

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

Caracterización y Aplicación de material compuesto de resina

de poliéster y refuerzo de totora para la fabricación de

parachoques delantero de autobús urbano

Ing. Javier Renato Moyano Arévalo



OBJETIVOS

- **Objetivo principal.**

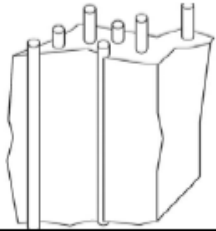
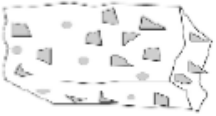
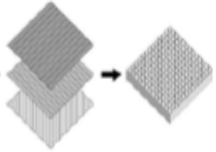
Caracterizar el material compuesto de matriz polimérica de resina de poliéster y refuerzo de totora mediante una estructura tipo de parachoques delantero para un autobús urbano

Parachoques.

- Según la norma INEN 2205 dice que los parachoques de autobuses deben ser fabricados por un material dúctil y tenaz es por eso que para abaratar costos y su fácil manipulación en la construcción de carrocerías se fabrica parachoques de buses con fibra de vidrio y resina poliéster.

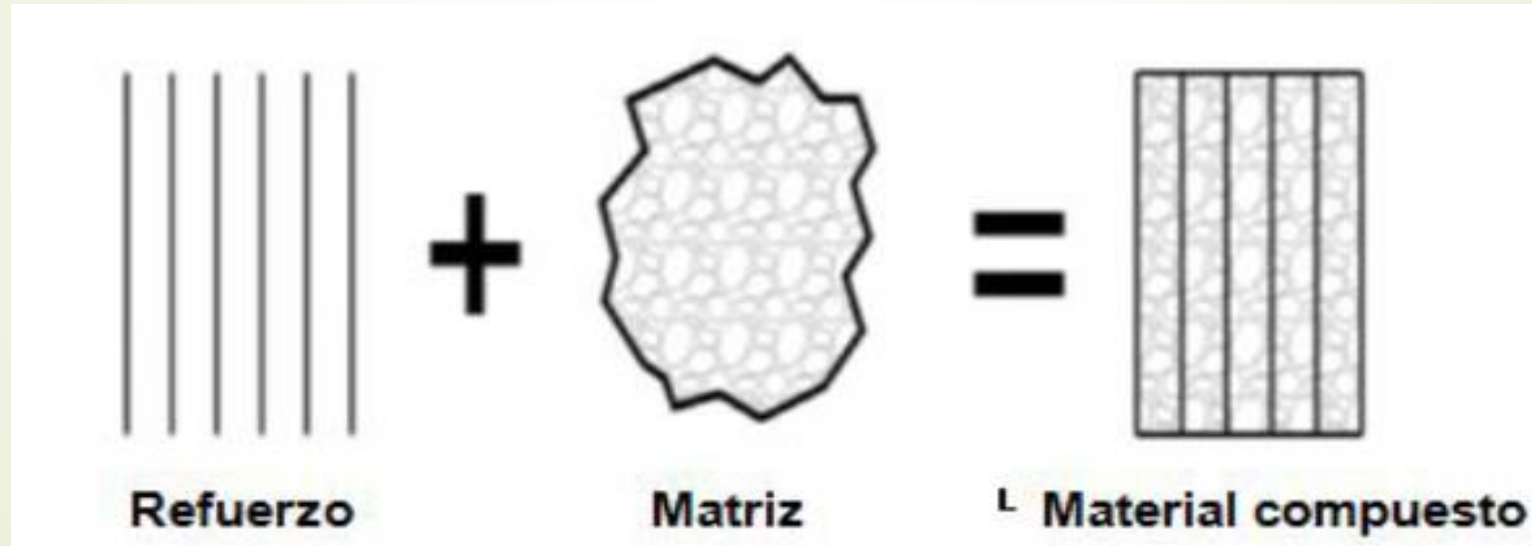


Materiales compuestos

| Categoría de Compuesto | Definición | Diagrama | Ejemplo |
|-------------------------------|---|--|-------------------------------|
| Reforzados con fibras | Compuestos en el que un material se forma de la matriz externa y transfiere cualquier carga aplicada a las fibras |  | Compuesto Epóxico Kevlar |
| De partículas | Compuestos que contienen grandes números de partículas gruesas para reforzar la matriz |  | Concreto |
| Laminares | Compuestos que se hace al alternar juntas con un adhesivo capas de distintos materiales |  | Madera contrachapada |
| Híbridos | Compuestos hechos de otros materiales compuestos | | Concreto reforzada con barras |

Compuestos reforzados con fibras.

Estos compuestos son diseñados con la finalidad de conseguir una gran resistencia y rigidez a baja densidad



Totora

Es una planta acuática y es muy común de encontrarla en las costas de los lagos, se caracteriza por albergar una diversidad de vida silvestre como aves residentes y migratorias, peces de agua dulce, anfibios como sapos y ranas y una gran variedad de plantas acuáticas





Metodología

Se detalla una metodología experimental, la cual se dividió en varias etapas que fueron:

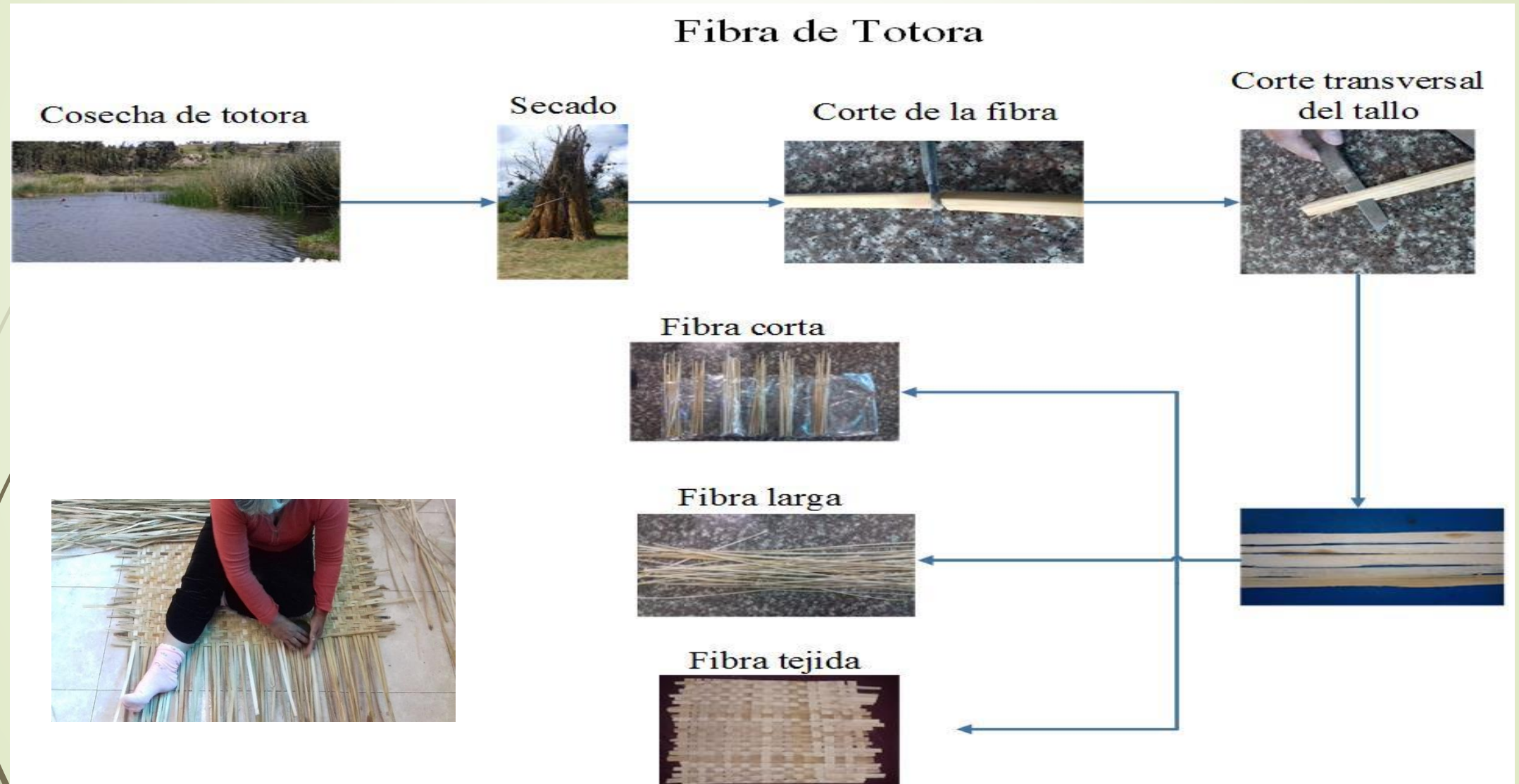
- ▶ Formulación del material compuesto
- ▶ Caracterización del material compuestos
- ▶ Validación de la caracterización mediante software
- ▶ Construcción de un prototipo de parachoques delantero.

Materialles.

La resina de poliéster 33000.



Metodología para la obtención de la fibra de totora.



Dimensionamiento de las probetas.

- **Elaboración de las probetas de tracción.** Se realizó mediante la norma ASTM D – 3039. Fibra corta, larga y tejida

Elaboración de las probetas para flexión.

Se elaboraron según la norma ASTM – D 7264 con fracción volumétrica del 30 %, la configuración de la fibra (corta, larga, tejida)

Elaboración de las probetas para impacto.

Se elaboraron mediante la norma ASTM- D 6110, con una fracción volumétrica del 30 %, la configuración de la fibra (Corta, larga, tejida)



Determinación de la fracción volumétrica de la fibra natural.

- ▶ La densidad del compuesto se determina mediante gravimetría; se observó un cambio de volumen depositado en la probeta de 13.6 cm^3 ; también con la ayuda de una balanza digital se determinó una masa de 12.26 gr, con estos valores se determina la densidad del material compuesto reforzado con totora con un valor de 0.894 gr/cm^3 .



