



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: JUAN JOSÉ VEGA MOREIRA

TEMA:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DE UN TRICICLO  
MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD  
EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES.”**

---

DIRECTOR: ING. STALIN MENA

CODIRECTOR: ING. MARIO LARA

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ausencia de un medio de transporte innovador, versátil y ecológico que se acople a la movilización de personas con discapacidad en sus extremidades inferiores en nuestro país, especialmente en la Ciudad de Latacunga – Provincia de Cotopaxi

---

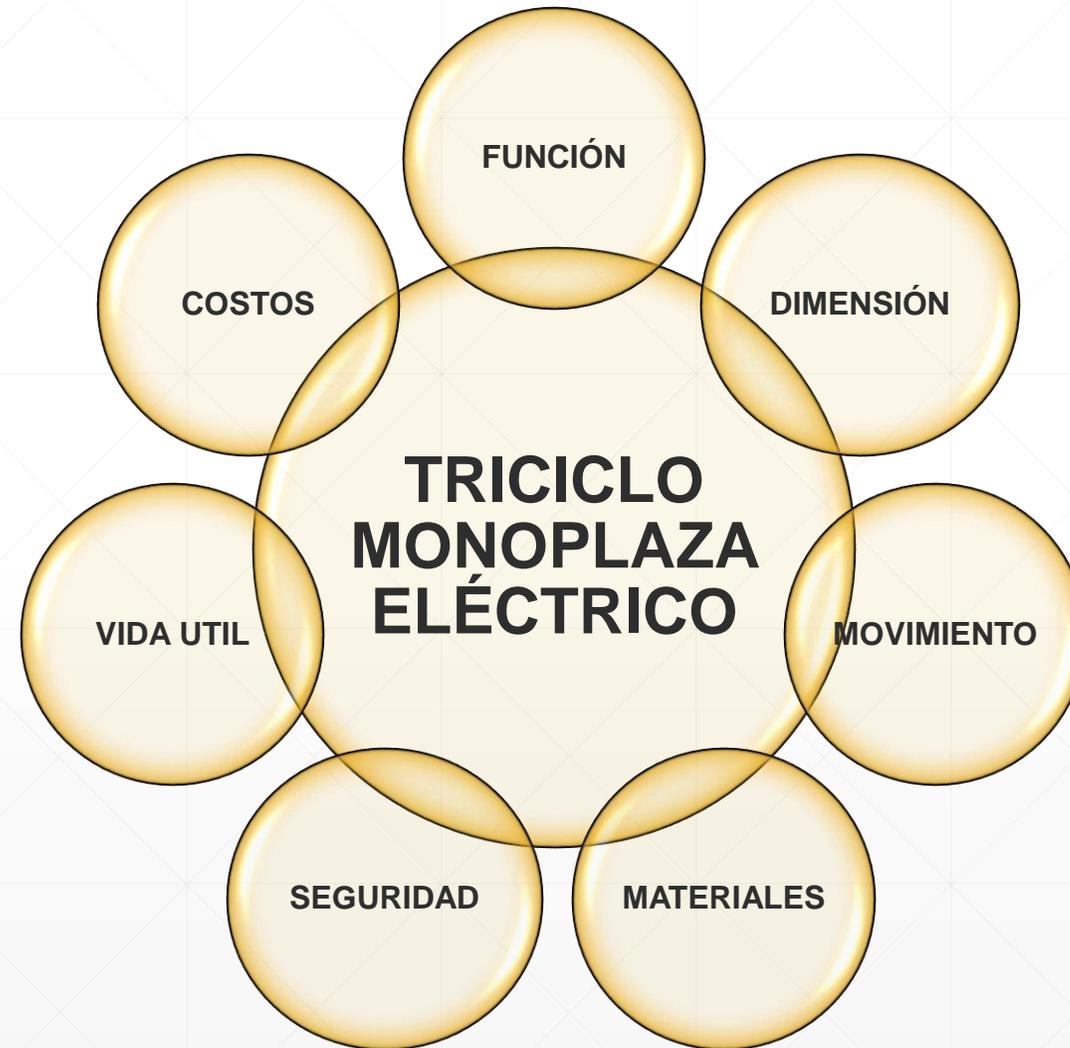
# OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir la carrocería y bastidor de un triciclo monoplaza eléctrico mediante el uso de software de simulación y a través de procesos tecnológicos a fin de brindar transporte a personas con discapacidad en sus extremidades inferiores.
-

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

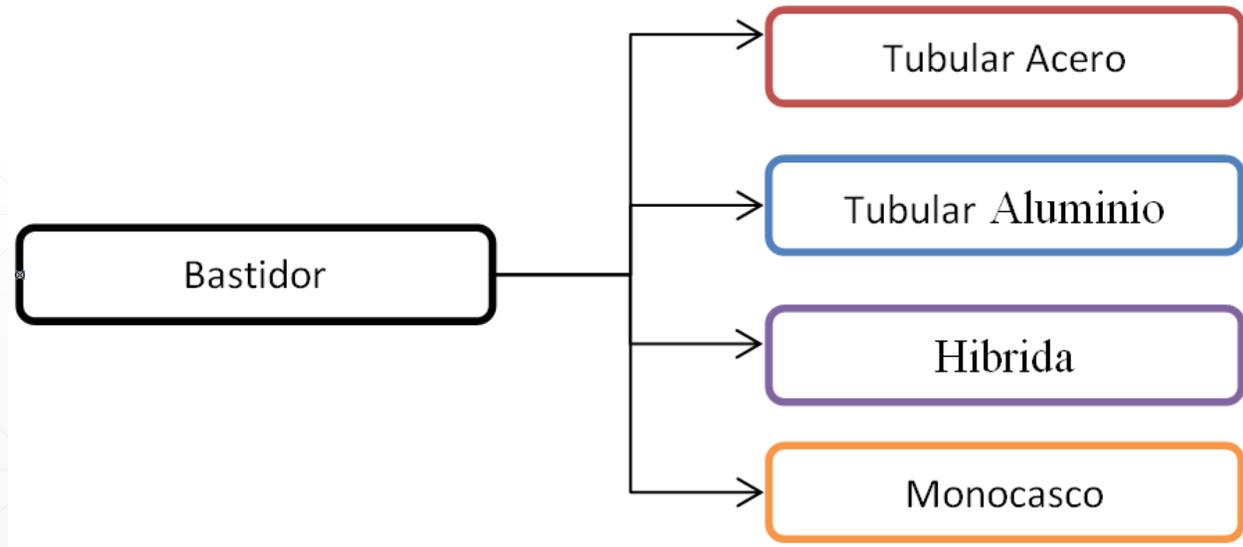
- Diseñar el bastidor del triciclo monoplaça eléctrico y simular las cargas y esfuerzos, con la ayuda del Autodesk Inventor y ANSYS, de modo que podamos predecir el comportamiento del mismo.
  - Construir el bastidor mediante procesos de manufactura normalizados.
  - Diseñar la carrocería del triciclo monoplaça eléctrico con la asistencia del Autodesk Inventor y simular la aerodinámica de la misma con la ayuda del ANSYS.
  - Construir la carrocería a base de fibra de vidrio a fin de obtener una estructura liviana con una aerodinámica funcional.
  - Brindar el acabado correspondiente a la carrocería incluyendo el proceso de pintado.
-

# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL BASTIDOR



# SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

La selección debe ser objetiva y lógica, que satisfaga los requerimientos, restricciones y especificaciones técnicas.



# MATRIZ DE SELECCIÓN

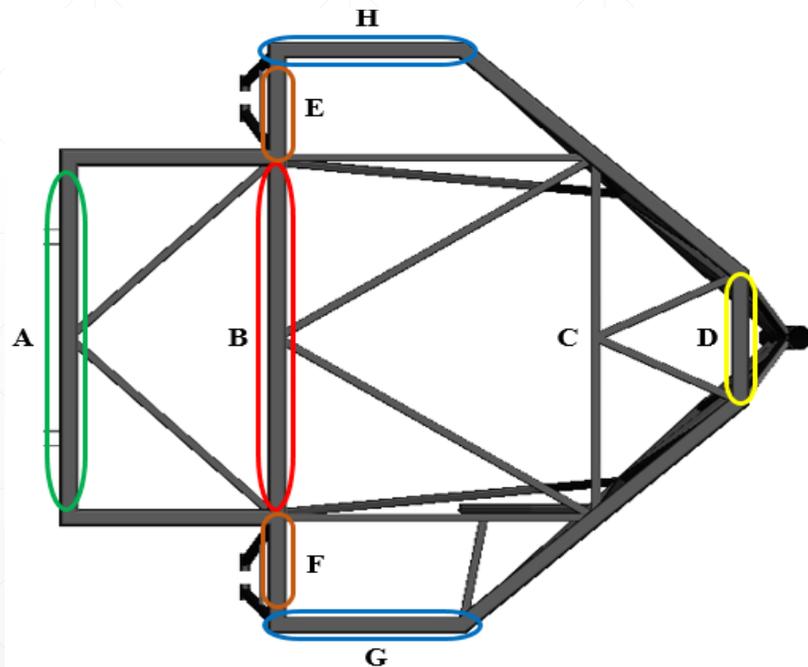
Las alternativas deben ser evaluadas con el mejor criterio, de esta forma se determinara la solución más factible y eficaz

Parámetros	Tubular Acero	Tubular Aluminio	Hibrida	Monocasco
Seguro	7	8	9	10
	0.25	0.25	0.25	0.25
Liviano	6	8	9	10
	0.25	0.25	0.25	0.25
Fácil de construir	10	7	6	5
	0.10	0.10	0.10	0.10
Adquisición	10	6	5	3
	0.20	0.20	0.20	0.20
Costo	10	6	5	3
	0.20	0.20	0.20	0.20
$\Sigma$	8.45	7.1	7.1	6.7

# CARGAS QUE ACTÚAN EN EL BASTIDOR

## CARGAS CONSTANTES

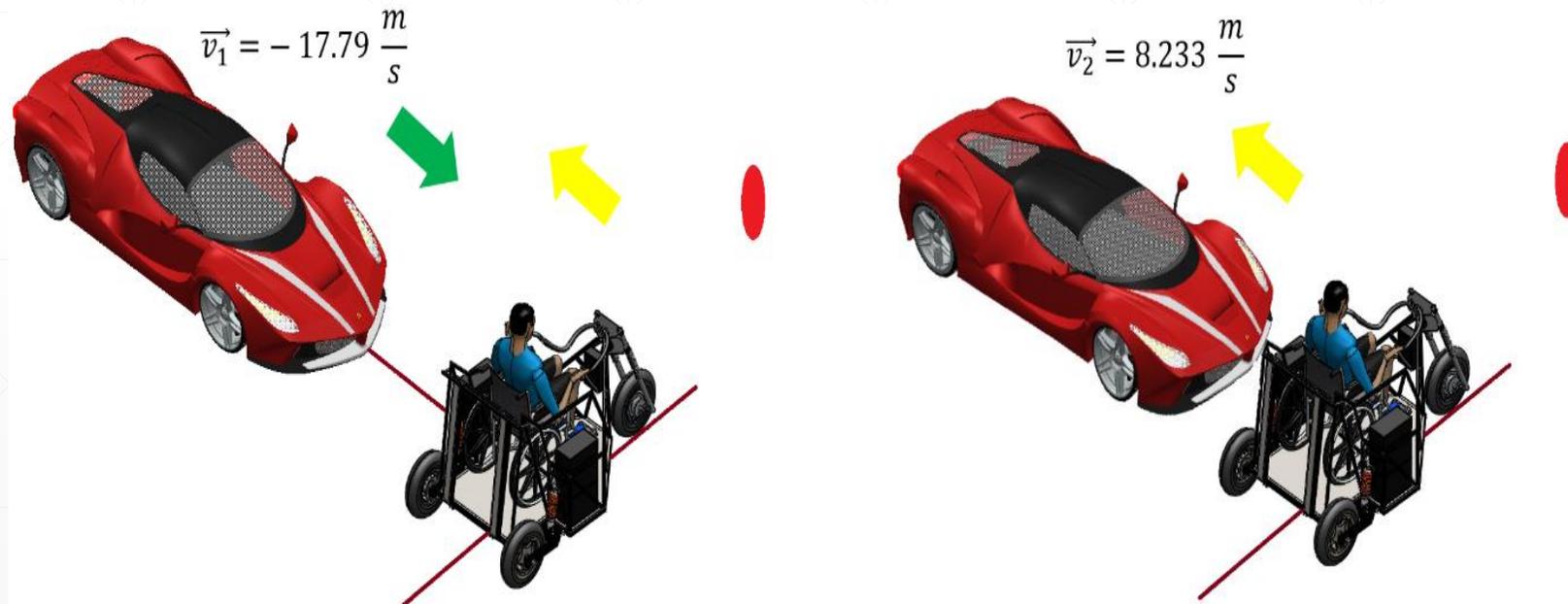
Debido a la acción del peso de cada componente que conforma el vehículo y el conductor, se generan cargas constantes aplicadas directamente en las secciones de sujeción



