



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS PARA VEHÍCULO TIPO FORMULA SAE

AUTORES: EDISON GUASCAL, LUIS QUIROZ

DIRECTOR: ING. FÉLIX, MANJARRÉS

CODIRECTOR: ING. OSCAR, ARTEAGA



ESPE  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



- Competencia Formula Student
- Cada año las competencias se vuelve más exigentes
- Desarrollo del chasis de un vehículo tipo Formula SAE optimizando el desempeño
- Investigación complementaria a las experiencias de los años 2011 y 2012
- Referencia para los futuros diseñadores de chasis.



## JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA



El proyecto de investigación involucra a los sistemas de suspensión, dirección, bastidor y frenos del vehículo tipo Formula SAE, sistemas sobre los cuales debe existir un análisis minucioso debido a que de estos depende el comportamiento dinámico del vehículo en pista, y así presentar un alto grado de competitividad a nivel internacional.

El desarrollo de este prototipo es de gran importancia ya que esta competencia abarca conocimientos tecnológicos de alto nivel, donde se involucra a la universidad en nuevos procesos de diseño y manufactura permitiendo alcanzar una visión global de tener una Universidad pionera en la enseñanza de ingeniería automotriz del país.



## OBJETIVO GENERAL:

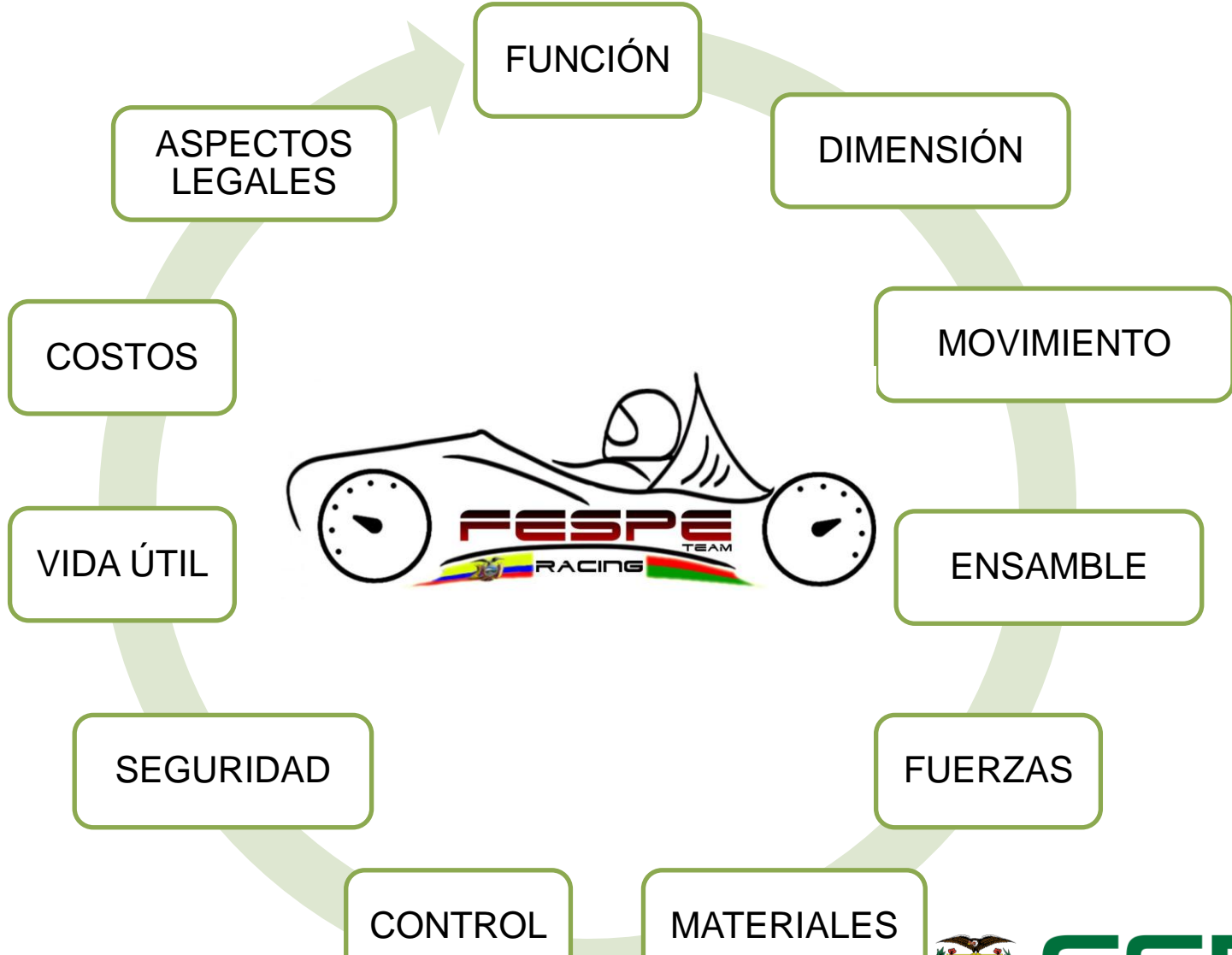
- Diseñar y construir un chasis para un vehículo tipo Formula SAE.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

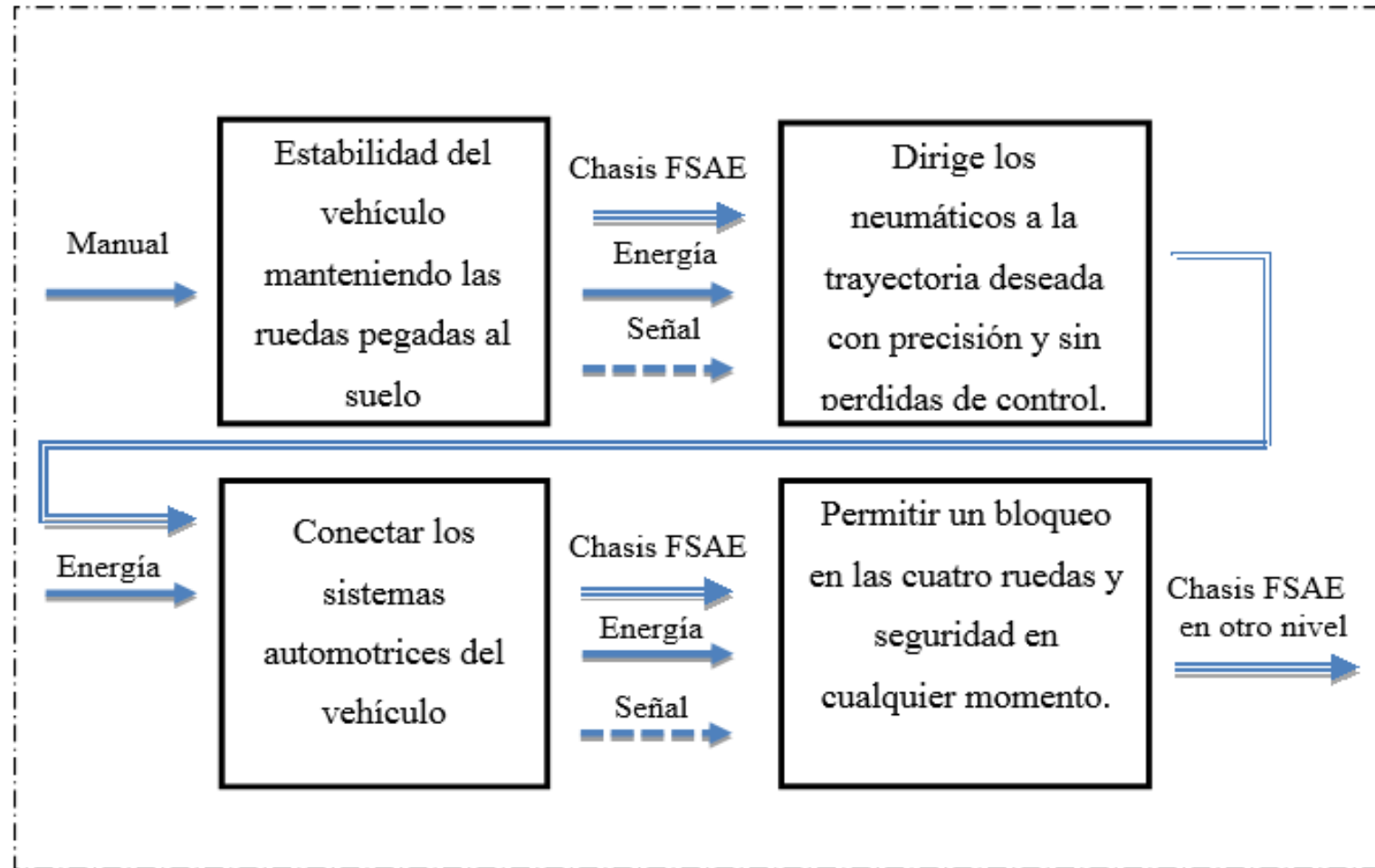
- Diseñar un bastidor resistente, seguro y ergonómico para el vehículo de Formula SAE.
- Desarrollar los sistemas de suspensión, dirección y frenado para garantizar el desempeño dinámico del vehículo.
- Analizar y optimizar la geometría del sistema de suspensión y dirección para obtener movimientos síncronos entre los dos sistemas.
- Dimensionar el peso del chasis y localizar el centro de gravedad para calibrar el vehículo de acuerdo a cada prueba.
- Estipular materiales idóneos para la construcción de los componentes, lo que permitirá que el vehículo mantenga su integridad en competición.



# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



# DEFINICIÓN Y DISEÑO CONCEPTUAL



# SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS



| Factores de selección | FP       | Pull Rod    | Push Rod    | Monoshock   |
|-----------------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| Espacio disponible    | 0.30     | X           | -           | -           |
| Seguridad             | 0.25     | X           | X           | X           |
| Centro de gravedad    | 0.20     | X           | -           | -           |
| Fácil de instalar     | 0.15     | -           | X           | -           |
| Costo                 | 0.10     | X           | -           | -           |
|                       | <b>Σ</b> | <b>0.85</b> | <b>0.40</b> | <b>0.25</b> |

| Factores de selección | FP       | Pull Rod    | Push Rod    | Monoshock   |
|-----------------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| Espacio disponible    | 0.30     | -           | X           | -           |
| Seguridad             | 0.25     | X           | X           | X           |
| Centro de gravedad    | 0.20     | X           | -           | -           |
| Fácil de instalar     | 0.15     | -           | X           | -           |
| Costo                 | 0.10     | X           | -           | -           |
|                       | <b>Σ</b> | <b>0.60</b> | <b>0.70</b> | <b>0.25</b> |



# SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS



| Factores de selección | FP       | Piñón cremallera | Asistida eléctrica | Mecanismos  |
|-----------------------|----------|------------------|--------------------|-------------|
| Precisión             | 0.30     | X                | -                  | -           |
| Seguridad             | 0.25     | X                | X                  | X           |
| Ergonómico            | 0.20     | -                | X                  | -           |
| Fácil de instalar     | 0.15     | X                | -                  | -           |
| Costo                 | 0.10     | X                | -                  | X           |
|                       | <b>Σ</b> | <b>0.80</b>      | <b>0.55</b>        | <b>0.35</b> |



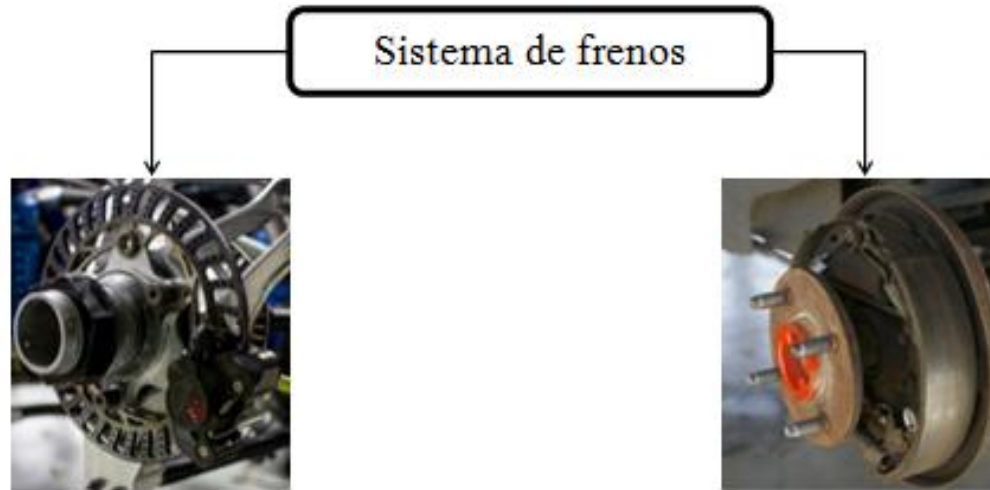


# SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS



| Factores de selección | FP       | Tubular | Hibrido | Monocasco |
|-----------------------|----------|---------|---------|-----------|
| Ergonomía             | 0.30     | X       | X       | X         |
| Fiabilidad            | 0.25     | X       | -       | -         |
| Seguridad             | 0.20     | X       | X       | X         |
| Bajo peso             | 0.15     | -       | X       | X         |
| Costo reducido        | 0.10     | X       | -       | -         |
|                       | $\Sigma$ | 0.85    | 0.65    | 0.65      |

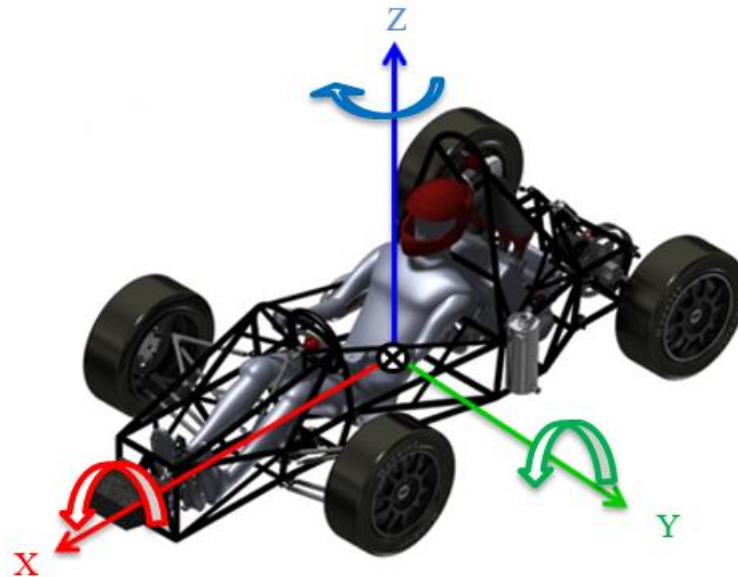
# SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS



| Factores de selección | FP       | Discos | Tambor |
|-----------------------|----------|--------|--------|
| Seguridad             | 0.30     | X      | X      |
| Eficiente             | 0.25     | X      | -      |
| Fiabilidad            | 0.20     | X      | X      |
| Bajo peso             | 0.15     | X      | -      |
| Costo reducido        | 0.10     | -      | X      |
|                       | $\Sigma$ | 0.90   | 0.60   |

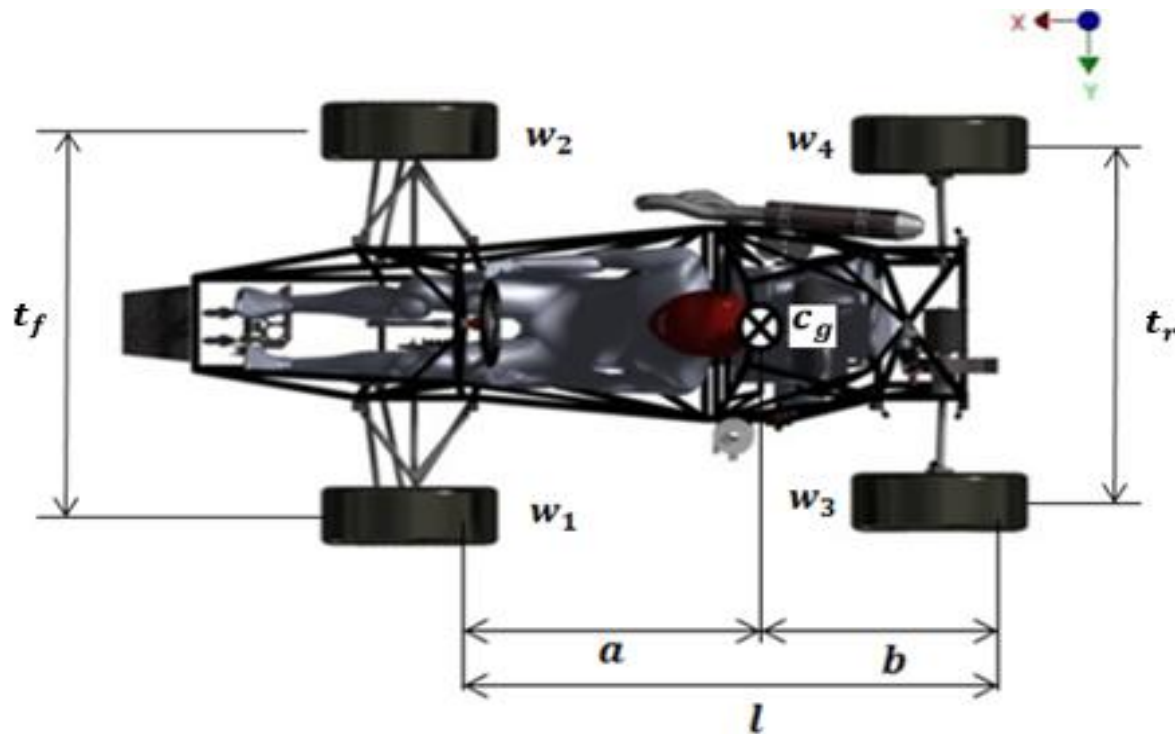


# ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO DEL VEHÍCULO



# DISTRIBUCIÓN DE PESOS

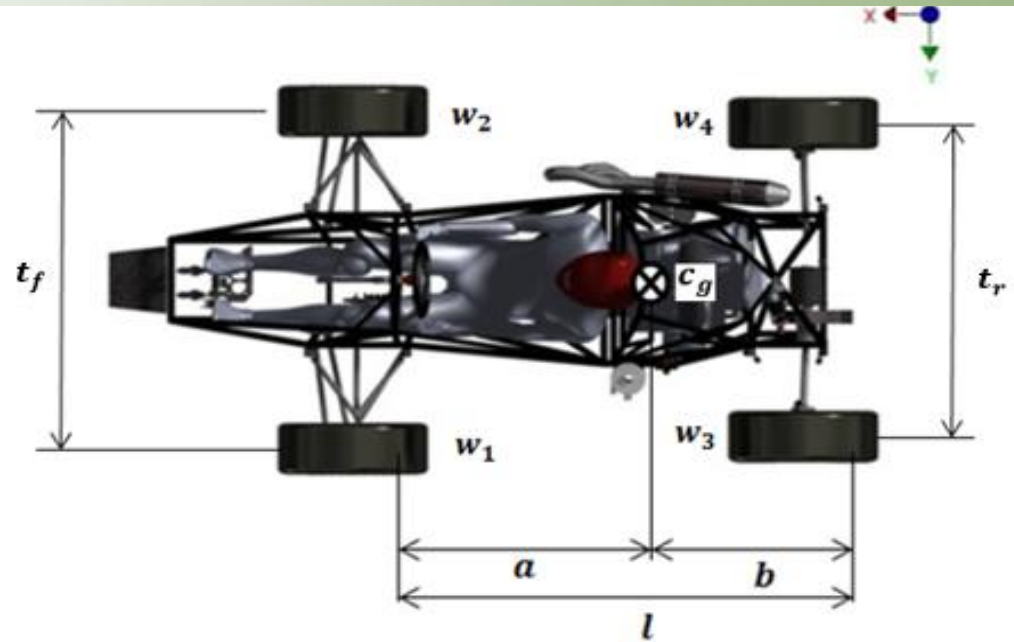
|                            |         |
|----------------------------|---------|
| Distancia entre ejes       | 1600 mm |
| Distancia de vía delantera | 1240 mm |
| Distancia de vía posterior | 1220 mm |



$$b = \frac{w_f \cdot l}{w}$$

$$b = 768 \text{ mm}$$

$$a = 832 \text{ mm}$$



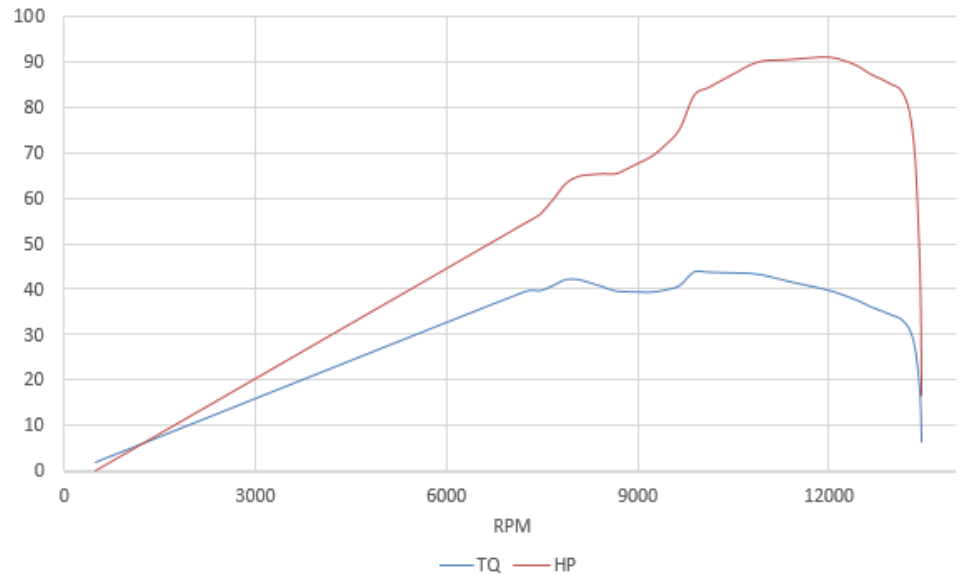
| <b>Peso eje delantero</b>           | <b>Peso eje posterior</b> |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 48%                                 | 52%                       |
| 144                                 | 156                       |
| <b>Carga estática en cada rueda</b> |                           |
| Rueda delantera izquierda           | 72                        |
| Rueda delantera derecha             | 72                        |
| Rueda posterior izquierda           | 78                        |
| Rueda posterior derecha             | 78                        |



# ACELERACIÓN LONGITUDINAL

$$v = \frac{d}{t}$$

$$v = 18.75 \frac{m}{s}$$



*Curvas característica del motor honda CBR-600*

| Torque   | Potencia | Revoluciones |
|----------|----------|--------------|
| 57.68 Nm | 80hp     | 9880 rpm     |

$$a_x = \frac{F_x}{M}$$

$$F_x = \frac{P_{ow}}{v}$$



$$a_x = \frac{1}{M} \cdot \frac{P_{ow}}{v}$$

$$a_x = 1.08 \text{ gs}$$



## DESACELERACIÓN LONGITUDINAL

$$a_x = \frac{\Delta W_x}{\frac{h}{l} \cdot W}$$

$$a_x = 1.5 \text{ gs}$$

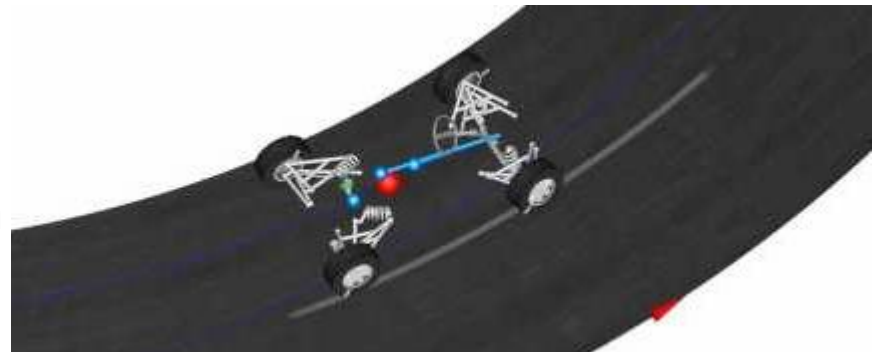
## ACELERACIÓN LATERAL

- Giro constante de 7.5 m
- Velocidad promedio 40 km/h

$$a_y = \frac{v^2}{R}$$

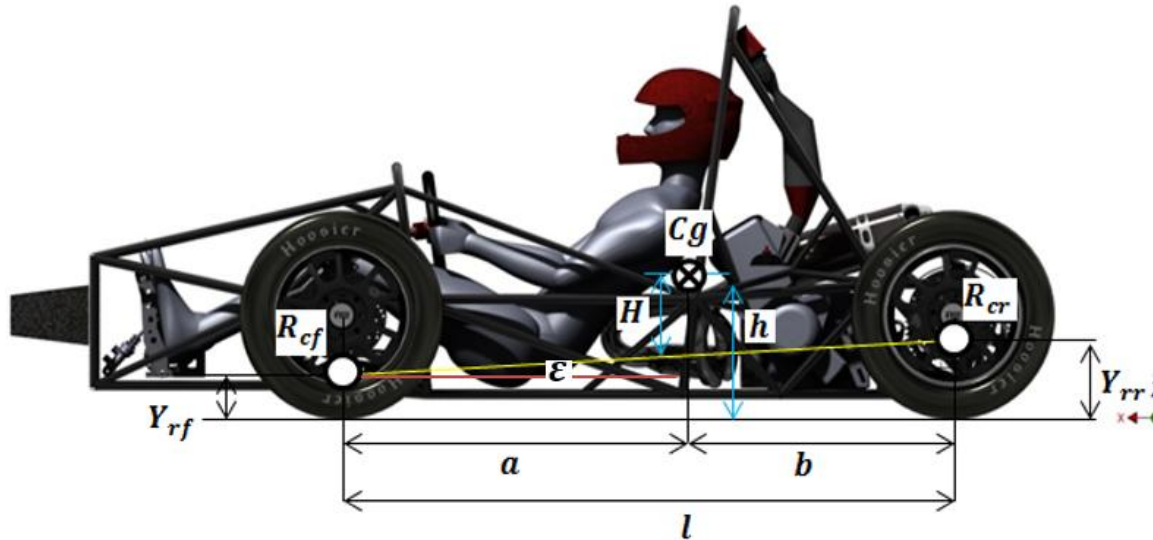
$$a_y = 16.46 \frac{m}{s^2}$$

$$a_y = 1.67 \text{ gs}$$



# DETERMINACIÓN DE CARGAS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

## MOMENTO Y RÍGIDEZ DE BALANCEO



- $Y_{rf}$ : Distancia desde el suelo al centro de rodadura frontal.
- $Y_{rr}$ : Distancia desde el suelo al centro de rodadura posterior.
- $h$ : Distancia desde el suelo al centro de gravedad.
- $H$ : Distancia entre el centro de gravedad y el eje de rodadura.
- $\varepsilon$ : Ángulo entre el eje longitudinal y el eje de balanceo.