Determinación de la fracción volumétrica de la fibra natural

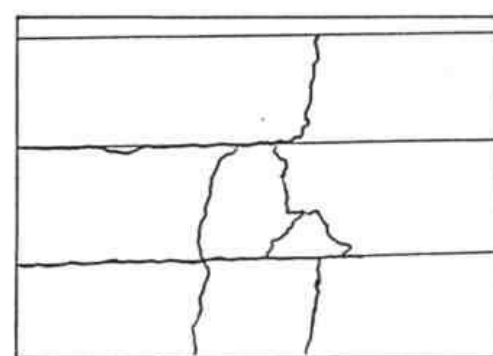
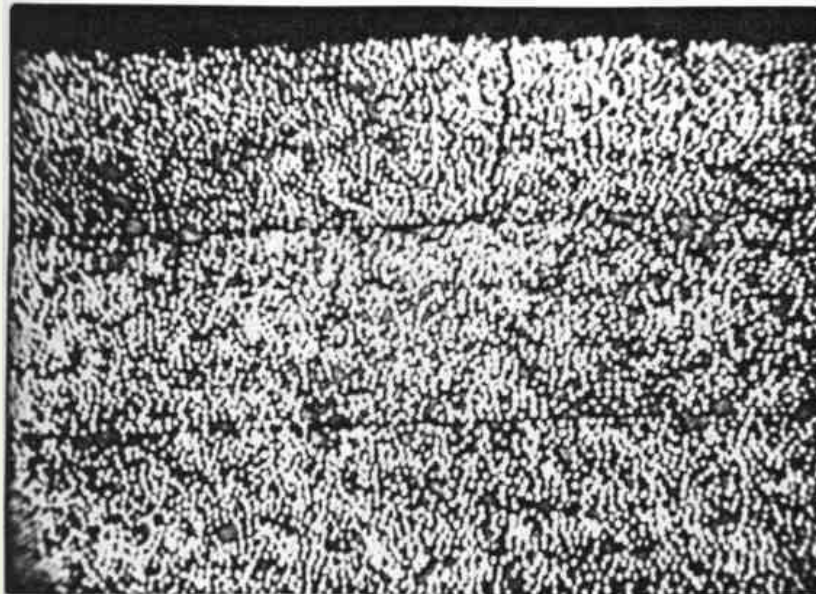
$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

- Donde:
- ρ_c = Densidad del material compuesto
- ρ_m = Densidad de la matriz
- ρ_f = Densidad de la fibra
- f_m = Fracción volumétrica de la matriz
- f_f = Fracción volumétrica de la fibra

$$f_f = 0.3 = 30 \%$$

Choque térmico

Para el choque térmico se considera como referencia lo establecido en la norma NTN INEN 2 192:2000. Las probetas se someterán a cambios de temperatura, los mismos que oscilan entre 90 °C y la temperatura ambiente del sector con una variación de $\pm 5^{\circ}\text{C}$.



Test de parachoques “RCAR”

- Para el desarrollo del ensayo se utiliza una barrera específicamente diseñada y cubierta de material deformable, montada sobre una superficie indeformable. En la prueba el vehículo es lanzado a una velocidad de 10 km/h

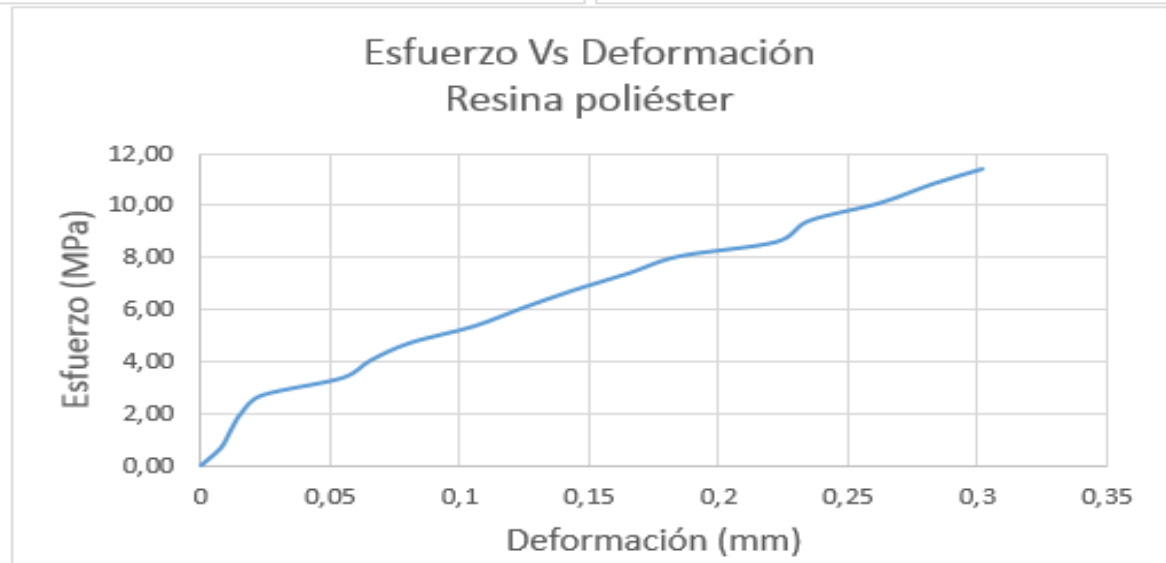
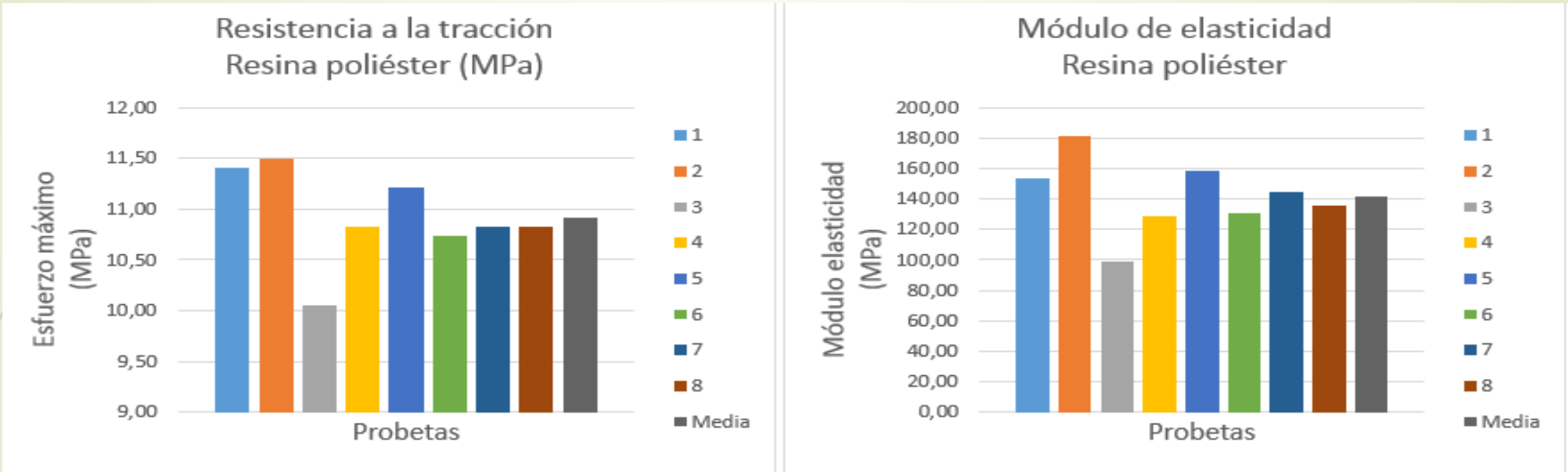


Fabricación del prototipo

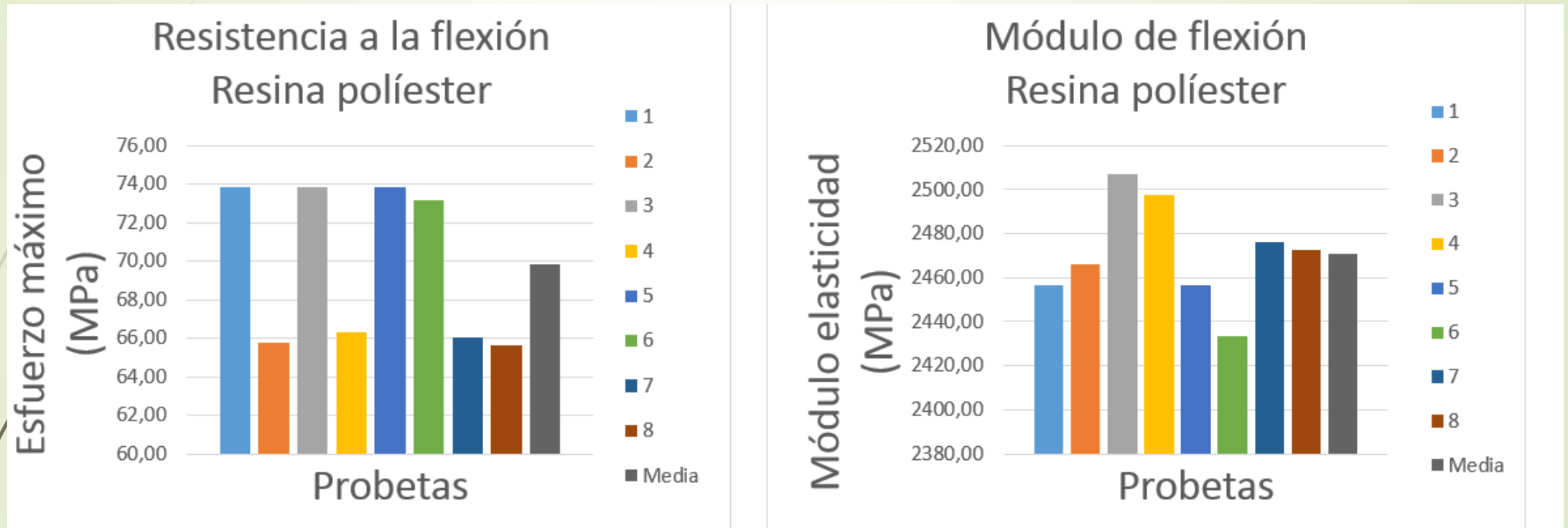


RESULTADOS

Ensayo a tracción resina de poliéster 33000.



Ensayo a flexión de la matriz resina de poliéster 33000.