Componente	Sección	Peso
Baterías	E - H	1000 N
	F - G	
Conductor	A - B	1000 N
Sistema eléctrico	D	500 N
Sistema de acceso	A	500 N

# CARGA DE COLISIÓN LATERAL

Las **colisiones laterales o embestidas** se producen cuando un vehículo golpea a otro en su parte lateral, y dependiendo de la parte en la que colisiona un vehículos sobre el otro se denominan colisiones perpendiculares posteriores, centrales o anteriores.



# ANÁLISIS DE IMPACTO

$$P_i = m \cdot v_1$$

$$P_i = 1500 \text{ kg} \cdot -17.79 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_i = -26685 \text{ Ns}$$

$$P_f = m \cdot v_2$$

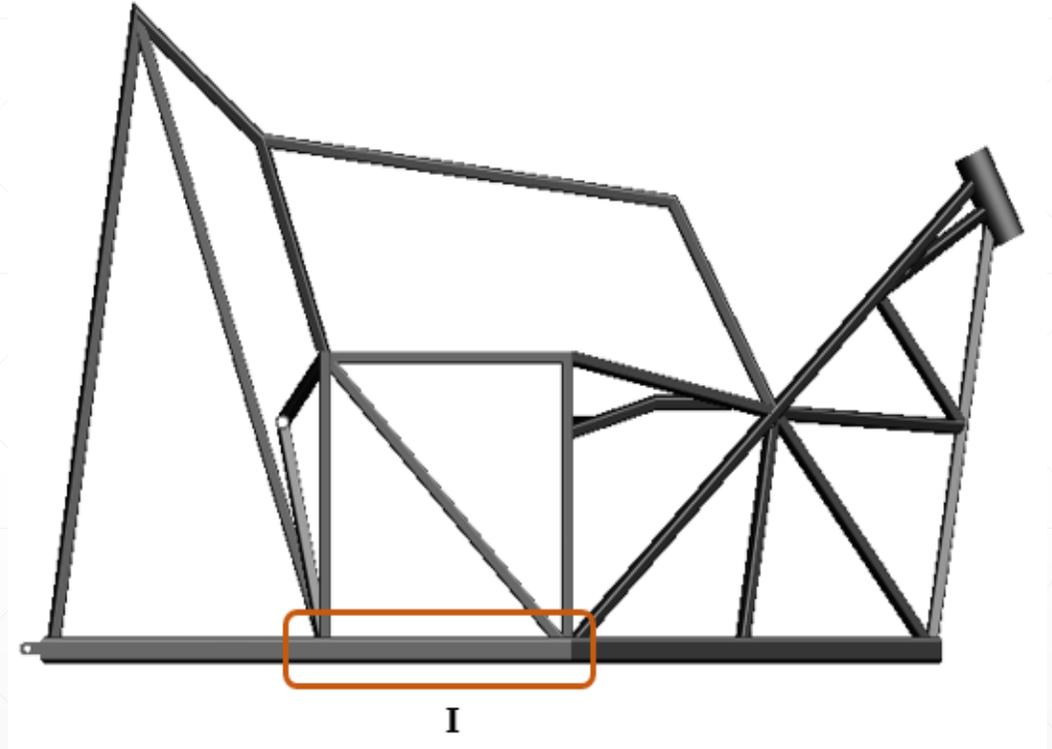
$$P_f = 1500 \text{ kg} \cdot 8.233 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_f = 12349.5 \text{ Ns}$$

$$F_{imp} = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

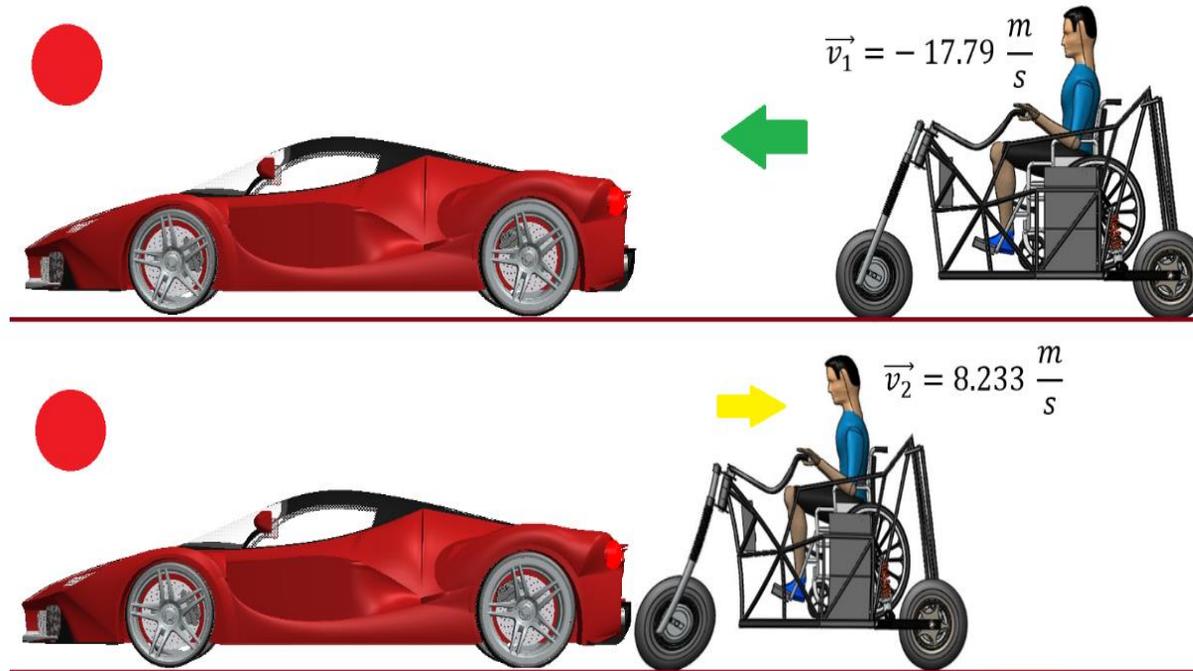
$$F_{imp} = \frac{P_f - P_i}{\Delta t}$$

$$F_{imp} = \frac{12349.5 \text{ Ns} - (-26685 \text{ Ns})}{0.05 \text{ s}}$$
$$F_{imp} = 780690 \text{ N}$$



# CARGA DE COLISIÓN FRONTAL

Estas colisiones consisten en que ambos vehículos colisionan con su parte delantera entre sí. Dependiendo del ángulo en el que colisionan ambos vehículos se diferencia el tipo de colisión, la cual puede ser frontal central, frontal excéntrica, frontal angular.



# ANÁLISIS DE IMPACTO

$$P_i = m \cdot v_1$$

$$P_i = 388 \text{ kg} \cdot -17.79 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_i = -6760.2 \text{ Ns}$$

$$P_f = m \cdot v_2$$

$$P_f = 388 \text{ kg} \cdot 8.233 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

