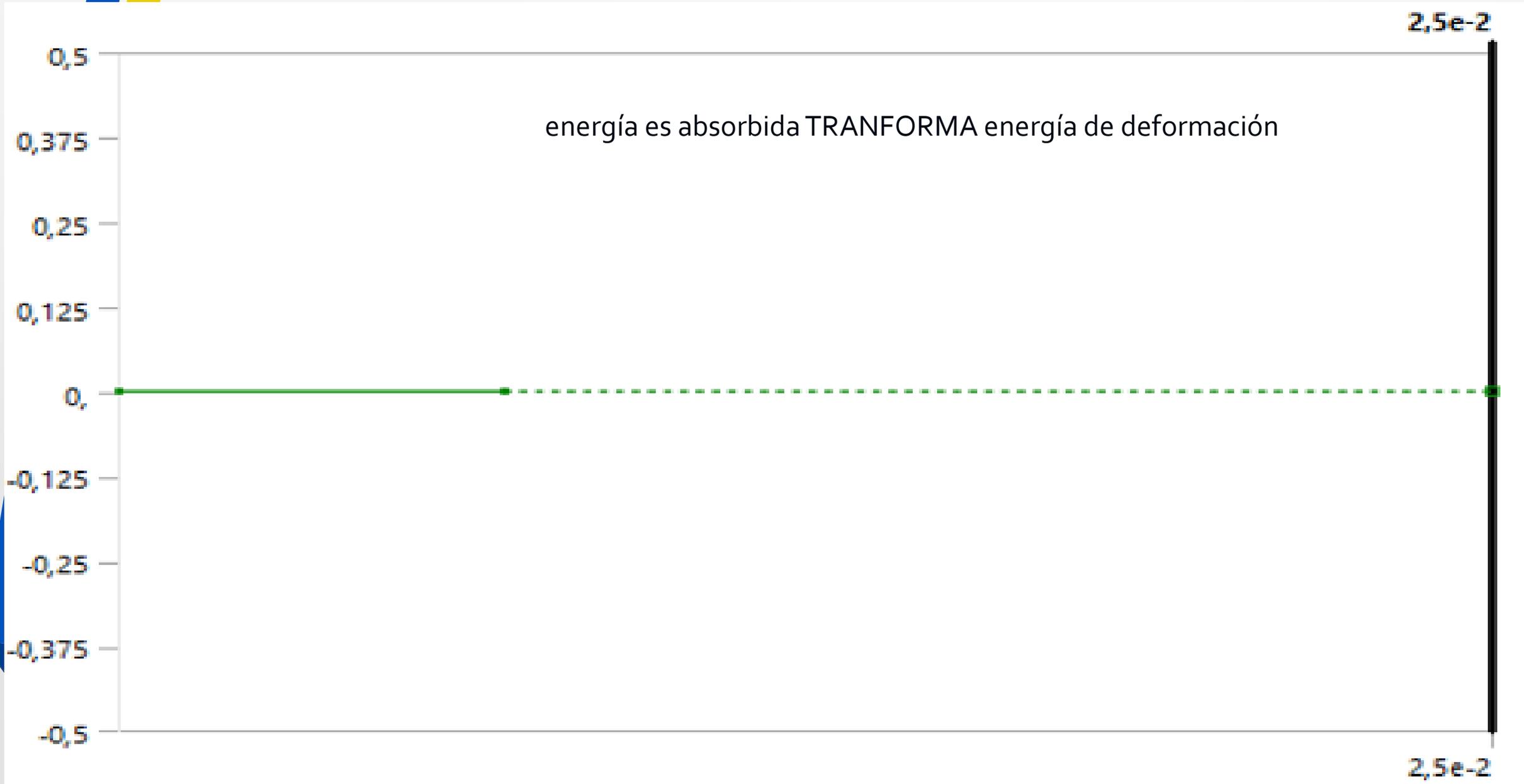


Sistema coordinado	Sistema de coordenadas predeterminado	
Temperatura de referencia	Por entorno	
Marco de referencia	Lagrangiano	
Material		
Asignación	Acero Estructural NL	ABS
Cuadro Delimitador		
Longitud X	2500, mm	80,007 mm
Longitud Y	2500, mm	345,72 mm
Longitud Z	1223, mm	947,96 mm
Propiedades		
Volúmen	7,6438e+009 mm ³	4,1399e+005 mm ³
Masa	60003 kg	0,41813 kg
Centroide X	0, mm	-15,612 mm
Centroide Y	2090,5 mm	2268,7 mm
Centroide Z	611,5 mm	-466,68 mm
Momento de Inercia Ip1	3,8731e+010 kg·mm ²	2587, kg·mm ²
Momento de Inercia Ip2	3,8731e+010 kg·mm ²	32346 kg·mm ²
Momento de Inercia Ip3	6,2504e+010 kg·mm ²	34409 kg·mm ²
Estadística		
Nodos	10206	1566
Elementos	8788	4244
Malla Métrica	Ninguna	