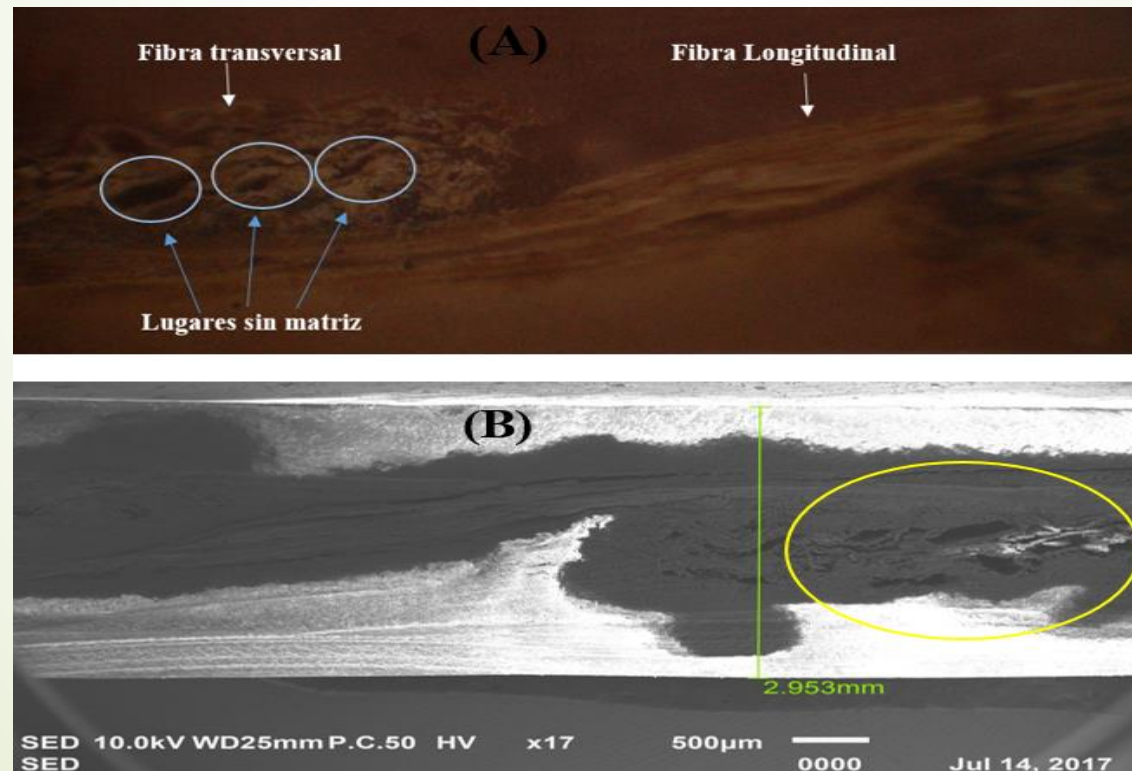


Ensayo a impacto de resina poliéster 33000.

| UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK | | | |
|-------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------|
| RESINA DE POLIÉSTER 33000 | | | |
| Máquina | Péndulo Charpy | Norma | ASTM D 6110 |
| Tipo de ensayo | Impacto | Numero de probetas | 8 |
| Matriz | Resina de poliéster | Frac. Volumétrica | 100% |
| Refuerzo | - | Frac. Volumétrica | - |
| Estratificación | Manual | Velocidad de ensayo | |
| Dimensiones probeta (mm) | 120x 12,5x espesor | Peso promedio probeta | 22,8 gr |
| Espesor Promedio (mm) | 12,4 | Laboratorio | ESPOCH |
| DATOS Y RESULTADOS | | | |
| N° | Péndulo | RESISTENCIA AL IMPACTO (J) | |
| 1 | 25 J | 3 | |
| 2 | | 2,8 | |
| 3 | | 3 | |
| 4 | | 3 | |
| 5 | | 2,8 | |
| 6 | | 3,2 | |
| 7 | | 3 | |
| 8 | | 2,6 | |
| Promedio | | 2,9 | |
| Desviación Estándar | | 0,18 | |

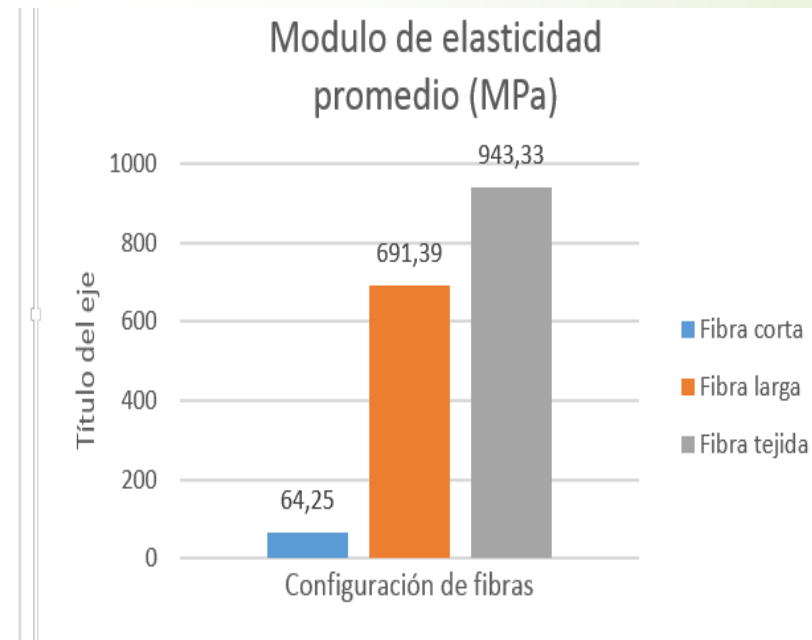
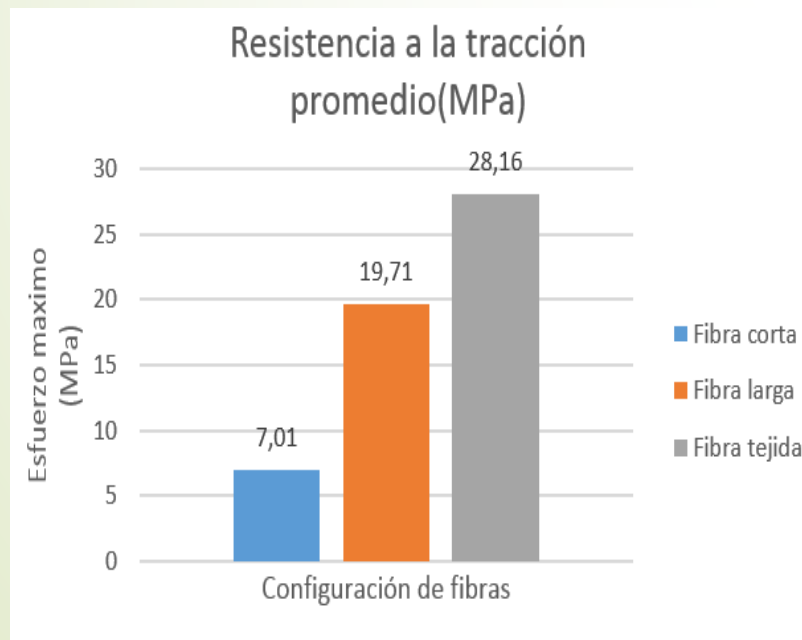
Caracterización del material compuesto de matriz resina de poliéster 33000 y refuerzo de fibra de totora.

Fusión de la matriz de poliéster y fibra de totora



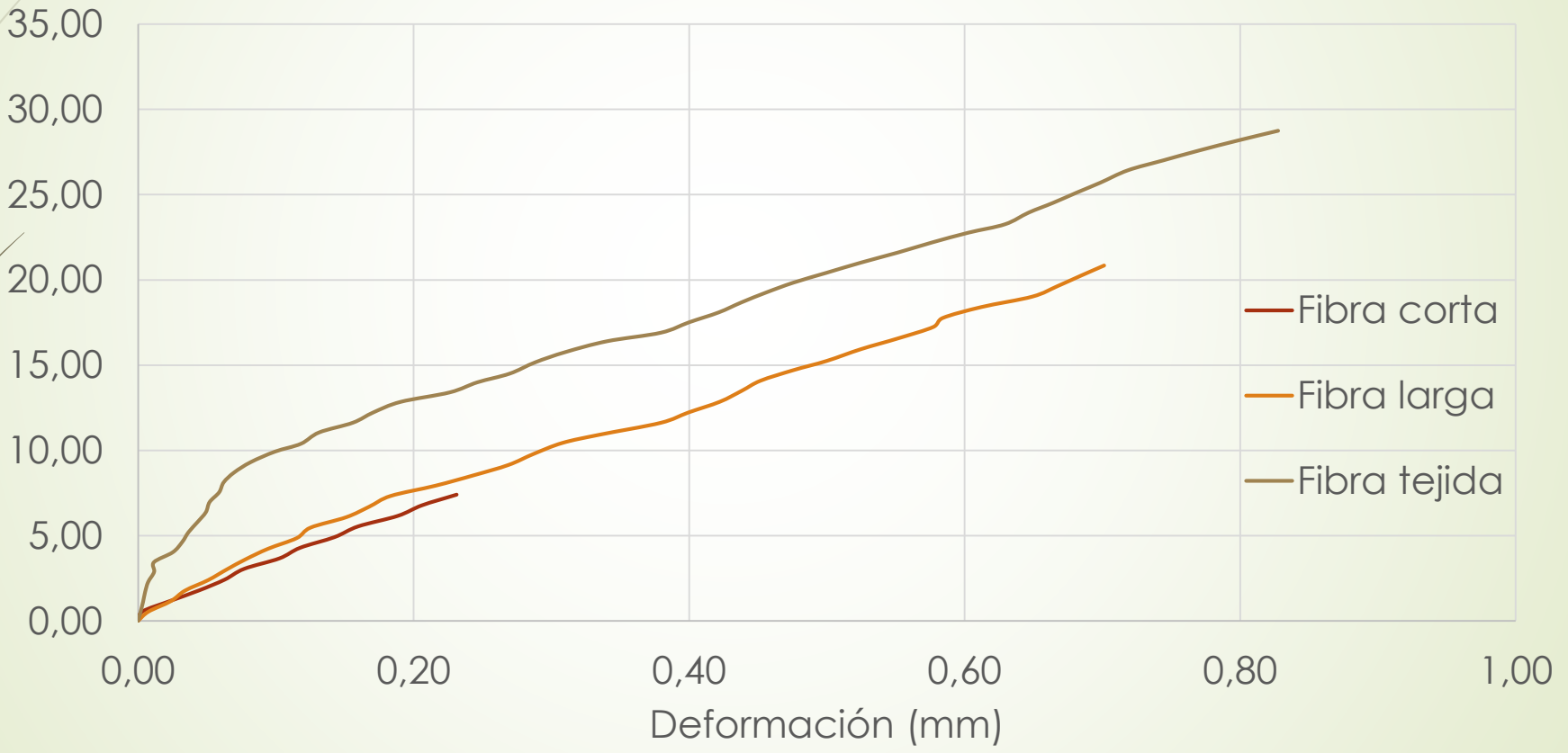
Resultados promedios del ensayo a tracción de las distintas configuraciones

| RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO A TRACCIÓN | | | | | | |
|---|------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------------|
| Configuración | Carga máxima(Kg) | Carga máxima (N) | Deformación máxima (mm) | Esfuerzo máximo (MPa) | Elongación (mm) | Módulo de elasticidad (MPa) |
| Fibra corta | 47,76 | 468,37 | 0,216 | 7,01 | 0,1159 | 64,25 |
| Fibra larga | 135,93 | 1333,08 | 0,653 | 19,71 | 0,031 | 691,39 |
| Fibra tejida | 204,24 | 2002,94 | 0,791 | 28,16 | 0,03127 | 943,33 |