$$H = h - \left( Y_{rf} + \frac{a}{l} (Y_{rr} - Y_{rf}) \right)$$

$$H = 0.293 \text{ m}$$

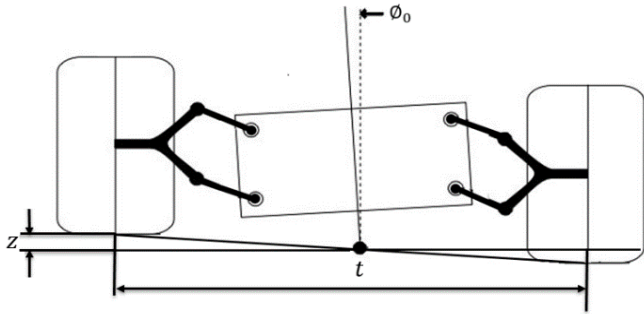
$$\tan \varepsilon = \frac{18\text{mm}}{1600\text{mm}}$$

$$= 0.01125$$





## MOMENTO DE BALANCEO IDEAL



*Ángulo de balanceo real*

$$\phi_0 = \tan^{-1} \frac{z}{t/2} \quad \phi_0 = 2.8^\circ$$

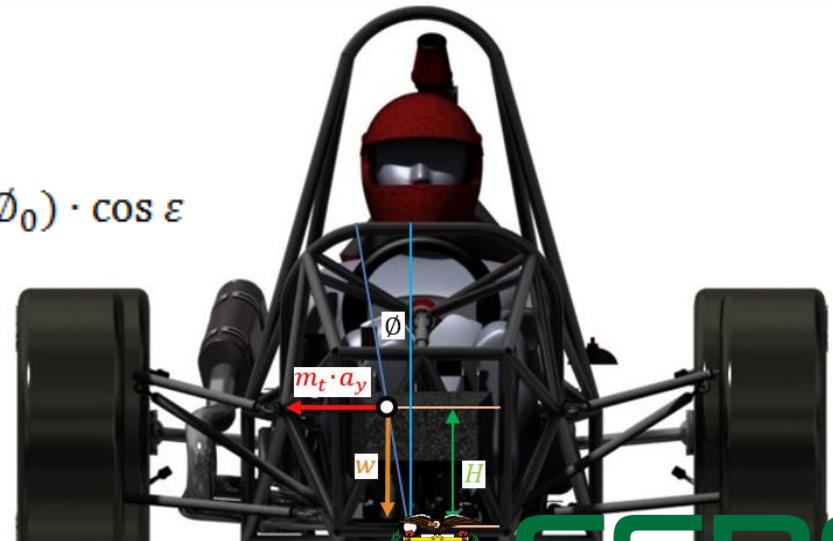
$$M_{\phi_0} = (w \cdot H \cdot \sin \phi_0 + m_t \cdot a_y \cdot H \cdot \cos \phi_0) \cdot \cos \varepsilon$$

$$M_{\phi_0} = 1487.13 \text{ Nm}$$

## MOMENTO DE BALANCEO DESEADO

$$M_\phi = (w \cdot H \cdot \sin \phi_0 + m_t \cdot a_y \cdot H \cdot \cos \phi_0) \cdot \cos \varepsilon$$

$$M_\phi = 1454.21 \text{ Nm}$$

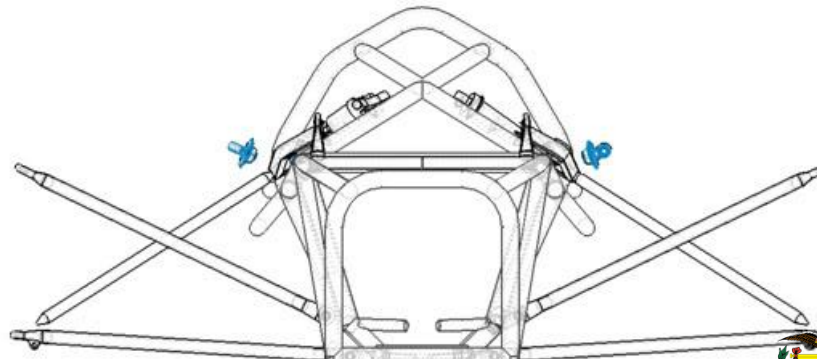
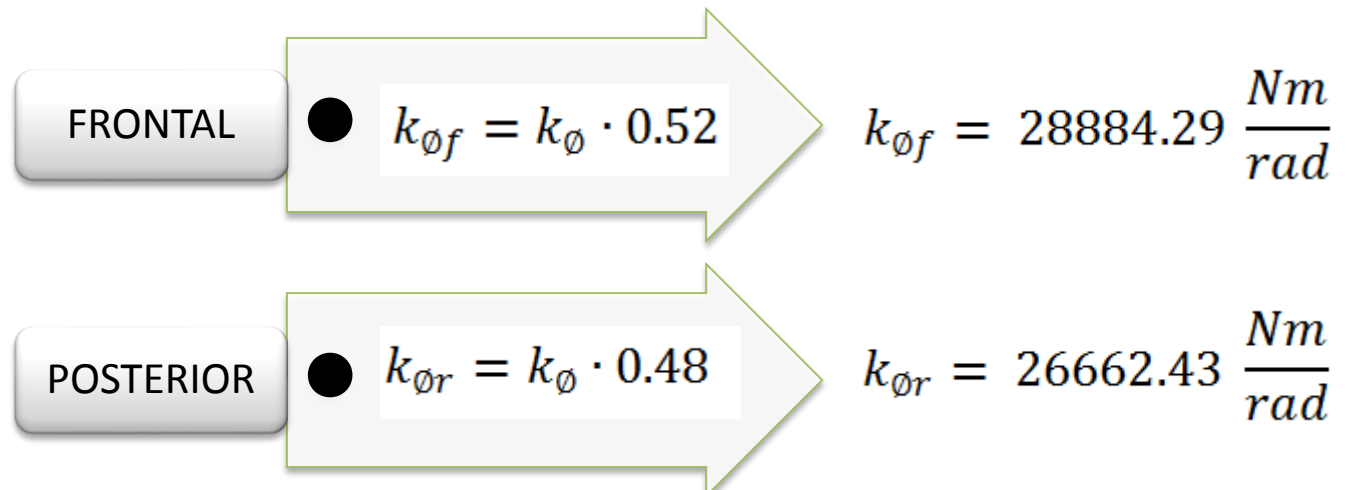


## RIGIDEZ TOTAL

$$M_{\phi} = (k_{\phi f} + k_{\phi r}) \cdot \phi$$

$$k_{\phi} = 55549.73 \frac{\text{Nm}}{\text{rad}}$$

$$M_{\phi} = k_{\phi} \cdot \phi$$



# TRANSFERENCIAS DE MASA

## TRANSFERENCIA LATERAL

### a. EJE FRONTAL

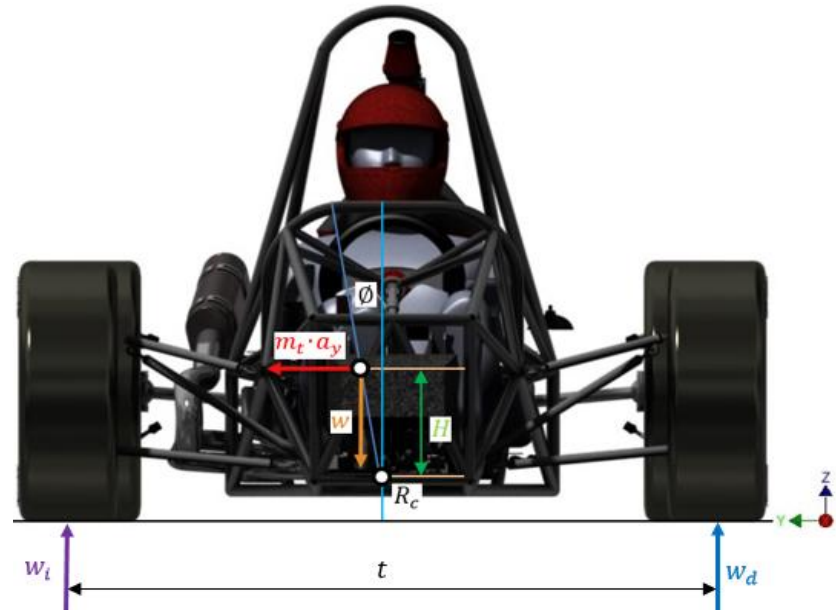
$$\Delta m_r = a_y \cdot \frac{m}{t_r} \cdot \left( \frac{H \cdot k_{\phi r}}{k_{\phi}} + \frac{a}{l} \cdot Y_{rf} \right)$$

$$\Delta m_r = 65.21 \text{ kg}$$

### b. EJE POSTERIOR

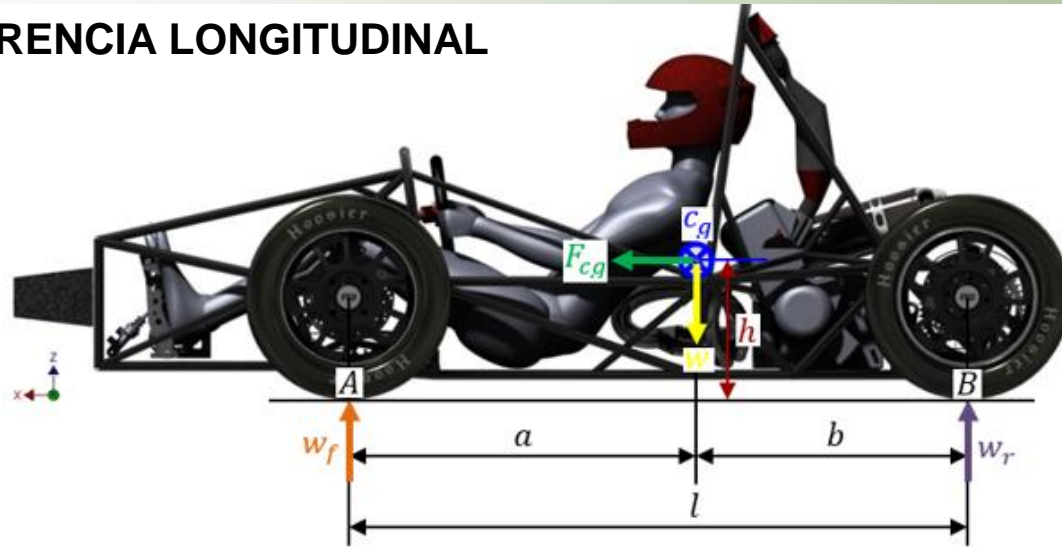
$$\Delta m_r = a_y \cdot \frac{m}{t_r} \cdot \left( \frac{H \cdot k_{\phi r}}{k_{\phi}} + \frac{a}{l} \cdot Y_{rf} \right)$$

$$\Delta m_r = 65.21 \text{ kg}$$



*Diagrama de transferencia de masa lateral*

## TRANSFERENCIA LONGITUDINAL



*Diagrama de transferencia de masa longitudinal*

a. ACELERACIÓN

$$\sum M_A = 0$$

$$w \cdot a + F_{cg} \cdot h - w_r \cdot l = 0$$

$$m_{rt} = \frac{m_t \cdot a}{l} + \frac{m_t \cdot a_x \cdot h}{g \cdot l}$$

$$m_{rt} = 220.83 \text{ kg}$$

b. FRENADO

$$\sum M_B = 0$$

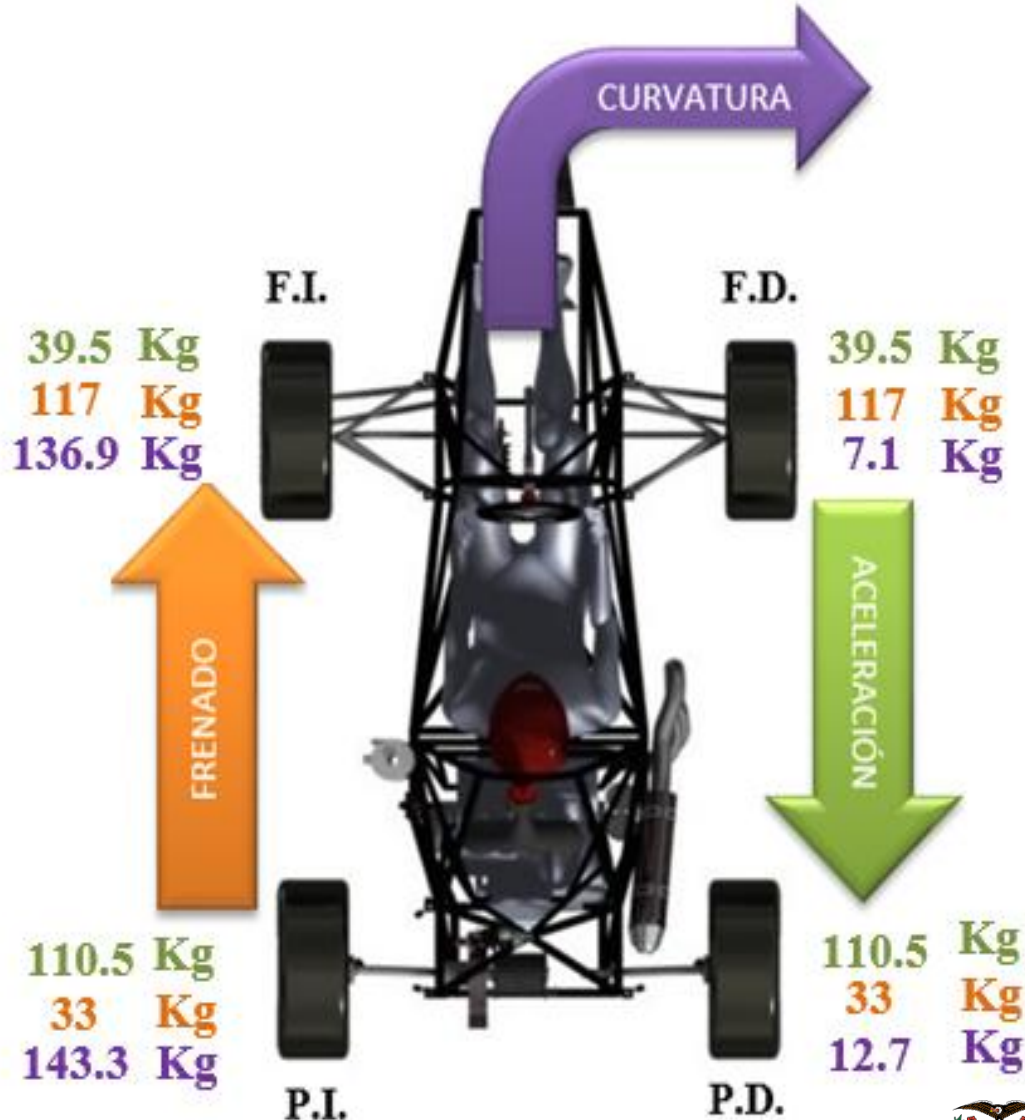
$$w_f \cdot l - w \cdot b - F_{cg} \cdot h = 0$$

$$m_{ft} = \frac{m_t \cdot b}{l} + \frac{m_t \cdot a_x \cdot h}{g \cdot l}$$

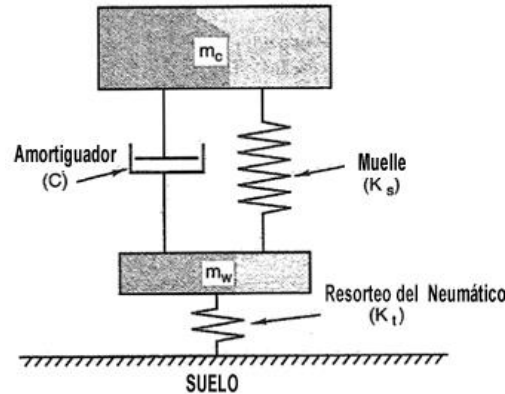
$$m_{ft} = 233.96 \text{ kg}$$



# CARGA SOBRE CADA RUEDA



# RÍGIDEZ DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN



*Configuración de la rigidez del sistema de suspensión*

## RÍGIDEZ DEL NEUMÁTICO

| TAMAÑO DEL NEUMÁTICO: 20 X 7.5 - 13<br>COMPUESTO = R25B<br>ANCHO DEL ARO = 8"<br>PRECARGA = 0  |                  |                        |
|--|------------------|------------------------|
| PRESION DE AIRE  | CARGA ACTUAL (N) | TASA DE RESORTEO (N/m) |
| AIRE = 18 PSI  | 890              | 180456                 |
|  | 1334             | 215035                 |
|  | 1779             | 223017                 |
| <br><b>Hoosier</b><br>RACING TIRE<br>"TIRES DESIGNED FOR CHAMPIONS" |                  |                        |

$$K_{Tf} = K_{T0} + \frac{K_{T1} - K_{T0}}{w_1 - w_0} (w_f - w_0)$$

$$K_{Tf} = 216445.57 \frac{N}{m}$$

$$K_{Tr} = K_{T0} + \frac{K_{T1} - K_{T0}}{w_1 - w_0} (w_r - w_0)$$

$$K_{Tr} = 218557.12 \frac{N}{m}$$



## RIGIDEZ EN LA CONDUCCION

a. FRONTAL

$$k_{rf} = \frac{2 \cdot k_{\phi f}}{t_f^2} \quad k_{rf} = 37570.61 \frac{N}{m}$$

b. POSTERIOR

$$k_{rr} = \frac{2 \cdot k_{\phi r}}{t_r^2} \quad k_{rr} = 35826.96 \frac{N}{m}$$

## RÍGIDEZ DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN FRONTAL

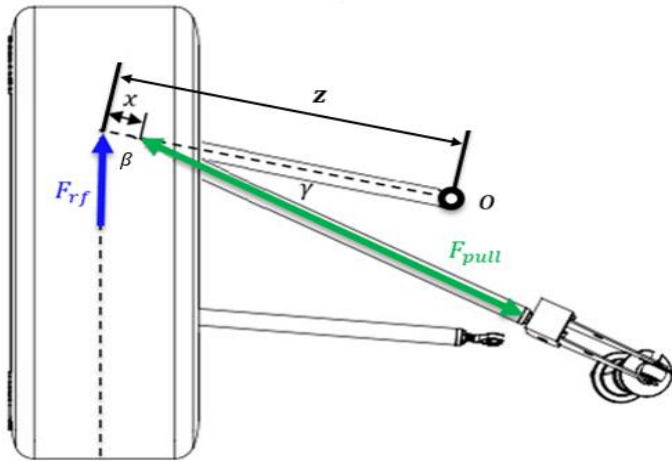
$$K_{wf} = \frac{K_{Tf} \cdot K_{rf}}{K_{Tf} - K_{rf}} \quad K_{wf} = 45461.88 \frac{N}{m}$$

## RÍGIDEZ DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN POSTERIOR

$$K_{wr} = \frac{K_{Tr} \cdot K_{rr}}{K_{Tr} - K_{rr}} \quad K_{wr} = 42851.36 \frac{N}{m}$$



# RÍGIDEZ DEL MUELLE FRONTAL



$$\sum M_O = 0$$

$$F_{rf} \cdot \sin \beta \cdot z - F_{pull} \cdot \sin \beta \cdot (z - x) = 0$$

$$F_{pull} = \frac{F_{rf} \cdot \sin \beta \cdot z}{\sin \gamma \cdot (z - x)}$$

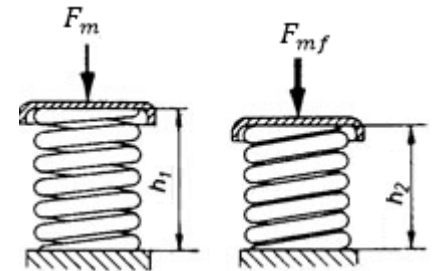
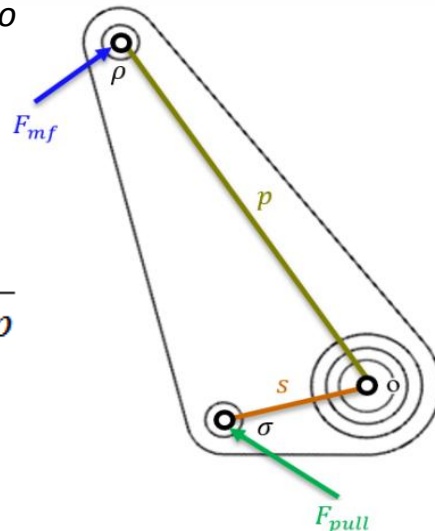
$$F_{pull} = 5929.31 \text{ N}$$

Diagrama de cuerpo libre para el sistema de suspensión delantero

$$\sum M_O = 0$$

$$F_{mf} = \frac{F_{pull} \cdot \sin \sigma \cdot s}{\sin(180^\circ - \rho) \cdot p}$$

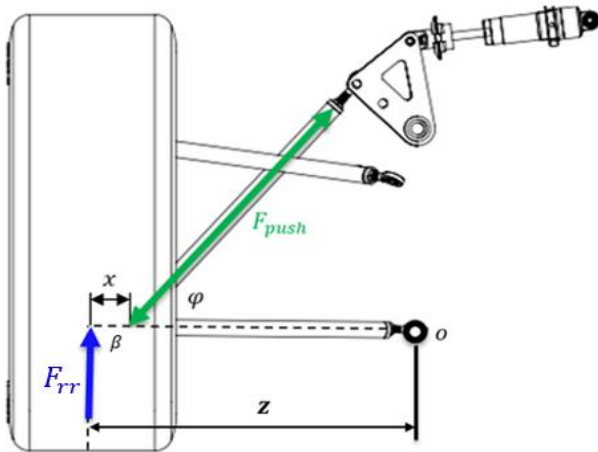
$$F_{mf} = 1928.77 \text{ N}$$



$$K_{sf} = \frac{F_{mf}}{h_1 - h_2}$$



## RÍGIDEZ DEL MUELLE POSTERIOR



$$\sum M_0 = 0$$

$$F_{rr} \cdot \sin \beta \cdot z - F_{push} \cdot \sin \varphi \cdot (z - x) = 0$$

$$F_{push} = \frac{F_{rr} \cdot \sin \beta \cdot z}{\sin \varphi \cdot (z - x)}$$

$$F_{push} = 1847.11 \text{ N}$$

Diagrama de cuerpo libre para el sistema de suspensión posterior

$$\sum M_0 = 0$$

$$F_{mr} = \frac{F_{push} \cdot \sin \tau \cdot s}{\sin(180^\circ - \omega) \cdot p}$$

$$F_{mr} = 1579 \text{ N}$$

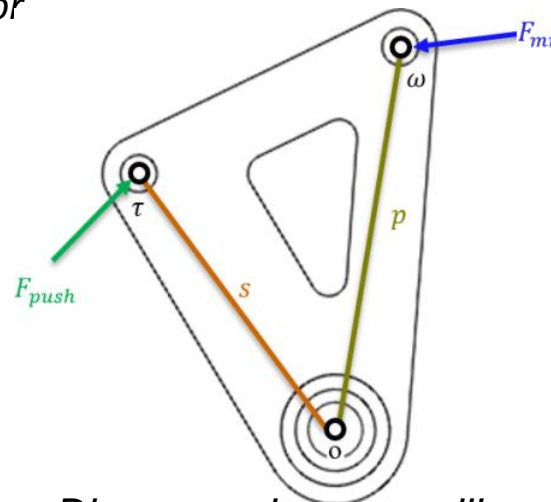
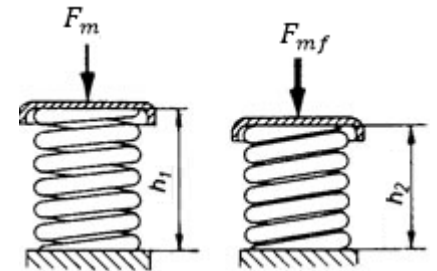