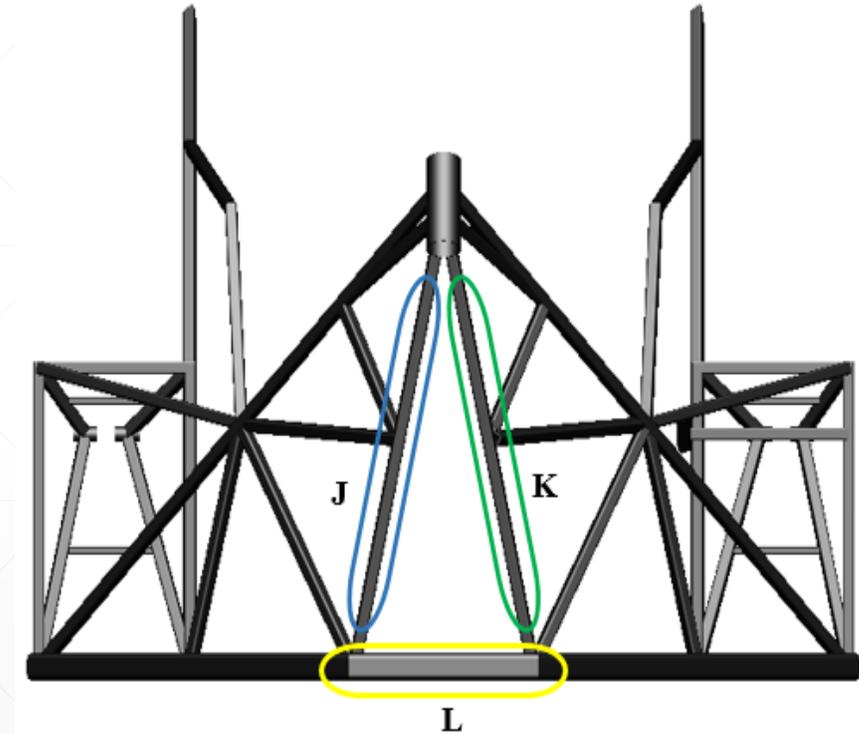
$$P_f = 3128.54 \text{ Ns}$$

$$F_{imp} = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

$$F_{imp} = \frac{P_f - P_i}{\Delta t}$$

$$F_{imp} = \frac{3128.54 \text{ Ns} - (-6760.2 \text{ Ns})}{0.05 \text{ s}}$$

$$F_{imp} = 197774.8 \text{ N}$$

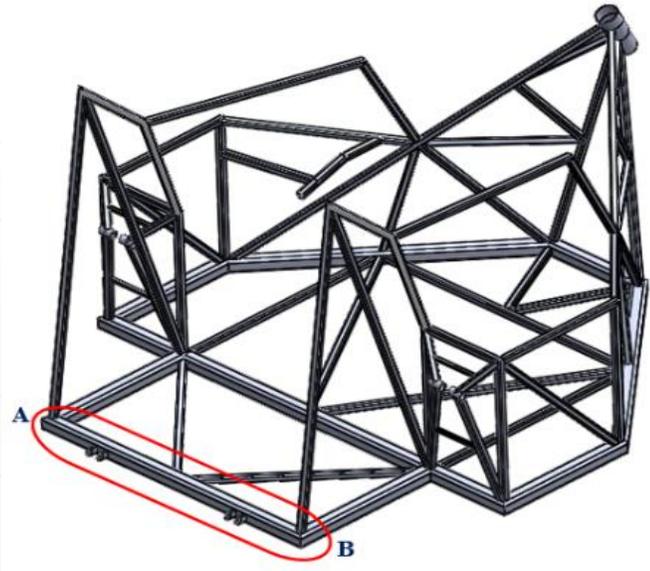


# CONVERGENCIA DEL MALLADO

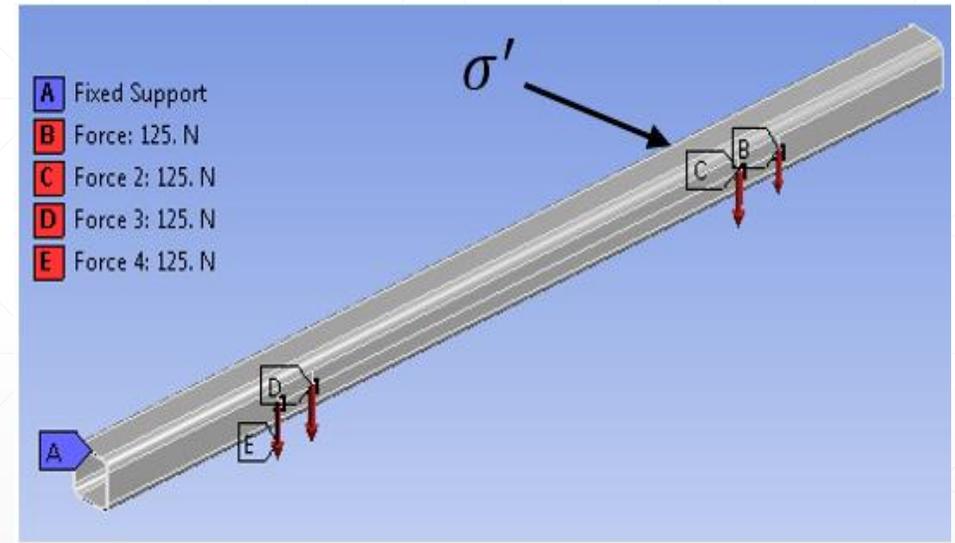
El método formal de establecer la convergencia de malla requiere una curva de un parámetro de resultado crítico como puede ser el esfuerzo equivalente de Von Mises el cual deberá ser analizado en una ubicación específica, para ser representado frente a alguna medida de densidad de la malla.

---

El tamaño óptimo del elemento de la malla se determinará a través del método de la convergencia en la sección A-B



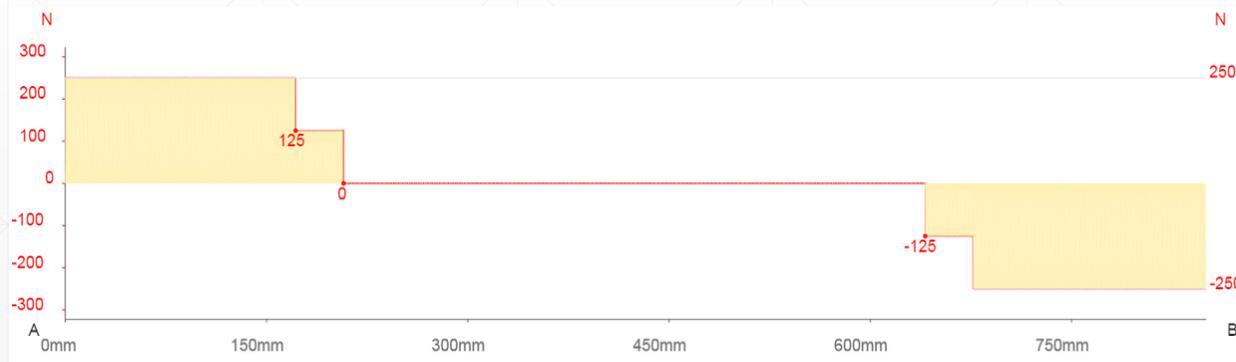
A continuación se estipula la definición de la carga



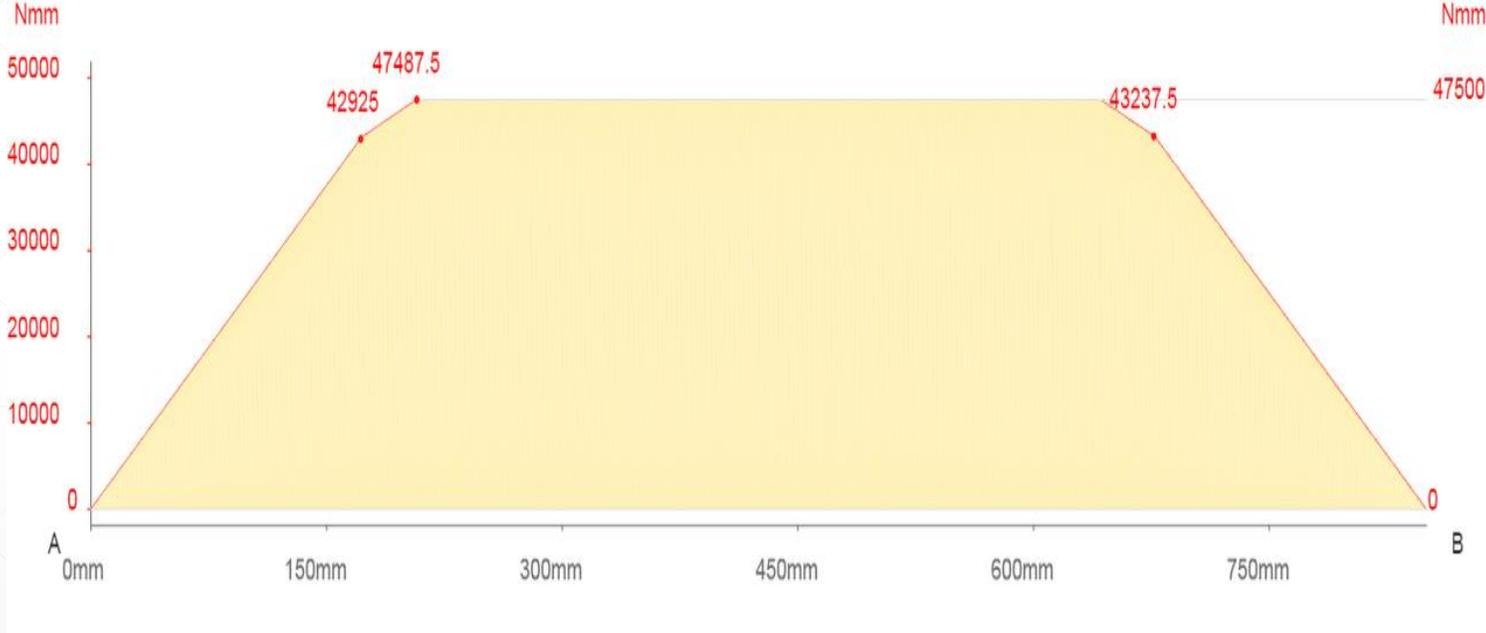
En la figura se simboliza el diagrama de cuerpo libre en el cual se representan las cargas y las reacciones necesarias para determinar las fuerzas cortantes y momentos máximos.



A continuación se simboliza el diagrama de fuerzas cortantes las cuales actúan perpendicular al eje longitudinal de la sección A-B.



# Diagrama de momentos flectores máximos producidos por las fuerzas de corte en la sección A-B



En la Tabla se representan las propiedades de la sección del material utilizado en el elemento A-B en el proceso de diseño bastidor. (IPAC, 2013)

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA Cm <sup>2</sup>	I Cm <sup>4</sup>	W Cm <sup>3</sup>	i cm
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
<b>40</b>	<b>2.0</b>	<b>2.41</b>	<b>2.94</b>	<b>6.93</b>	<b>3.46</b>	<b>1.54</b>
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52

## Cálculo del esfuerzo normal máximo.

$$\sigma_{max} = \pm \frac{M \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{max} = \pm \frac{M}{Z}$$

$$\sigma_{max} = \pm \frac{47.6 \text{ Nm}}{3.46 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{max} = \pm 13.75 \text{ MPa}$$

## Cálculo del esfuerzo cortante máximo.

$$\tau_{xy} = -\frac{V}{A_c}$$

$$\tau_{xy} = -\frac{250 \text{ N}}{2.94 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{xy} = -0.850 \text{ MPa}$$

---

## Cálculo del esfuerzo equivalente de Von Mises.

$$\sigma_x, \sigma_y = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_x, \sigma_y = -\frac{13.75 \text{ MPa}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{13.75 \text{ MPa}}{2}\right)^2 + (0.850 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_x, \sigma_y = -6.875 \pm 6.927$$

$$\sigma_x = -13.79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = 0.05 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{(13.79)^2 - (13.79 \cdot 0.05) + (0.05)^2 + 3 \cdot (0.850)^2}$$