Figura 1. Partes de la geometría del modelo en el software ANSYS

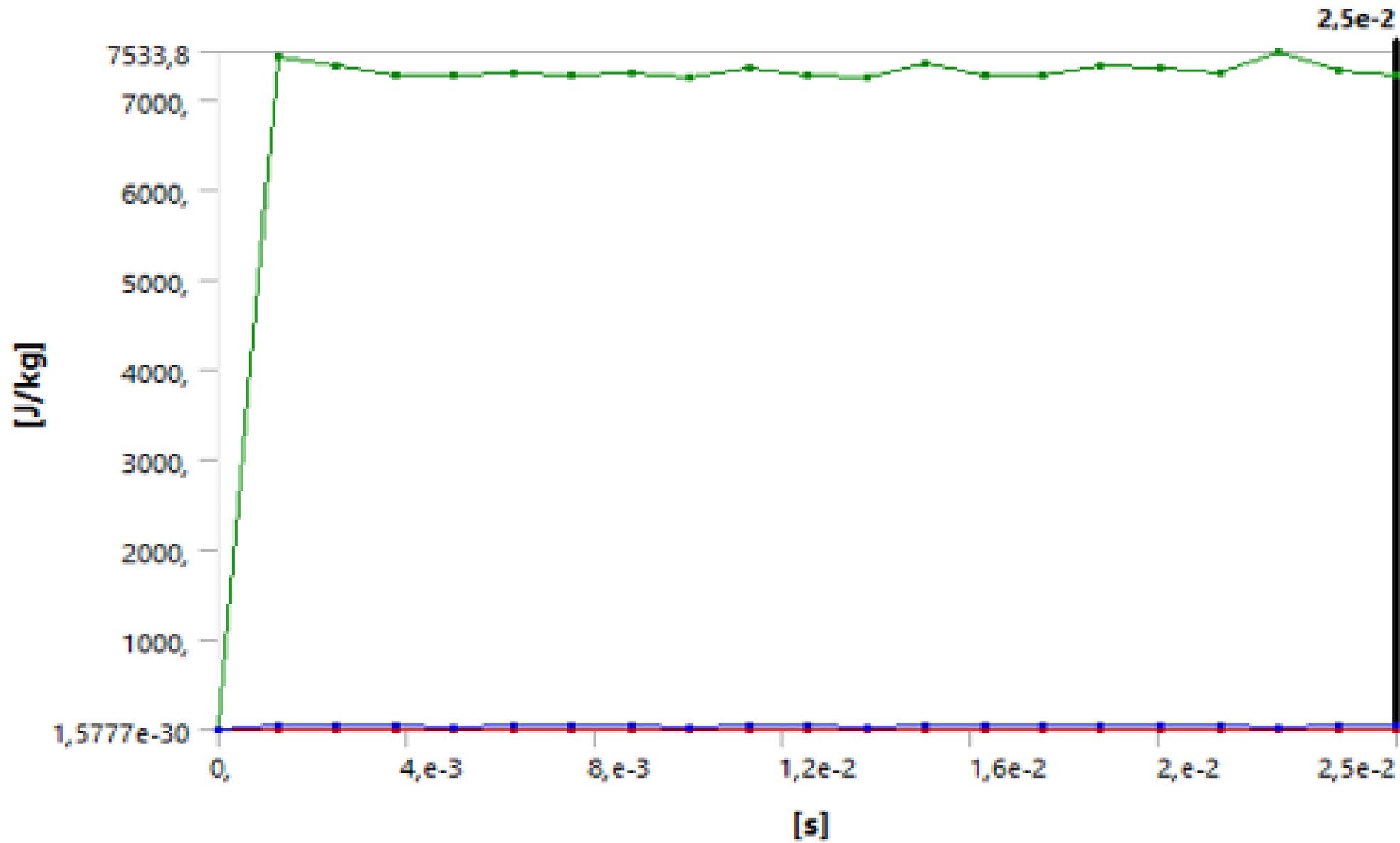
Resultados simulación dinámica materiales (Resina, ABS y Mixto)