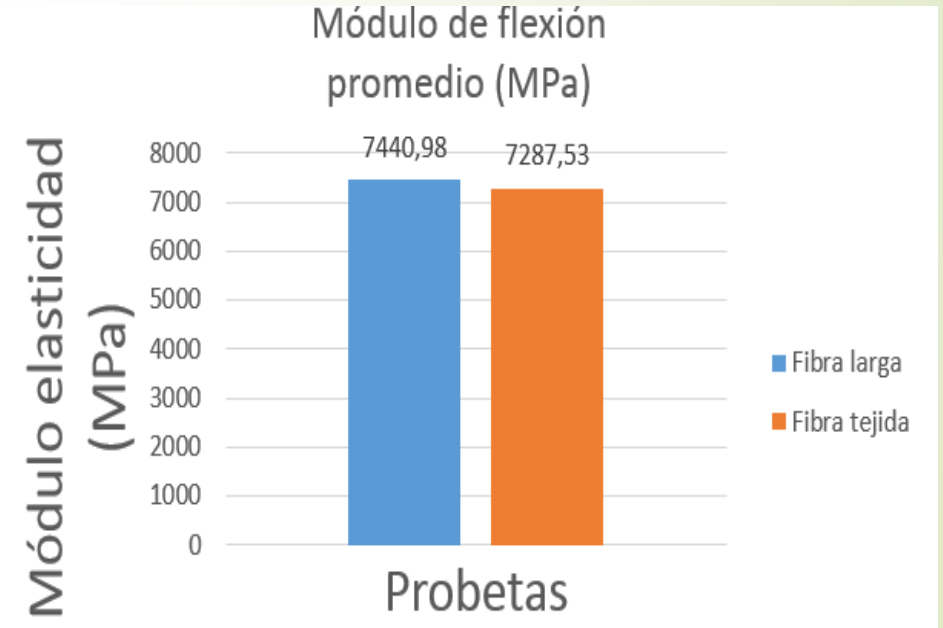
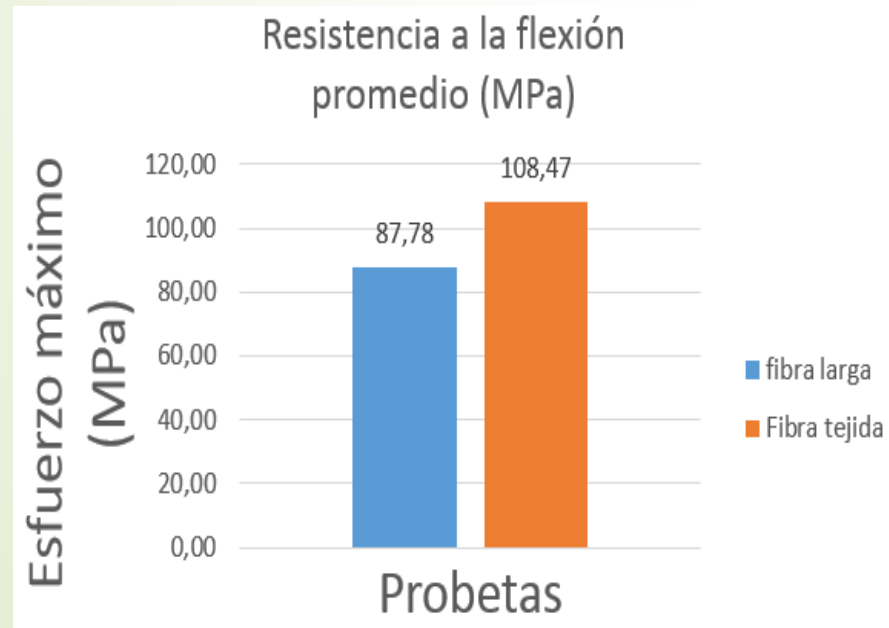
Esfuerzo vs deformación Promedio

Esfuerzo promedio (MPa)

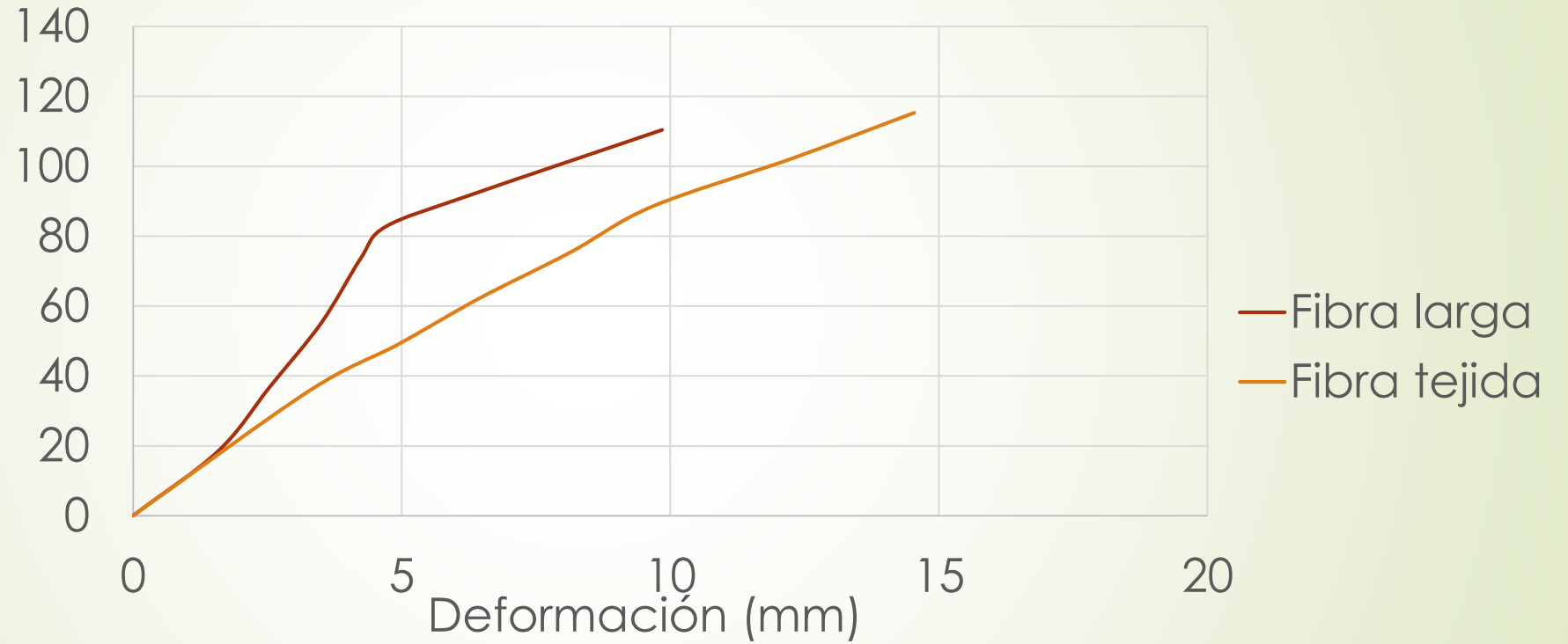


RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO A FLEXIÓN

| Configuración | Carga máxima(Kg) | Carga máxima (N) | Deformación máxima (mm) | Resistencia máxima a flexión (MPa) | Módulo de flexión(MPa) |
|---------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Fibra larga | 11,95 | 117,21 | 9,4 | 87,78 | 7440,98 |
| fibra tejida | 12,54 | 123,01 | 13,1 | 108,47 | 7287,53 |



Esfuerzo Vs Deformación (promedio)



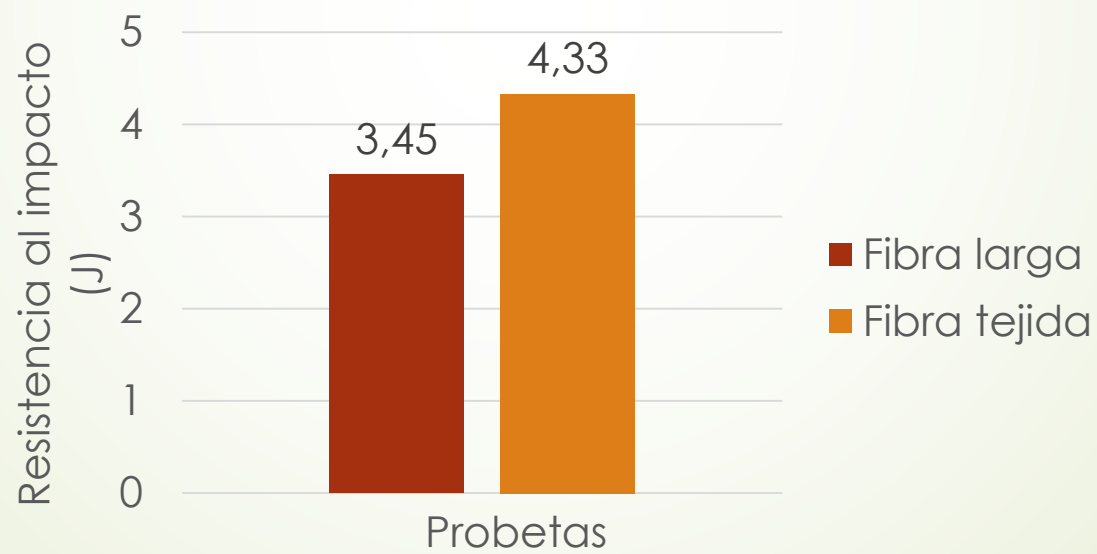
Esfuerzo máximo
(MPa)

Deformación (mm)

- Fibra larga
- Fibra tejida

| RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO A IMPACTO | | |
|--|---------|-------------------------------------|
| N° | Péndulo | RESISTENCIA AL IMPACTO PROMEDIO (J) |
| Fibra larga | 25 J | 3,45 |
| Fibra tejida | | 4,33 |

Resistencia al impacto Promedio



Hipótesis . El material compuesto de fibra de totora en su configuración fibra tejida y larga mejora las características mecánicas de la resina de poliéster.

H0: No hay diferencia entre las configuraciones del material compuesto de fibra de totora.

H1: Las características del material compuesto en su configuración fibra tejida y fibra larga superan las características de la resina de poliéster.