Diagrama de cuerpo libre de la bieleta posterior



$$K_{sr} = \frac{F_{mr}}{h_1 - h_2}$$

$$K_{sr} = 31580.14 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$



## FRECUENCIA DE LA MASA SUSPENDIDA

FRONTAL

$$f_{msf} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{K_{wf} \cdot K_{Tf} / K_{wf} + K_{Tf}}{m_{sf}}}$$

$$f_{msf} = 2.88 \text{ Hz}$$

POSTERIOR

$$f_{msr} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{K_{wr} \cdot K_{Tr} / K_{wr} + K_{Tr}}{m_{sr}}}$$

$$f_{msr} = 2.68 \text{ Hz}$$

## FRECUENCIA DE LA MASA NO SUSPENDIDA

FRONTAL

$$f_{musf} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{K_{wf} + K_{Tf}}{m_{usf}}}$$

$$f_{musf} = 14.47 \text{ Hz}$$

POSTERIOR

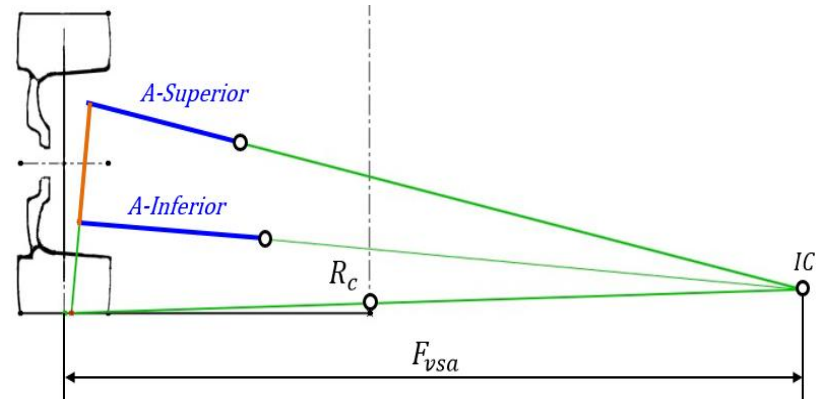
$$f_{musr} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{K_{wr} + K_{Tr}}{m_{usr}}}$$

$$f_{musr} = 14.85 \text{ Hz}$$



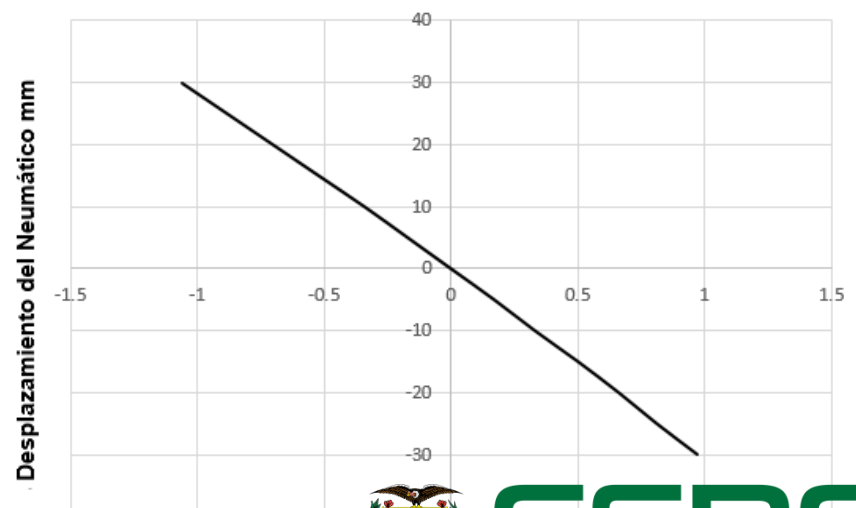
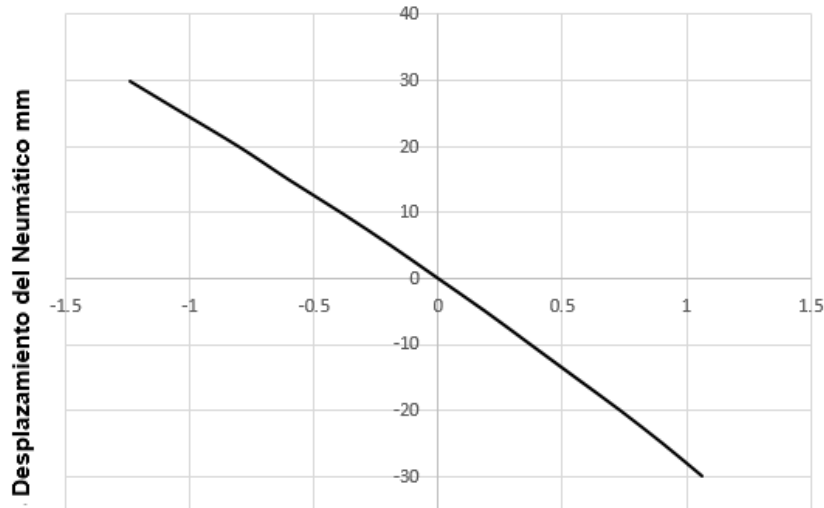
# COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE CAÍDA EN BOTE

Proyección de brazos de suspensión al centro instantáneo



a. FRONTAL  $Ccb_{vf} = \tan^{-1} \frac{1}{F_{vsaf}}$   
 $Ccb_{vf} = 0.038$

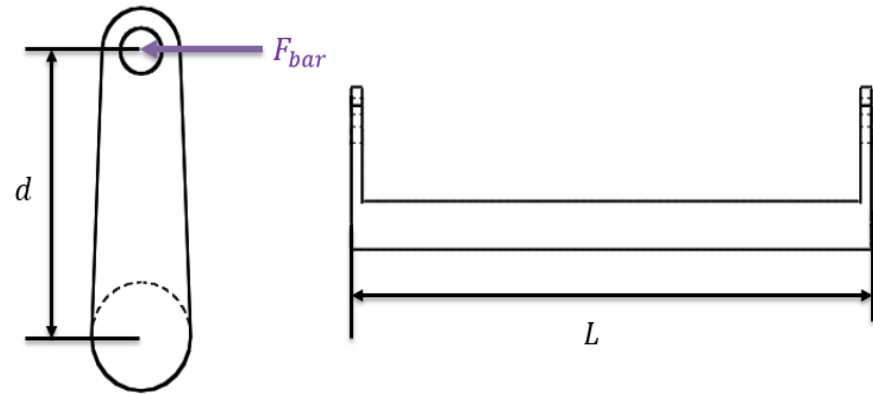
b. POSTERIOR  $Ccb_{vr} = \tan^{-1} \frac{1}{F_{vsar}}$   
 $Ccb_{vr} = 0.033$



## MOMENTO Y RÍGIDEZ DE LA BARRA ESTABILIZADORA

$$M_{bar} = M_{\phi o} - M_{\phi}$$

$$M_{bar} = 32.92 \text{ Nm}$$



FRONTAL

$$F_{barf} = \frac{M_{barf}}{d_f}$$

$$F_{barf} = 342.36 \text{ N}$$

POSTERIOR

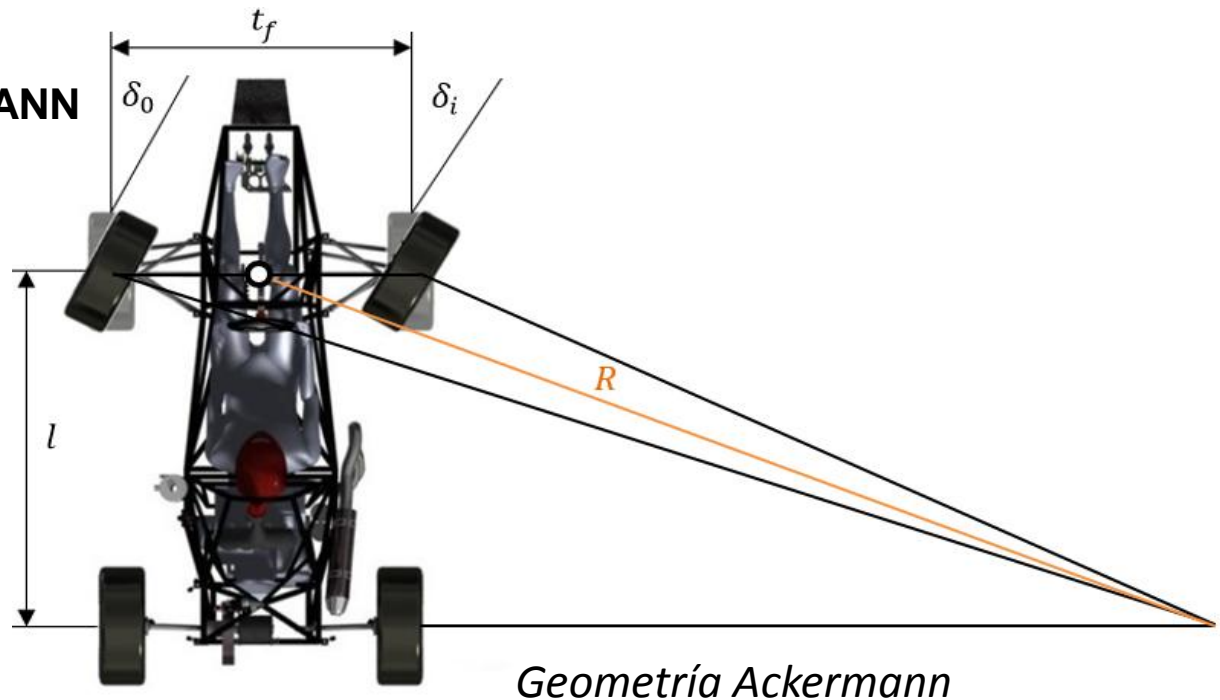
$$F_{barr} = \frac{M_{barr}}{d_r}$$

$$F_{barr} = 316.032 \text{ N}$$



# ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN

## ÁNGULO ACKERMANN



$$\delta_0 = \frac{l}{R + \frac{t_f}{2}}$$

$$\delta_0 = 22.84^\circ$$

$$\delta_i = \frac{l}{R - \frac{t_f}{2}}$$

$$\delta_i = 32.87^\circ$$

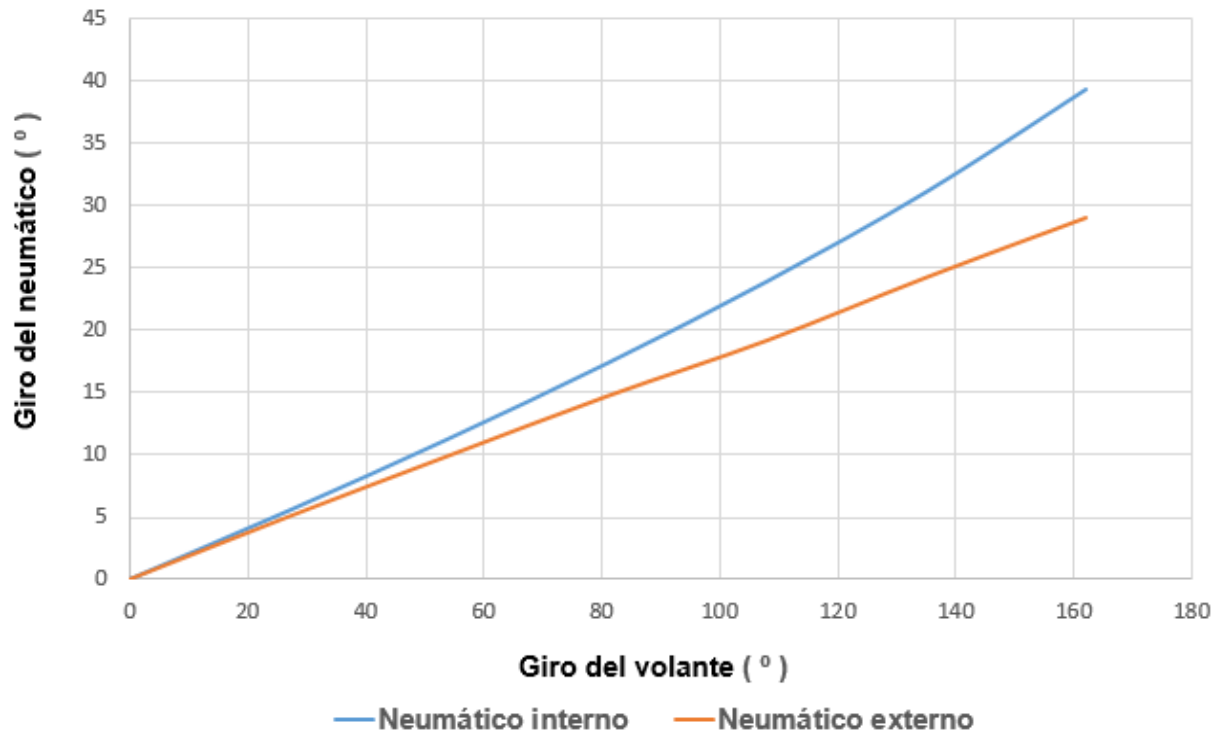


$$A_{kc} = \tan^{-1} \left( \frac{l}{\frac{l}{\tan \delta_0} - t_f} \right)$$

$$\%A_{kc} = \frac{\delta_i}{A_{kc}} \cdot 100\%$$

$$A_{kc} = 31.84^\circ$$

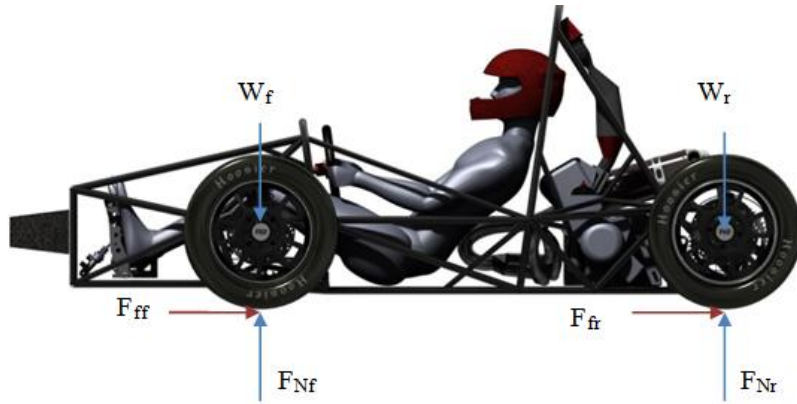
$$\%A_{kc} = 103.23\%$$



*Relación entre el giro del volante y el giro de los neumáticos*



## DETERMINACIÓN DE LOS MOMENTOS PRODUCIDOS AL FRENAR



| Datos  | Símbolo | Valor                 |
|--|---------|-----------------------|
| Carga rueda delantera                        | 1       | 117 kg                |
| Carga rueda posterior                        |         | 33 kg                 |
| Coefficiente de fricción neumático - asfalto |         | 1.5                   |
| Diámetro del neumático                       |         | 0.52 m                |
| Gravedad                                     |         | 9.81 m/s <sup>2</sup> |

### TORQUE DE FRENADO RUEDA DELANTERA

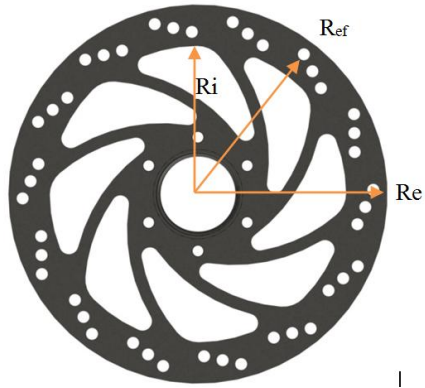
—

### TORQUE DE FRENADO RUEDA POSTERIOR

—



# DISCOS DE FRENO



$R_e = 110 \text{ mm}$   
 $R_i = 75 \text{ mm}$

# CILINDROS MAESTROS

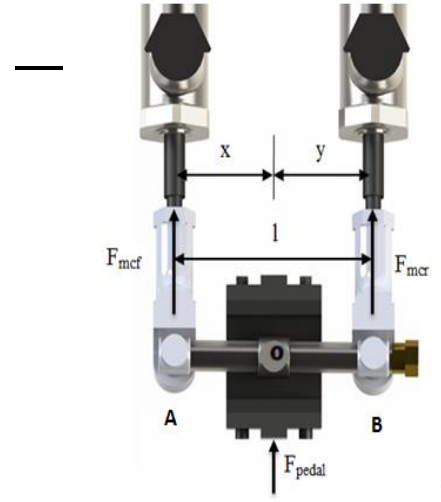
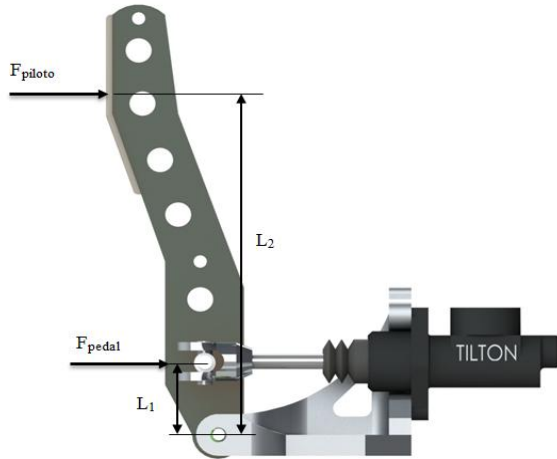
| PRESIÓN NECESARIA EN EL CIRCUITO |  |  |  |
|----------------------------------|--|--|--|
| FUERZA TANGENCIAL DEL SISTEMA    |  |  |  |
| FUERZA HIDRÁULICA DE LA MORDAZA  |  |  |  |



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# FUERZA DE INGRESO EN CADA MORDAZA



## DIÁMETROS NECESARIOS PAR EL CILINDRO MAESTRO DELANTERO

—

## DIÁMETROS NECESARIO PAR EL CILINDRO MAESTRO POSTERIOR

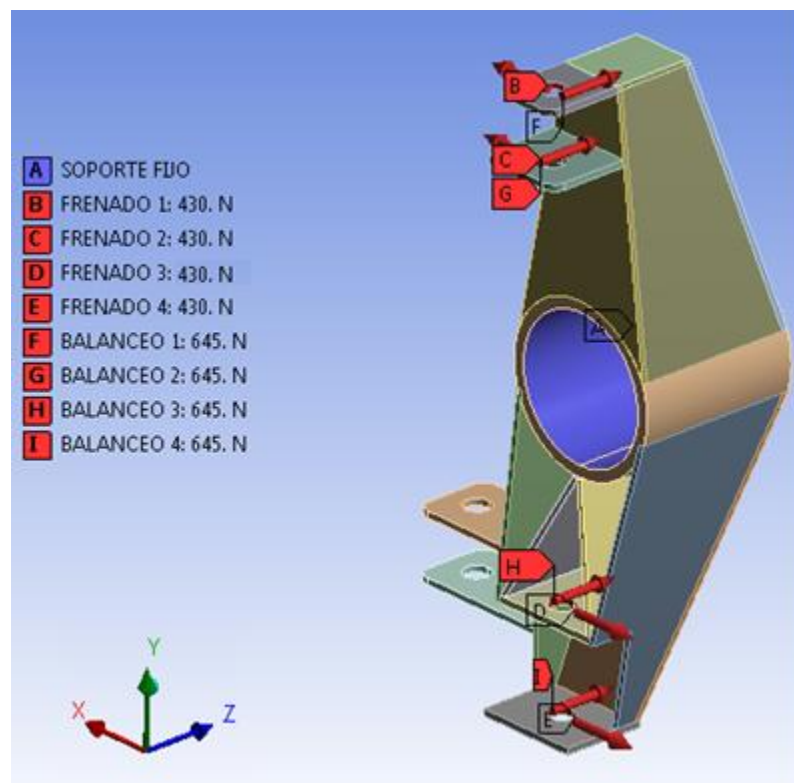
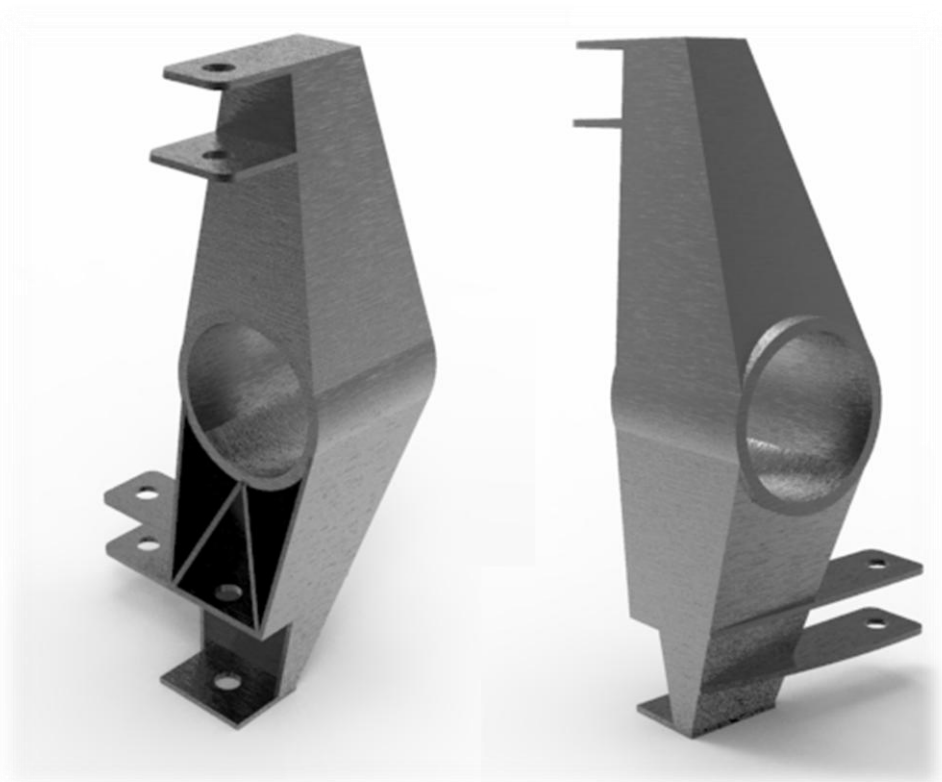
$$\sqrt{F}$$



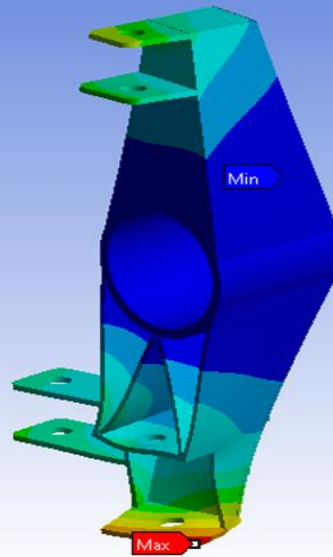
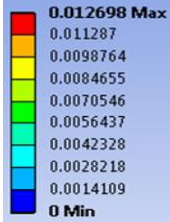
# Diseños finales



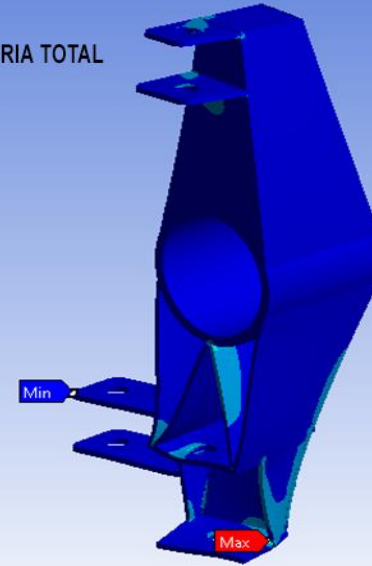
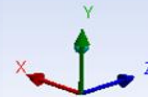
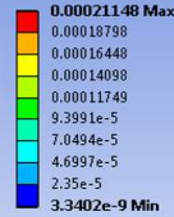
| Efecto  | Par | Fuerza |
|---------|-----|--------|
| Frenado |     |        |
| Balaneo |     |        |



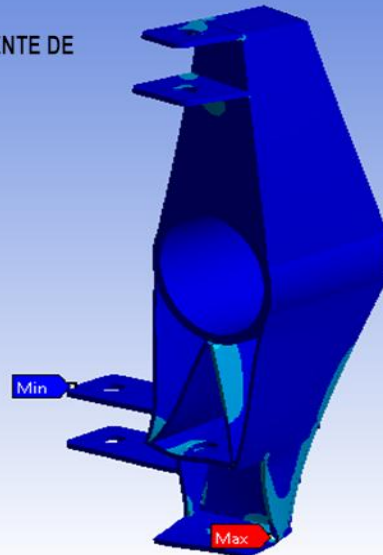
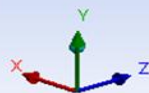
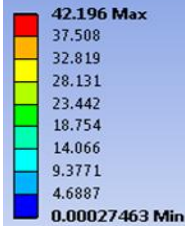
**A - MANGUETA**  
**DEFORMACIÓN TOTAL**  
 UNIDAD: mm