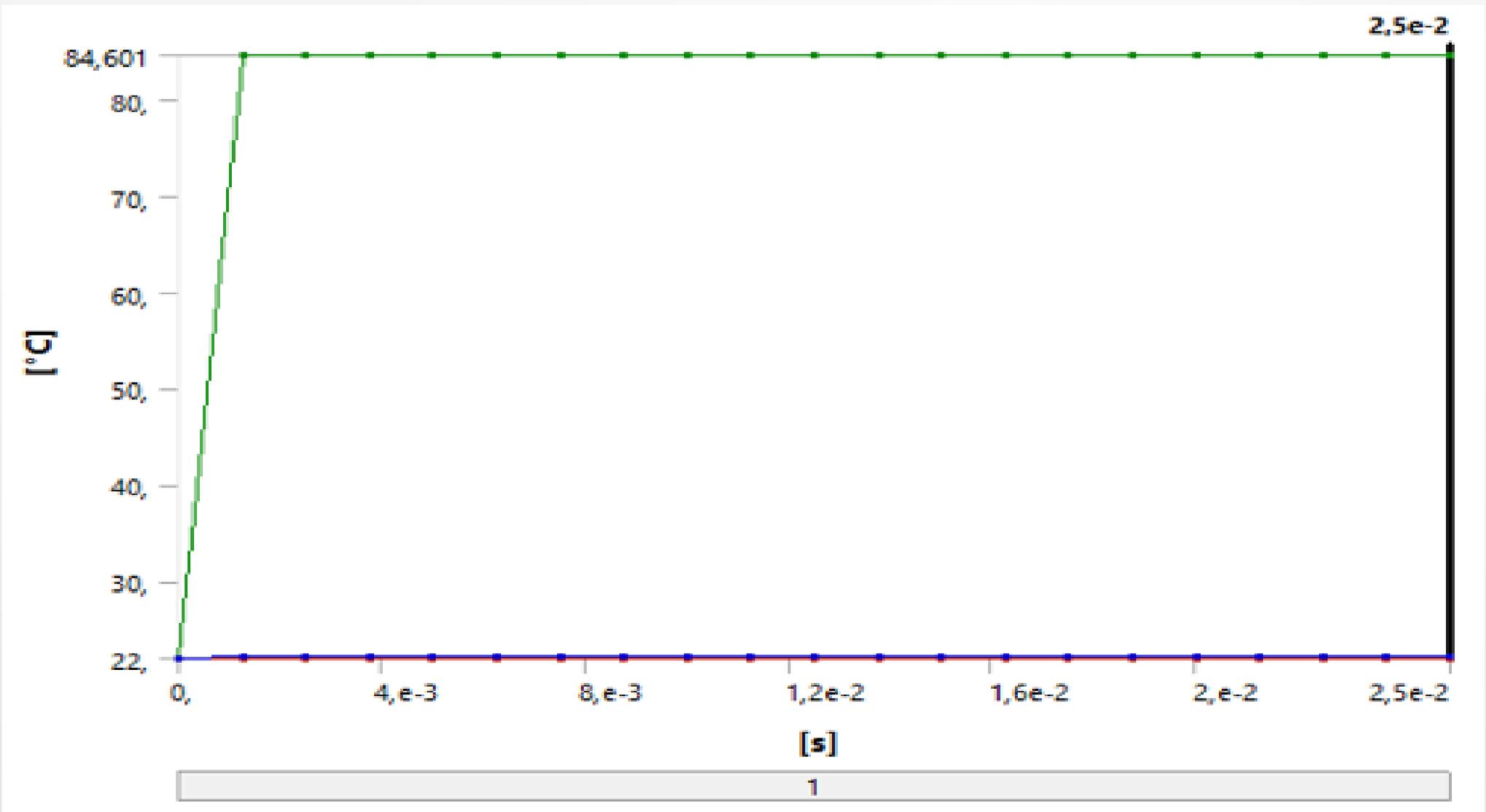




2,5e-2

2,5e-2





VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Matriz esfuerzo – deformación

Para calcular los esfuerzos y deformaciones se procede a construir la matriz específica para análisis de materiales isotrópicos que se detalla a continuación.

$$\begin{Bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \\ J_{xy} \\ J_{yz} \\ J_{zx} \end{Bmatrix} = E \begin{Bmatrix} 1 & -P & -P & 0 & 0 & 0 \\ -P & 1 & -P & 0 & 0 & 0 \\ -P & -P & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(1+P) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+P) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+P) \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon x \\ \epsilon y \\ \epsilon z \\ \lambda_{xy} \\ \lambda_{yz} \\ \lambda_{zx} \end{Bmatrix}$$

Donde:

P = Relación de Poisson

E = Módulo de elasticidad

δ = Esfuerzo normal

J = Esfuerzo cortante

ϵ = Deformación normal

λ = Deformación cortante

PROGRAMACIÓN EN EL ENTORNO MATLAB

```
clc % Limpia la pantalla del Command
for i=1:1 % Bucle
M.Elasticidad(i)=input('M. Young(N/mm2):_'); % Valor Módulo de Young
end
for i=1:1
Relacion.Poisson(i)=input('Coeficiente de Poisson:'); % Valor Coeficiente de Poisson
end
for i=1:1
Sxx(i)=input('Tensión unitaria Tensor X-X:'); % Valor tensión Unitaria en X
end
for i=1:1
Syy(i)=input('Tensión unitaria Tensor Y-Y:'); % Valor tensión Unitaria en Y
end
for i=1:1
Szz(i)=input('Tensión unitaria Tensor Z-Z:'); % Valor tensión Unitaria en Z
end
for i=1:1
Txy(i)=input('Tensión unitaria Tensor X-Y:'); % Valor tensión Unitaria en XY
end
    for i=1:1
Tyz(i)=input('Tensión unitaria Tensor Y-Z:'); % Valor tensión Unitaria en YZ
end
for i=1:1
Tzx(i)=input('Tensión unitaria Tensor X-Z:'); % Valor tensión Unitaria en XZ
end
disp('Matriz de Strai-Stress Relations'); % Matriz esfuerzo deformación
M1=[1 -Pt -Pt 0 0 0; -Pt 1 -Pt 0 0 0; -Pt -Pt 1 0 0 0; 0 0 0 (2*(1+Pt)) 0 0; 0 0 0 0 (2*(1+Pt)) 0;
0 0 0 0 0 (2*(1+Pt))]
disp('Matriz de Tensores Unitarios');
M2=[Sxx; Syy; Szz; Txy; Tyz; Tzx]
SSR=[(1/Et)*(M1*M2)] % Soluciones
```

VALORES COMAND WINDOW



M. Young(N/mm2):_800
Coeficiente de Poisson:_>> 0.18
Volumen del refuerzo (%):_20
Tensión unitaria Tensor X-X:_0.0045
Tensión unitaria Tensor Y-Y:_0.0043
Tensión unitaria Tensor Z-Z:_0.0044
Tensión unitaria Tensor X-Y:_0.0003
Tensión unitaria Tensor Y-Z:_0.0014

Estudios relacionados
Guerrero (2010)
Gómez (2011)

Tensión unitaria Tensor X-Z:_0.0028

Módulo Elástico

Et =
5.2666e+003

Relación de Poisson

Pt =
0.3230

Matriz de Strain-Stress Relations

M1 =

1.0000	-0.3570	-0.3570	0	0	0
-0.3570	1.0000	-0.3570	0	0	0
-0.3570	-0.3570	1.0000	0	0	0
0	0	0	3.5141	0	0
0	0	0	0	3.5141	0
0	0	0	0	0	3.5141

Resultado Matriz de Strain Stress Relations

SSR =

7240,2
18,534
169,12

Material Resina de Poliéster

	ANSYS	Matlab
Energía Interna (J/kg)	7289,8	7240,2
Esfuerzo Máximo (MPa)	18,722	18,534
Deformación Total (mm)	173,14	169,12

Material ABS

	ANSYS	Matlab
Energía Interna (J/kg)	6621,6	6612,4
Esfuerzo Máximo (MPa)	16,761	16,761
Deformación Total (mm)	119,67	119,6