Resumen estadístico

| | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación | Mínimo | Máximo |
|------------------|----------|----------|---------------------|---------------------------|--------|--------|
| Fibra tejida | 8 | 108,471 | 12,5964 | 11,6127% | 85,08 | 123,34 |
| Fibra larga | 8 | 87,7838 | 8,22501 | 9,36962% | 77,3 | 94,22 |
| Resina poliéster | 8 | 69,8062 | 4,11703 | 5,8978% | 65,66 | 73,82 |
| Total | 24 | 88,6871 | 18,2883 | 20,6211% | 65,66 | 123,34 |

Tabla resumen método ANOVA

Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

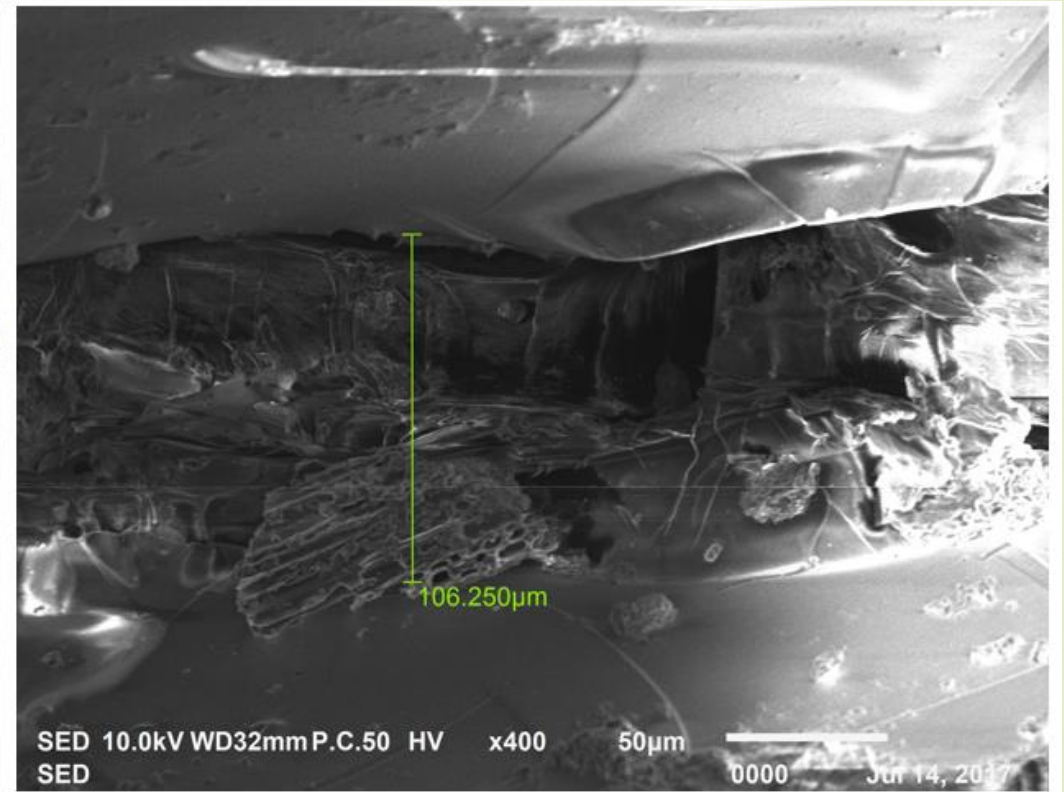
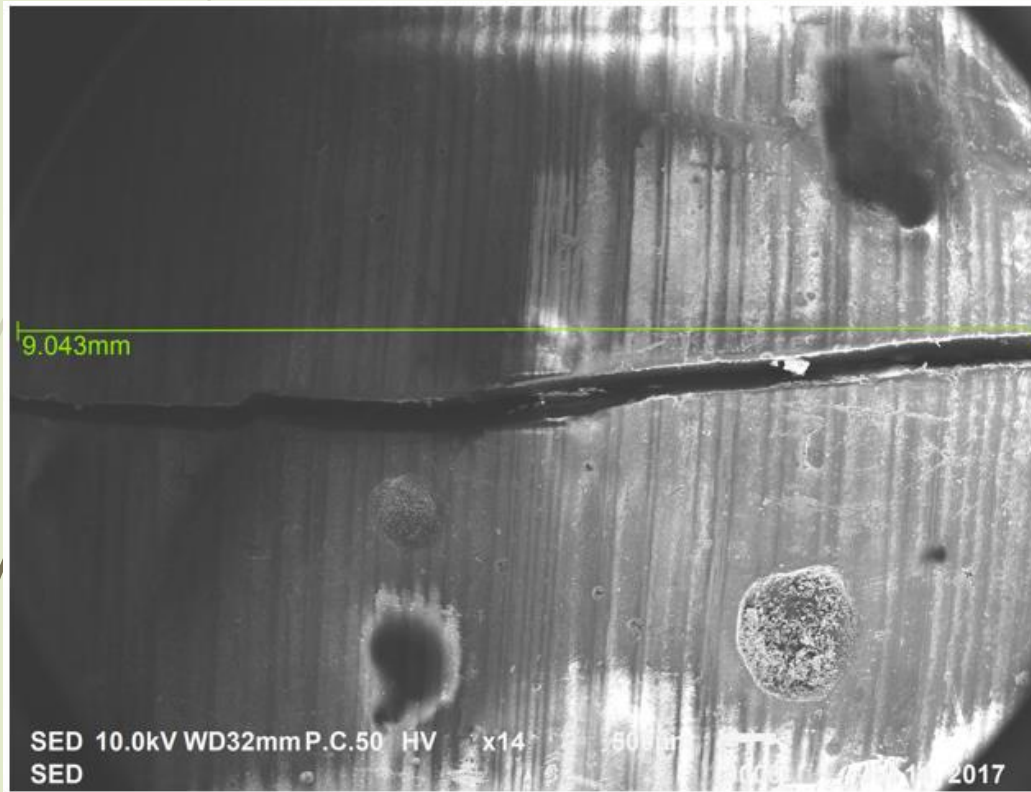
| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 5989,72 | 2 | 2994,86 | 36,93 | 0,0000 |
| Intra grupos | 1702,89 | 21 | 81,0899 | | |
| Total (Corr.) | 7692,61 | 23 | | | |

Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|---------------------------------|------|------------|-------------|
| Fibra tejida - Fibra larga | * | 20,6875 | 9,36348 |
| Fibra tejida - Resina poliéster | * | 38,665 | 9,36348 |
| Fibra larga - Resina poliéster | * | 17,9775 | 9,36348 |

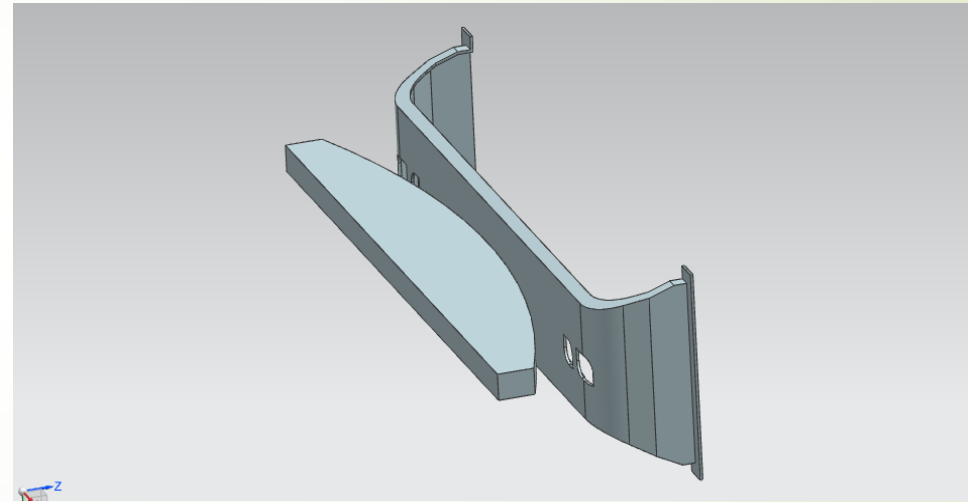
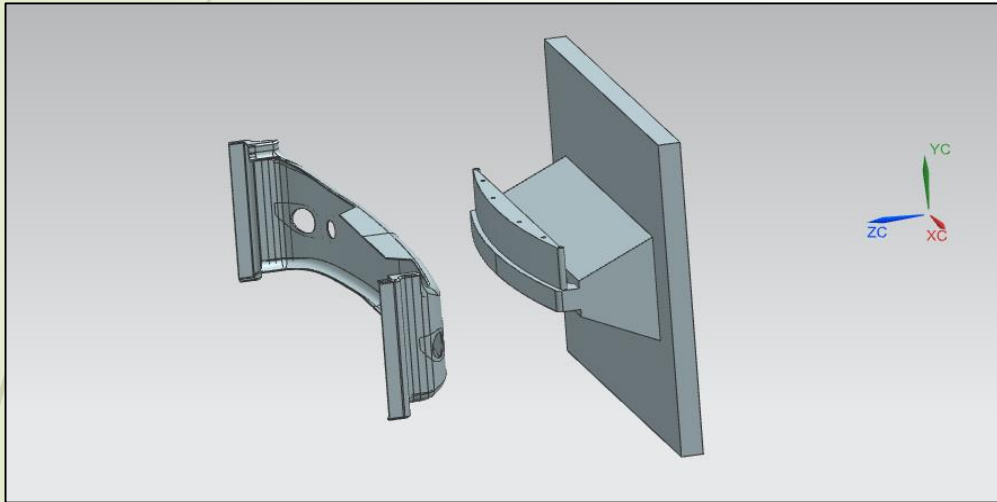
- Estadísticamente se establece una diferencia en las características mecánicas a flexión, entre la fibra tejida y la fibra larga de 21% entre la fibra tejida y la resina poliéster 39% y finalmente entre la fibra larga y resina de poliéster de 18%.