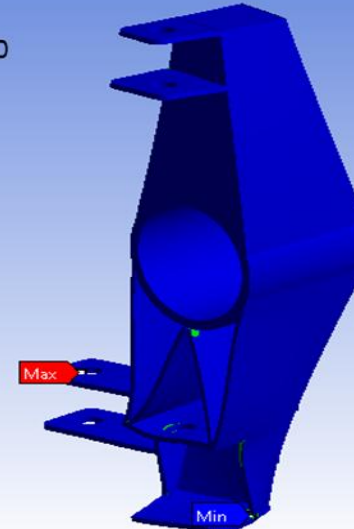
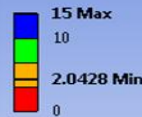
**B - MANGUETA**  
**DEFORMACIÓN UNITARIA TOTAL**  
 UNIDAD: mm/mm



**C - MANGUETA**  
**ESFUERZO EQUIVALENTE DE VON MISES**  
 UNIDAD: Mpa



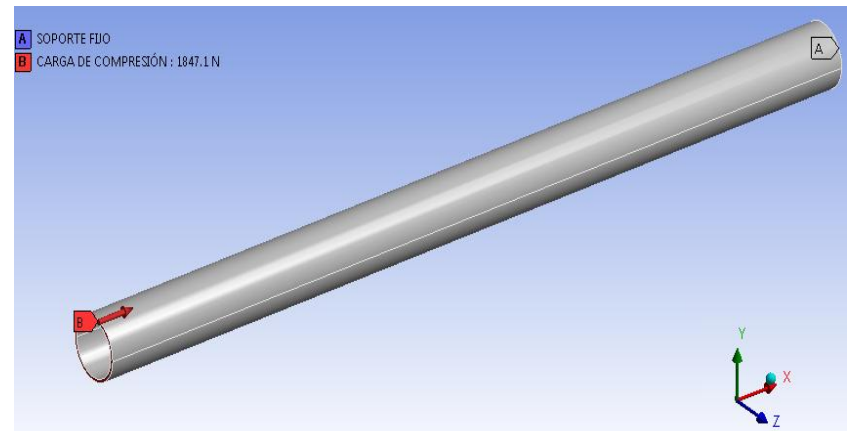
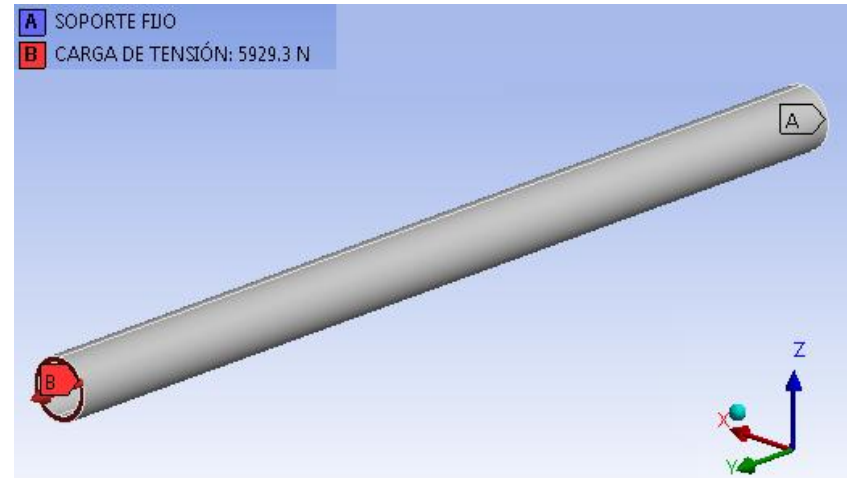
**D - MANGUETA**  
**FACTOR DE SEGURIDAD**



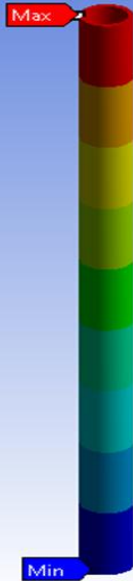
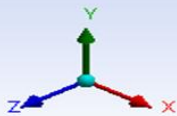
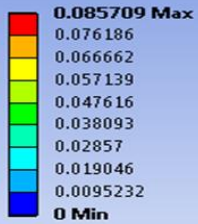
| Efecto       | Fuerza |
|--------------|--------|
| Carga Máxima |        |



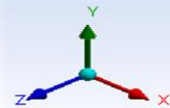
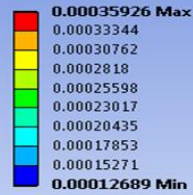
| Efecto       | Fuerza |
|--------------|--------|
| Carga Máxima |        |



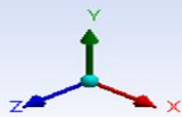
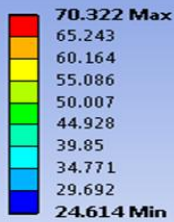
A - BARRA DE TIRO FRONTAL  
DEFORMACIÓN TOTAL  
UNIDAD: mm



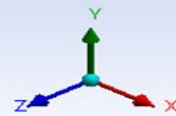
B - BARRA DE TIRO FRONTAL  
DEFORMACIÓN UNITARIA TOTAL  
UNIDAD: mm/mm



C - BARRA DE TIRO FRONTAL  
ESFUERZO EQUIVALENTE DE  
VON MISES  
UNIDAD: Mpa

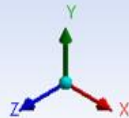
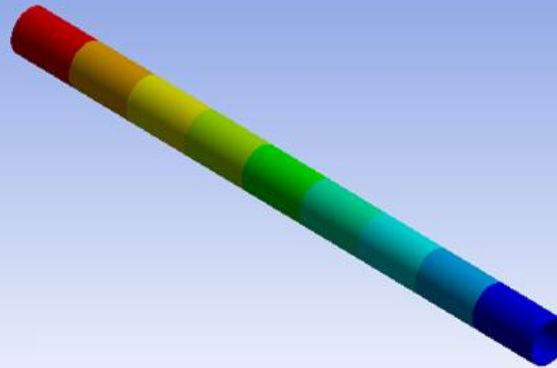
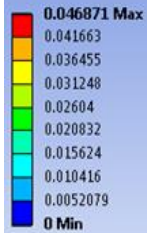


D - BARRA DE TIRO FRONTAL  
FACTOR DE SEGURIDAD



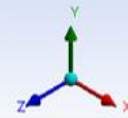
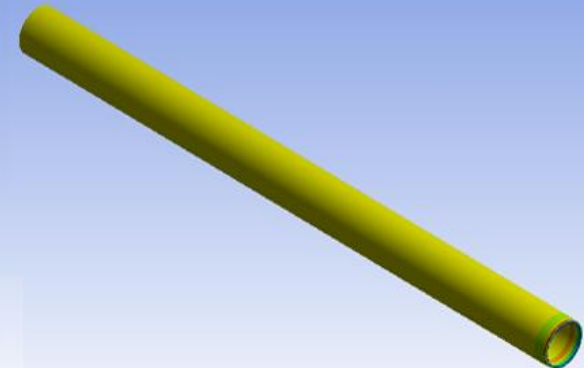
**A - BARRA DE EMPUJE POSTERIOR**  
**DEFORMACIÓN TOTAL**

UNIDAD: mm



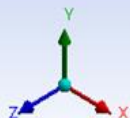
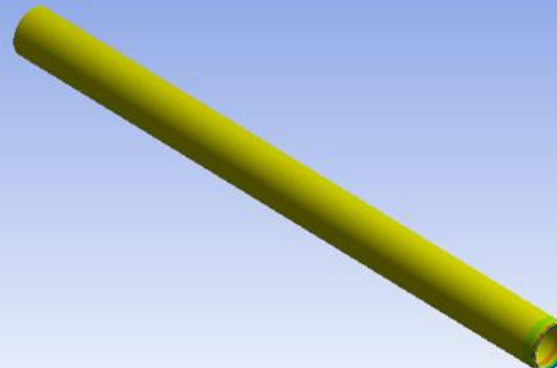
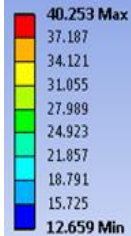
**B - BARRA DE EMPUJE POSTERIOR**  
**DEFORMACIÓN UNITARIA TOTAL**

UNIDAD: mm/mm

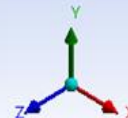
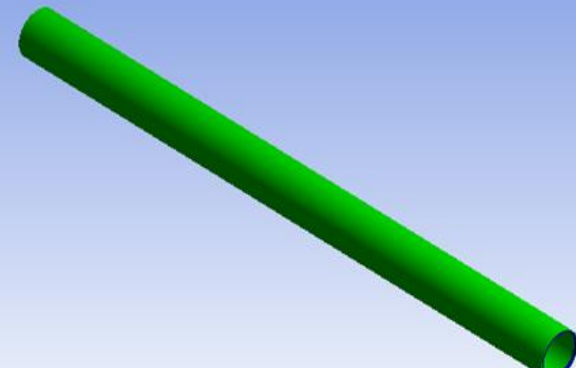
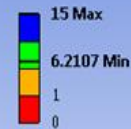


**C - BARRA DE EMPUJE POSTERIOR**  
**ESFUERZO EQUIVALENTE DE VON MISES**

UNIDAD: Mpa



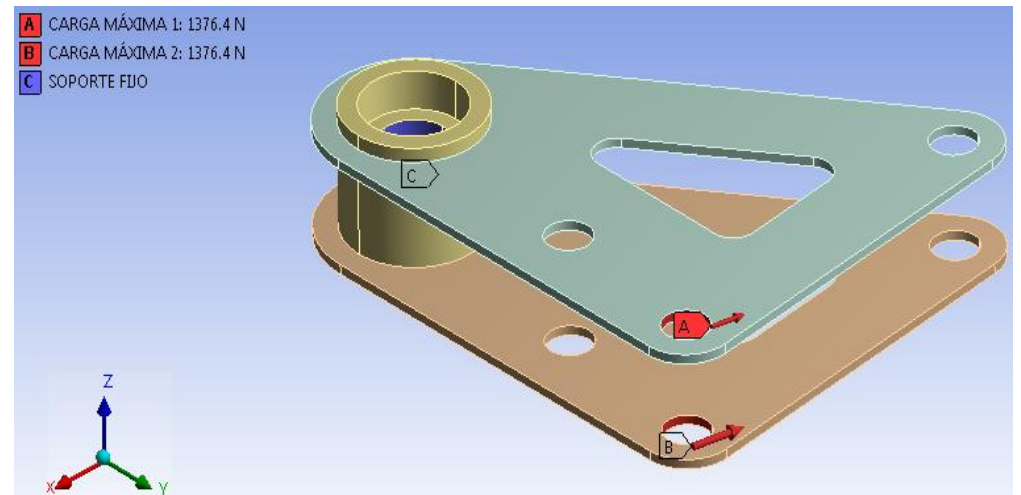
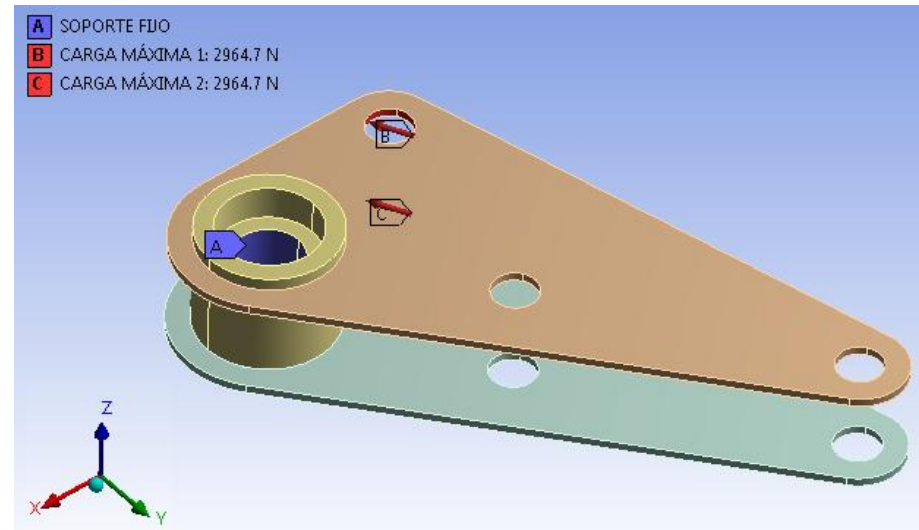
**D - BARRA DE EMPUJE POSTERIOR**  
**FACTOR DE SEGURIDAD**



| Efecto       | Fuerza |
|--------------|--------|
| Carga Máxima |        |

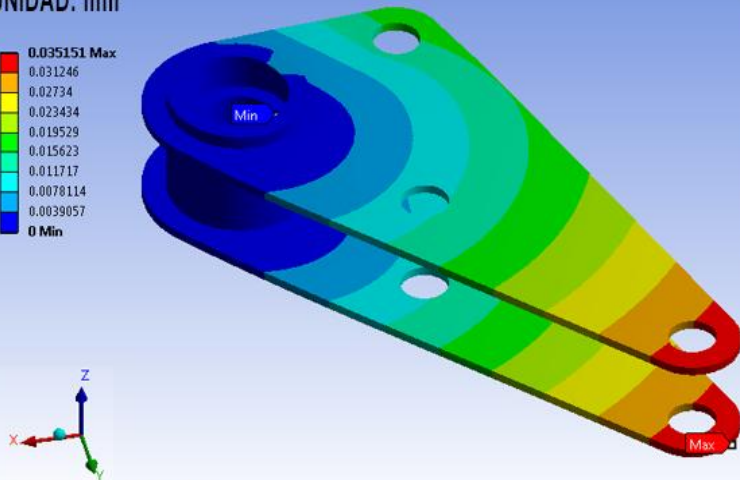
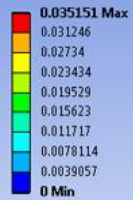


| Efecto       | Fuerza |  |
|--------------|--------|--|
| Carga Máxima |        |  |

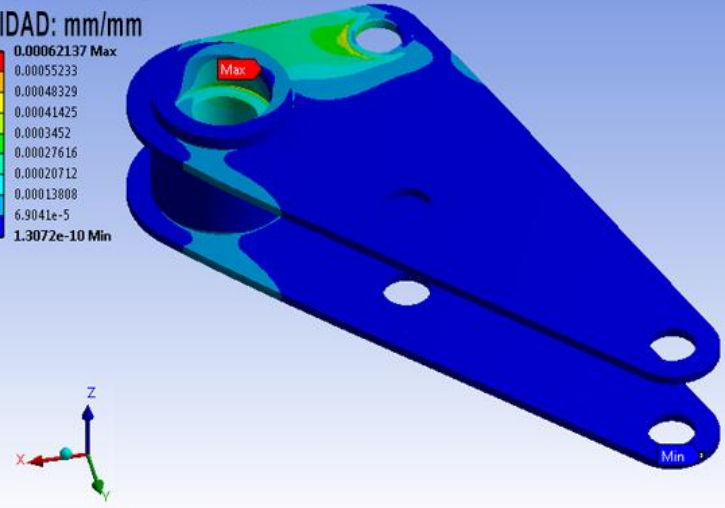
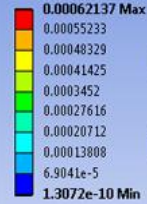




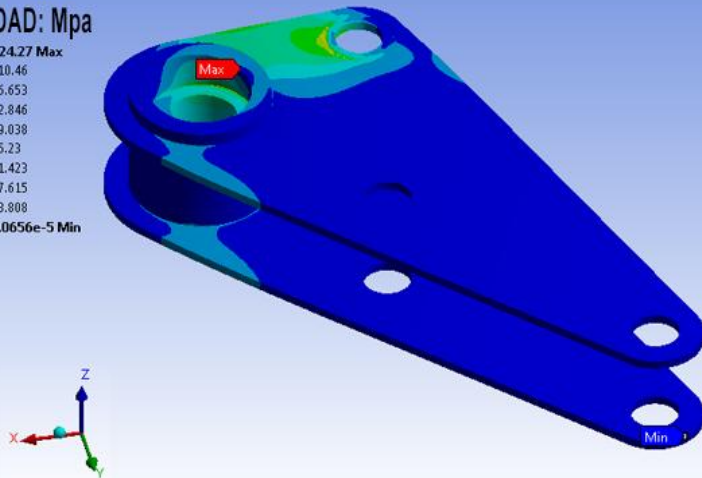
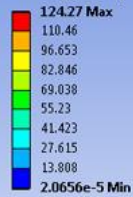
**A - BIELETA FRONTAL**  
**DEFORMACIÓN TOTAL**  
**UNIDAD: mm**



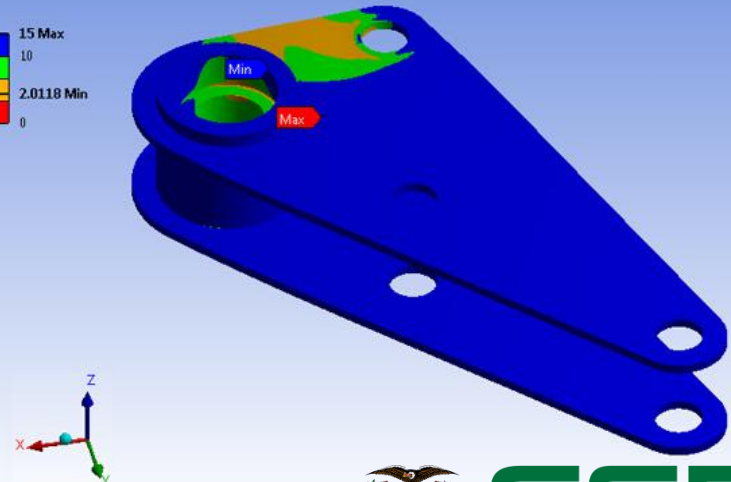
**B - BIELETA FRONTAL**  
**DEFORMACIÓN UNITARIA TOTAL**  
**UNIDAD: mm/mm**



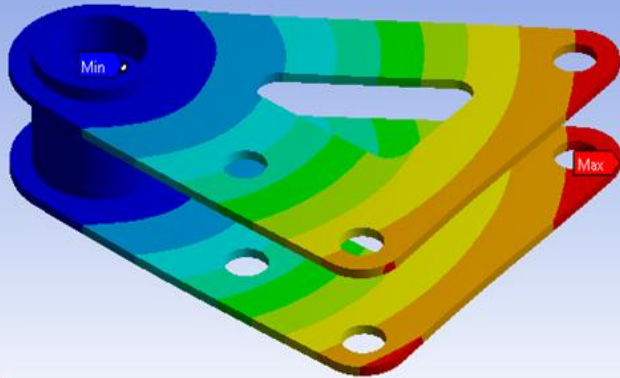
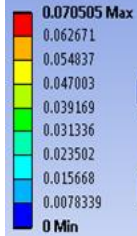
**C - BIELETA FRONTAL**  
**ESFUERZO EQUIVALENTE DE VON MISES**  
**UNIDAD: Mpa**



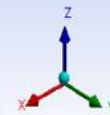
**D - BIELETA FRONTAL**  
**FACTOR DE SEGURIDAD**



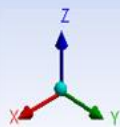
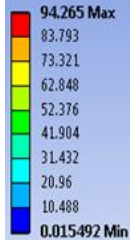
**A - BIELETA POSTERIOR**  
**DEFORMACIÓN TOTAL**  
 UNIDAD: mm



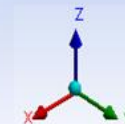
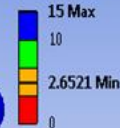
**B - BIELETA POSTERIOR**  
**DEFORMACIÓN UNITARIA TOTAL**  
 UNIDAD: mm/mm



**C - BIELETA POSTERIOR**  
**ESFUERZO EQUIVALENTE DE VON MISES**  
 UNIDAD: Mpa



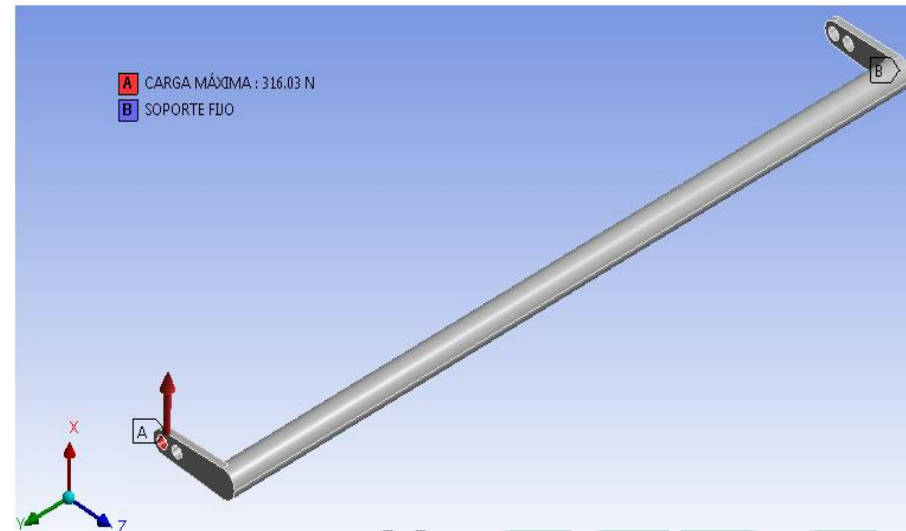
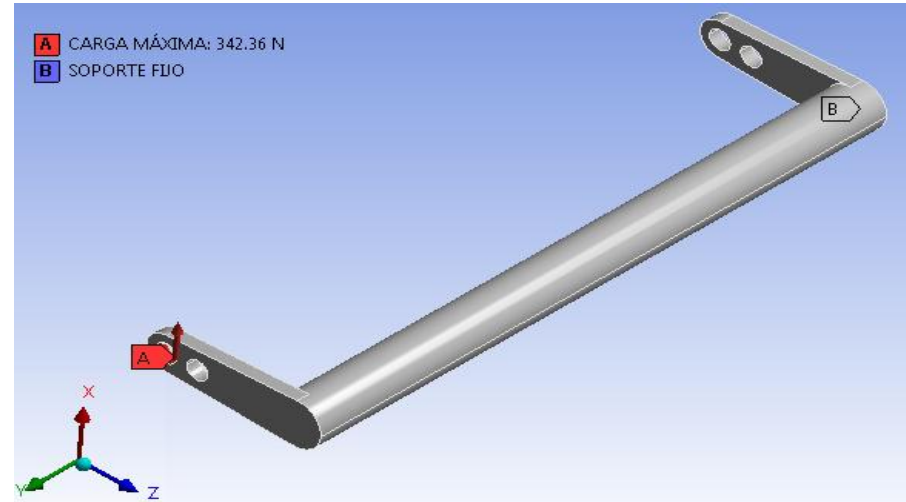
**D - BIELETA POSTERIOR**  
**FACTOR DE SEGURIDAD**



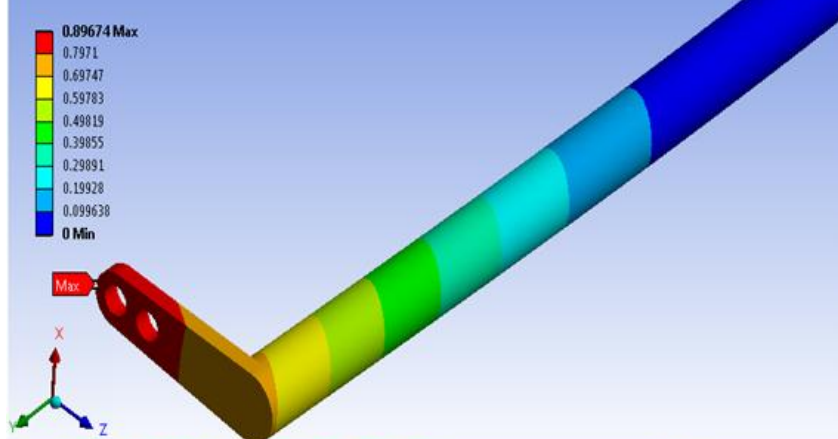
| Efecto       | Fuerza |
|--------------|--------|
| Carga Máxima |        |



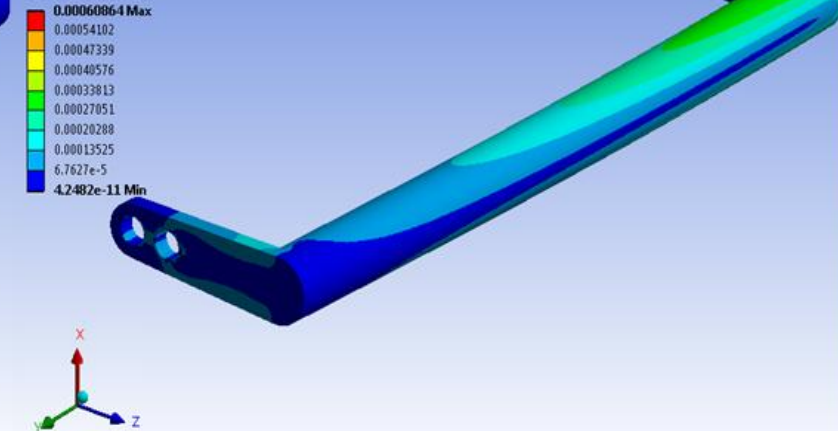
| Efecto       | Fuerza |
|--------------|--------|
| Carga Máxima |        |