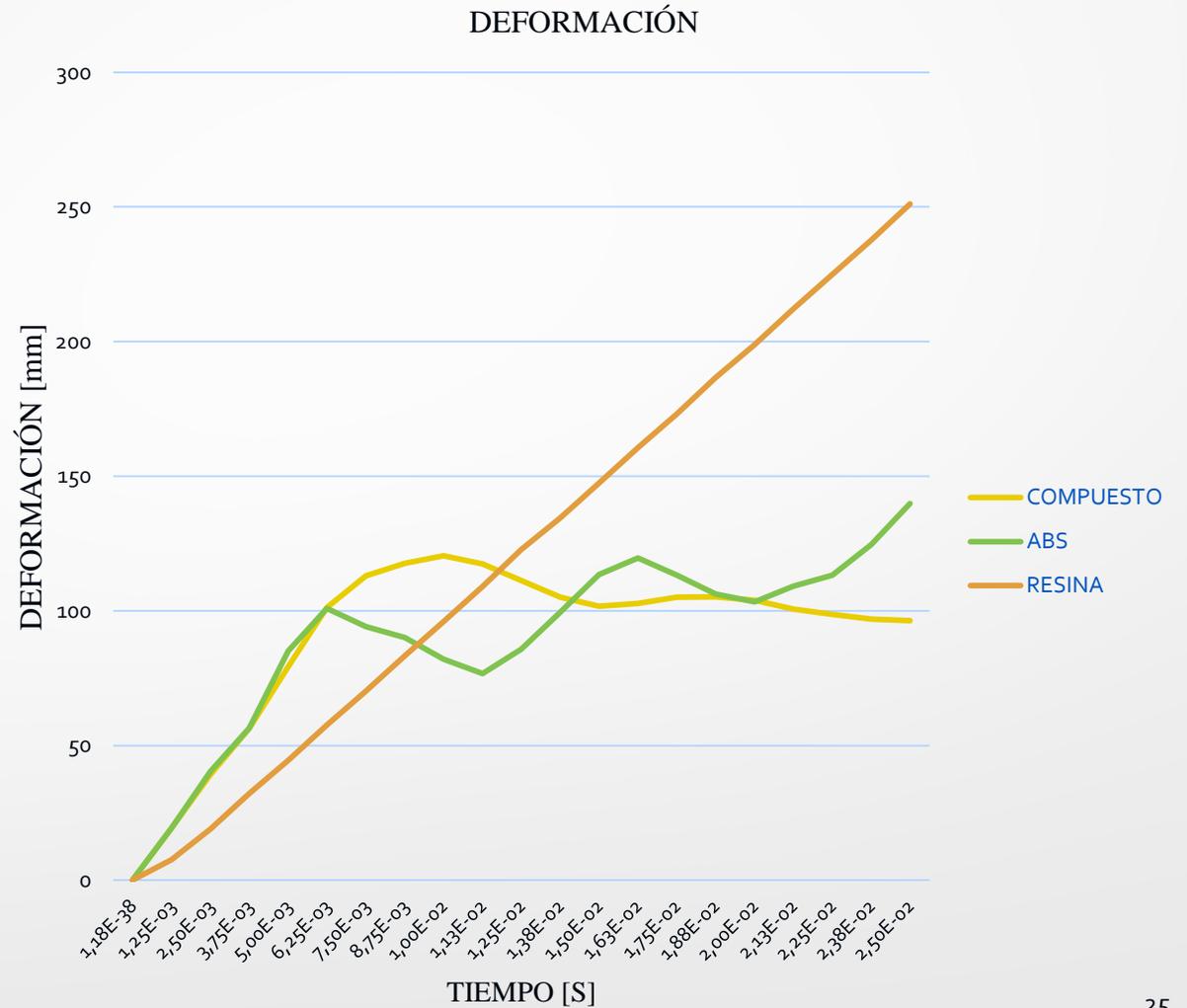
Material Compuesto (Resina de poliéster y fibra de agave)

	ANSYS	Matlab
Energía Interna (J/kg)	4369,7	4372,5
Esfuerzo Máximo (MPa)	12,101	12,101
Deformación Total (mm)	102,73	102,73

RESULTADOS

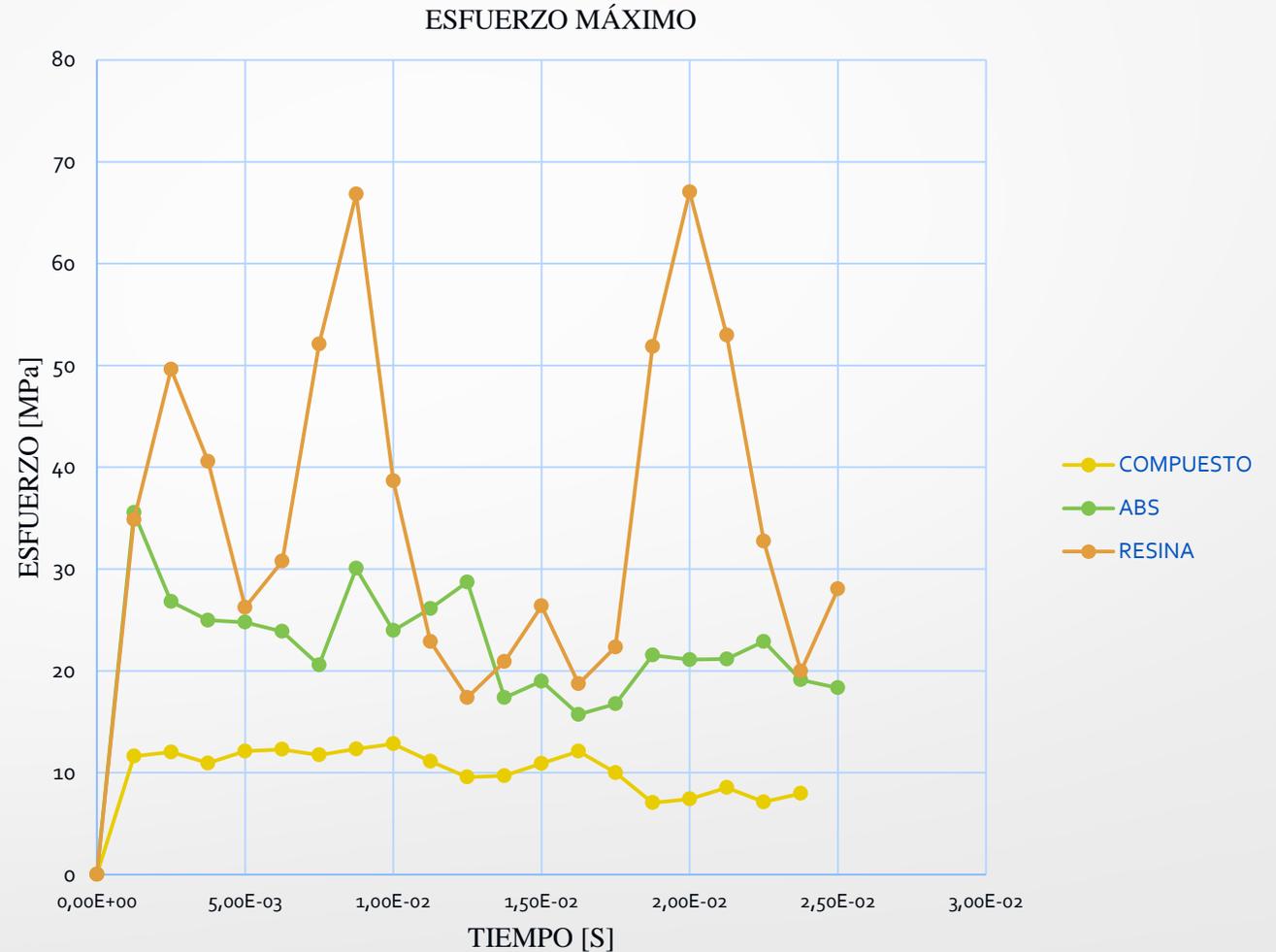
Deformación después del impacto para los tres materiales establecidos para su análisis dinámico.