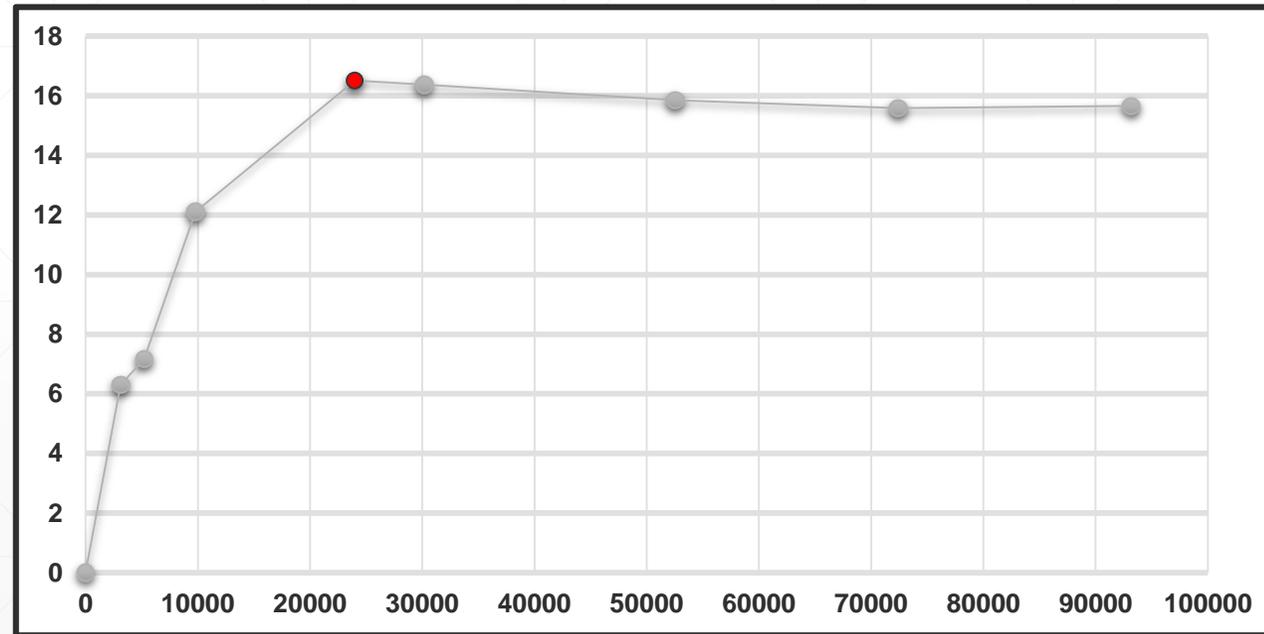
$$\sigma' = 13.84 \text{ MPa}$$

---

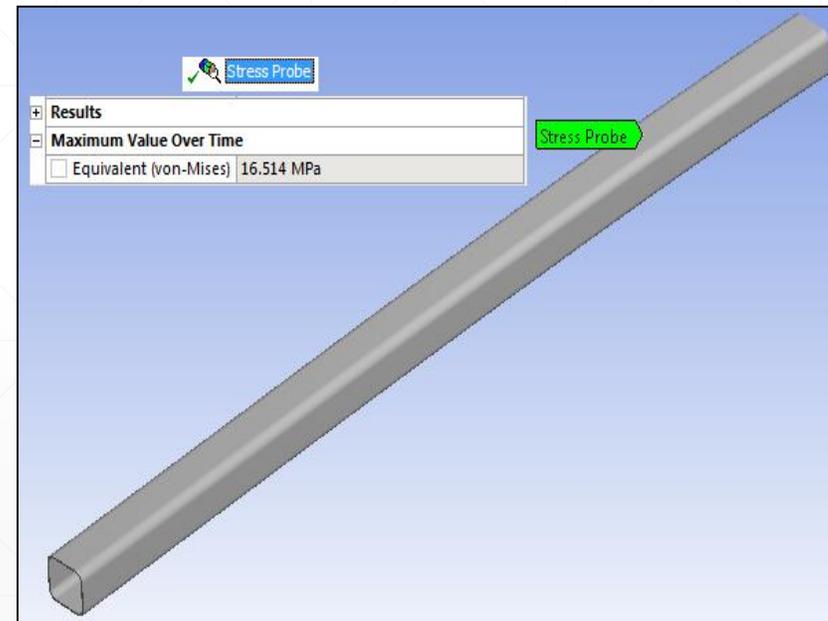
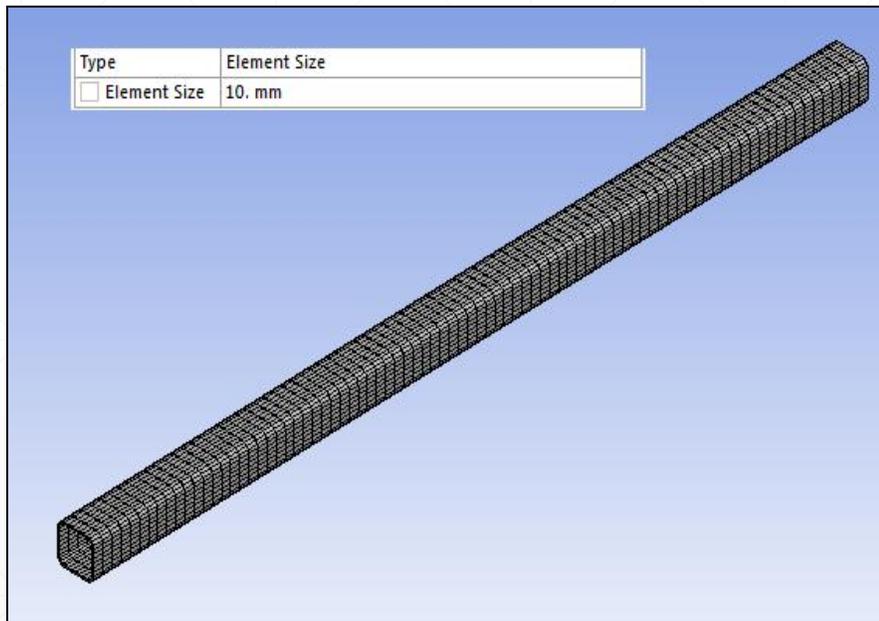
El valor del esfuerzo equivalente de Von Mises determinado analíticamente en el punto C será analizado y comparado por el método del elemento finito en diversas iteraciones variando el refinado de la malla como se expresa en la tabla

Nodos	Esfuerzo C	Tamaño de elemento
0	0	0
3118	6.3057	40
5230	7.1594	30
9792	12.101	20
<b>24000</b>	<b>16.514</b>	<b>10</b>
30160	16.378	8
52520	15.853	6
72384	15.584	5

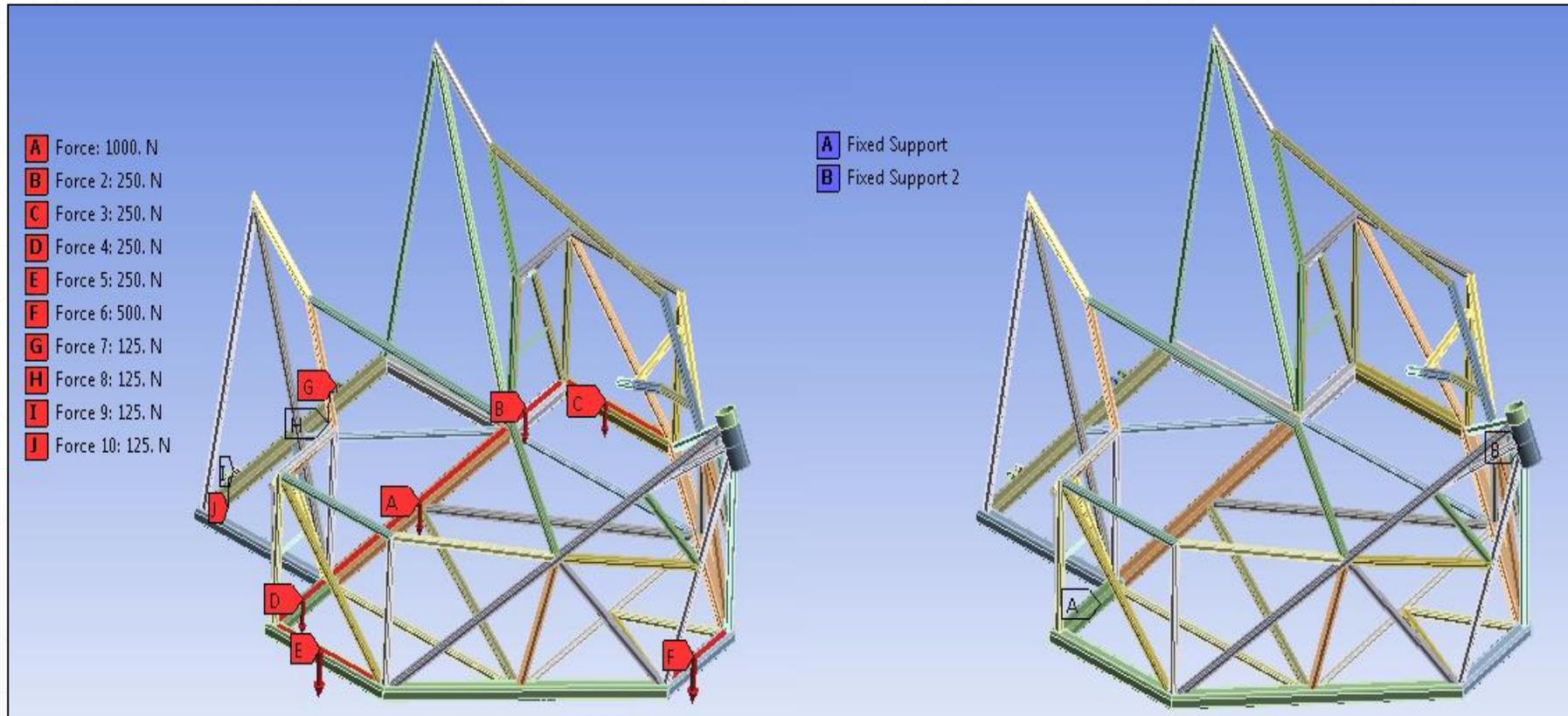
En la figura podemos apreciar que el esfuerzo converge a un valor aproximado de 16.5 MPa sin tener mayor fluctuación en el incremento del número de nodos producidos por el refinamiento progresivo del tamaño del elemento.



El tamaño del elemento definido para la simulación del bastidor es de 10 mm determinados en el proceso de convergencia. Valor que nos da el esfuerzo equivalente de Von Mises máximo como se puede apreciar en la figura

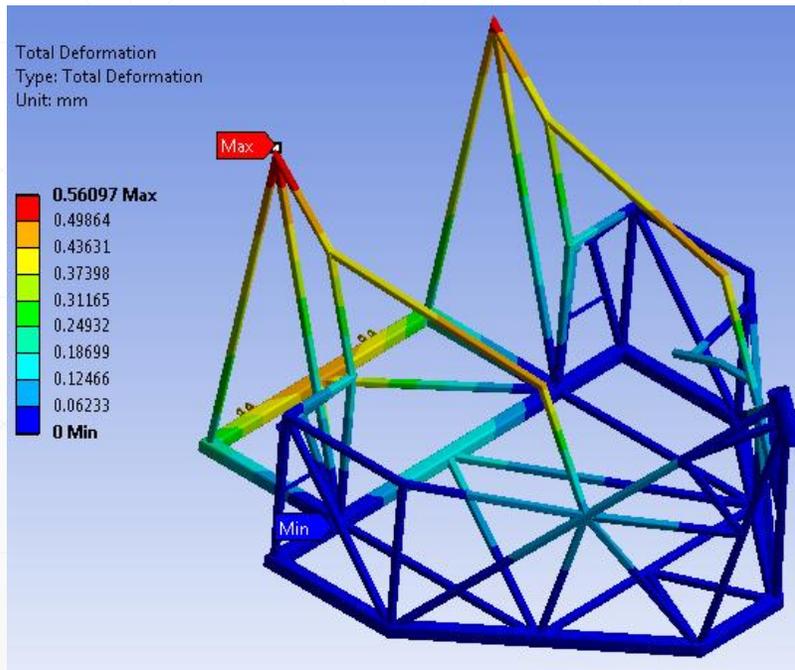


# ANÁLISIS DE CARGAS CONSTANTES



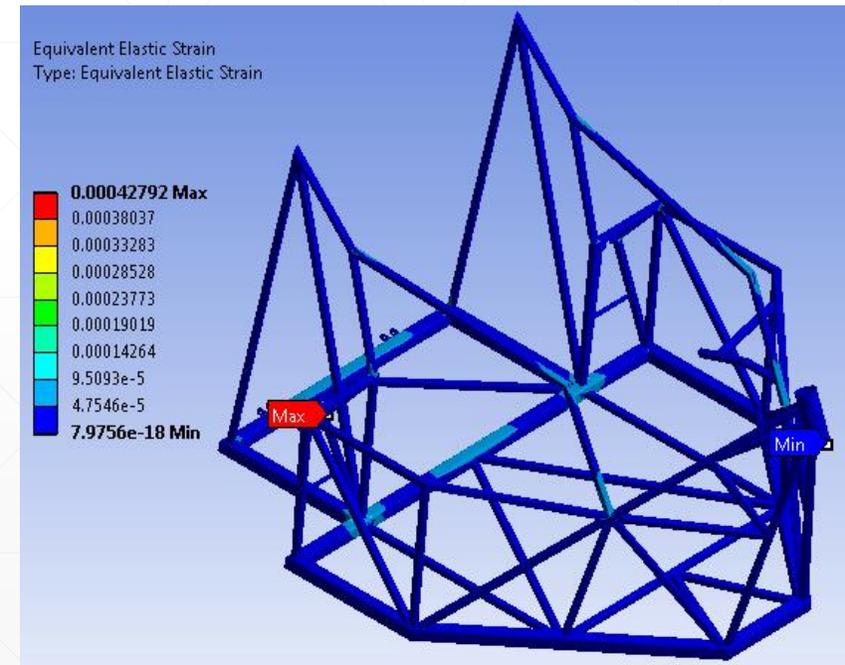
# DEFORMACIÓN TOTAL

Las cargas que actúan sobre el bastidor generan una deformación máxima de 0.56 mm.