Choque térmico



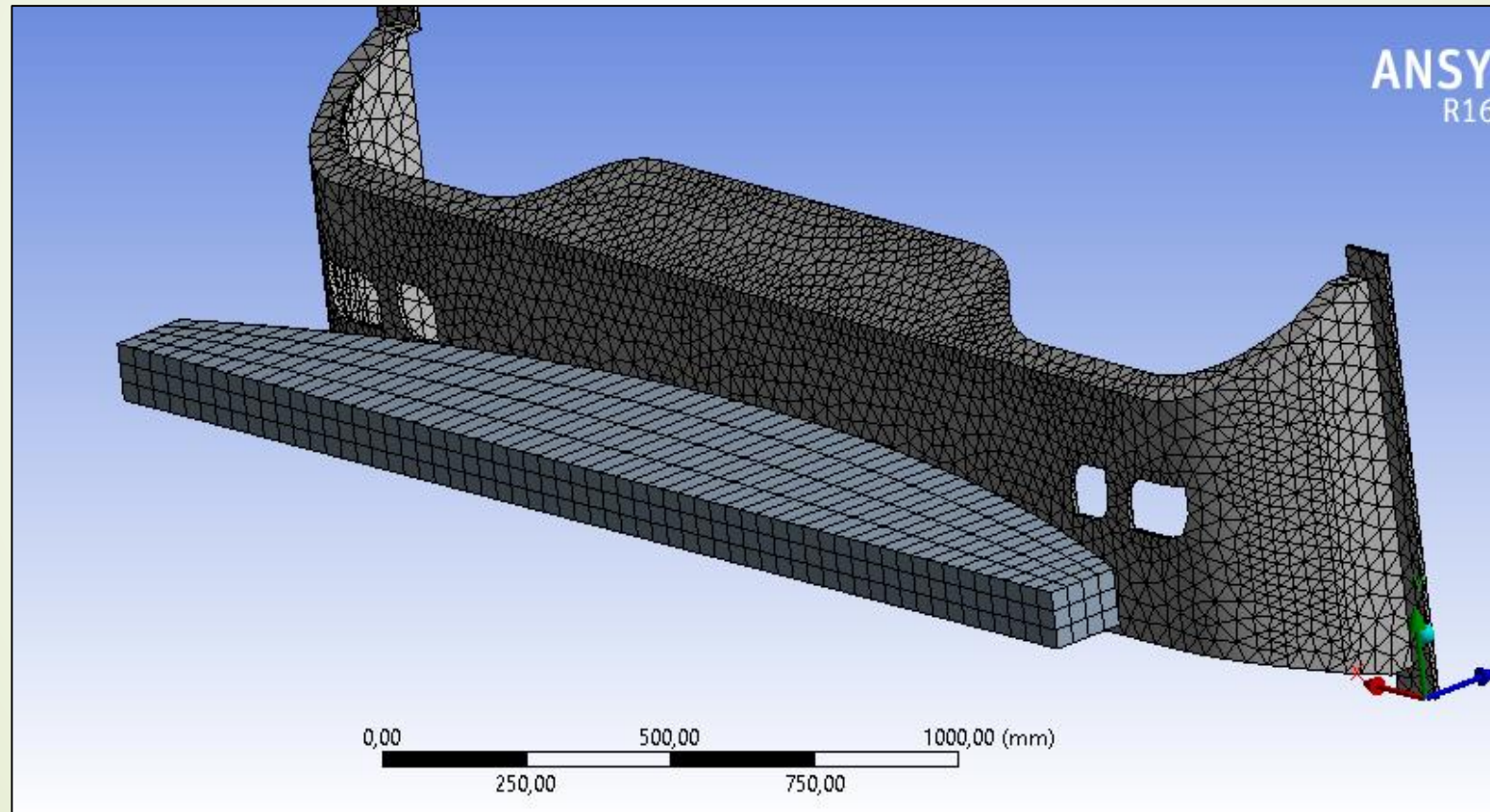
Simulación del test de parachoques RCAR

Modelado de componentes

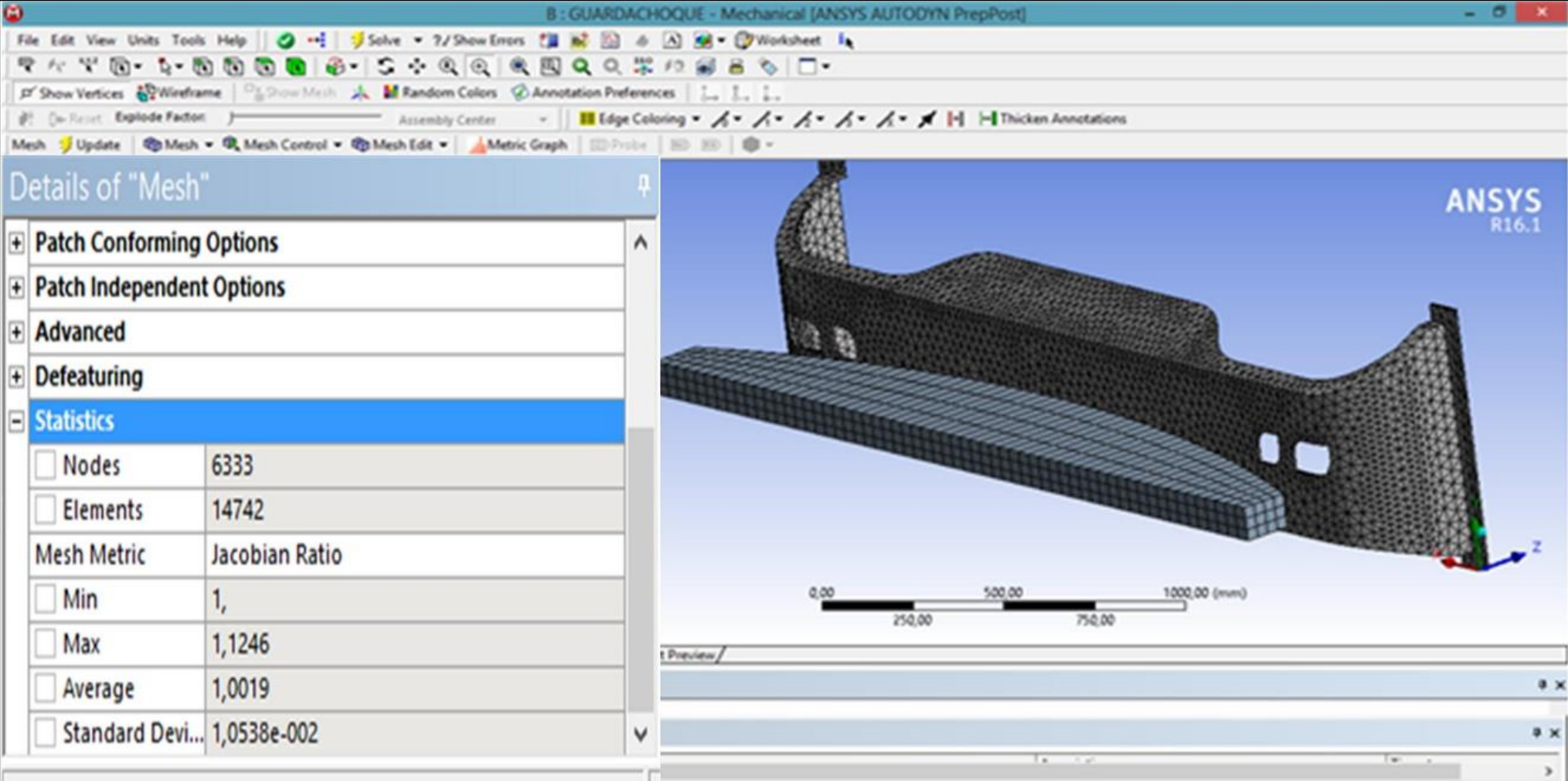


Mallado

Malla hexagonal de 8 nodos para la barrera de impacto y una malla tetraedro para el guardachoques,



Convergencia jacobiana



Details of "Mesh"

- + Patch Conforming Options
- + Patch Independent Options
- + Advanced
- + Defeaturing
- **Statistics**

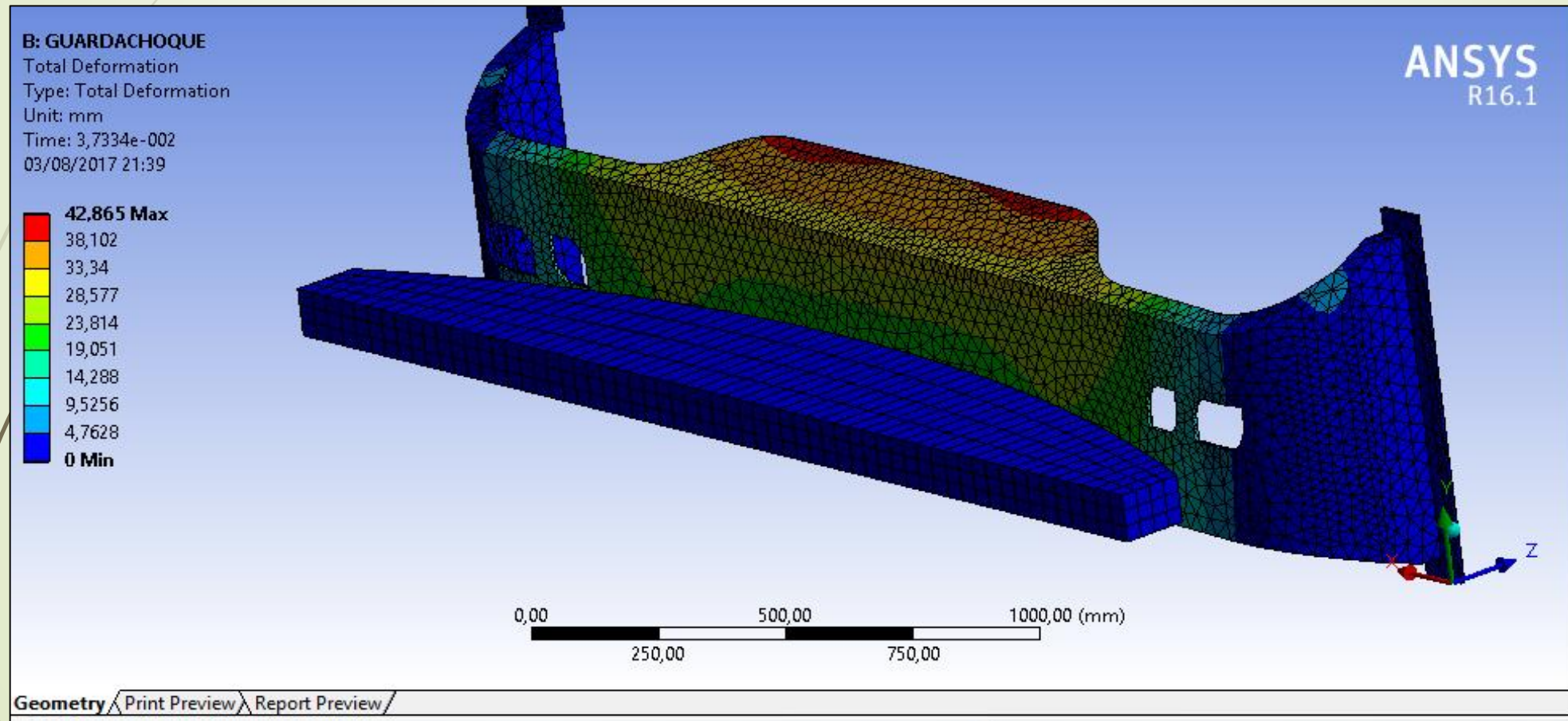
| | |
|---|----------------|
| <input type="checkbox"/> Nodes | 6333 |
| <input type="checkbox"/> Elements | 14742 |
| Mesh Metric | Jacobian Ratio |
| <input type="checkbox"/> Min | 1, |
| <input type="checkbox"/> Max | 1,1246 |
| <input type="checkbox"/> Average | 1,0019 |
| <input type="checkbox"/> Standard Devi... | 1,0538e-002 |