Tiempo [s]	COMPUESTO ABS		RESINA
	Máximo [mm]	Máximo [mm]	Máximo [mm]
1,18E-38	0	0	0
1,25E-03	19,376	19,359	7,5933
2,50E-03	39,188	40,449	19,025
3,75E-03	56,338	56,452	32,133
5,00E-03	79,229	85,058	44,462
6,25E-03	101,25	100,94	57,576
7,50E-03	112,96	94,204	70,194
8,75E-03	117,66	90,04	83,325
1,00E-02	120,46	82,018	95,992
1,13E-02	117,46	76,712	109,1
1,25E-02	111,28	85,755	122,76
1,38E-02	105,13	99,561	134,48
1,50E-02	101,71	113,43	147,39
1,63E-02	102,73	119,67	160,56
1,75E-02	105,05	113,29	173,14
1,88E-02	105,25	106,24	186,66
2,00E-02	103,88	103,38	198,87
2,13E-02	100,73	109,15	212,15
2,25E-02	98,673	113,29	224,92
2,38E-02	97,004	124,64	237,73
2,50E-02	96,403	139,89	251,1



Esfuerzo máximo después del impacto para los tres materiales establecidos para su análisis dinámico.

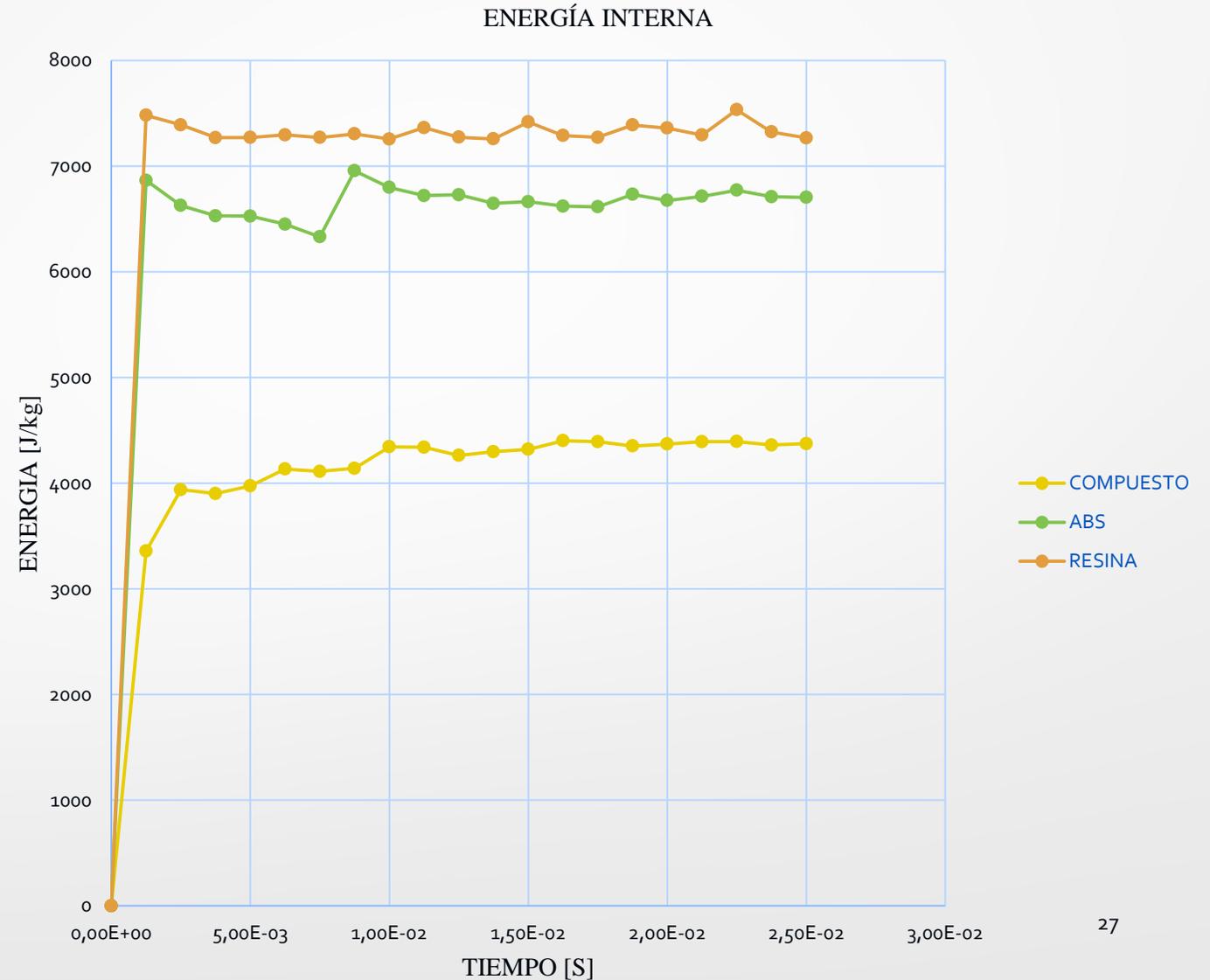
Tiempo [s]	COMPUESTO ABS		RESINA
	Máximo [MPa]	Máximo [MPa]	Máximo [MPa]
1,18E-38	0	0	
1,25E-03	11,623	35,538	34,858
2,50E-03	12,025	26,808	49,628
3,75E-03	10,936	24,976	40,573
5,00E-03	12,111	24,774	26,242
6,25E-03	12,282	23,876	30,771
7,50E-03	11,744	20,574	52,092
8,75E-03	12,334	30,071	66,814
1,00E-02	12,825	23,965	38,674
1,13E-02	11,117	26,121	22,879
1,25E-02	9,5593	28,72	17,376
1,38E-02	9,695	17,361	20,899
1,50E-02	10,912	18,985	26,376
1,63E-02	12,101	15,711	18,722
1,75E-02	10,006	16,761	22,345
1,88E-02	7,0557	21,533	51,851
2,00E-02	7,4169	21,101	67,053
2,13E-02	8,5322	21,154	52,963
2,25E-02	7,1329	22,892	32,727
2,38E-02	7,955	19,121	19,968
2,50E-02	8,9051	18,337	28,041