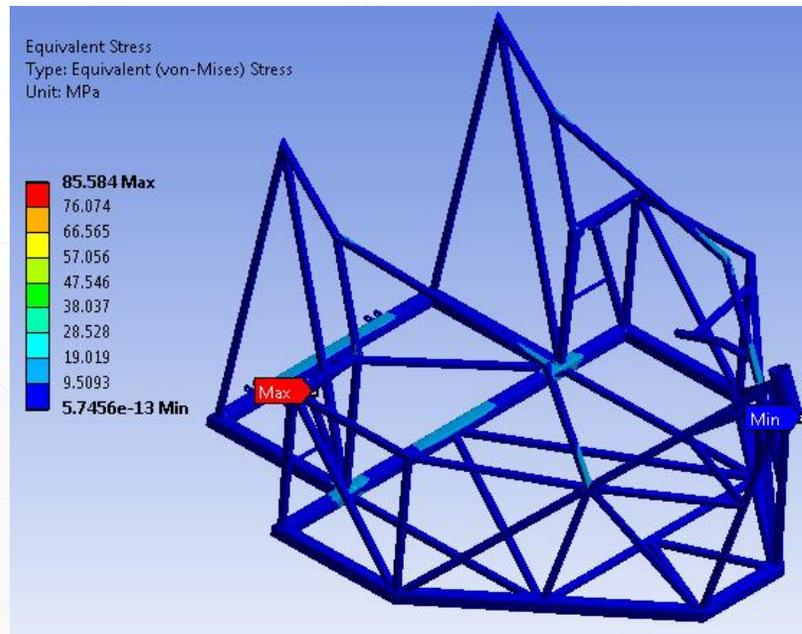
# DEFORMACIÓN UNITARIA

La deformación unitaria se encuentra en un valor máximo de 0,00042.



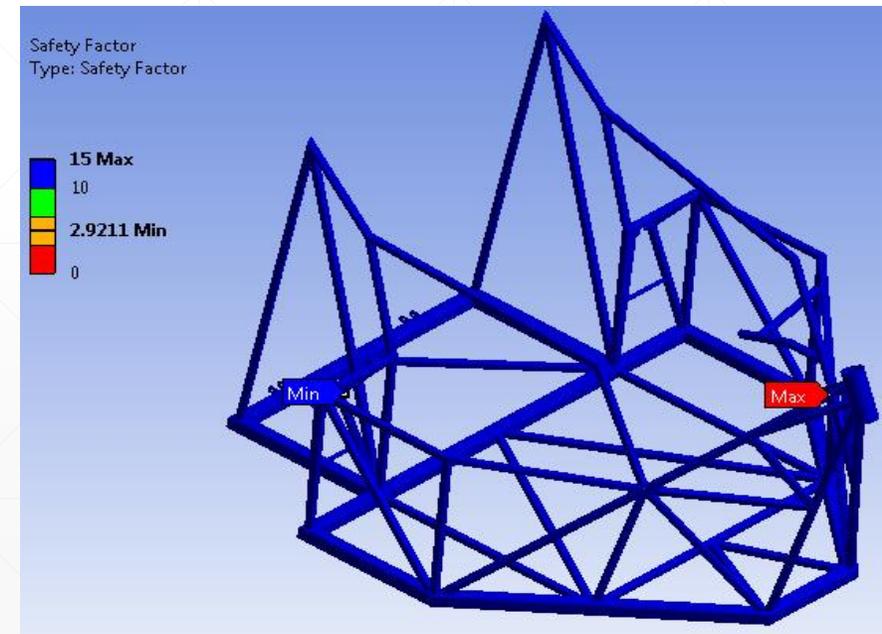
# ESFUERZO EQUIVALENTE DE VON MISES

Valor máximo de 85.58 MPa, valor que se encuentra por debajo del límite de fluencia del material empleado.



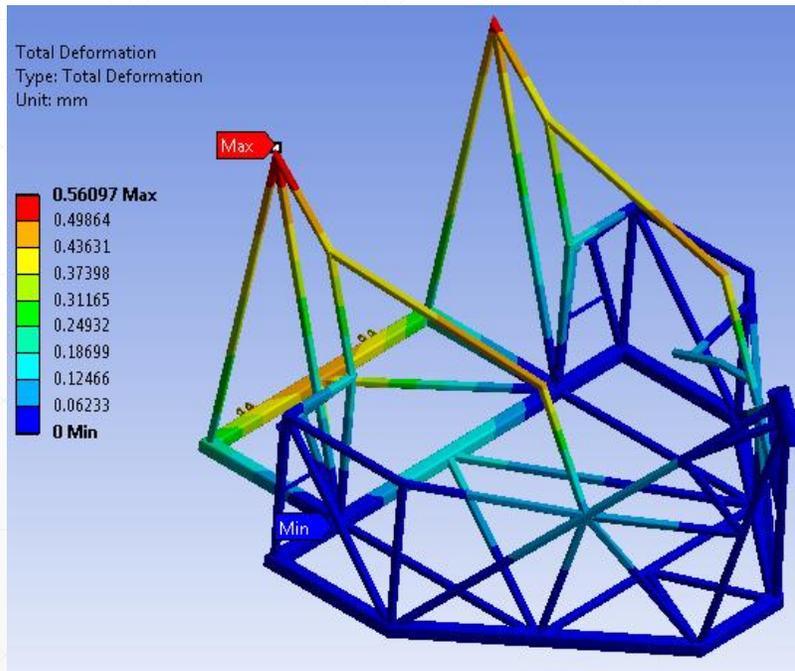
# FACTOR DE SEGURIDAD

El bastidor bajo un escenario de simulación con condiciones extremas de funcionamiento ofrece un factor de seguridad mínimo de 2.92



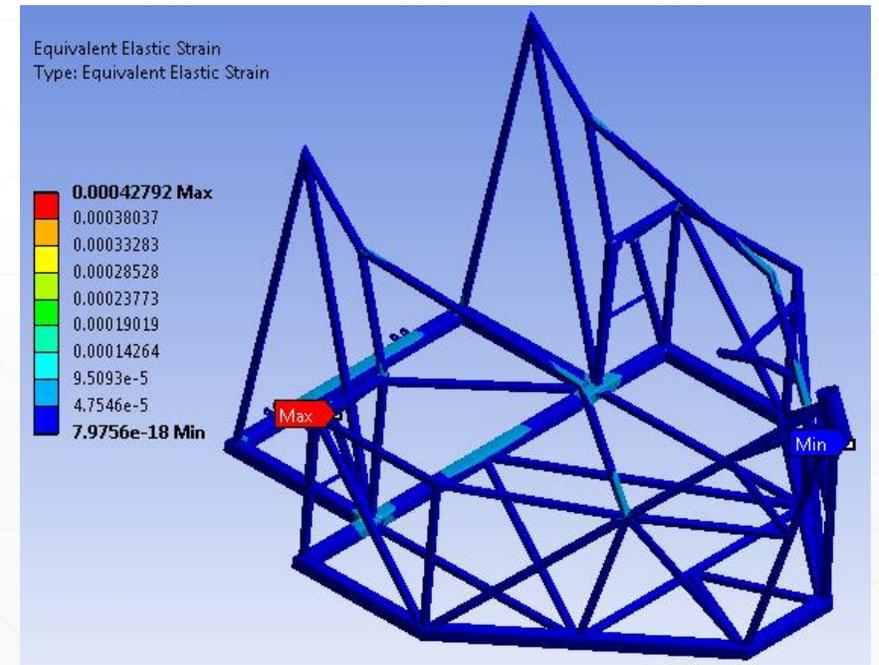
# FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA

El factor de seguridad mínimo obtenido bajo el análisis de fatiga es de 1.72



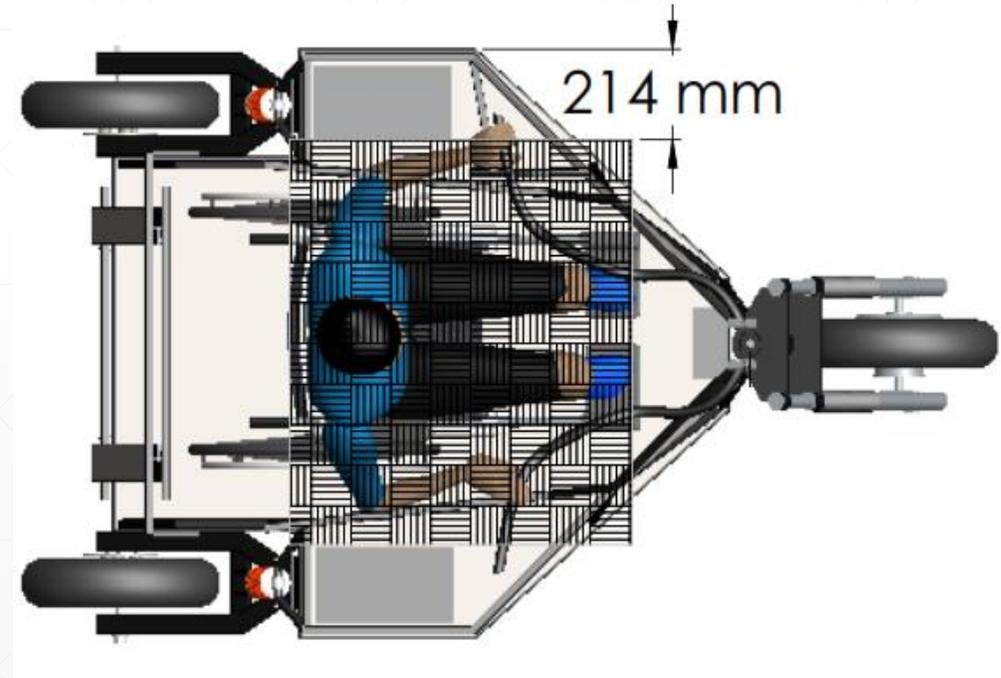
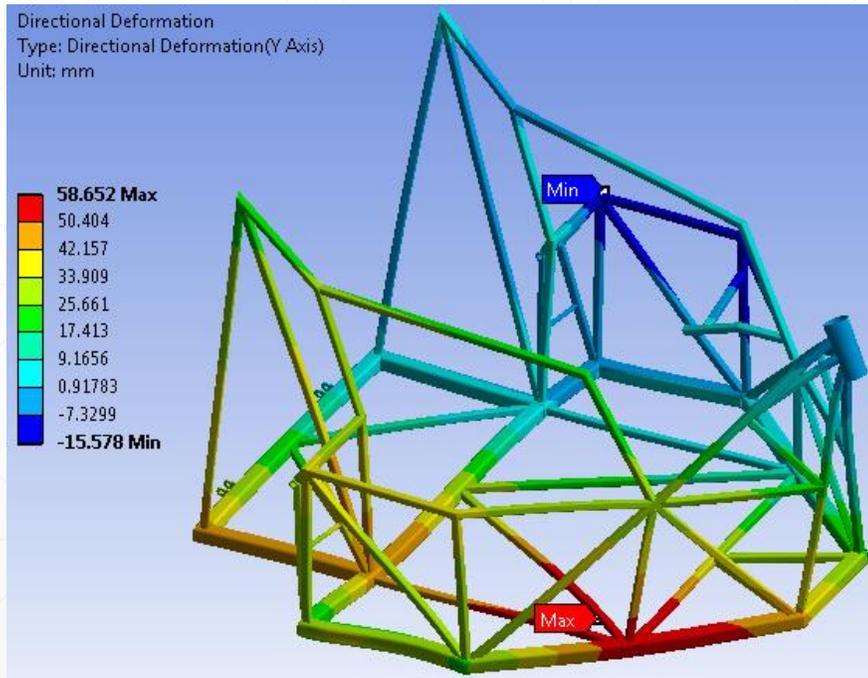
# VIDA ÚTIL

El valor de vida determinado para el bastidor es un numero de ciclos,  $N > 10^6$ , por lo cual se obtiene una vida infinita para este componente