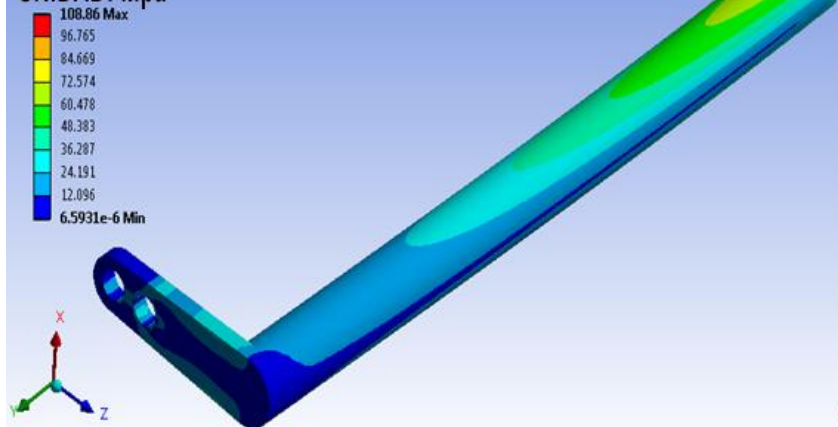
**A - BARRA ESTABILIZADORA FRONTAL**  
**DEFORMACIÓN TOTAL**  
**UNIDAD: mm**



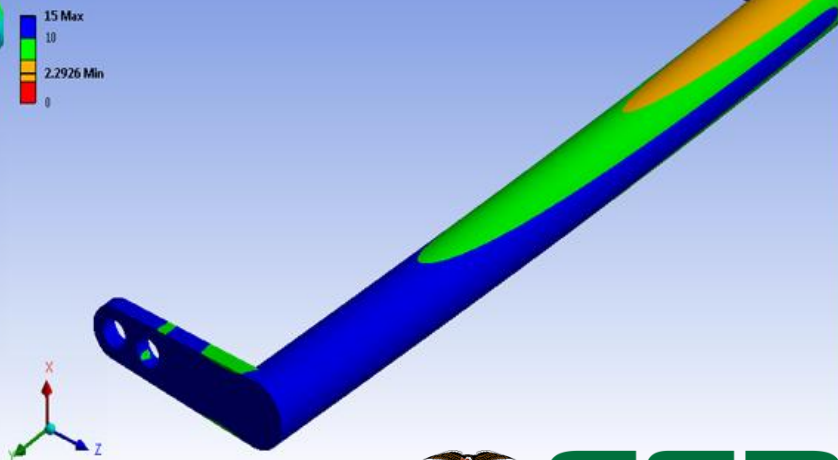
**B - BARRA ESTABILIZADORA FRONTAL**  
**DEFORMACIÓN UNITARIA TOTAL**  
**UNIDAD: mm/mm**



**C - BARRA ESTABILIZADORA FRONTAL**  
**ESFUERZO EQUIVALENTE DE**  
**VON MISES**  
**UNIDAD: Mpa**

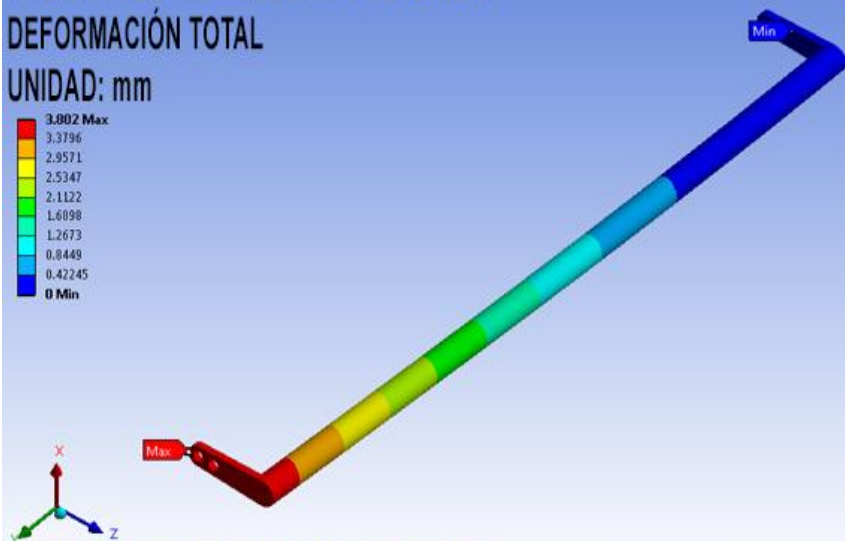
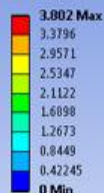


**D - BARRA ESTABILIZADORA FRONTAL**  
**FACTOR DE SEGURIDAD**



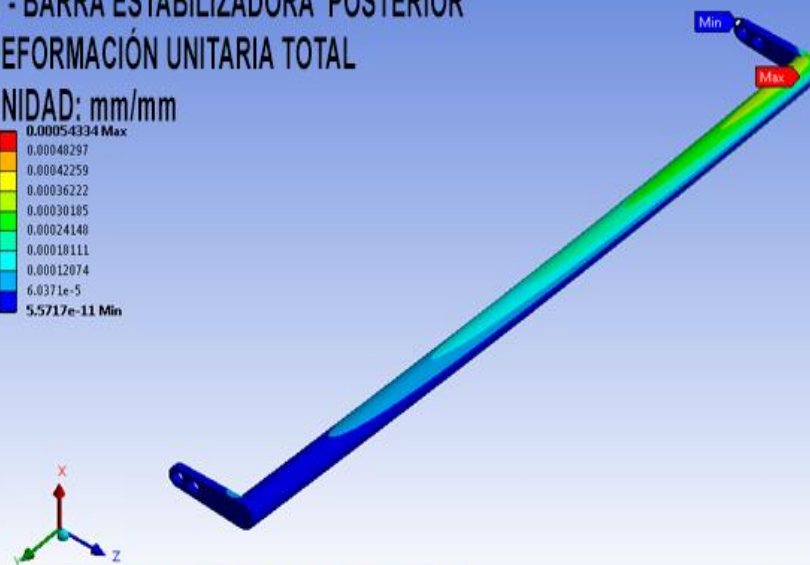
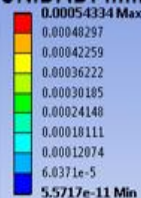
**A - BARRA ESTABILIZADORA POSTERIOR**  
**DEFORMACIÓN TOTAL**

UNIDAD: mm



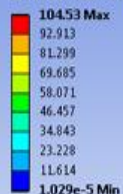
**B - BARRA ESTABILIZADORA POSTERIOR**  
**DEFORMACIÓN UNITARIA TOTAL**

UNIDAD: mm/mm



**C - BARRA ESTABILIZADORA POSTERIOR**  
**ESFUERZO EQUIVALENTE DE VON MISES**

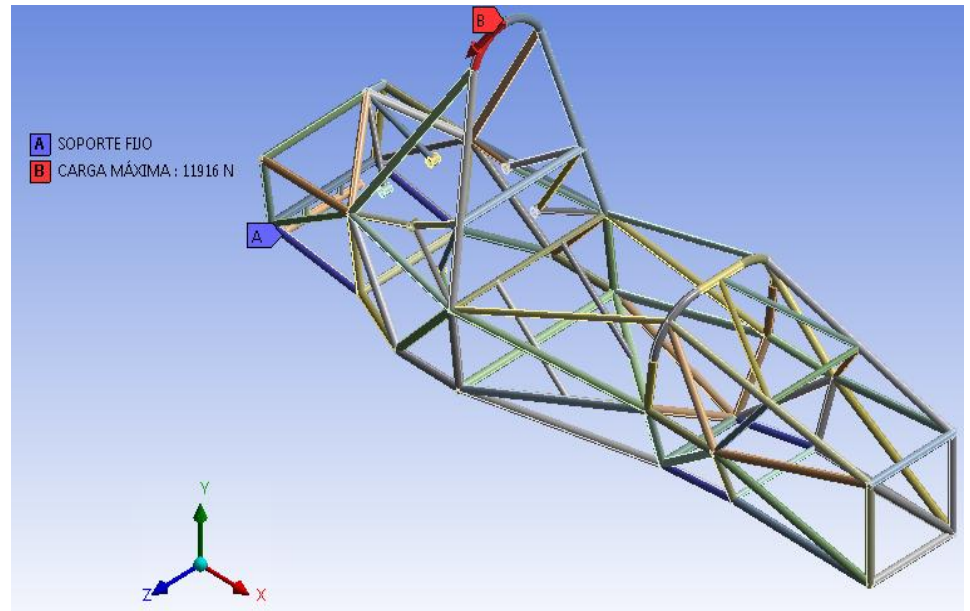
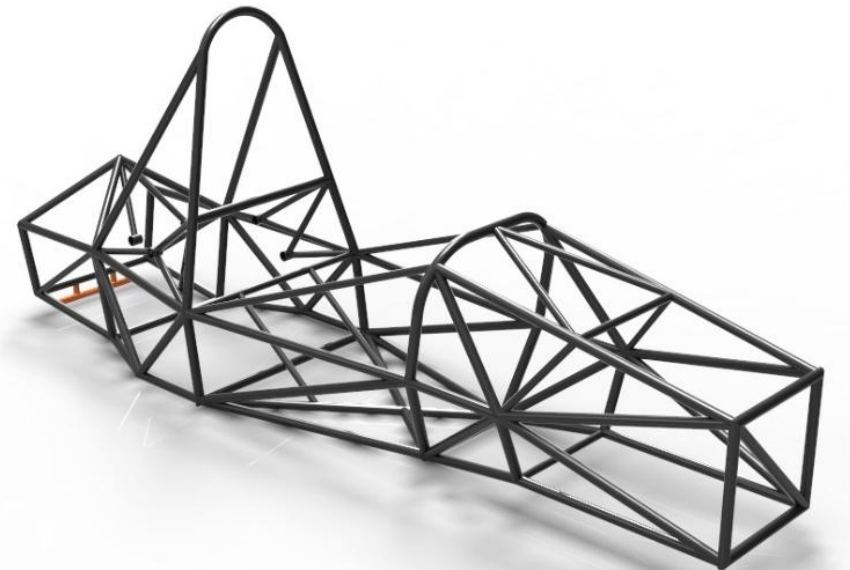
UNIDAD: Mpa



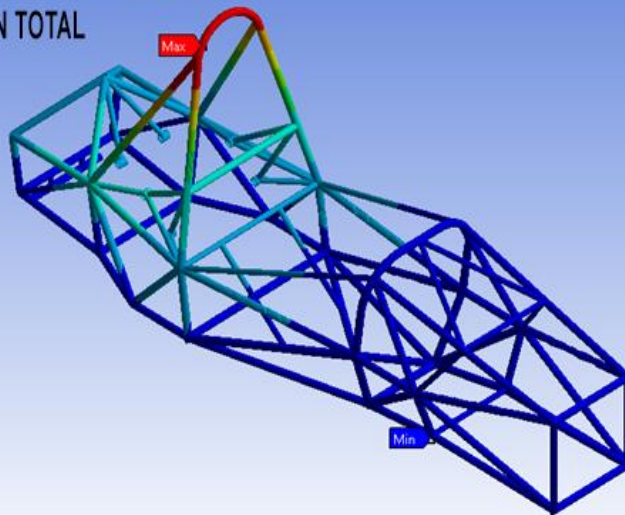
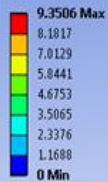
**D - BARRA ESTABILIZADORA POSTERIOR**  
**FACTOR DE SEGURIDAD**



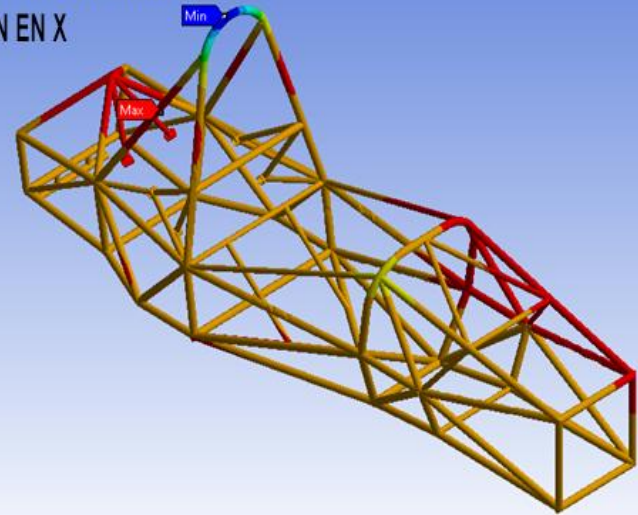
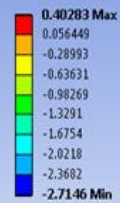
| Elementos o componentes   | Carga aplicada  | Punto de aplicación          | Máxima deflexión permitida | Observación                                |
|---------------------------|---|------------------------------|----------------------------|--|
| Arco principal y soportes | $F_x = 6.0 \text{ kN}$<br>$F_y = 5.0 \text{ kN}$<br>$F_z = -9.0 \text{ kN}$ | Superficie superior del arco | 25 mm                      | Ninguna parte de la estructura debe fallar |



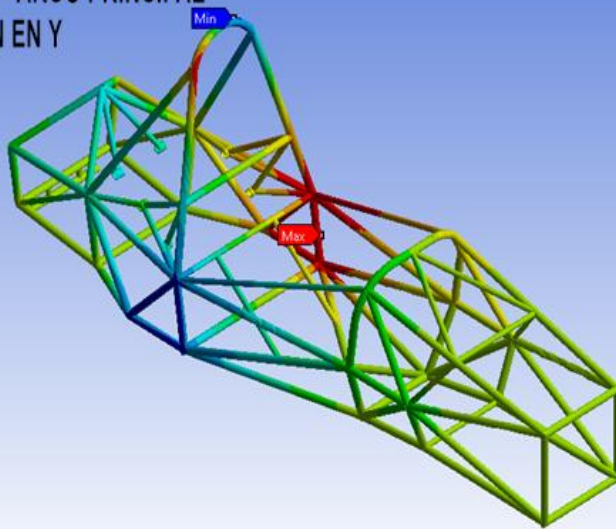
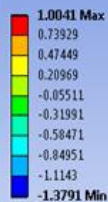
A - BASTIDOR - ARCO PRINCIPAL  
DEFORMACIÓN TOTAL  
UNIDAD: mm



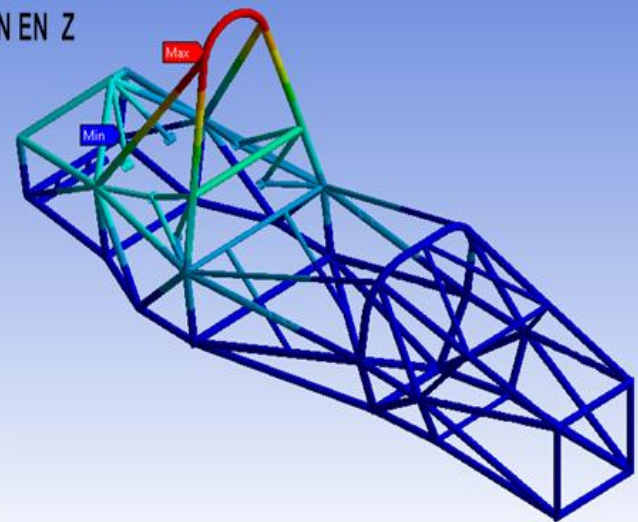
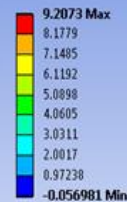
B - BASTIDOR - ARCO PRINCIPAL  
DEFORMACIÓN EN X  
UNIDAD: mm



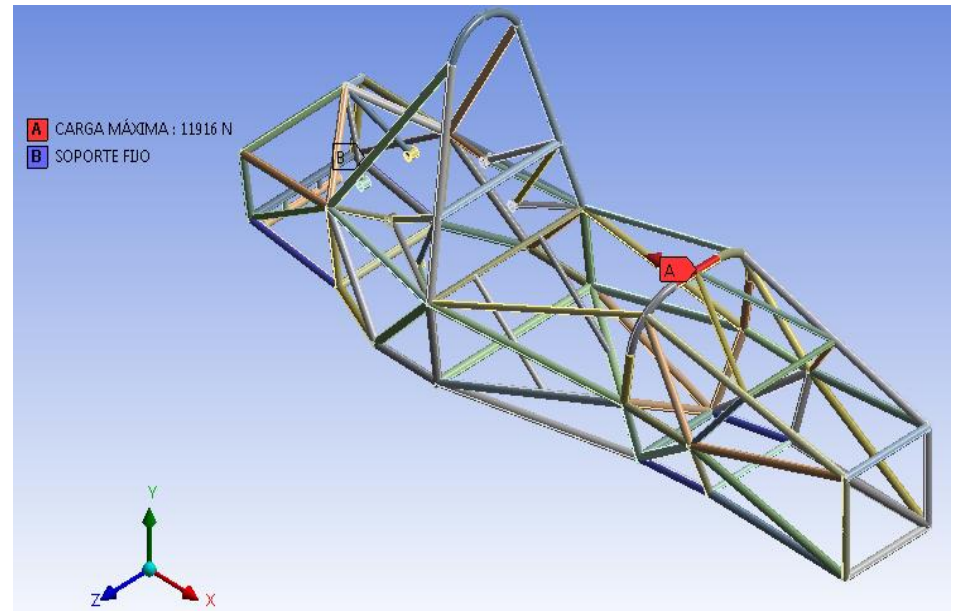
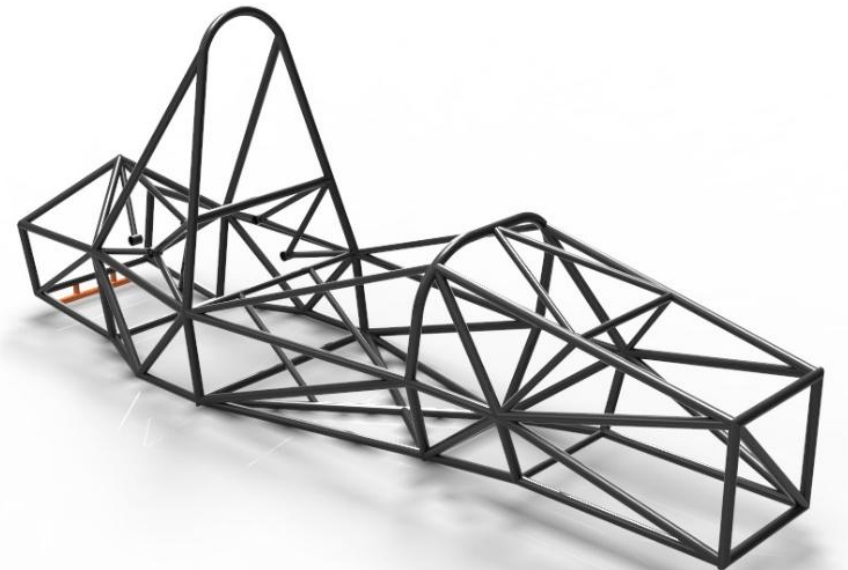
C - BASTIDOR - ARCO PRINCIPAL  
DEFORMACIÓN EN Y  
UNIDAD: mm



D - BASTIDOR - ARCO PRINCIPAL  
DEFORMACIÓN EN Z  
UNIDAD: mm

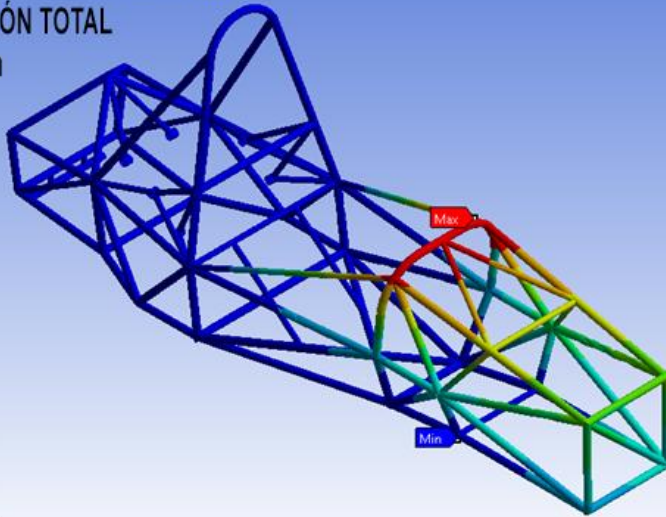
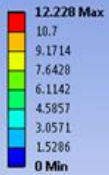


| Elementos o componentes | Carga aplicada  | Punto de aplicación          | Máxima deflexión permitida | Observación                                |
|-------------------------|---|------------------------------|----------------------------|--|
| Arco delantero          | $F_x = 6.0 \text{ kN}$<br>$F_y = 5.0 \text{ kN}$<br>$F_z = -9.0 \text{ kN}$ | Superficie superior del arco | 25 mm                      | Ninguna parte de la estructura debe fallar |

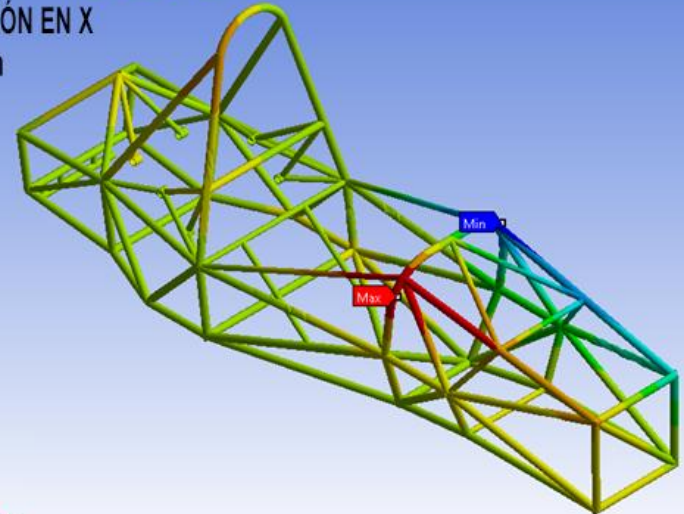
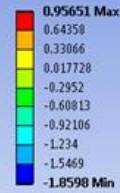




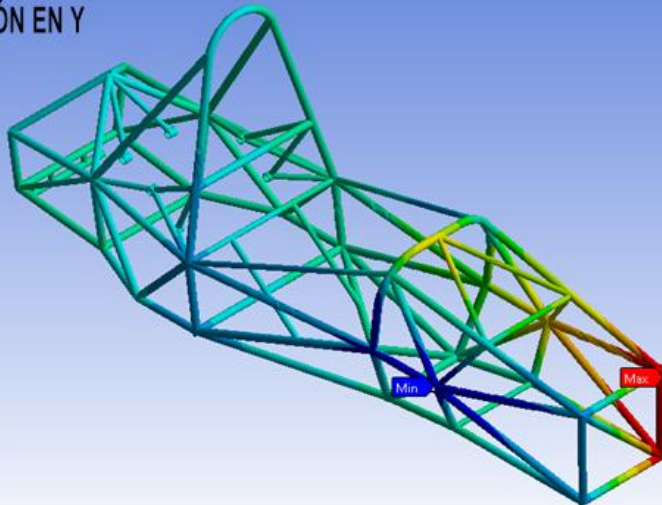
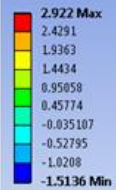
**A - BASTIDOR - ARCO DELANTERO**  
**DEFORMACIÓN TOTAL**  
**UNIDAD: mm**



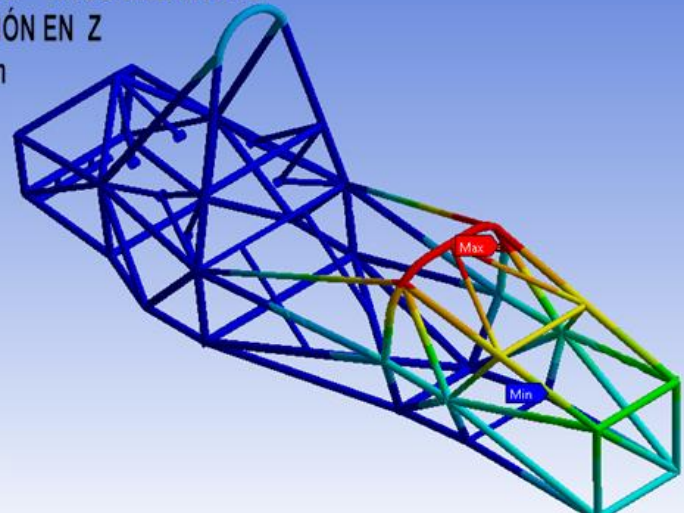
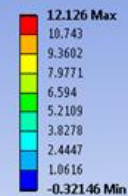
**B - BASTIDOR - ARCO DELANTERO**  
**DEFORMACIÓN EN X**  
**UNIDAD: mm**