Energía interna después del impacto para los tres materiales establecidos para su análisis

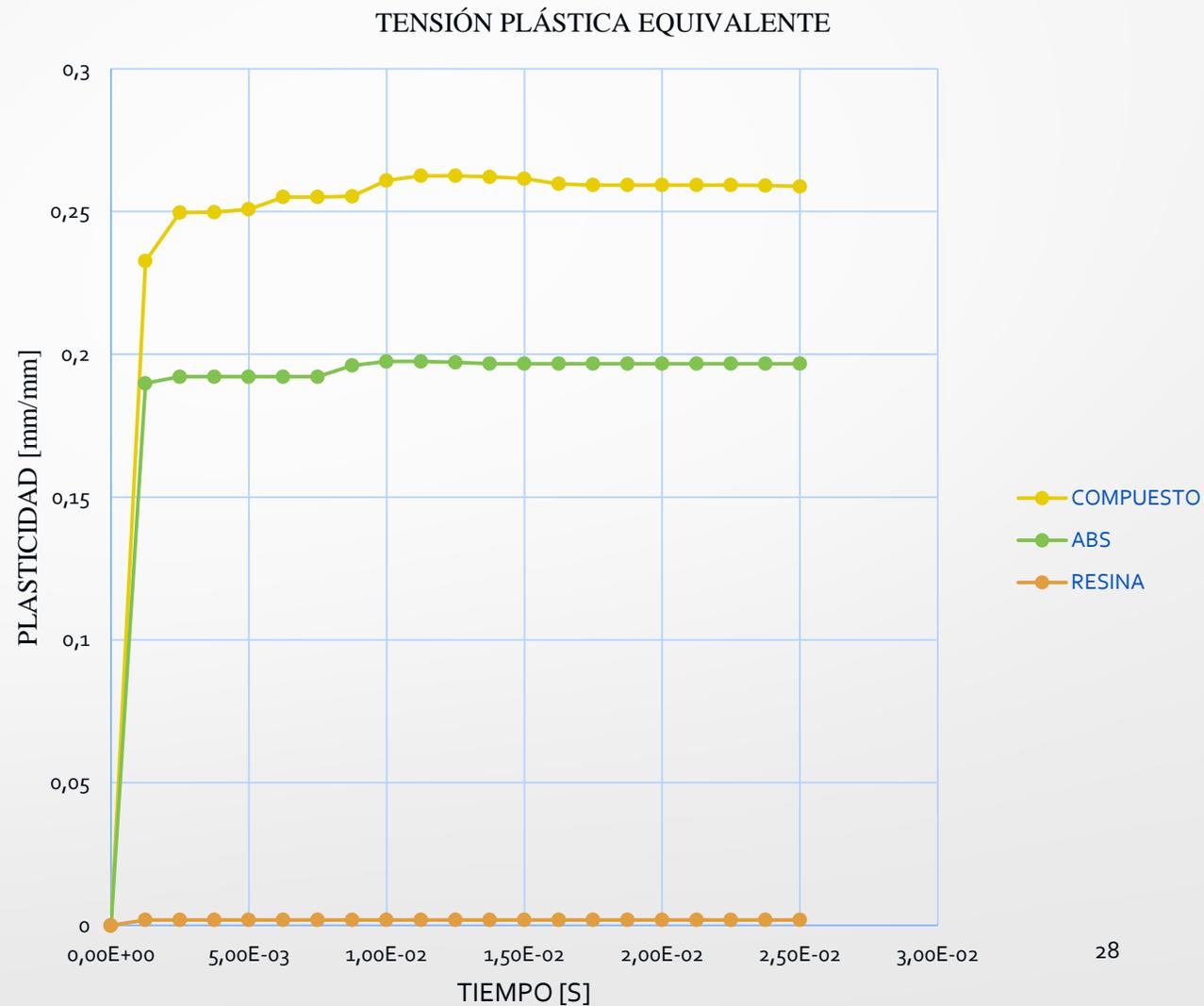
dinámico.