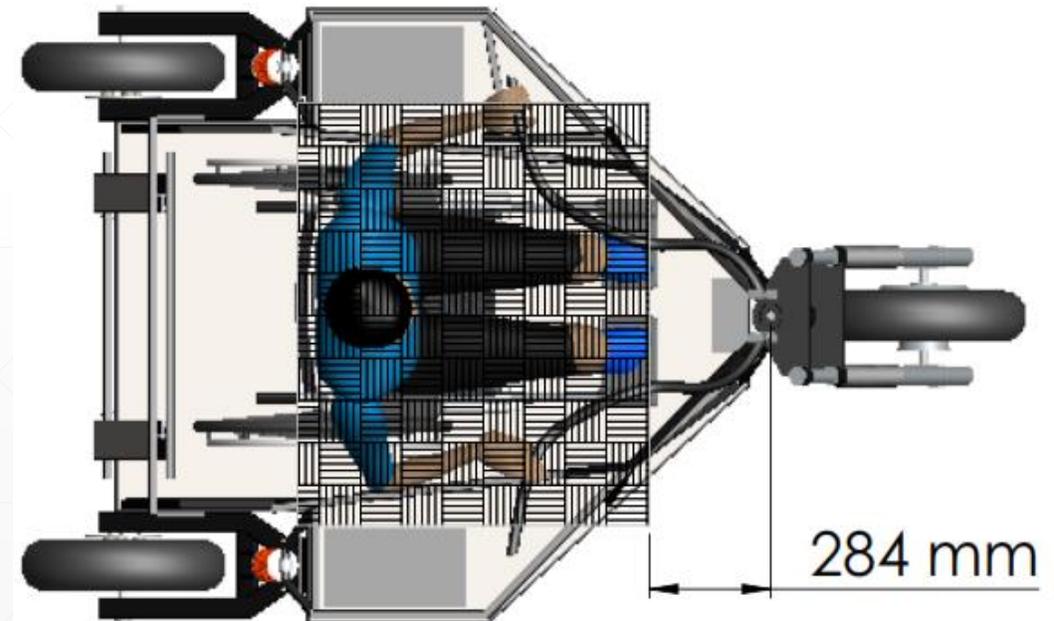
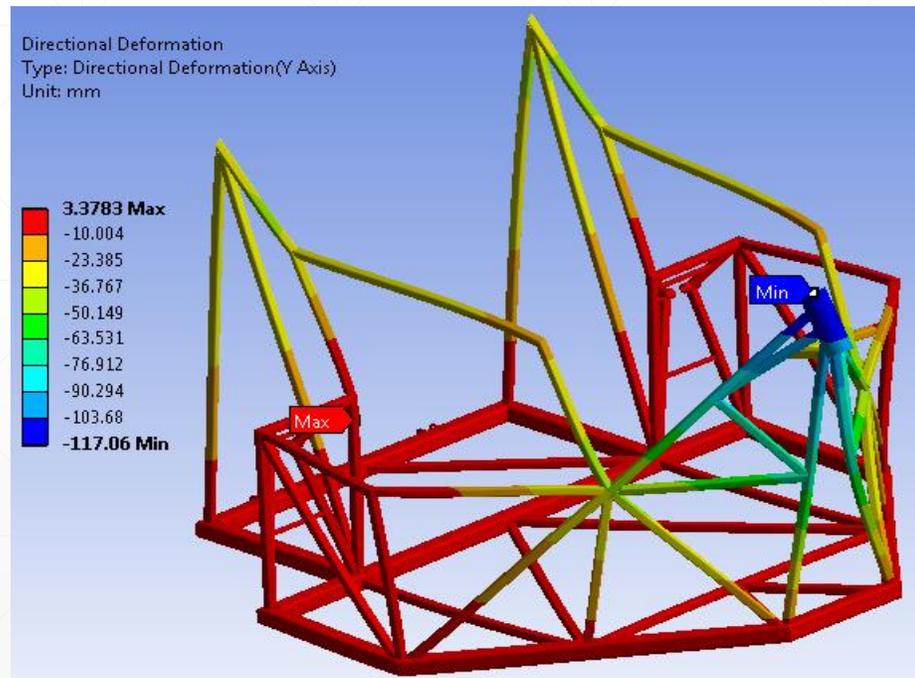
# ANÁLISIS DE COLISIÓN LATERAL

La deformación máxima producida en el eje transversal obtenida en el análisis de impacto lateral es equivalente a 58.65 mm como valor máximo producido en la zona lateral frontal



# ANÁLISIS DE COLISIÓN FRONTAL

La deformación máxima producida en el eje longitudinal obtenida en el análisis de impacto frontal es equivalente a 117.06 mm como valor máximo producido en la zona frontal



# CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR

## CRITERIOS DE ESPACIOS

- Se considera la facilidad de acceso a las partes mecánicas del triciclo para un fácil mantenimiento de las mismas.
  - Se debe cumplir con normas en cuanto al espacio destinado al discapacitado, línea de visión y la amplitud interna del triciclo, donde exista un espacio suficiente para alojar la silla de ruedas.
  - Es necesario comprobar que la línea de visión de la persona discapacitada, esté por encima del mecanismo de dirección del triciclo.
-

# ADQUISICIÓN DE MATERIALES

La estructura principal del triciclo eléctrico consta de tubo estructural negro cuadrado ASTM A-500, este material cumple con las características requeridas.

En el catálogo en línea DIPAC existen variedad de tubos estructurales de acero ASTM A-500, y por su amplia comercialización en el mercado ecuatoriano se adquirió este material.

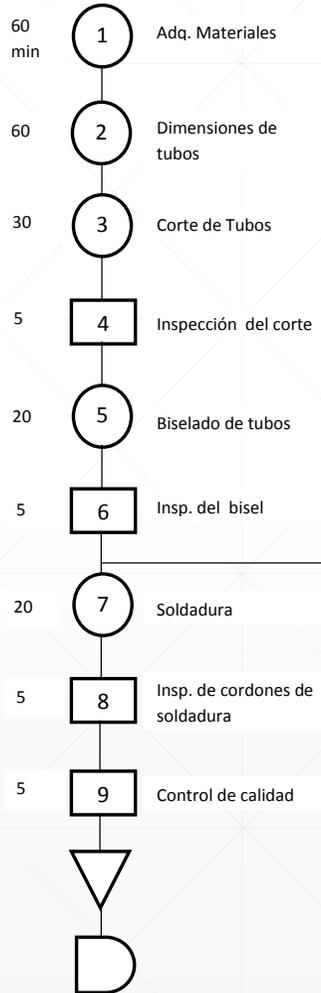
Tubería Estructural: Tubo cuadrado ASTM A-500 (40x2) mm.

Tubería Estructural: Tubo cuadrado ASTM A-500 (20x2) mm.

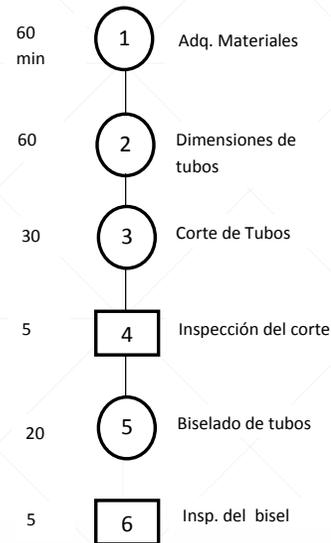
---

# DIAGRAMA DE PROCESOS

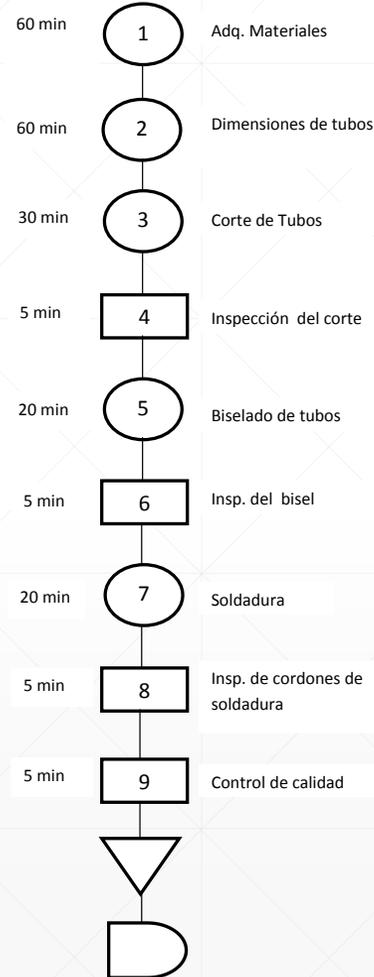
**Base del bastidor**  
Tubo estructural cuadrado ASTM A-500  
(40 x2) mm



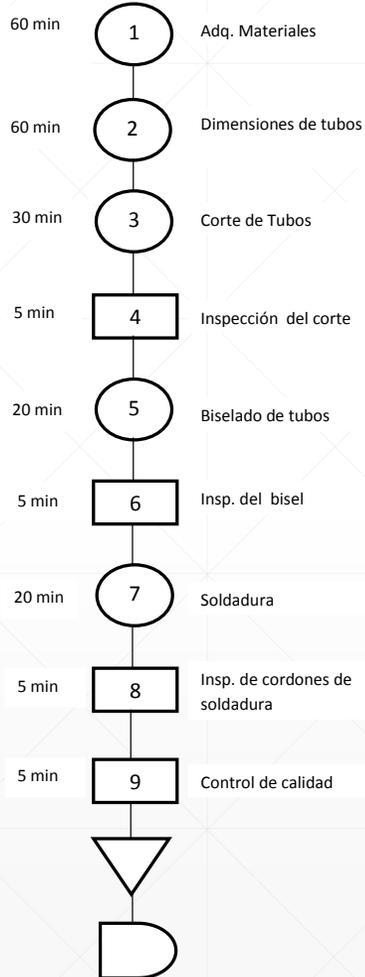
**Base del bastidor**  
Tubo estructural cuadrado ASTM A-500  
(20 x2) mm



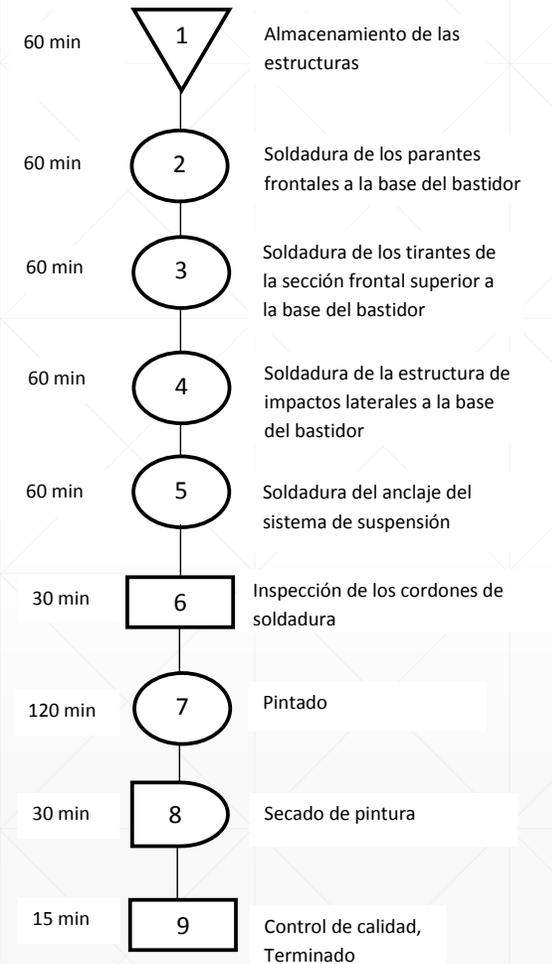
**Tirantes de la Sección Frontal Superior**  
Tubo estructural cuadrado ASTM A-500  
(20 x2) mm



**Estructura de Impactos Laterales**  
Tubo estructural cuadrado ASTM A-500  
(20 x2) mm



**Ensamblable del Bastidor**



EVENTO

TIEMPO

Construcción del Bastidor

28.75 horas

## BASTIDOR FINALIZADO

Una vez realizada la construcción de los diferentes elementos de la estructura se procedió al ensamblaje, obteniendo así el bastidor tubular para el triciclo monoplaza.