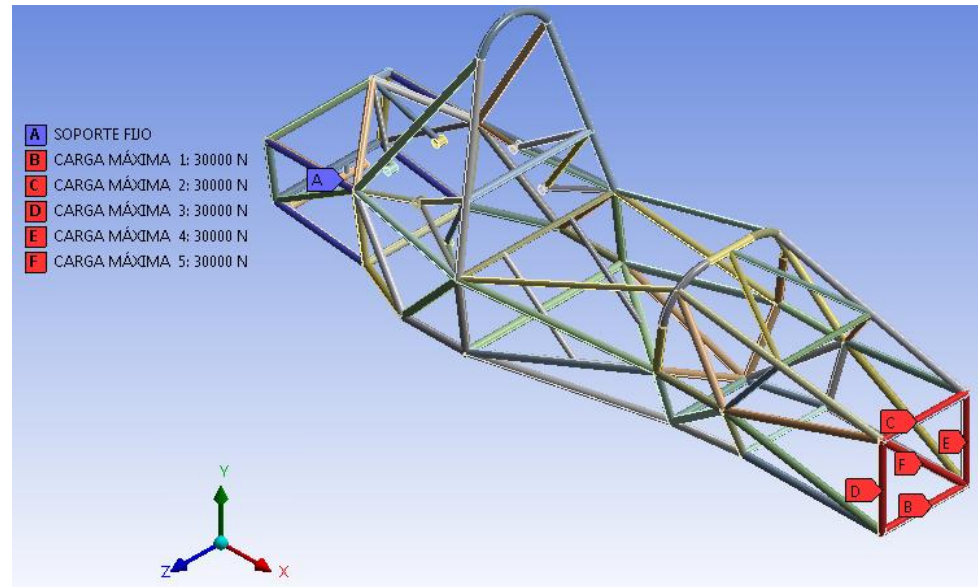
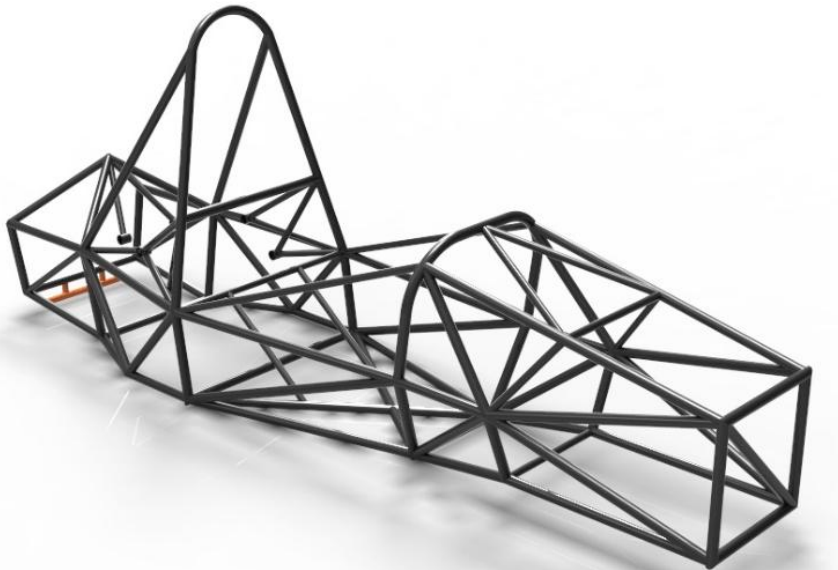
**C - BASTIDOR - ARCO DELANTERO**  
**DEFORMACIÓN EN Y**  
**UNIDAD: mm**



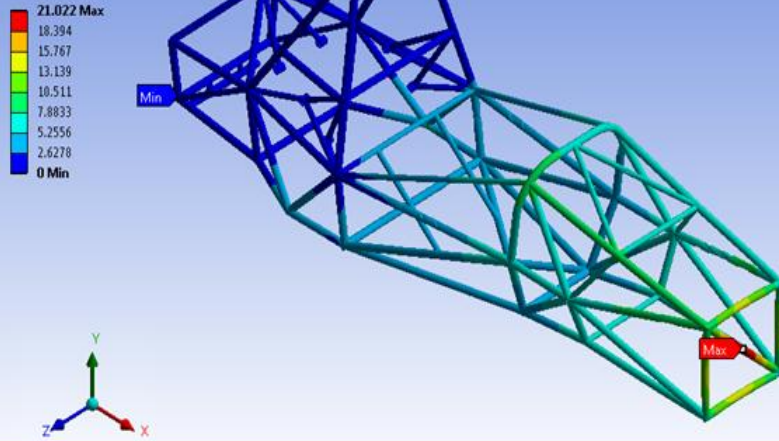
**D - BASTIDOR - ARCO DELANTERO**  
**DEFORMACIÓN EN Z**  
**UNIDAD: mm**



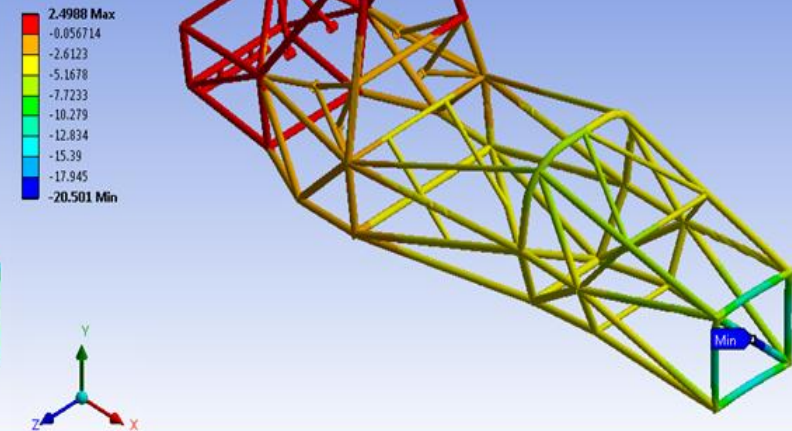
| Elementos o componentes       | Carga aplicada   | Punto de aplicación                          | Máxima deflexión permitida | Observación                                |
|-------------------------------|--|--|----------------------------|--|
| Protección frontal y soportes | $F_x = 150 \text{ kN}$<br>$F_y = 0 \text{ kN}$<br>$F_z = 0 \text{ kN}$ . | Puntos de sujeción del atenuador de impactos | 25 mm                      | Ninguna parte de la estructura debe fallar |



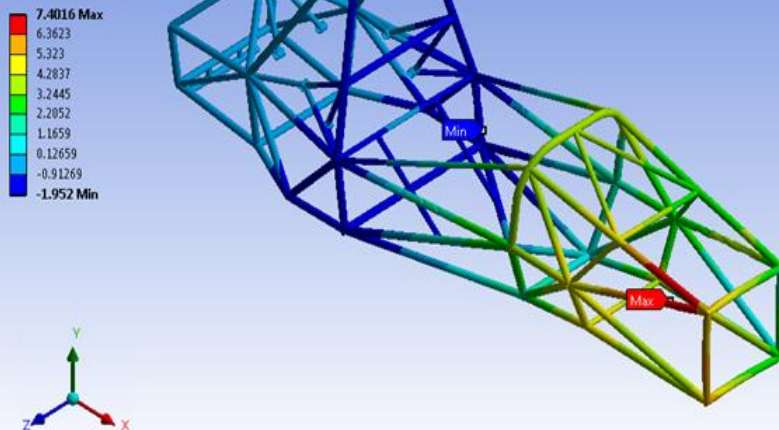
**A - BASTIDOR - ARCO FRONTAL**  
**DEFORMACIÓN TOTAL**  
**UNIDAD: mm**



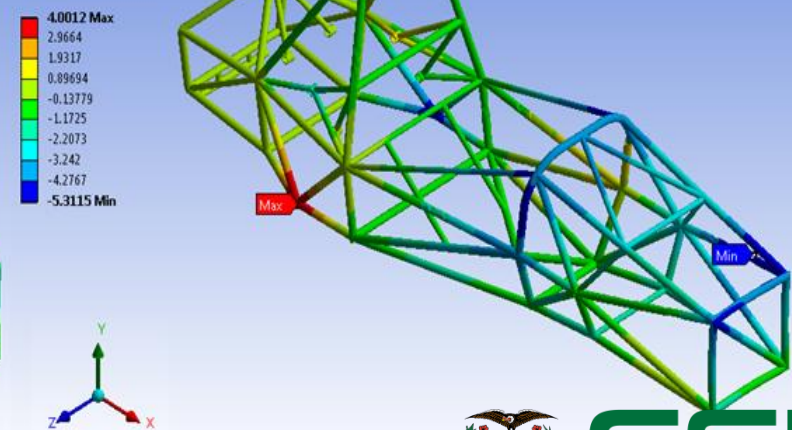
**B - BASTIDOR - ARCO FRONTAL**  
**DEFORMACIÓN EN X**  
**UNIDAD: mm**



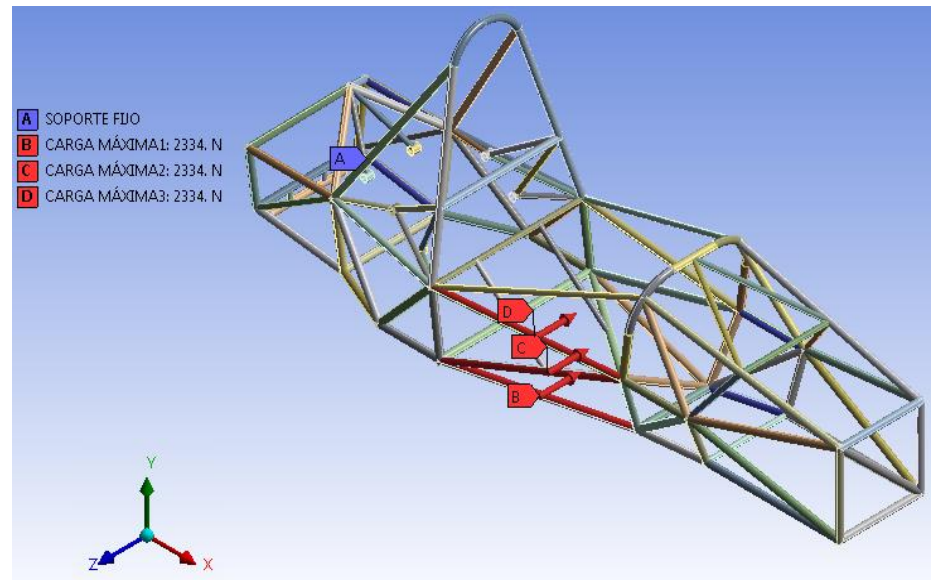
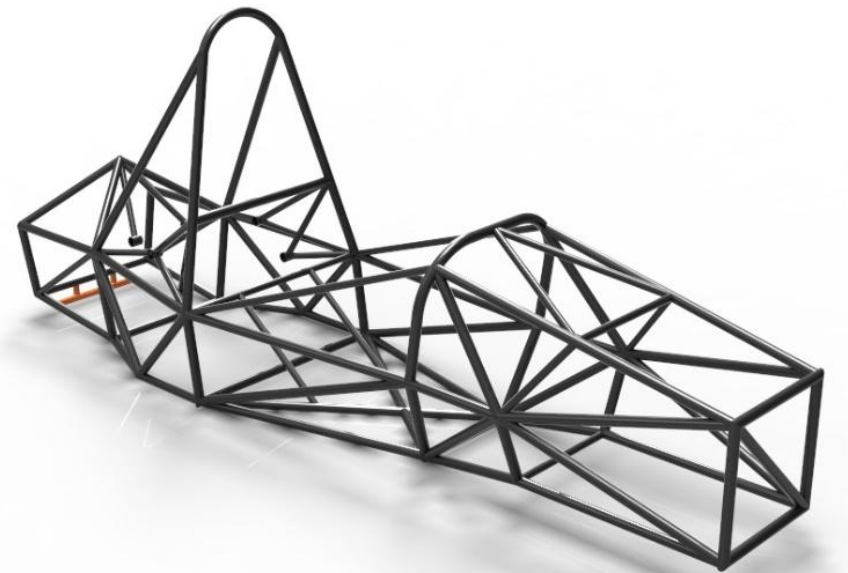
**C - BASTIDOR - ARCO FRONTAL**  
**DEFORMACIÓN EN Y**  
**UNIDAD: mm**



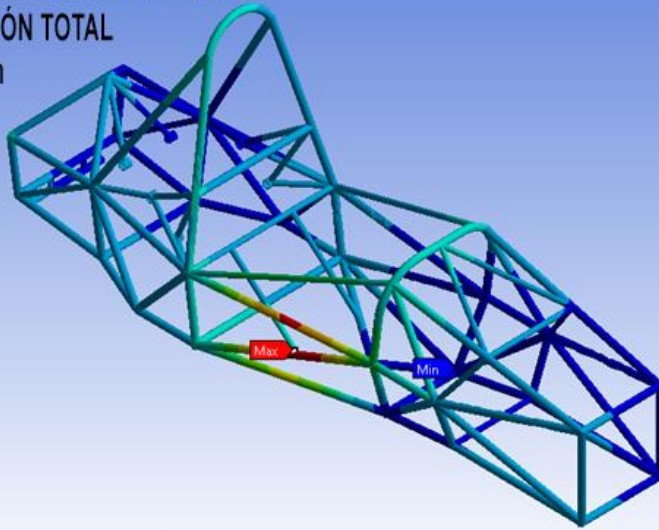
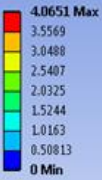
**D - BASTIDOR - ARCO FRONTAL**  
**DEFORMACIÓN EN Z**  
**UNIDAD: mm**



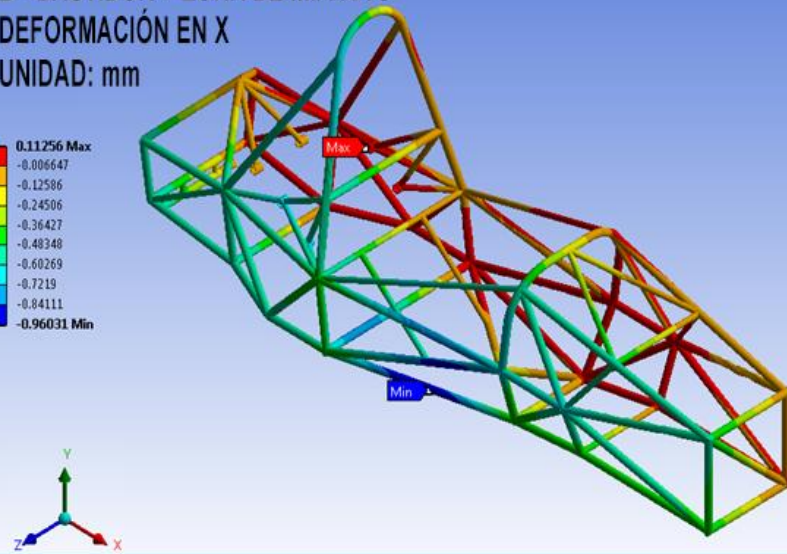
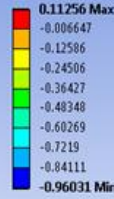
| Elementos o componentes | Carga aplicada   | Punto de aplicación                                 | Máxima deflexión permitida | Observación                                |
|-------------------------|--|---|----------------------------|--|
| Zona de impacto lateral | $F_x = 0 \text{ kN}$<br>$F_y = 7 \text{ kN}$<br>$F_z = 0 \text{ kN}$ . | Todas las ubicaciones en la zona de impacto lateral | 25 mm                      | Ninguna parte de la estructura debe fallar |



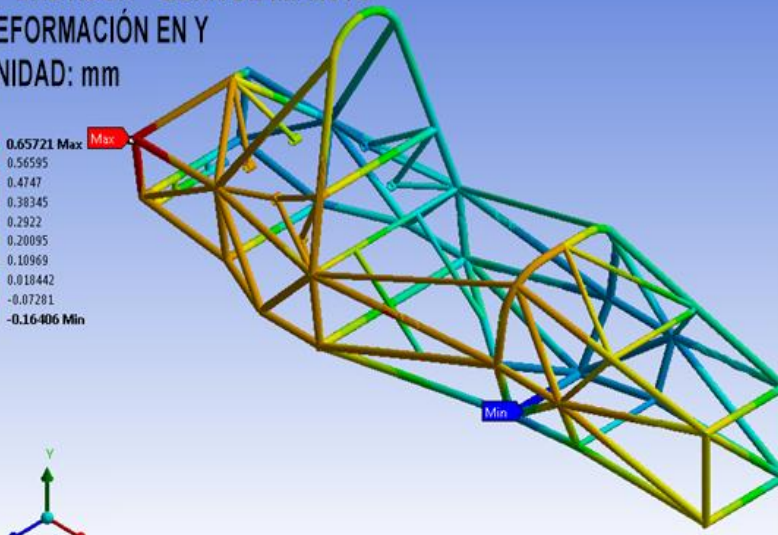
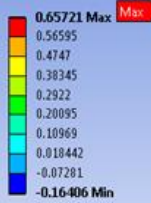
A - BASTIDOR - ZONA DE IMPACTO  
 DEFORMACIÓN TOTAL  
 UNIDAD: mm



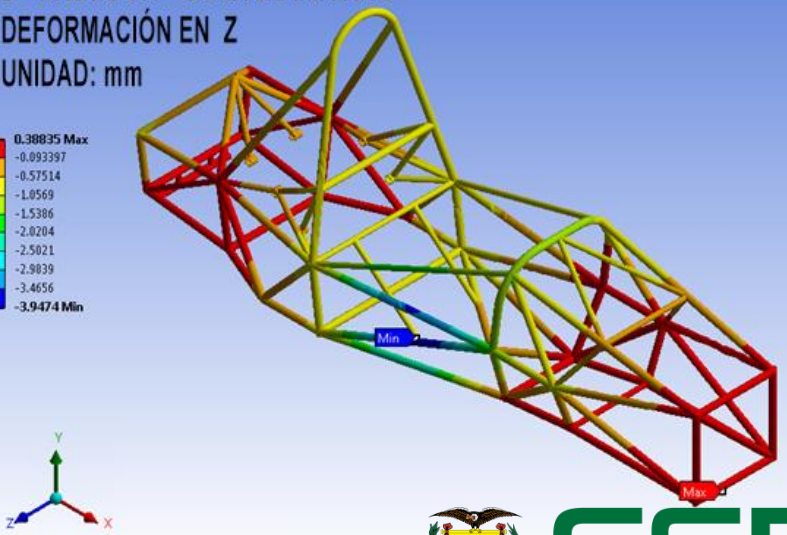
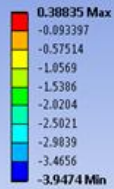
B - BASTIDOR - ZONA DE IMPACTO  
 DEFORMACIÓN EN X  
 UNIDAD: mm



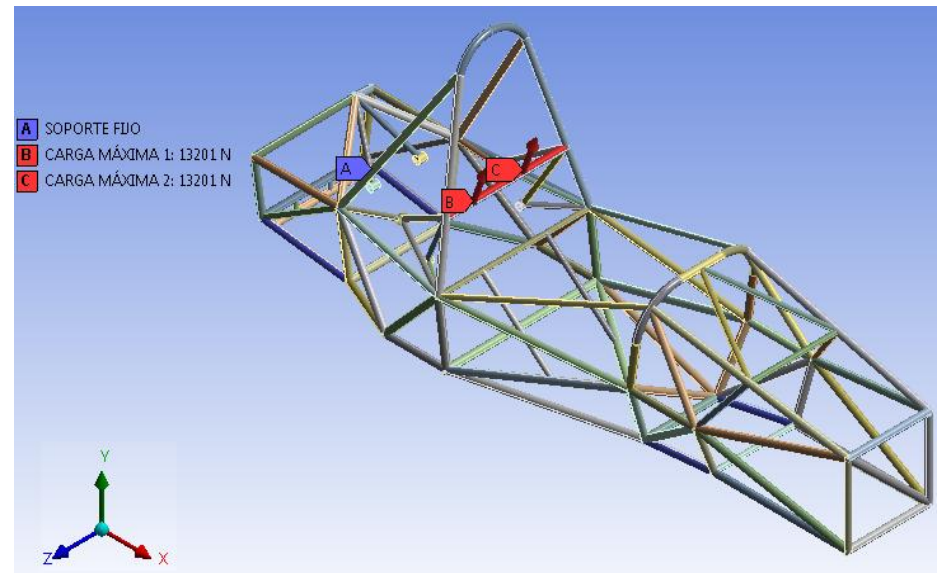
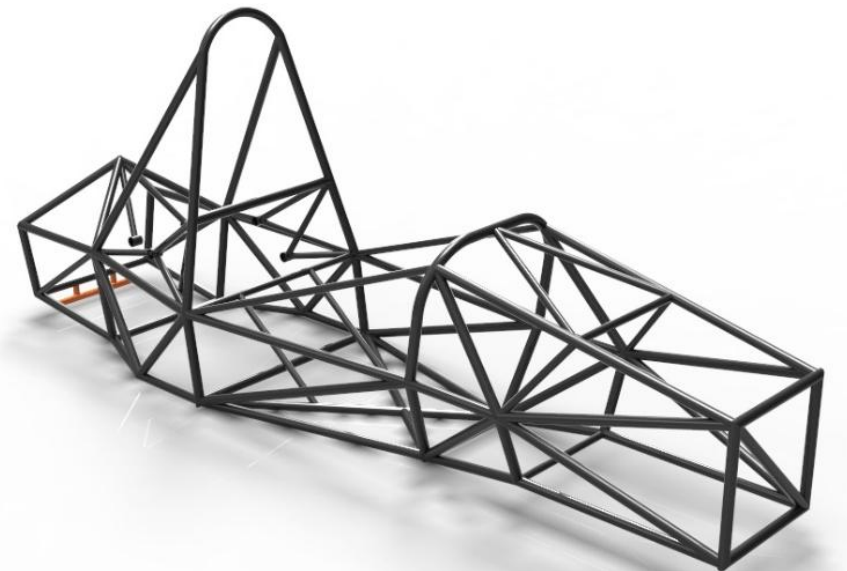
C - BASTIDOR - ZONA DE IMPACTO  
 DEFORMACIÓN EN Y  
 UNIDAD: mm



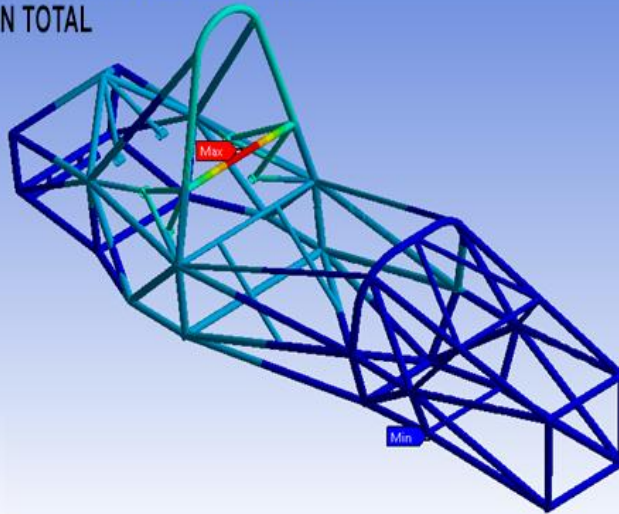
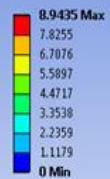
D - BASTIDOR - ZONA DE IMPACTO  
 DEFORMACIÓN EN Z  
 UNIDAD: mm



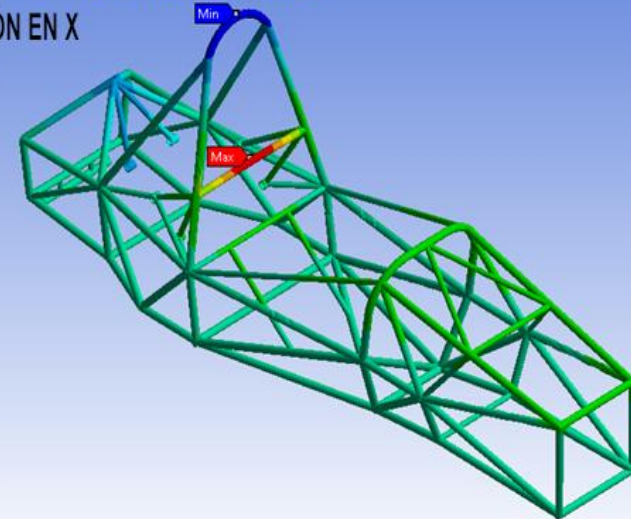
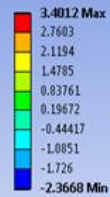
| Elementos o componentes            | Carga aplicada                              | Punto de aplicación                       | Máxima deflexión permitida | Observación                                |
|------------------------------------|---|---|----------------------------|--|
| Sujeción del cinturón de seguridad | 13.2 kN con ángulo de fijación del cinturón | Ambos puntos del cinturón simultáneamente | 25 mm                      | Ninguna parte de la estructura debe fallar |



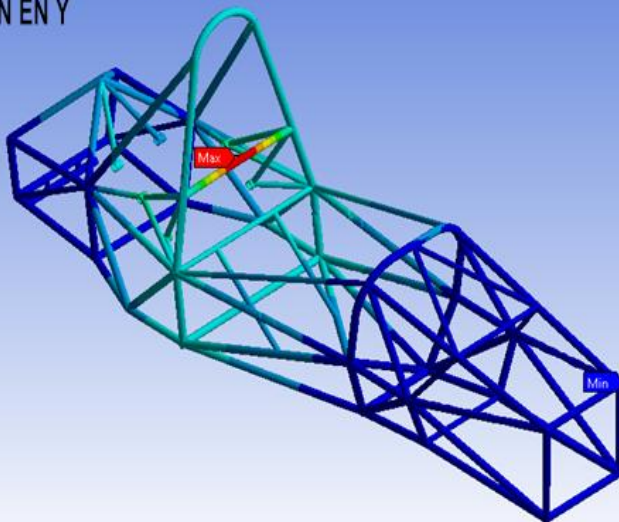
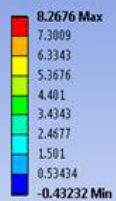
**A - BASTIDOR - CINTURÓN DE SEGURIDAD**  
**DEFORMACIÓN TOTAL**  
**UNIDAD: mm**