ANSYS R16.1

0,00 250,00 500,00 750,00 1000,00 (mm)

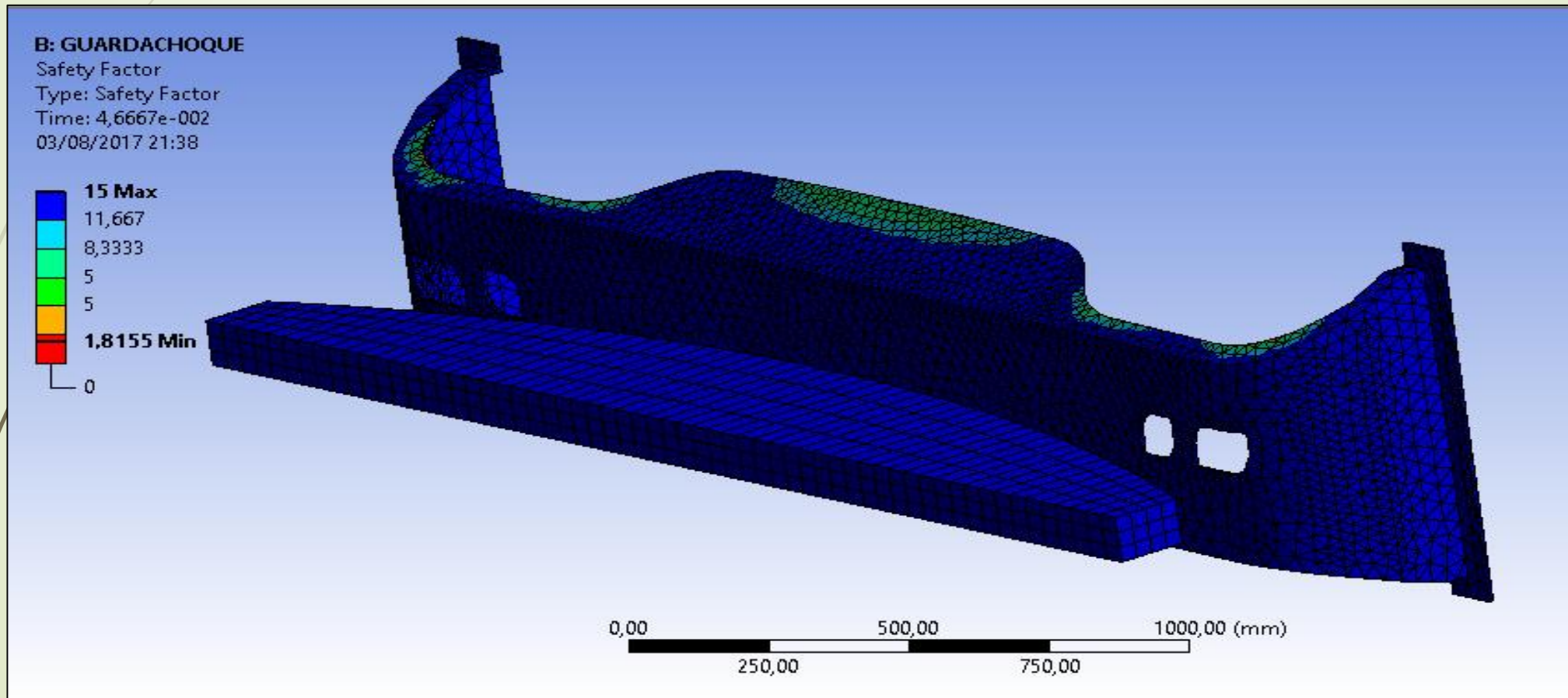
Simulación de datos fibra tejida

Deformación



Simulación de datos fibra tejida

Factor de seguridad



Validación de los resultados

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Entonces si el peso de un autobús es de 4.5 toneladas aproximadamente, $m = 145000 \text{ kg}$ la velocidad es de $v = 2.778 \frac{m}{s}$, si se reemplaza en la ecuación 7.

$$E_c = \frac{1}{2} (145000 \text{ kg}) \cdot \left(2.778 \frac{m}{s}\right)^2$$
$$E_c = 559503.09 \text{ Nm}$$

$$F = \frac{E_c}{s}$$

De los datos obtenidos en la simulación de la totora tejida se toma el dato de deformación $s = 0.042865 \text{ m}$ y se reemplaza en la ecuación (9)

$$F = \frac{559503.09 \text{ Nm}}{0.042865}$$

$$F = 13052679.11$$

$$\sigma_{maxf} = \frac{Mc}{I} \quad (10)$$

Donde:

M = Momento máximo (N-mm)

c = 200 Distancia máxima del momento (mm)

I = Segundo momento de área alrededor del eje z (mm^4)

Remplazando los valores de la figura 102 en la ecuación 10 se tiene:

$$\sigma_{maxf} = \frac{(25975 \text{ Nmm})(200 \text{ mm})}{1630000 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{maxf} = 3.18 \text{ MPa}$$

Details of "Moment Reaction"

| | |
|---------------------------------|------------------|
| <input type="checkbox"/> Total | 25975 N-mm |
| Maximum Value Over Time | |
| <input type="checkbox"/> X Axis | 25975 N-mm |
| <input type="checkbox"/> Y Axis | -1,7359 N-mm |
| <input type="checkbox"/> Z Axis | 6,0733e-003 N-mm |
| <input type="checkbox"/> Total | 25975 N-mm |
| Minimum Value Over Time | |
| <input type="checkbox"/> X Axis | 25975 N-mm |
| <input type="checkbox"/> Y Axis | -1,7359 N-mm |
| <input type="checkbox"/> Z Axis | 6,0733e-003 N-mm |
| <input type="checkbox"/> Total | 25975 N-mm |
| Information | |

Informar de valores de coordenadas relativas a: -- predeterminado --

Las propiedades de sección de la cara seleccionada de GUARDACHOQUE FINAL 1

Área = 9.37e+003 centímetros²

Centro de gravedad con relación al origen del sistema de coordenadas de salida: (centímetros)

X = 130
Y = -2.58
Z = 30

Momentos de inercia, del área, en el centro de gravedad: (centímetros⁴)

Lxx = 1.63e+006 Lxy = 0 Lxz = -1.67e-008
Lyx = 0 Lyy = 3.44e+007 Lyz = 0
Lzx = -1.67e-008 Lzy = 0 Lzz = 3.61e+007

Momento polar de inercia, del área, en el centro de gravedad = 3.61e+007 centímetros⁴

Ángulo entre ejes principales y ejes de pieza = -2.42e-015 °

Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: (centímetros⁴)

Ix = 1.63e+006
Iy = 3.44e+007

Momentos de inercia del área, en el sistema de coordenadas de salida: (centímetros⁴)

LXX = 1.01e+007 LXY = -3.14e+006 LXZ = 3.65e+007
LYX = -3.14e+006 LYY = 2.01e+008 LYZ = -7.25e+005
LZX = 3.65e+007 LZY = -7.25e+005 LZZ = 1.94e+008

La teoría de fallas de Mohr modificada establece que:

$$\sigma_A = \frac{S_{ut}}{n}$$
$$\sigma_A \geq \sigma_{maxf} \geq 0 \quad y \quad \frac{\sigma_{maxf}}{\sigma_A} \leq 1$$

Donde:

S_{ut} = resistencia a la tensión

n = factor de seguridad

Si la resistencia a la tensión de la fibra tejida es $S_{ut} = 28.16$ y un factor de seguridad máximo de $n = 1.81$ al remplazar se tiene:

$$\sigma_A = \frac{28.16}{1.81}$$

$$\sigma_A = 15.56 \text{ Mpa}$$

Al realizar la relación se comprueba que:

$$15.56 \geq 3.18 \geq 0$$

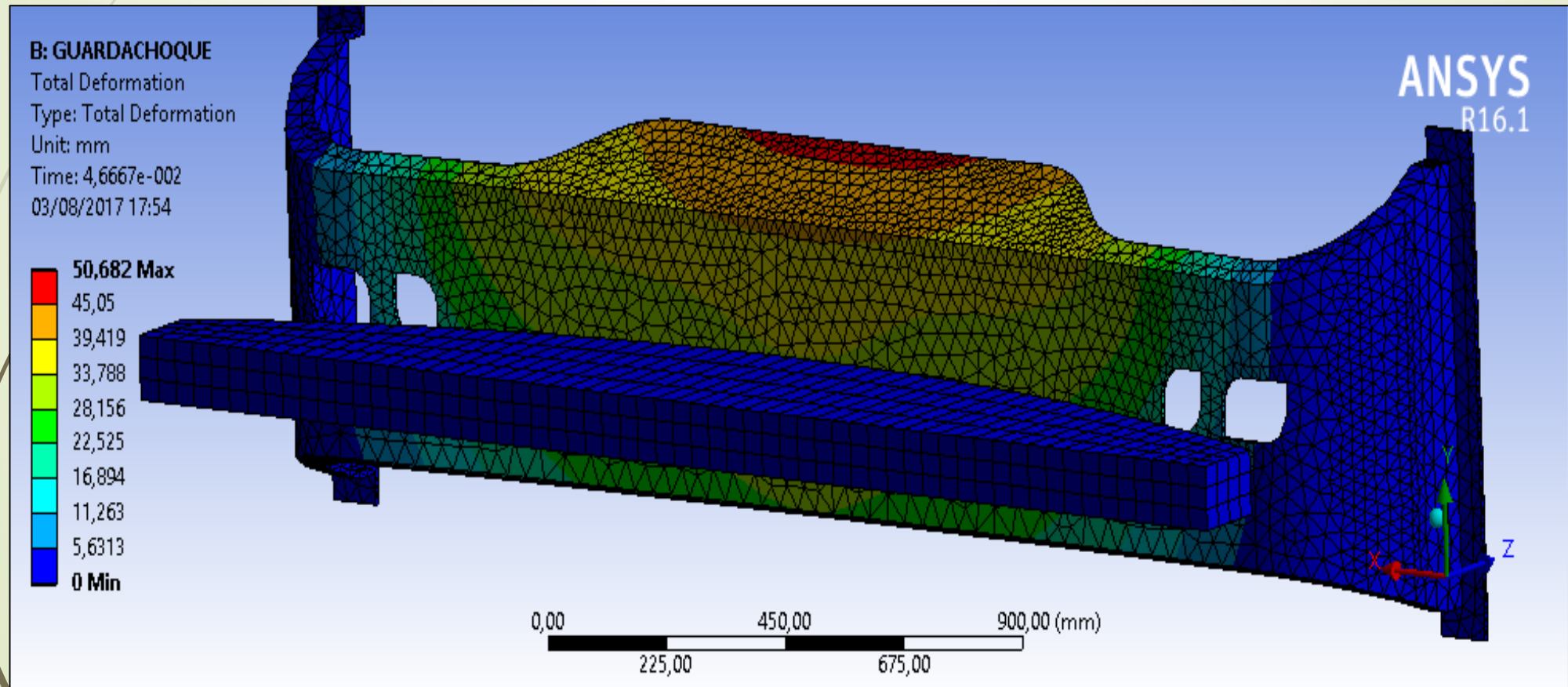
$$\frac{3.18}{15.56} \leq 1$$

$$0.20 \leq 1$$

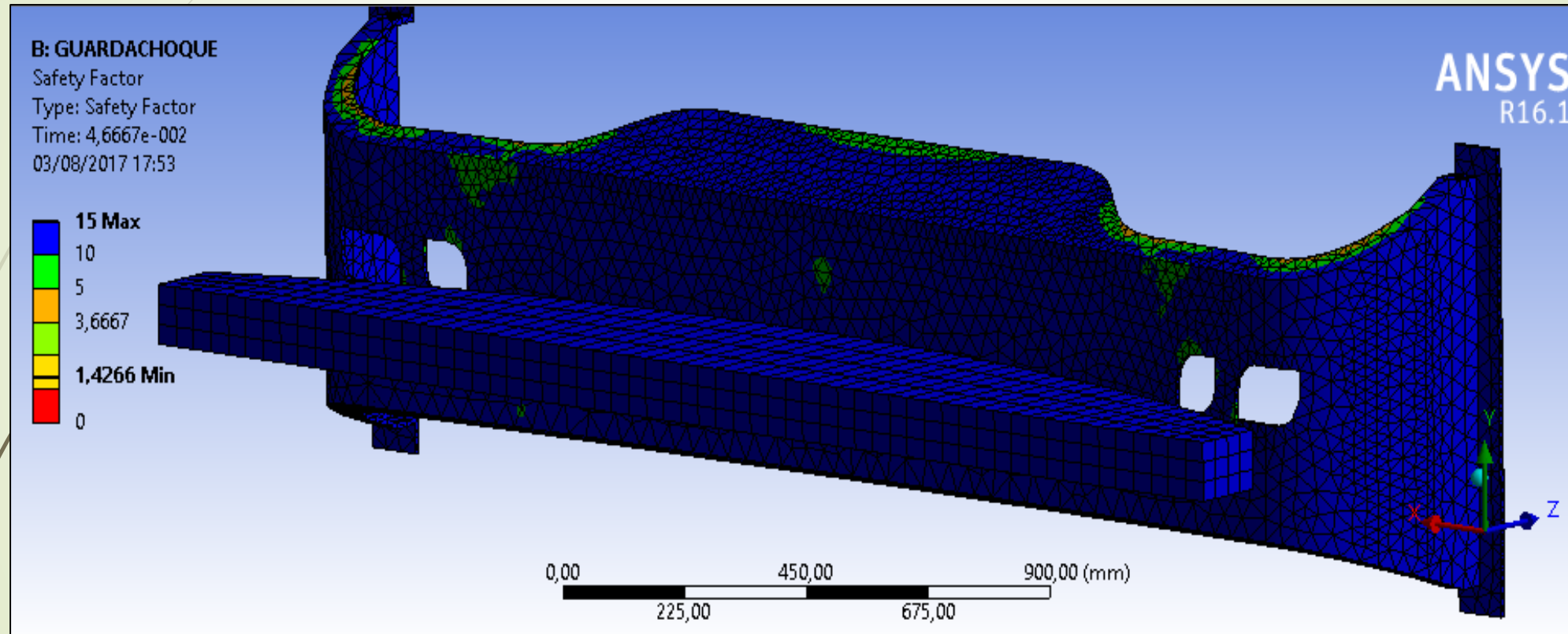
Al cumplir la relación que establece la teoría de fallas de Mohr modificada se establece que el material con configuración tejida resiste al ensayo de impacto RCAR.

Simulación de datos fibra larga

Deformación



Factor de seguridad



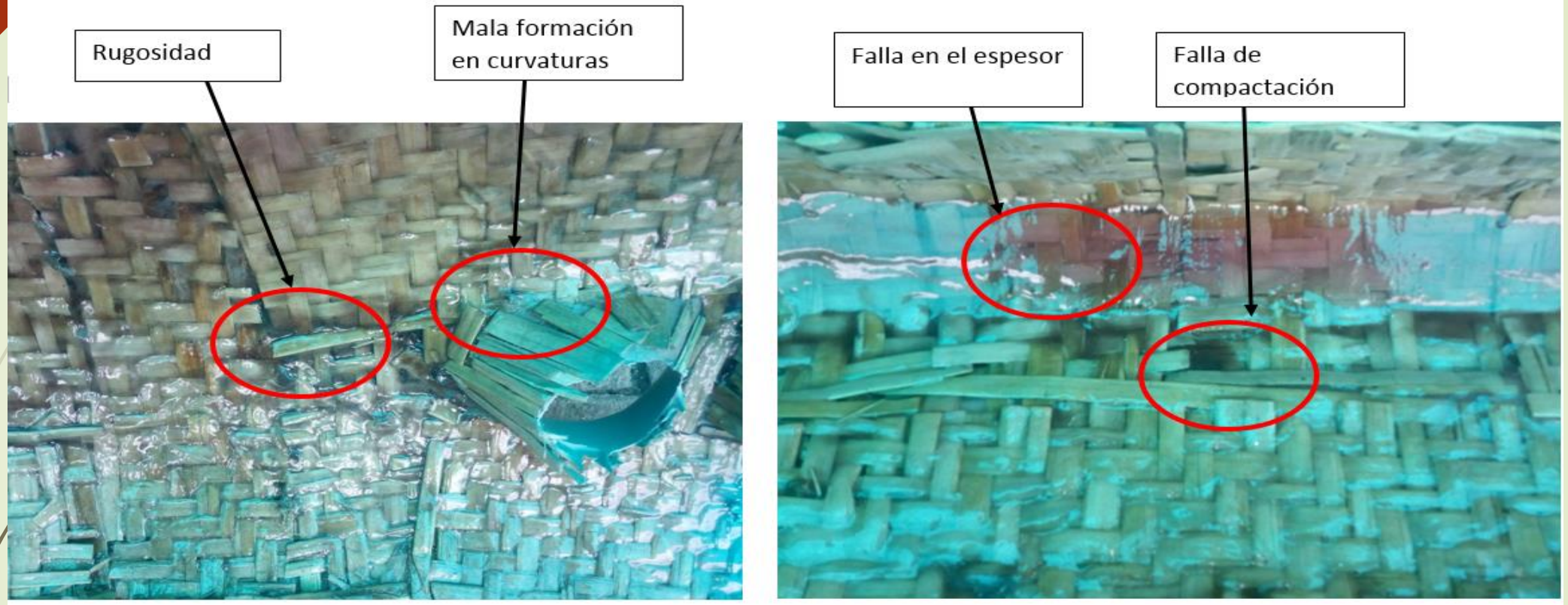
Fabricación de prototipo de parachoques

Referente a la fabricación de prototipo se obtiene un parachoques con un peso de 15.12 kg



Si el peso aproximado de un parachoques fabricado con fibra de vidrio y resina poliéster es de 17.73 kg y se compara con el prototipo de totora se evidencia una reducción en peso del 15%.

Fallas en el prototipo.



Análisis de costos. El costo de fabricación sin acabados (Pintura y acabado superficial) del prototipo es de \$ 713, 23 dólares americanos, si se compara este valor con el precio encontrado en el mercado es superior, esto es porque para la fabricación de nuestro prototipo se adquirió un molde de parachoques en \$400, quiere decir que el valor del parachoques es de \$ 313.23, y que si aplicando un costo beneficio se establece que con cinco unidades fabricadas recompensa el precio del molde y se establece una ganancia de 21 % en unidad

Conclusiones.

- ▶ En base a la investigación realizada sobre materiales compuestos, el uso de las fibras naturales como totora, por su abundancia en el país, su gran resistencia, y al obtener una diferencia en su fabricación del 20 % del valor total de su construcción, en relación a los existentes en el mercado se establece que es una excelente alternativa para la fabricación de parachoques delantero de autobuses.
- ▶ La resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad de los espécimen caracterizados, no dependen de la masa si no de la configuración interna de la fibra. El ensayos de tracción realizado al material compuesto de matriz resina de poliéster en concentración volumétrica de 70 % y refuerzo de totora de 30%, favorecen en los resultados de resistencia a la tracción a las configuraciones de fibra tejida y larga con valores de 19.71 (MPa) y 28.16 (MPa) respectivamente, de igual manera para el módulo de elasticidad con valores de 691.39 (MPa) para fibra larga, 943.33 (MPa) para fibra corta.
- ▶ En la curva Esfuerzo – Deformación del material compuesto, se evidencia que no posee un punto de fluencia definido, así como también carece de zona plástica. Las fracturas producidas por los ensayos destructivos son perpendiculares a la fuerza aplicada, y no presentan cono de rotura, estas son características son típicas de un material frágil.

Conclusiones.

- Si se aplica cambios de temperatura igual o superior a 90 °C, el material compuesto es afectado notoriamente en las características mecánicas, ya que se produce imperfecciones como fracturas, por lo que esta composición del material debe trabajar en zonas con temperaturas inferiores 90°C.
- Al realizar la simulación en el software ANSYS FREE el test RCAR de parachoques, proporciona factores de seguridad mayor a 1, lo que indica que el resultado corrobora con los obtenidos en la caracterización del material compuesto de resina poliéster y totora, la simulación obtuvo una convergencia jacobiana de 1.12.
- 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.
- El análisis de costos nos determina que es una inversión rentable la fabricación de parachoques con el material compuesto de totora.

Recomendaciones.

- ▶ Tener en cuenta la configuración de la fibra de totora para su aplicación puesto que la fibra presenta distintas características mecánicas para cada configuración.
- ▶ Respetar los tiempos de curado de la resina poliéster para obtener una buena fusión de matriz y refuerzo
- ▶ El momento de fabricar el parachoques verificar que el refuerzo adopte correctamente la forma del molde
- ▶ Con la fibra larga el proceso de moldeo se facilita a diferencia que con la configuración tejida.
- ▶ Para una mejor presentación del molde se pueden realizar acabados superficiales como es el masillado, fondeado y pintura. Para realizar los ensayos destructivos, no destructivos, fabricación del molde, se debe utilizar los equipos, materiales, y protección personal, adecuada para evitar lesiones y datos erróneos.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