	COMPUESTO ABS		RESINA
Tiempo [s]	Máximo [J/kg]	Máximo [J/kg]	Máximo [J/kg]
1,18E-38	0	0	0
1,25E-03	3356,8	6865,8	7481,6
2,50E-03	3937,8	6628	7390,5
3,75E-03	3900,7	6529,5	7269,5
5,00E-03	3973,1	6526,2	7270,5
6,25E-03	4133	6450,7	7295,5
7,50E-03	4111	6331,2	7270,3
8,75E-03	4140,2	6956	7304,6
1,00E-02	4343,8	6798,1	7256,8
1,13E-02	4339,5	6720,4	7363,8
1,25E-02	4262,8	6728,9	7273,4
1,38E-02	4297,4	6647,7	7257,5
1,50E-02	4319,8	6662,6	7417,4
1,63E-02	4401	6621,6	7289,8
1,75E-02	4391,6	6614,5	7272,1
1,88E-02	4351	6732,1	7389,6
2,00E-02	4369,7	6675	7360,8
2,13E-02	4391,9	6714,4	7295,2
2,25E-02	4393,6	6772,7	7533,8
2,38E-02	4360,7	6710,6	7323,8
2,50E-02	4373,9	6703,6	7266,9



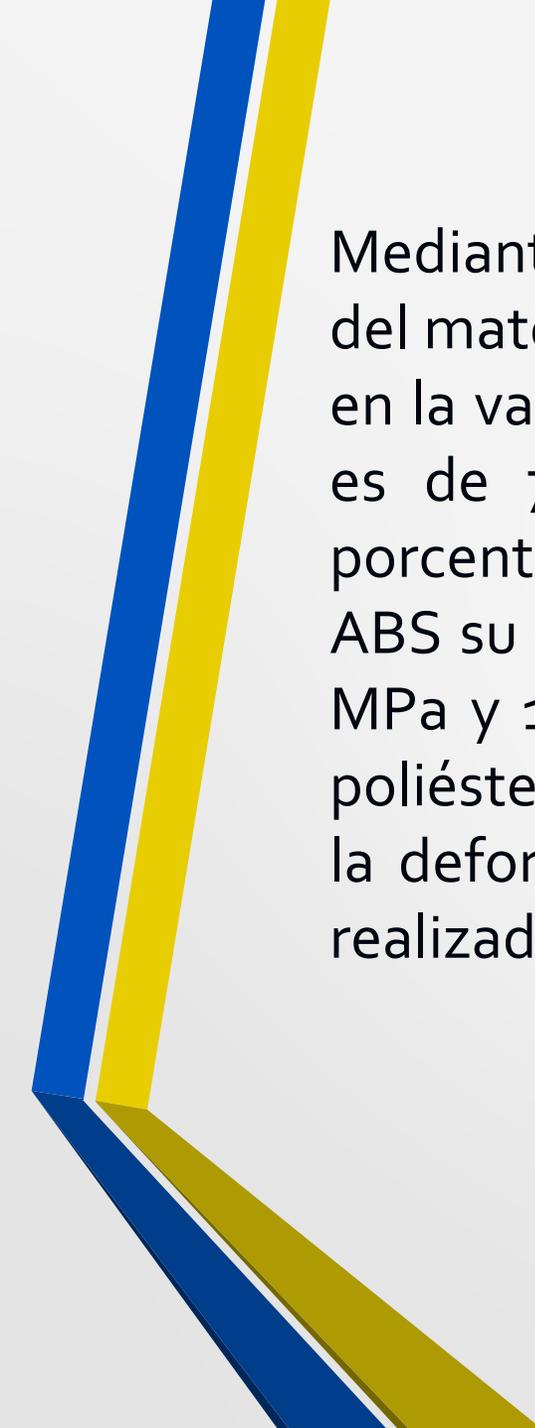
Tensión plástica equivalente después del impacto para los tres materiales establecidos para su análisis dinámico.

COMPUESTO		ABS	RESINA
Tiempo [s]	Máximo [mm/mm]	Máximo [mm/mm]	Máximo [mm/mm]
1,18E-38	0	0	0
1,25E-03	0,23267	0,18987	0,0019642
2,50E-03	0,24965	0,19218	0,0019642
3,75E-03	0,24978	0,19218	0,0019642
5,00E-03	0,25079	0,19218	0,0019642
6,25E-03	0,2551	0,19218	0,0019642
7,50E-03	0,2551	0,19218	0,0019642
8,75E-03	0,25534	0,19607	0,0019642
1,00E-02	0,2609	0,1975	0,0019642
1,13E-02	0,26253	0,1975	0,0019642
1,25E-02	0,26253	0,19718	0,0019642
1,38E-02	0,26217	0,19672	0,0019642
1,50E-02	0,26153	0,19672	0,0019642
1,63E-02	0,25971	0,19672	0,0019642
1,75E-02	0,25925	0,19672	0,0019642
1,88E-02	0,25925	0,19672	0,0019642
2,00E-02	0,25925	0,19672	0,0019642
2,13E-02	0,25925	0,19672	0,0019642
2,25E-02	0,25925	0,19672	0,0019642
2,38E-02	0,25909	0,19672	0,0019642
2,50E-02	0,25879	0,19672	0,0019642

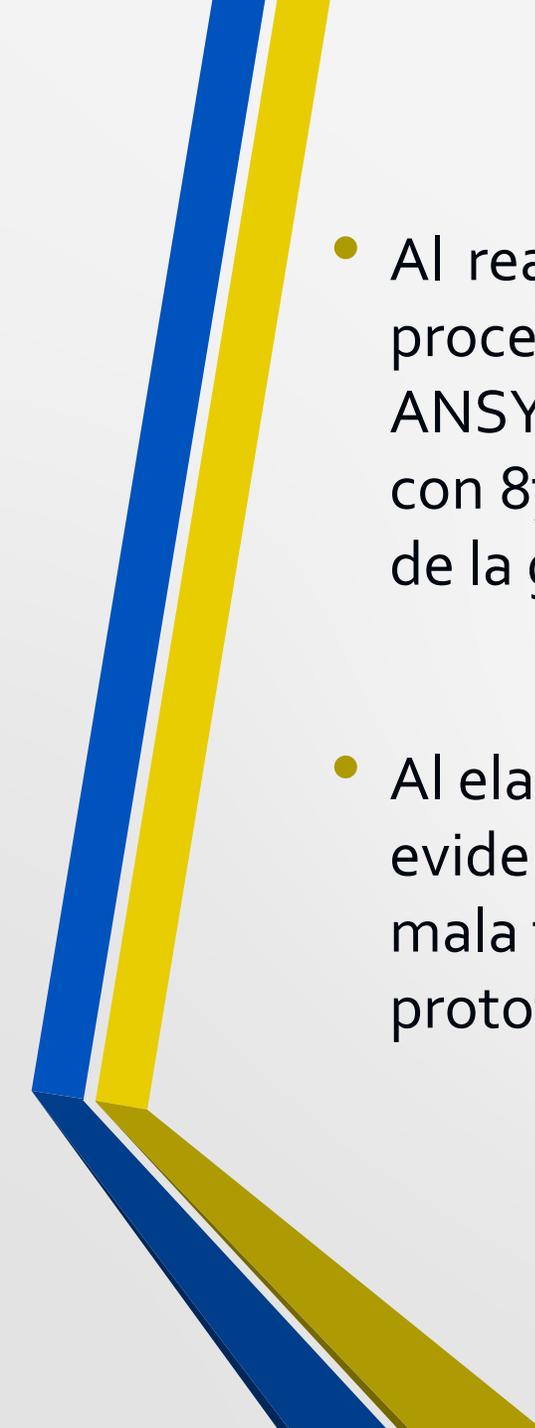


CONCLUSIONES

- De los resultados obtenidos mediante ensayos sometidos a tracción y flexión bajo las normativas ASTM D 3039 M -00 y ASTM D 7264 M – 15, con un factor volumétrico del 20% sus valores máximos promedios de ensayos a flexión de fibra tejida alcanza una deformación máxima de 12,471mm en referencia de la fibra unidireccional que es de 7,41mm con una diferencia de 5,061 mm. Mostrando un módulo de flexión de 6265,361 MPa versus 5484,08 MPa por lo que en este tipo de ensayo la fibra ganadora es la tejida. En cambio en los otros resultados de igual manera la fibra tejida es la que predomina, presenta una deformación máxima de 0,724mm versus 0,66mm de fibra unidireccional por ende su módulo de elasticidad es 894,549 MPa sumamente superior a 712,68 MPa con una diferencia de 181,869 equivalente al 42%.



Mediante la simulación con ANSYS R19.2 Academic se obtuvieron resultados del material de resina de poliéster donde su energía interna es de 7289,8 J/kg y en la validación de resultados mediante el software Matlab su valor numérico es de 7240,2 J/kg existiendo una diferencia de 49,6 J/kg con un valor porcentual del 7,2% que está dentro del rango establecido, para el material ABS su esfuerzo máximo y su deformación total se mantienen iguales, 16,761 MPa y 119,6 mm; lo mismo ocurre para el material compuesto de resina de poliéster y fibra de agave de 12,101 MPa de esfuerzo máximo y 102,73 mm en la deformación total, esto conlleva a verificar que los resultados están bien realizados.

- 
- Al realizar una simulación por elementos finitos (FEM) se necesita de un procesador que satisfaga las necesidades, en este caso cada simulación en ANSYS se demoraba un promedio de 6 horas a un mallado de 10206 nodos con 8788 elementos, donde requiere mucho tiempo para ajustar los detalles de la geometría.
 - Al elaborar el prototipo mediante el método de estratificación manual se evidencia una reducción en peso del 15%, pero presenta defectos como mala fusión del refuerzo con la matriz, los espesores no son uniformes en el prototipo, dificultad de moldeo.

REFERENCIAS

- Álvarez, V. d. (2016). Diseño y desarrollo de productos a base de compuestos formados por residuos de fibra de agave y bioplástico. *Academia Journals*, 76.
- Álvarez, V. (s.f.). Diseño y desarrollo de productos a base de compuestos formados por residuos de fibra de agave y bioplástico.
- Antigüedad, G. M. (03 de 11 de 2008). Procesado y caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con nanofibras de carbono para aplicaciones tecnológicas. *Memoria para optar al grado de doctor, Universidad Complutense de Madrid*. Obtenido de https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/7038/mod_resource/content/1/materia_comp/tema-7-materiales-compuestos-de-matriz-metalica.pdf
- Arellano, D., Vargas, E., & Hernández, H. (2008). Medición de Fracciones Volumétricas en Materiales Compuestos C-Ep y G-Ep por Digestión y Calcinación de Resina . *Refereo*, 59.
- scobar, M. M. (22 de Junio de 2018). Full position as Researcher Seniors at National Council for Scientific and Technological Research - CONICET. Rubber Center of National Institute of Industrial Technology). *Proffesor of Materials Technology. National University West*, pág. 1.
- Esparza, A. (09 de Febrero de 2014). *Academia.edu*. Obtenido de ELABORACIÓN DE HILOY ARTESANÍAS DE FIBRA DE CABUYA: http://www.academia.edu/11191709/ELABORACION%C3%93N_DE_HILO_Y_ARTESAN%C3%8DAS_DE_FIBRA_DE_CABUYA



GRACIAS UISEK