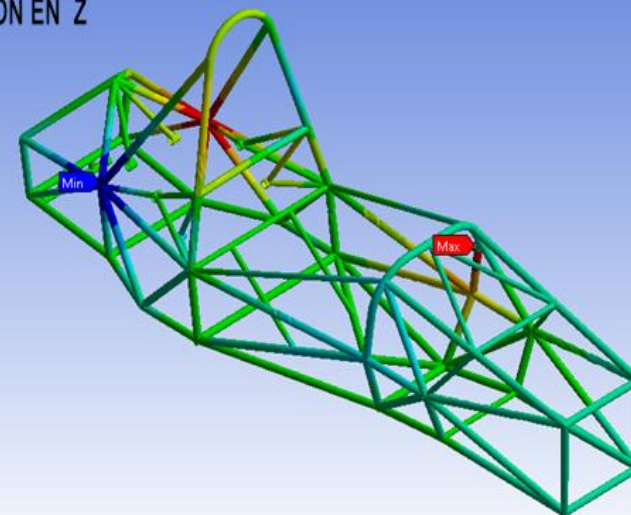
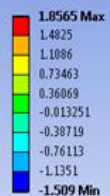
**B - BASTIDOR - CINTURÓN DE SEGURIDAD**  
**DEFORMACIÓN EN X**  
**UNIDAD: mm**



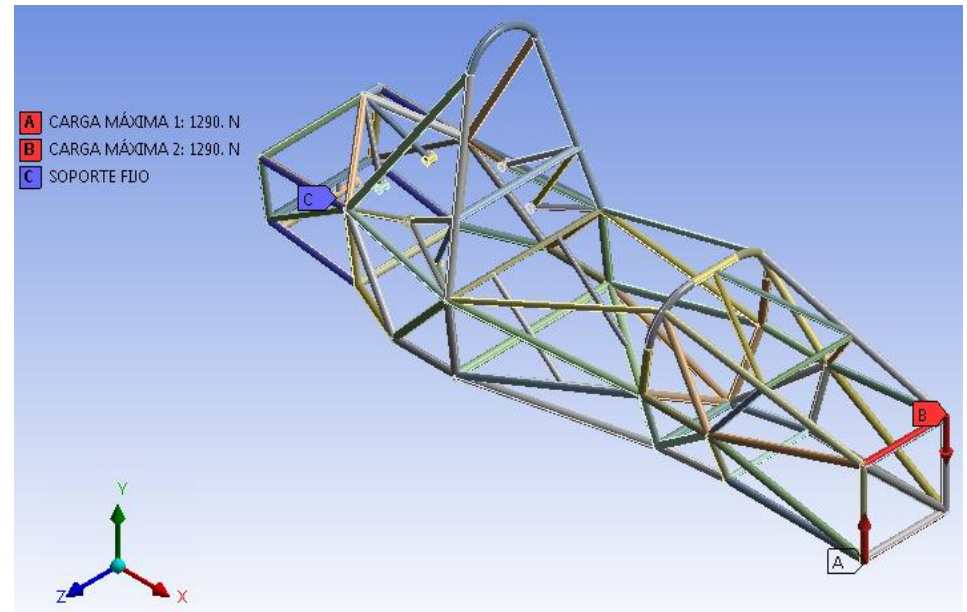
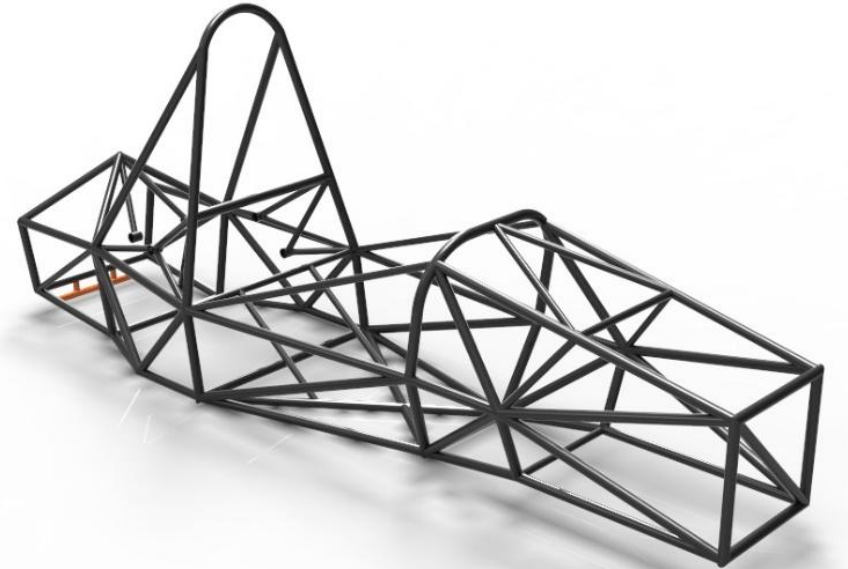
**C - BASTIDOR - CINTURÓN DE SEGURIDAD**  
**DEFORMACIÓN EN Y**  
**UNIDAD: mm**



**D - BASTIDOR - CINTURÓN DE SEGURIDAD**  
**DEFORMACIÓN EN Z**  
**UNIDAD: mm**



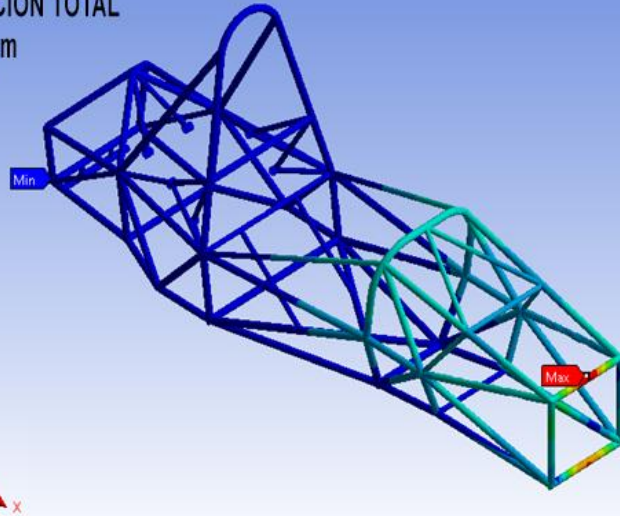
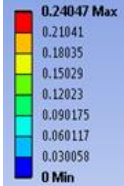
| Elementos o componentes   | Carga aplicada   | Punto de aplicación                          |
|---------------------------|--|--|
| Cargas de torsión frontal | $F_z=1.29 \text{ kN}$ .<br>$F_z=-1.29 \text{ kN}$ .<br>kN. | Puntos de sujeción del atenuador de impactos |





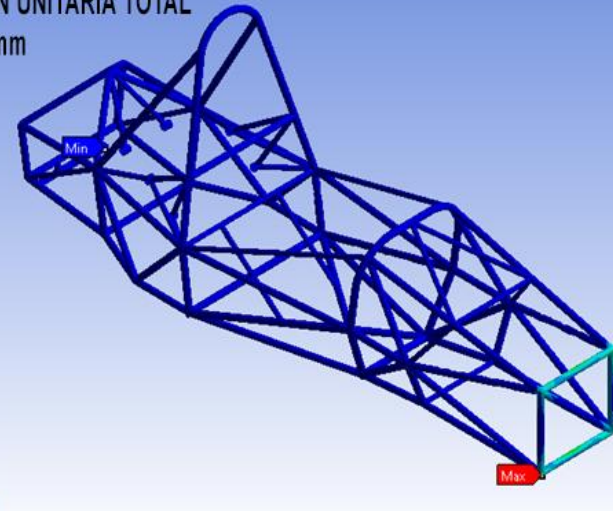
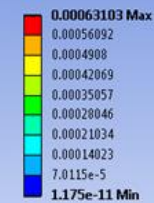
### A - BASTIDOR ANÁLISIS DE TORSIÓN DEFORMACIÓN TOTAL

UNIDAD: mm



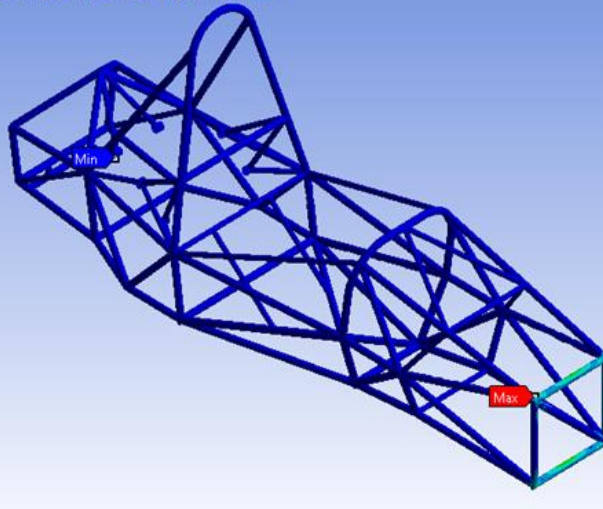
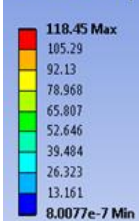
### B - BASTIDOR ANÁLISIS DE TORSIÓN DEFORMACIÓN UNITARIA TOTAL

UNIDAD: mm/mm

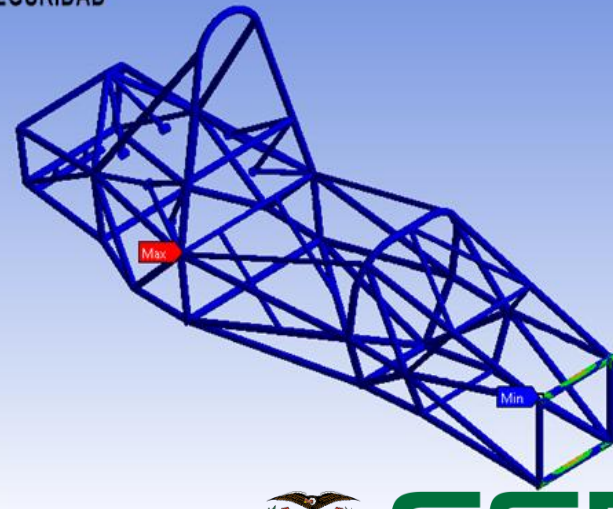
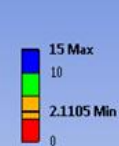


### C - BASTIDOR ANÁLISIS DE TORSIÓN ESFUERZO EQUIVALENTE DE VON MISES

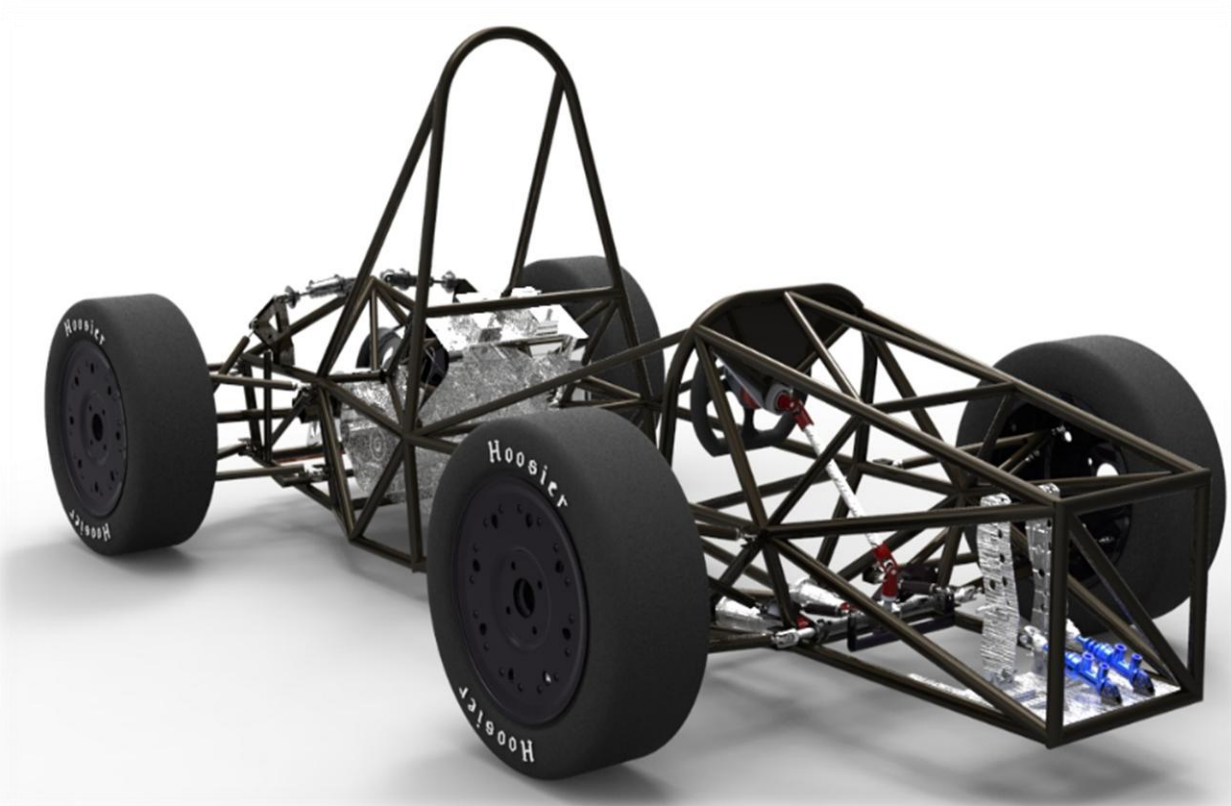
UNIDAD: Mpa



### D - BASTIDOR ANÁLISIS DE TORSIÓN FACTOR DE SEGURIDAD



# PROCESOS DE MANUFACTURA Y MONTAJE

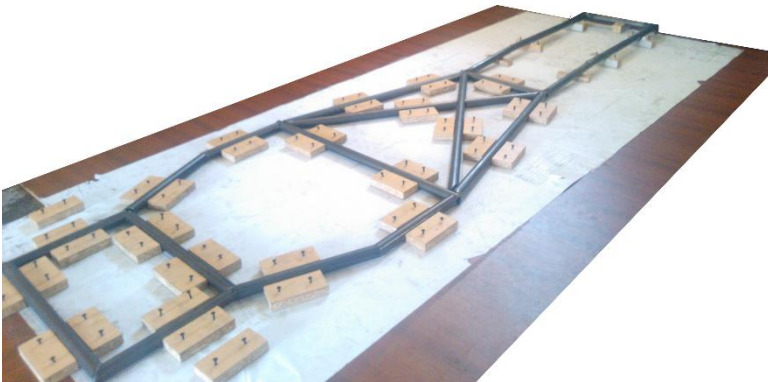
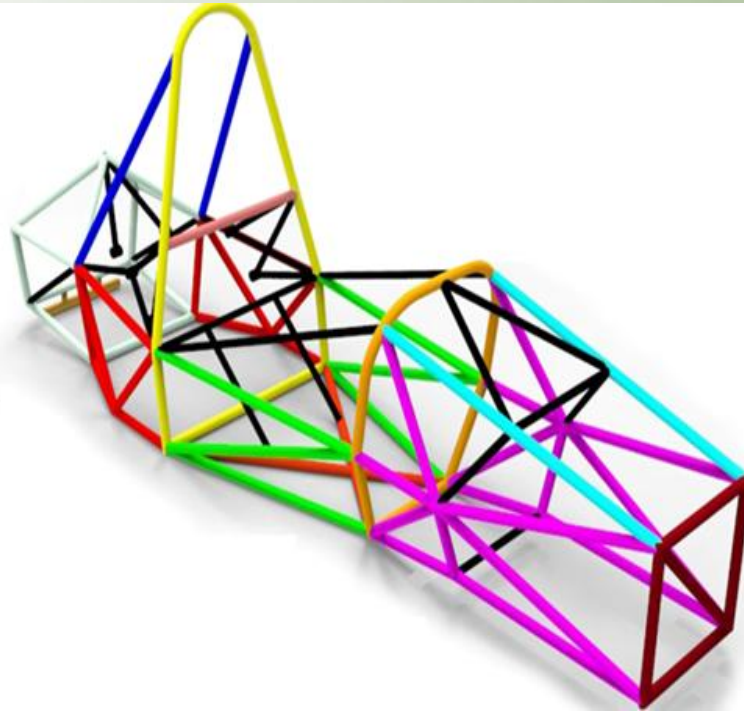


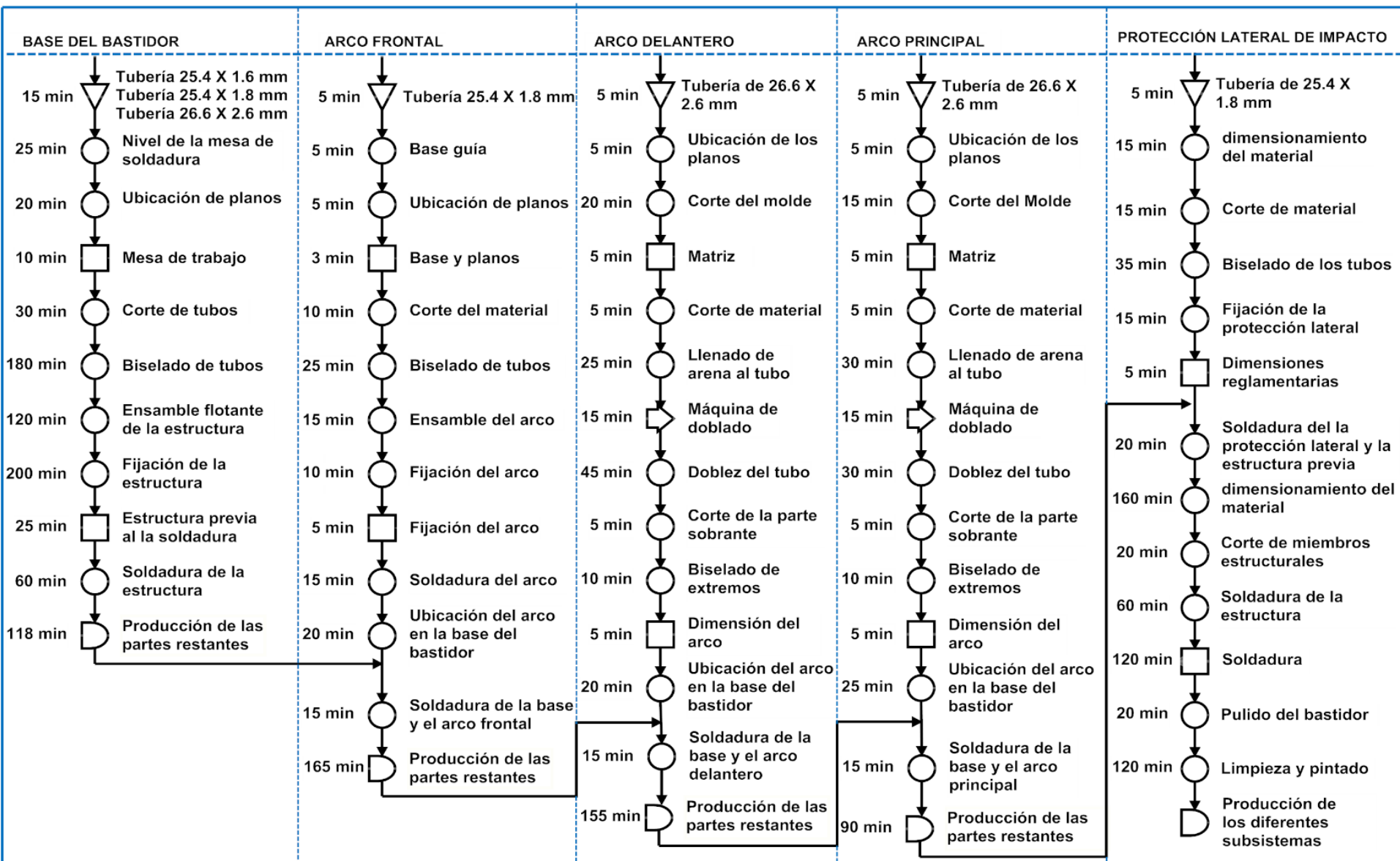
| SÍMBOLO | SIGNIFICADO           |
|---------|-----------------------|
| ○       | Operación tecnológica |
| □       | Inspección            |
| ➔       | Traslado o transporte |
| △       | Almacenamiento        |
| D       | Espera                |



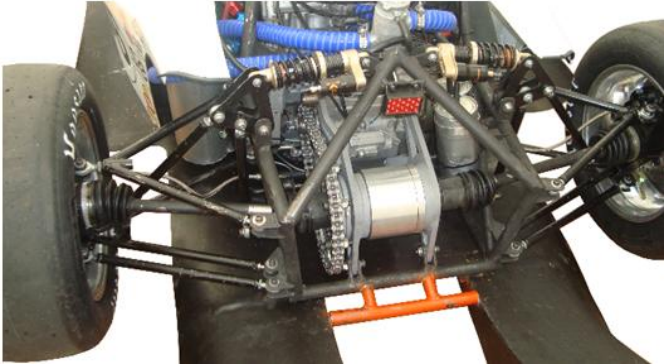
# PROCESOS DE MANUFACTURA BASTIDOR

- ARCO FRONTAL - 25.4 x 1.8 mm
- SOPORTES DEL ARCO FRONTAL - 25.4 x 1.6 mm
- SOPORTES DEL ARCO DELANTERO - 25.4 x 1.8 mm
- ARCO DELANTERO - 26.6 x 2.6 mm
- ESTRUCTURA DE IMPACTO LATERAL - 25.4 x 1.8 mm
- ARCO PRINCIPAL - 26.6 x 2.6 mm
- BRAZOS DEL ARCO PRINCIPAL - 25.4 x 1.8 mm
- SOPORTES DE LOS BAZOS DEL ARCO PRINCIPAL - 25.4 x 1.8 mm
- BARRA DE FIJACION DEL CINTURON DE SEGURIDAD - 26.6 x 2.6 mm
- BARRA DE FIJACIONES DEL ARNES - 26.6 x 2.6 mm
- SOPORTES DE TRANSMISION - 25.4 x 1.8 mm
- MIEMBROS ESTRUCTURALES - 19.05 x 1 mm