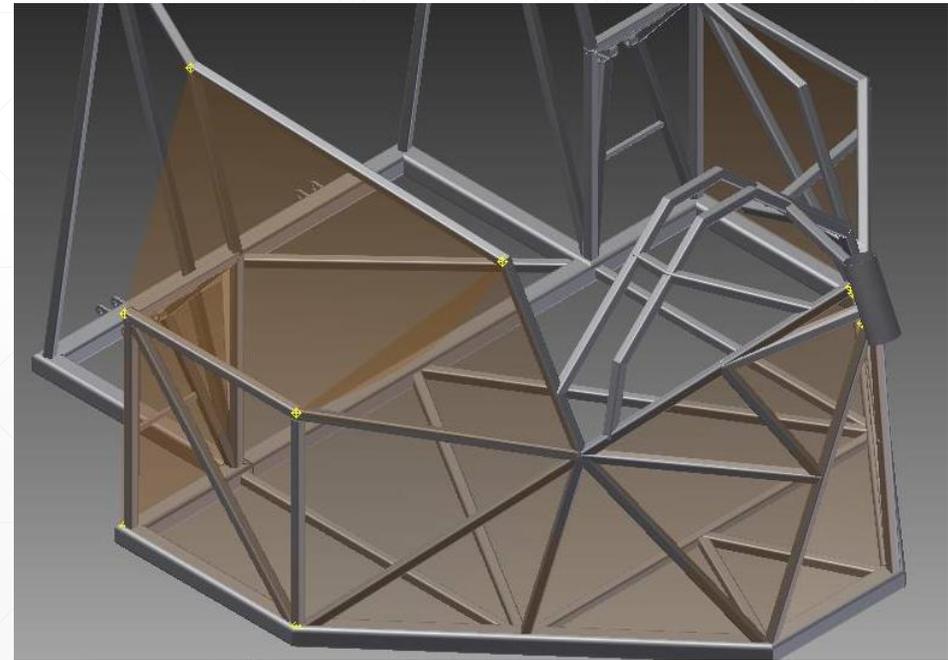
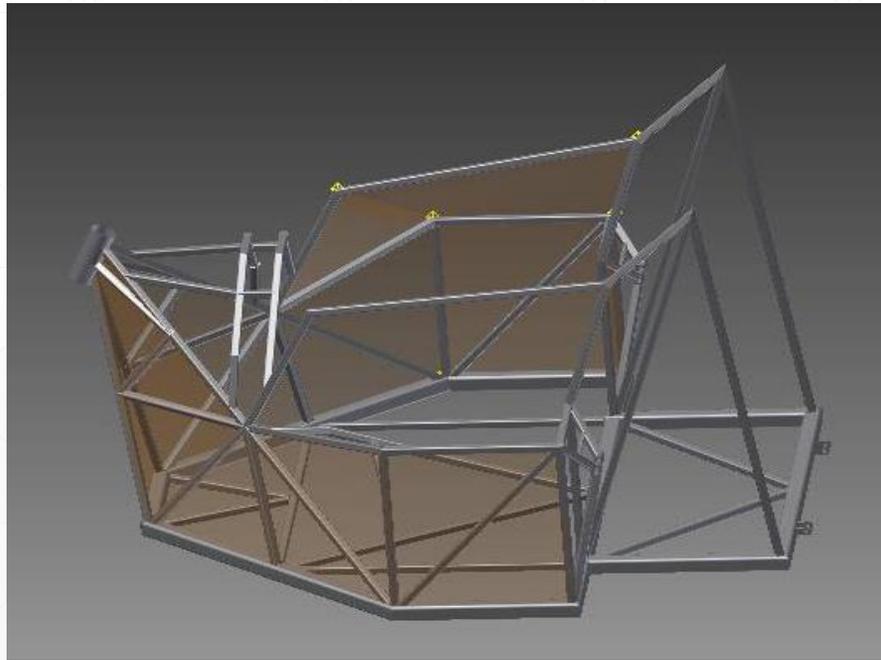
# DISEÑO DE LA CARROCERÍA

Antes del proceso de modelado, se consideró los siguientes aspectos:

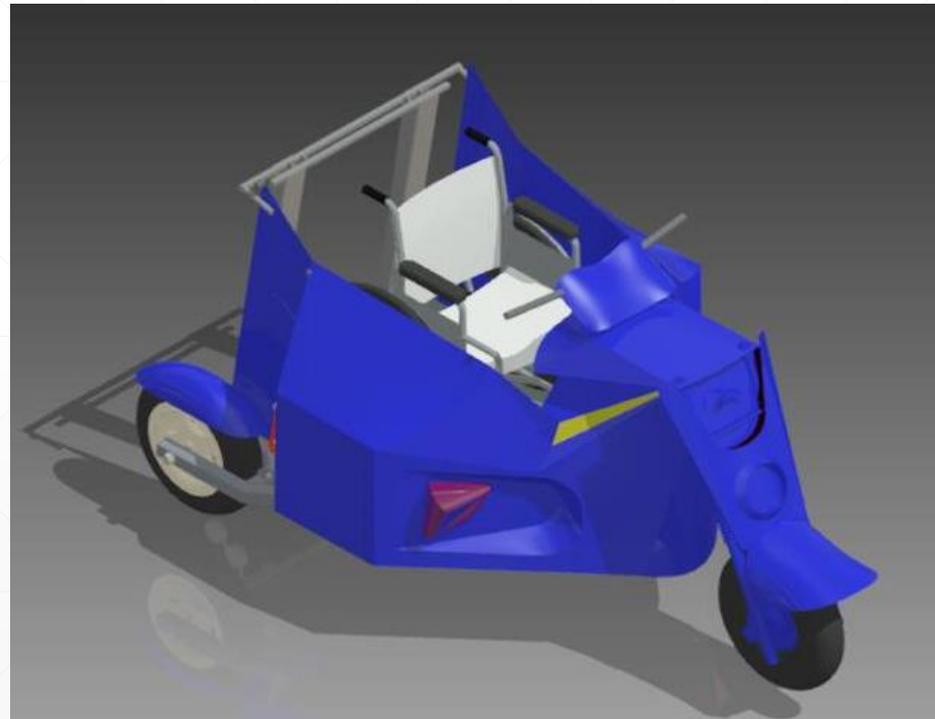
- El tipo de material para la fabricación de la carrocería, pues de éste depende tanto el peso, costo, como de su fácil manufactura.
  - Las dimensiones del bastidor.
  - Los espacios en las partes laterales para alojar accesorios extras como son los circuitos eléctricos, cargadores y baterías.
  - La forma aerodinámica que debe poseer, para obtener un óptimo flujo de aire
-

# MODELADO

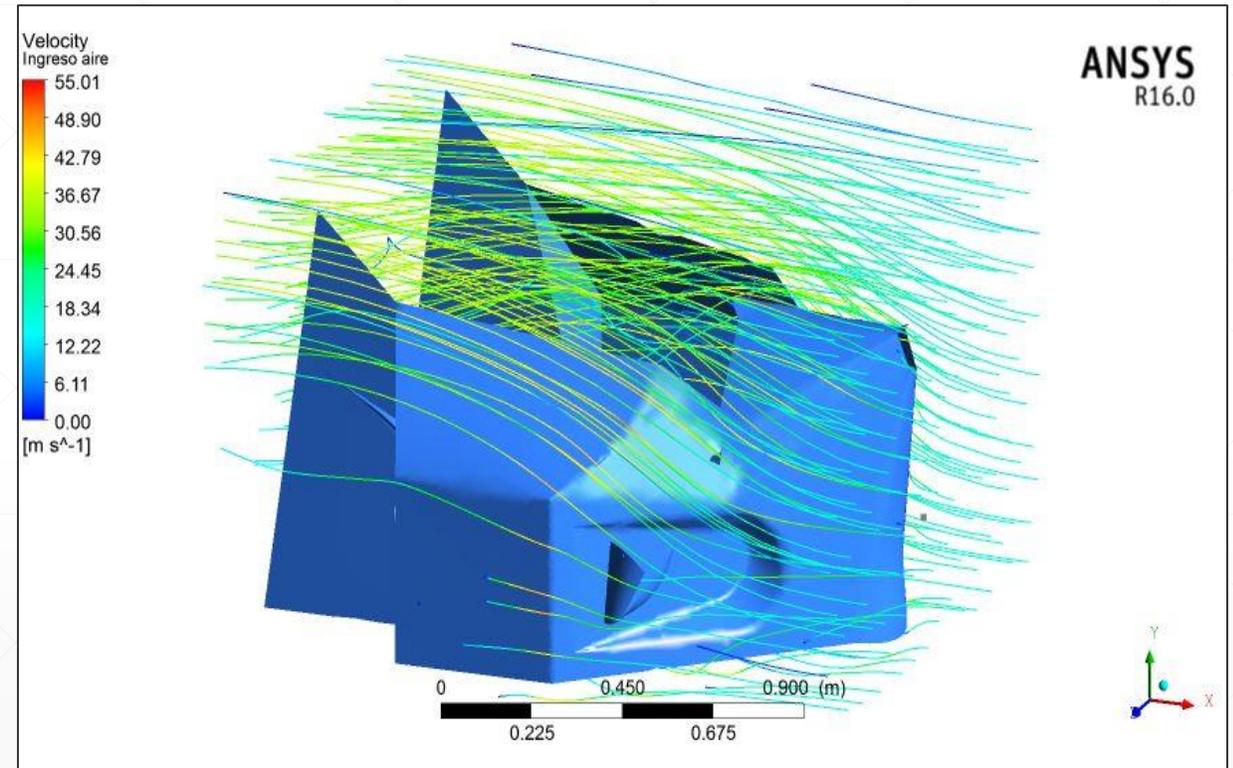
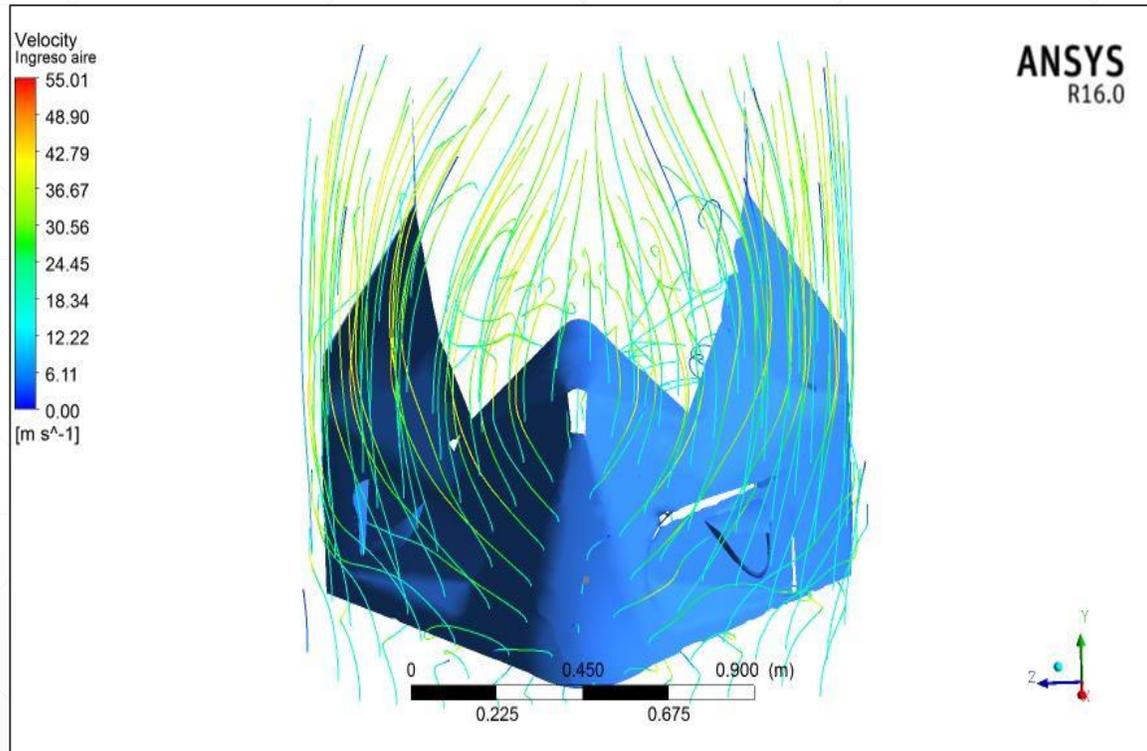
La modelación inicia por la parte delantera del triciclo. Este proceso consiste en realizar bocetos en 2D y 3D teniendo como referencia el bastidor terminado



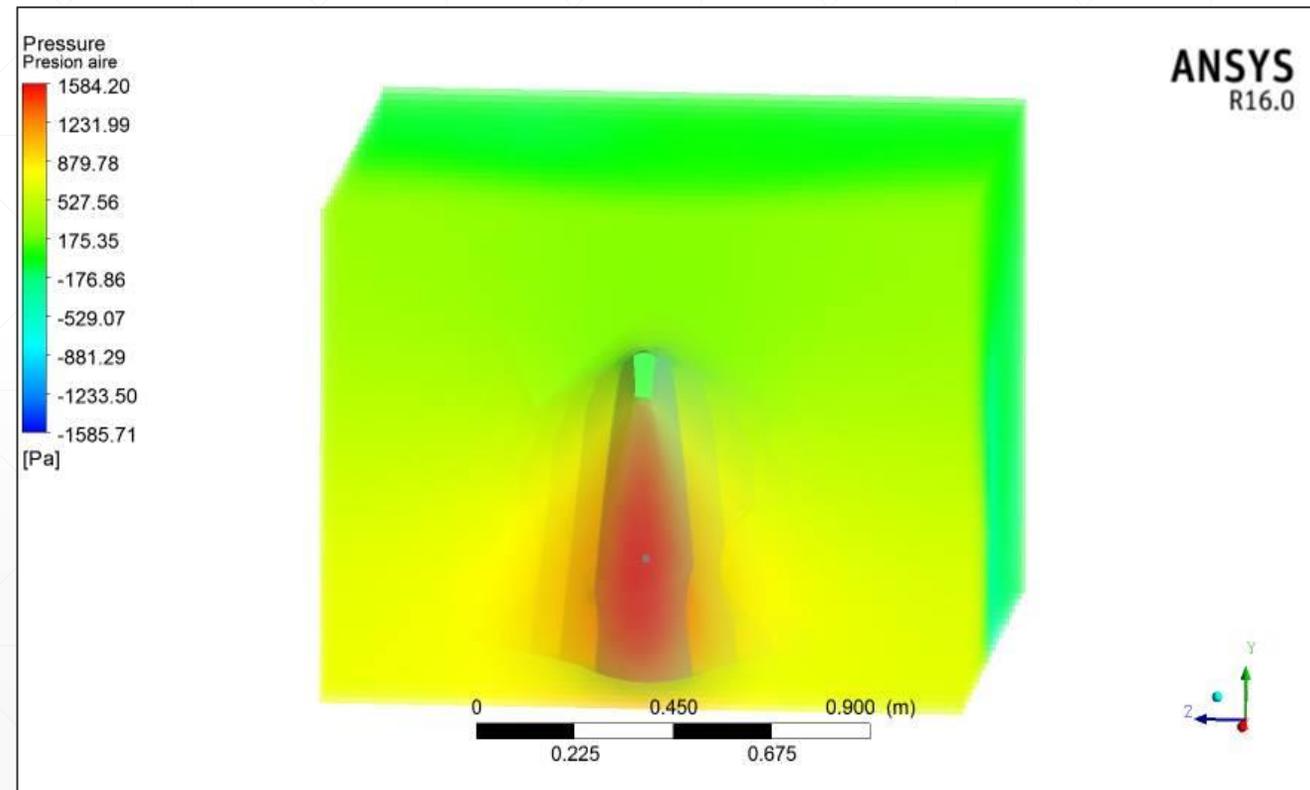
Por último, se procede a realizar los acabados finales como el color y las características del material utilizado. En la figura se observa la carrocería terminada y ensamblada al chasis.



# PROCESO DE SIMULACIÓN DE LA CARROCERÍA



A la velocidad del viento de 55 Km/h, y con la geometría que tiene la carrocería, se puede observar que existe una presión máxima de 1584,2 MPa



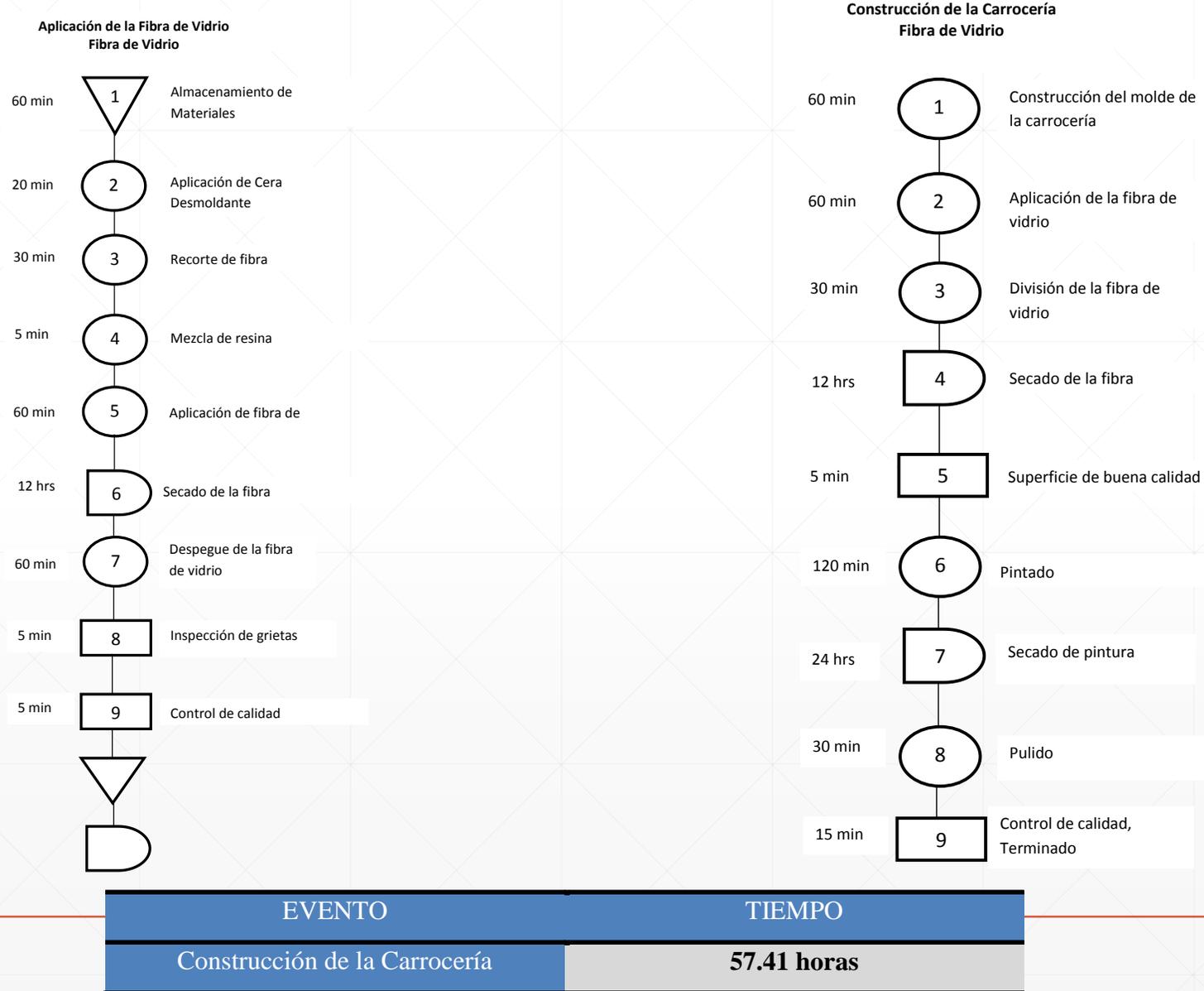
# CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA

Teniendo en consideración que la estructura del bastidor es rígida y que éste es quien va a soportar directamente todas las cargas a las que va a estar expuesto el triciclo.

La carrocería, no cumple ninguna función estructural más que brindar al vehículo un aspecto aerodinámico y estético, y mantener la protección a los ocupantes.

---

# DIAGRAMA DE PROCESOS



# CONCLUSIONES

- El bastidor y la carrocería del Triciclo Monoplaza Eléctrico fueron diseñados y construidos haciendo uso de manufactura ecuatoriana, y asistido por software de diseño.
  - El diseño del bastidor permite que las cargas aplicadas al mismo lo deformen como valor máximo en 0.56 mm, siendo un bastidor de gran fiabilidad para la construcción.
  - El esfuerzo equivalente de Von Mises provocado en el bastidor fue de 85.584 MPa y el límite de fluencia del Acero ASTM A-500 fue de 250 MPa, lo que indica que el material seleccionado soporta las cargas estáticas, resultando un factor de seguridad mínimo de 2.92, lo que aseguró un correcto diseño de la estructura del bastidor.
-

# CONCLUSIONES

- Se comprobó que la fibra de vidrio es la mejor opción para realizar la carrocería del triciclo monoplaça, debido a la durabilidad del material, peso, costo y la facilidad de manejo.
  - En el análisis aerodinámico, la velocidad del viento fue de 55 Km/h y provocó una presión máxima en la carrocería de 1584.2 Pa equivalente a 0.027 atm, indicando que el diseño es muy aerodinámico y que no ejerce mayor oposición al movimiento.
  - De acuerdo a los diferentes análisis realizados tanto en el bastidor como en la carrocería se determinó que el diseño es totalmente confiable y que cumplió con las expectativas propuestas.
-

# RECOMENDACIONES

- Para diseño de bastidores empleados en vehículos eléctricos se deben considerar aspectos importantes tales como: Dimensionamiento, peso y costo.
  - Realizar el diseño del bastidor y la carrocería con un programa de diseño mecánico, de tal forma que exista una mayor precisión tanto en dimensiones como en los análisis de esfuerzos.
  - Se recomienda el uso de perfiles metálicos de sección cuadrada, específicamente en diseños estructurales, debido a su forma cerrada y bajo peso, obteniendo así grandes ventajas y un mejor comportamiento a esfuerzos de torsión y resistencia al pandeo.
-

# RECOMENDACIONES

- Determinar una correcta dosificación en la preparación de la fibra de vidrio, ya que de esto depende el tiempo de aplicación, tiempo de secado y calidad del acabado.
  - Utilizar en todo momento EPP tales como guantes, mascarilla, gafas de seguridad y evitar el contacto con la piel durante la preparación de la fibra de vidrio, debido a que la exposición constante puede ocasionar lesiones y alergias. Además condiciones de trabajo adecuados.
-



# Ingeniería Automotriz

**GRACIAS**

---