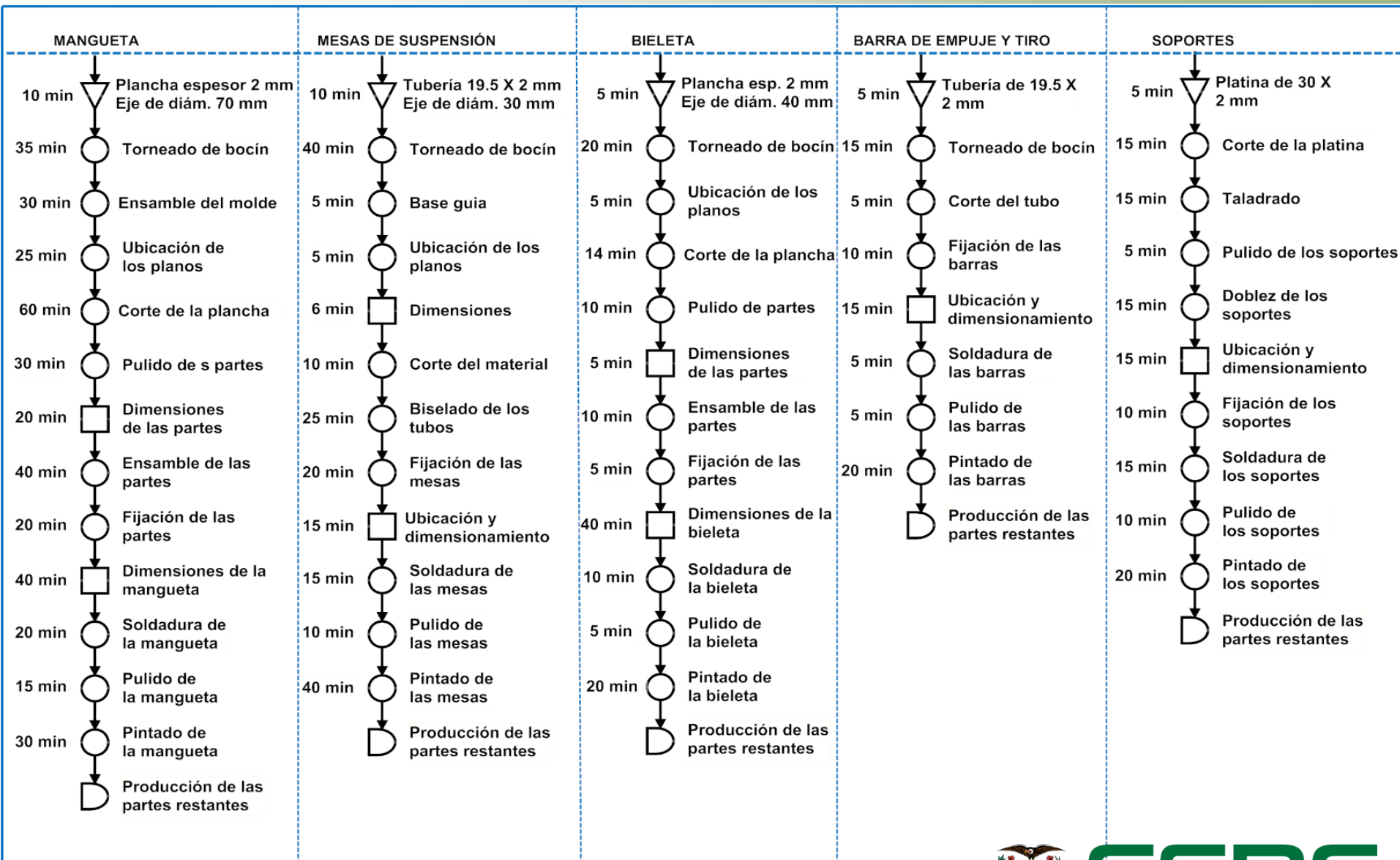




# PROCESOS DE MANUFACTURA - SISTEMA SUSPENSIÓN

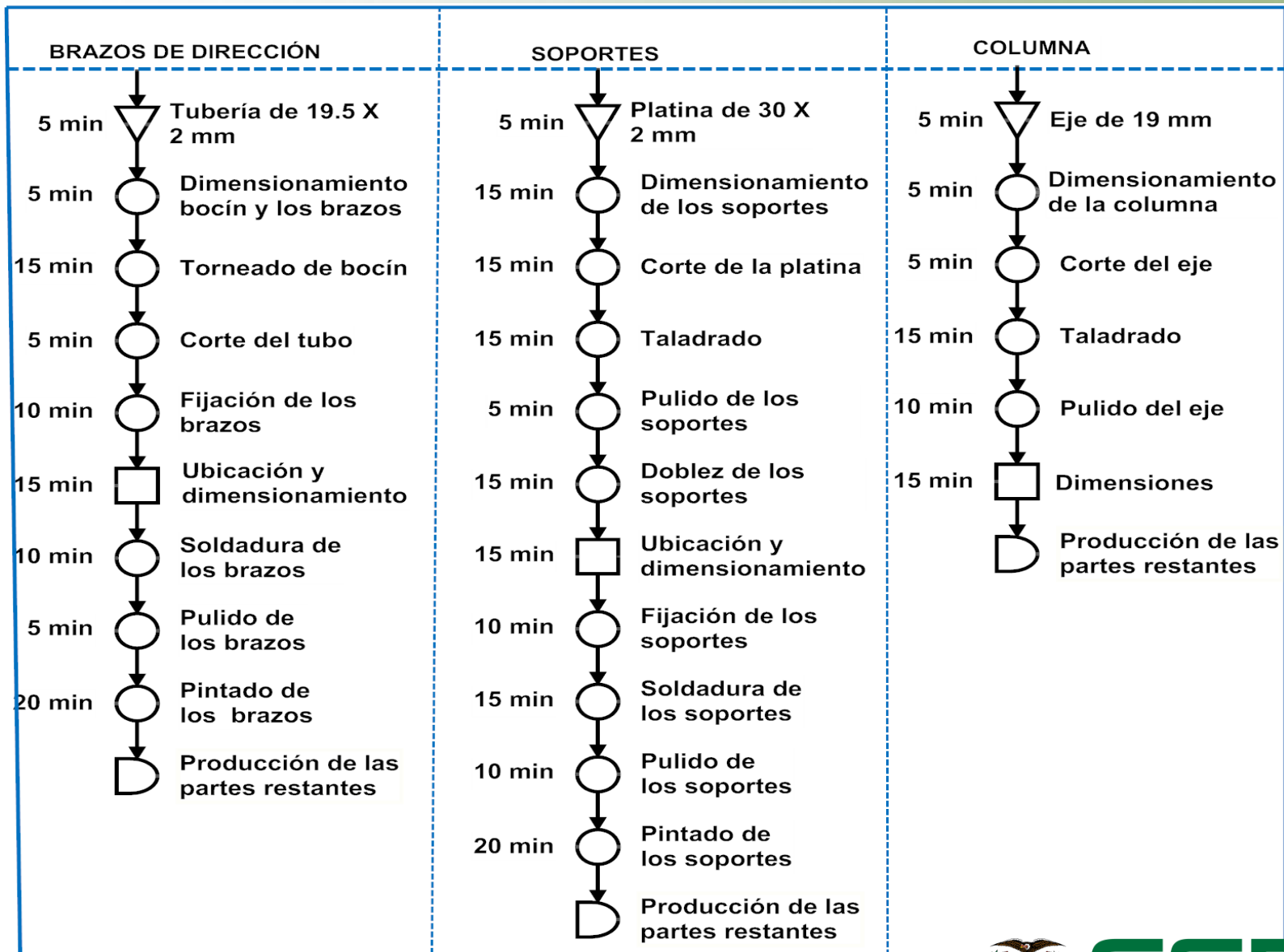


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



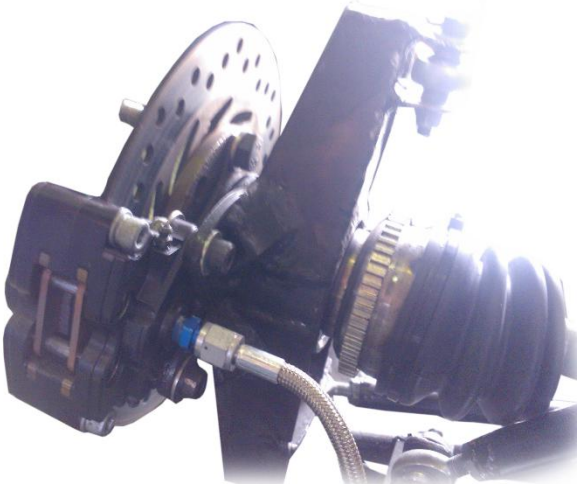
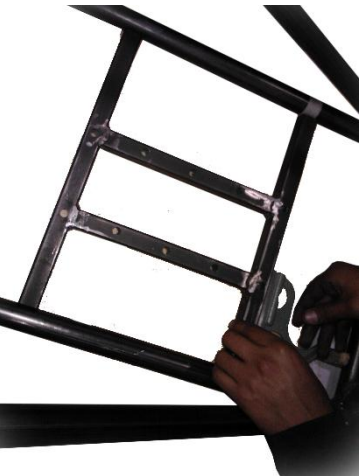
# PROCESOS DE MANUFACTURA - SISTEMA DIRECCIÓN





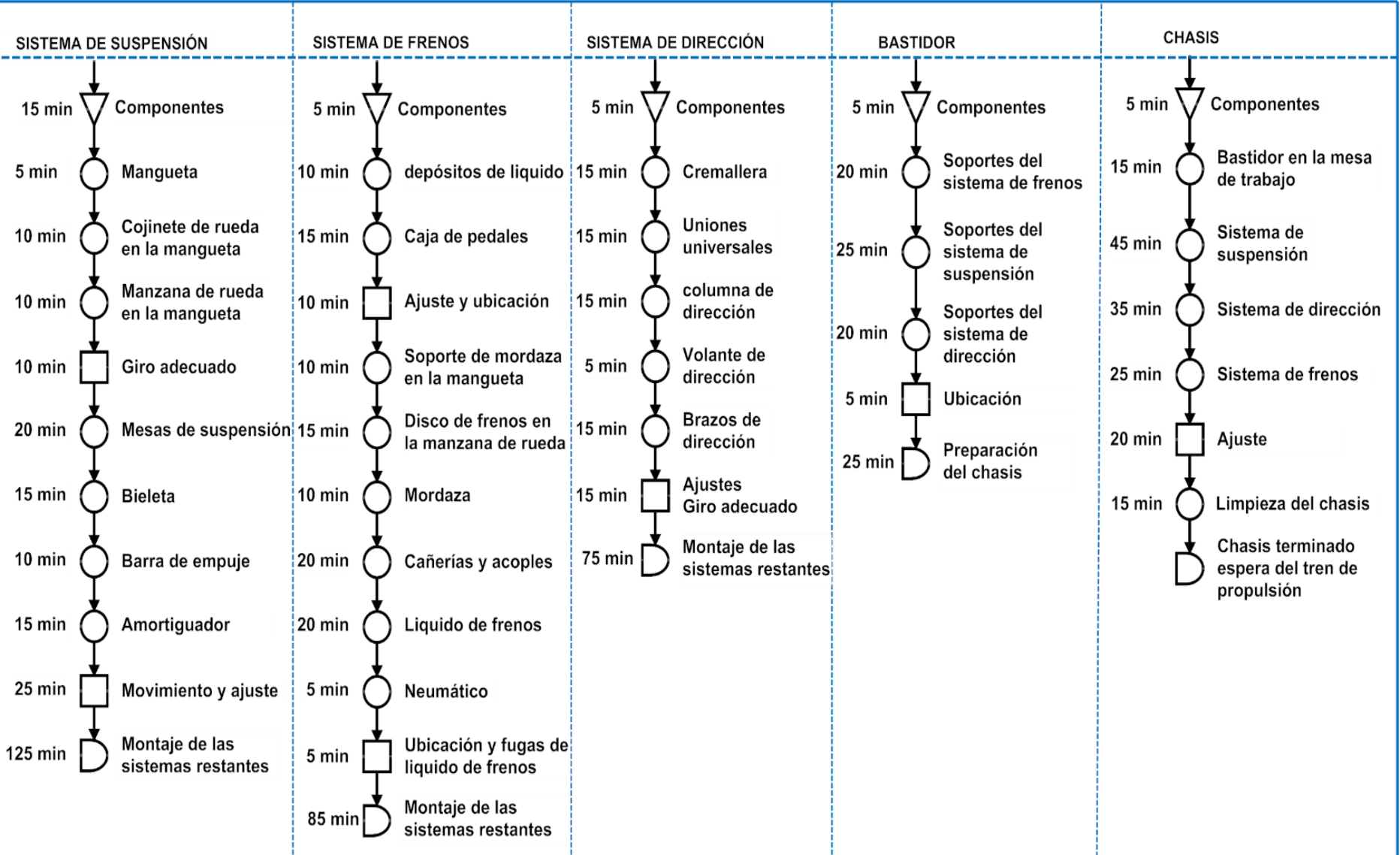


# PROCESOS DE MANUFACTURA - SISTEMA DE FRENOS

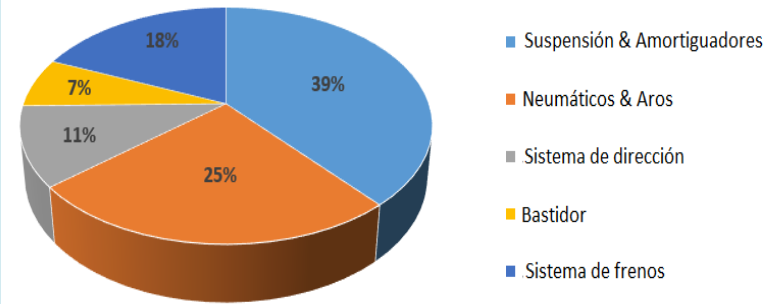
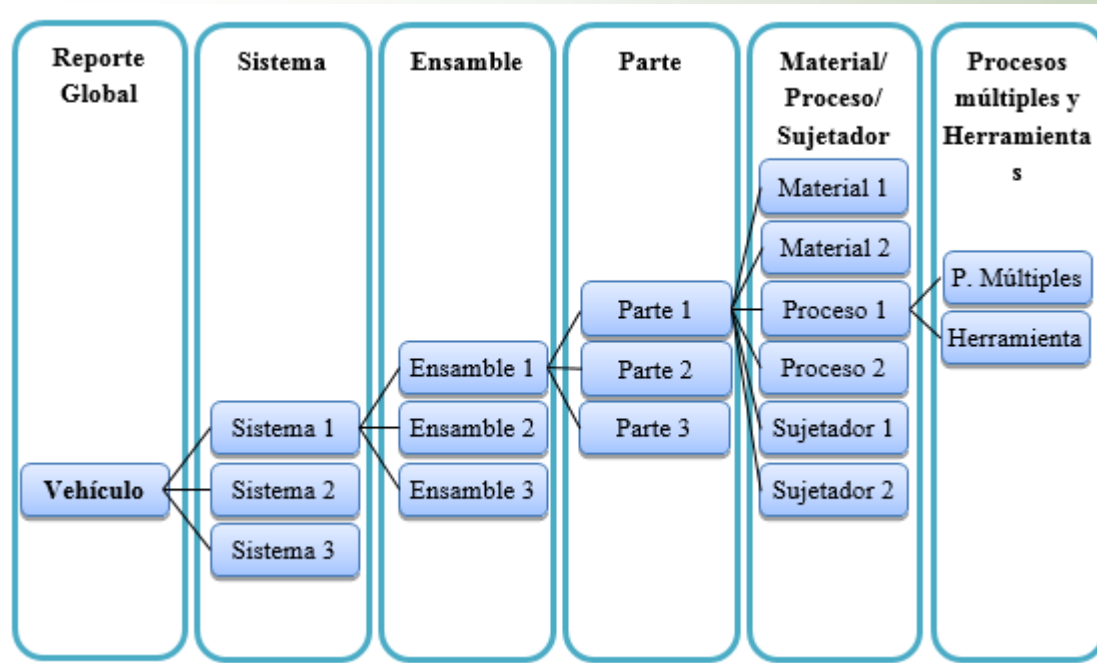




# PROCESO DE ENSAMBLE DEL CHASIS



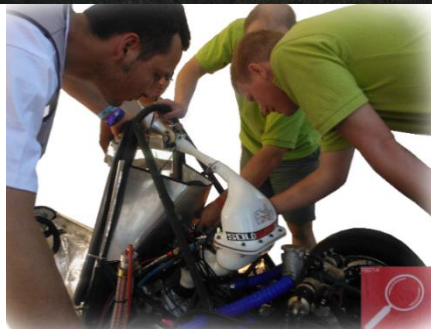
# COSTO TOTAL



| Sistema                     | Materiales         | Procesos         | Sujetadores     | Herramientas     | Total              |
|-----------------------------|--------------------|------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| Suspensión & Amortiguadores | \$ 1.171,69        | \$ 398,13        | \$ 10,12        | \$ 96,66         | \$ 1.676,60        |
| Neumáticos & Aros           | \$ 983,02          | \$ 86,40         | \$ 18,08        | \$ -             | \$ 1.087,50        |
| Sistema de dirección        | \$ 329,28          | \$ 137,30        | \$ 2,48         | \$ 0,66          | \$ 469,72          |
| Bastidor                    | \$ 72,09           | \$ 186,1         | \$ 0,00         | \$ 35,33         | \$ 293,52          |
| Sistema de frenos           | \$ 1.022,13        | \$ 48,85         | \$ 5,48         | \$ 0,33          | \$ 801,15          |
| <b>Total Chasis</b>         | <b>\$ 2.407,69</b> | <b>\$ 856,78</b> | <b>\$ 36,16</b> | <b>\$ 132,98</b> | <b>\$ 4.328,49</b> |



# PROTOCOLO DE PRUEBAS

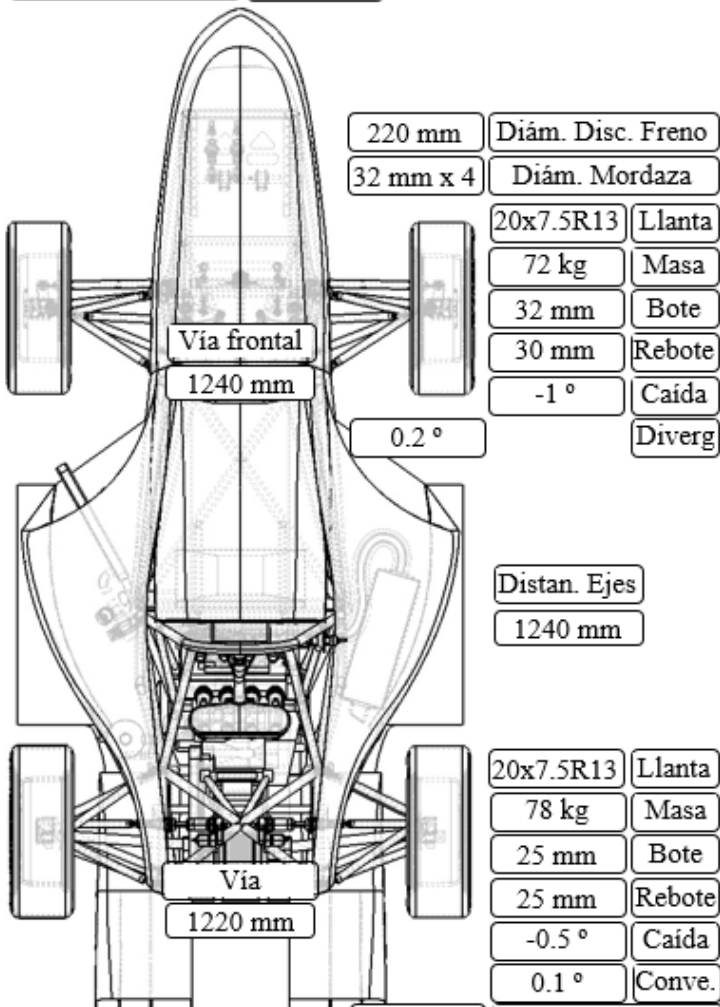


Tiempo de pruebas 60-80 min

|        |           |
|--------|-----------|
| Llanta | 20x7.5R13 |
| Masa   | 72 kg     |
| Bote   | 32 mm     |
| Rebote | 30 mm     |
| Caída  | -1 °      |
| Diverg | 0.2 °     |

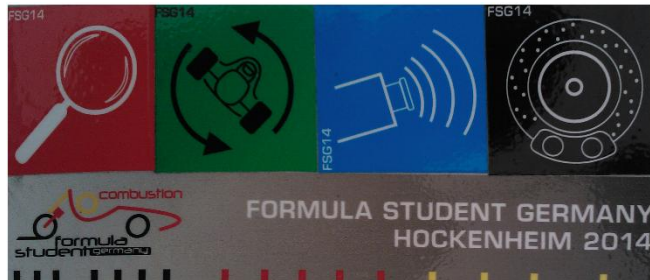
|              |       |
|--------------|-------|
| Altura Viaje | 50 mm |
|--------------|-------|

|        |           |
|--------|-----------|
| Llanta | 20x7.5R13 |
| Masa   | 78 kg     |
| Bote   | 25 mm     |
| Rebote | 25 mm     |
| Caída  | -0.5 °    |
| Conve. | 0.1 °     |



|           |                   |
|-----------|-------------------|
| 220 mm    | Diám. Disc. Freno |
| 31 mm x 2 | Diám. Mordaza     |





## DIMENSIONES PRINCIPALES

|                                    | VALOR                          |                                | ACEPTACION |    |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------|----|
|                                    | DISEÑO                         | PROTOTIPO                      | SI         | NO |
| Distancia entre ejes               | 1600 mm                        | 1600 mm                        | ✓          |    |
| Vía delantera                      | 1240 mm                        | 1240 mm                        | ✓          |    |
| Vía posterior                      | 1220 mm                        | 1220 mm                        | ✓          |    |
| Masa neumático frontal izquierdo   | 72 kg                          | 74.4 kg                        | ✓          |    |
| Masa neumático frontal derecho     | 72 kg                          | 74.4 kg                        | ✓          |    |
| Masa neumático posterior derecho   | 78 kg                          | 80.6 kg                        | ✓          |    |
| Masa neumático posterior izquierdo | 78 kg                          | 80.6 kg                        | ✓          |    |
| Altura de viaje                    | 50 mm                          | 50 mm                          | ✓          |    |
| Bote delantero                     | 30 mm                          | 30 mm                          | ✓          |    |
| Rebote delantero                   | 32 mm                          | 32 mm                          | ✓          |    |
| Bote posterior                     | 25.4 mm                        | 25.4 mm                        | ✓          |    |
| Rebote posterior                   | 25.4 mm                        | 25.4 mm                        | ✓          |    |
| Ángulo de caída frontal            | 1°                             | 1°                             | ✓          |    |
| Ángulo de caída posterior          | - 0.5°                         | - 0.5°                         | ✓          |    |
| Ángulo de avance                   | 4.39°                          | 4.39°                          | ✓          |    |
| Inclinación de la mangueta         | 6°                             | 6°                             | ✓          |    |
| Desfase de la mangueta X           | 20 mm                          | 20 mm                          | ✓          |    |
| Desfase de la mangueta Z           | 15 mm                          | 15 mm                          | ✓          |    |
| Neumáticos                         | 20x7.5R13                      | 20x7.5R13                      | ✓          |    |
| Aros                               | 7x13-100                       | 7x13-100                       | ✓          |    |
| Ubicación de la cremallera         | 518 mm detrás del arco frontal | 518 mm detrás del arco frontal | ✓          |    |
| Relación de dirección              | 11.6                           | 11.6                           | ✓          |    |
| Diámetro discos de freno           | 220 mm                         | 220 mm                         | ✓          |    |
| Diámetro cilindros maestros        | 20 mm                          | 20 mm                          | ✓          |    |
| Diámetro de mordazas frontales     | 32 mm x 4                      | 32 mm x 4                      | ✓          |    |
| Diámetro de mordazas posteriores   | 31 mm x 2                      | 31 mm x 2                      | ✓          |    |



# CONCLUSIONES

- El diseño del sistema de suspensión conserva un elevado nivel de dificultad por la cantidad de factores que influyen en el comportamiento del sistema y en la dinámica del vehículo, por lo que es necesario realizar cambios constantes sobre este proceso de diseño hasta determinar la solución más viable.
- Se probó el vehículo en pista, determinando la maniobrabilidad, estabilidad, la resistencia y confiabilidad que posee el chasis en cada una de las pruebas dinámicas las cuales fueron finalizadas con facilidad
- Se determinó la descripción del procedimiento para la construcción de cada subsistema a través de cursogramas, esto permite detectar errores, omisiones, reiteraciones o superposiciones de tareas a fin de subsanarlos y lograr procedimientos más eficientes.



- Se diseñó, construyó e implementó un bastidor resistente seguro ergonómico el cual cumple con los requisitos y normas establecidas para la competencia, mediante la adecuada triangulación y combinación en las dimensiones de los materiales utilizados se obtuvo una apropiada relación entre el peso y la resistencia a la torsión lo cual es un factor importante para el desempeño del vehículo.
- A través de la optimización de la geometría y sincronización la cinemática entre los sistemas de dirección y suspensión se logró establecer el correcto desempeño estático y dinámico del vehículo.
- Se diseñó e implementó el sistema de frenos tomando en consideración los efectos dinámicos máximos a los cuales está sujeto el vehículo de esta manera se optimizó el uso de los componentes para lograr desarrollar un sistema capaz de detener el vehículo en cualquier estado de conducción.





- Se calibró el vehículo acorde a cada prueba dinámica, mediante la variación en la distribución de pesos lo cual produce una transición en el centro de gravedad del vehículo con ello una dinámica diferente así se obtuvo un buen desempeño del vehículo en pista.
- Mediante la ejecución de diferentes pruebas sobre el vehículo, en un escenario con condiciones extremas, se validan los datos de calibración y diseño lo cual afirma el correcto funcionamiento de los sistemas que conforman el chasis.
- La sincronización en el funcionamiento de los subsistemas que conforman el chasis ofrecen maniobrabilidad, confort, control y seguridad del vehículo, teniendo la consideración que cada subsistema puede ser susceptible a mejoras en diseño, construcción e implementación.



## RECOMENDACIONES

- Las mejoras técnicas que se pueden hacer a este diseño del chasis dependerán en gran medida del rendimiento entre el diseño la construcción y las pruebas físicas sobre cada sistema, además se puede desarrollar un modelo del chasis usando el software ADAMS o Optimus K., lo cual permitirá analizar todos los factores que influye en la cinemática y dinámica del vehículo de esta manera se mejorará el funcionamiento dinámico del chasis.
- La calibración del sistema de suspensión de los vehículos debe llevarse a cabo antes de cada competencia tomando en consideración los parámetros de la pista. Se debe calibrar la distribución del peso de vehículos y centro de gravedad, la rigidez del resorte y la presión de aire en los amortiguadores y el ajuste del porcentaje que se requiera en las barras estabilizadoras, con ello se logrará variar la dinámica del vehículo y por ende su rendimiento.
- Antes de cada competencia se recomienda realizar una inspección técnica de cada sistema, durante y después de la competencia es recomendable la recopilación de datos del comportamiento del vehículo, esto ayudará a posibles mejoras.



- En competencias futuras es recomendable el uso de componentes electrónicos que recopilen datos de aceleración a las que está sujeto el vehículo, frecuencias de oscilación de la suspensión, tiempos de frenado y el trazado real de la pista, ya que esto ayudará a desarrollar un vehículo mejorado para esta competencia.
- En futuros diseños es recomendable el uso de materiales compuestos para disminuir el peso del vehículo e incrementar su resistencia, con esto se logrará un vehículo más competitivo.
- Para diseños posteriores es recomendable mantener los sistemas utilizados y realizar avances tecnológicos sobre estos ya que son susceptibles a mejoras así se obtendrá el máximo desempeño del vehículo.



# GRACIAS



# INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA