



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

*“REDISEÑO DE LOS SOPORTES DEL CONJUNTO  
DIFERENCIAL DEL VEHÍCULO PROTOTIPO PARA  
COMPETENCIA EN LA FÓRMULA SAE”*

**Autor:**

- Lenin Israel Guanopatin Pacheco

**Director:**

Ing. Mauricio Cruz



# ANTECEDENTES

La Fórmula Student en la actualidad se caracteriza por ser una competición en donde universidades de todo el mundo diseñan y fabrican un prototipo automovilístico muy semejante a la apariencia de un monoplaza de competición, donde debe cumplir con las exigencias que la competencia amerita.



# OBJETIVOS

- **Objetivo General**
  - Rediseñar los soportes del conjunto diferencial del vehículo prototipo para competencia en la formula SAE



# OBJETIVOS

- **Objetivos Específicos**

- Establecer los fundamentos teóricos relacionados al presente proyecto de investigación.
- Calcular las fuerzas teóricas que son ejercidas sobre conjunto diferencial a partir de los datos técnicos del motor utilizado en el monoplaza.
- Seleccionar el material idóneo que cumpla las características mecánicas necesarias reduciendo su peso original.
- Representar los soportes actuales del conjunto diferencial en software CAD.



# OBJETIVOS

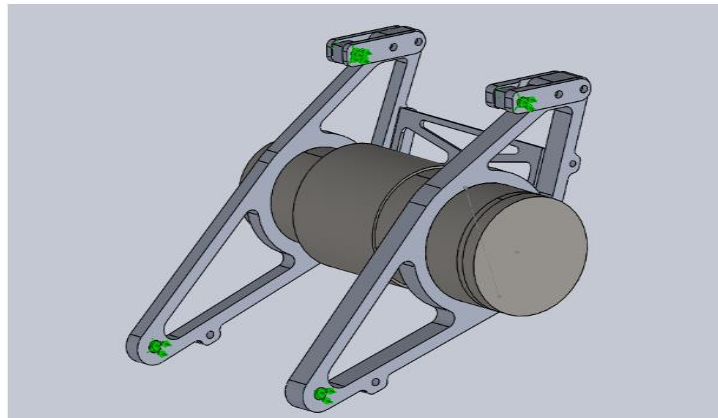
- **Objetivos Específicos**

- Evaluar los materiales actuales de los soportes del conjunto diferencial.
- Diseñar y analizar el comportamiento del nuevo soporte sometiéndolo a las cargas teóricas observadas en el cálculo de las fuerzas, mediante software CAE.
- Construir y realizar el montaje de los nuevos soportes en el bastidor del monoplaza
- Demostrar la confiabilidad del nuevo elemento mecánico sometiéndolo a pruebas dinámicas de acuerdo a la Fórmula SAE.



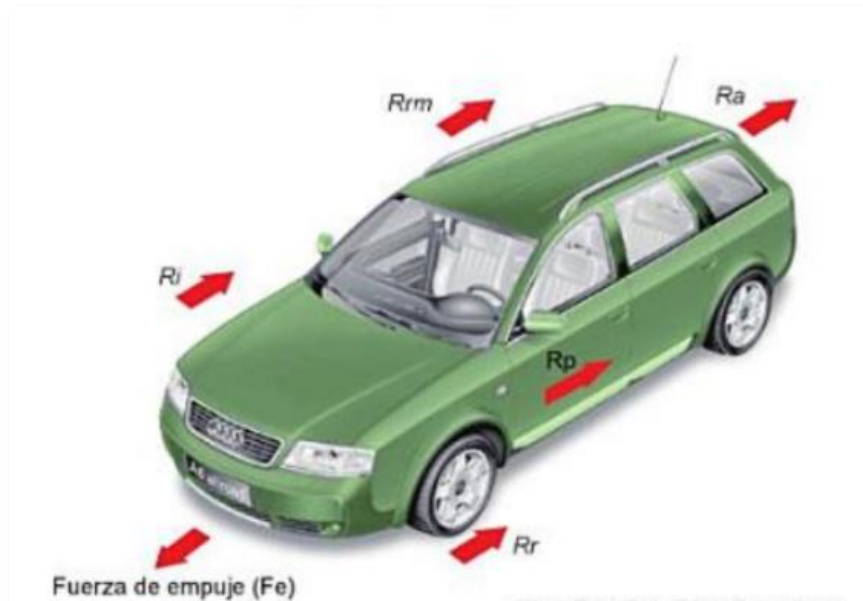
# Soportes del conjunto diferencial

Una de las características principales de los elementos de sujeción del mecanismo diferencial es la capacidad de mantener el rodamiento fijo, tanto axial como longitudinalmente. Habitualmente, las sujeciones están sometidas a grandes esfuerzos generados por el motor.



# FUERZAS QUE INTERVIENEN EN LA TRANSMISIÓN

Un vehículo debe disponer de un sistema de transmisión que venza las resistencias y las fuerzas que generan, que se oponen al movimiento del mismo



Resistencia a la rodadura  $R_r$

Resistencia del aire  $R_a$

Resistencia por pendiente  $R_p$

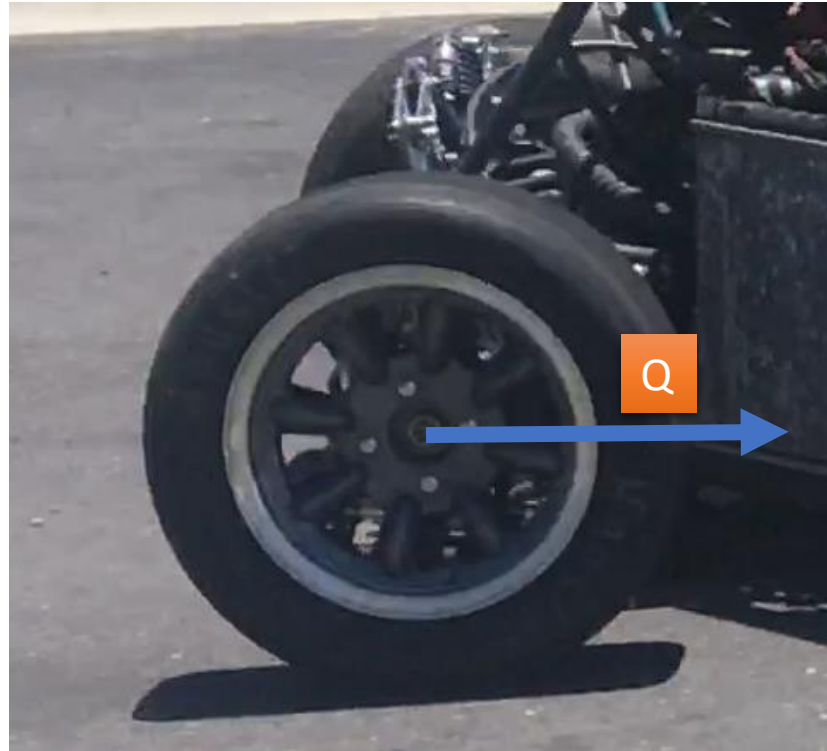
Resistencia por rozamiento mecánico  $R_{rr}$

Resistencia por inercia  $R_i$



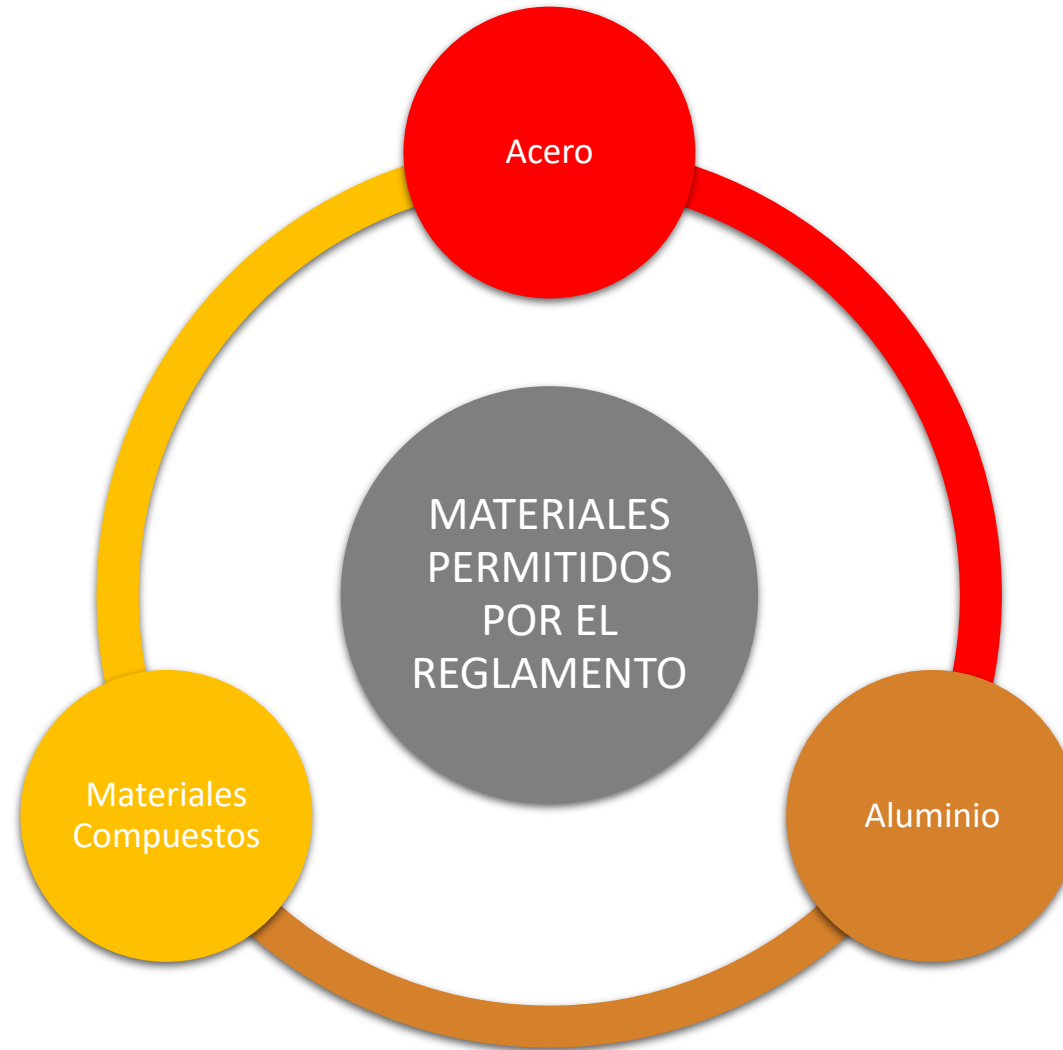
# FUERZA EN LAS RUEDAS

Son los efectos producidos en las ruedas motrices por la impulsión generada en la transmisión de la fuerza producida por el motor.





# MATERIALES



# PROCESOS DE MANUFACTURA

Los procesos de manufactura refieren a la transformación de las materias primas en productos terminados donde se entiende como proceso al conjunto de actividades relacionadas y ordenadas con las que se consigue un objetivo determinado



# DATOS DEL MOTOR KAWASAKI ZX 600

Parámetro	Valor
Par máximo declarado a 11800 rpm	66.7 Nm
Relación primaria	$\frac{76}{40}$
Relación secundaria	$\frac{52}{16}$
Relación de marcha	
Primera	$\frac{38}{14}$
Segunda	$\frac{33}{15}$
Tercera	$\frac{37}{20}$
Cuarta	$\frac{32}{20}$
Quinta	$\frac{27}{19}$
Sexta	$\frac{26}{20}$



# CÁLCULOS DE LAS FUERZAS

## Resistencia al aire

$$Ra = \frac{Sf * \delta * V^2}{2 * g}$$

**Ra** = Resistencia al aire [N]

**Sf** = Superficie frontal del vehículo [m<sup>2</sup>]

**δ** = Densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]

**V** = Velocidad el vehículo [m/s]

**g** = Gravedad [m/s<sup>2</sup>]

Si  $V = 0$  [m/s], tenemos:

$$Ra = 0 \text{ [N]}$$



# CÁLCULOS DE LAS FUERZAS

## Resistencia a la inercia

$$R_i = m * a$$

$$a = \frac{V^2}{2 * d}$$

***R<sub>i</sub>*** = Resistencia a la inercia [N]

***m*** = Masa del vehículo [Kg]

***a*** = Aceleración [m/s<sup>2</sup>]

***d*** = Distancia recorrida [m]

Si  $V = 0$  [m/s], tenemos:

$$a = 0 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Por lo tanto:

$$R_i = 0 \text{ [N]}$$



# CÁLCULOS DE LAS FUERZAS

## Resistencia por pendiente

$$R_p = m * g * \text{sen } \alpha * f$$

Si  $\alpha = 0^\circ$

$$R_p = m * g * f$$

De donde

$$R_p = R_r$$



# CÁLCULOS DE LAS FUERZAS

## Resistencia a la rodadura

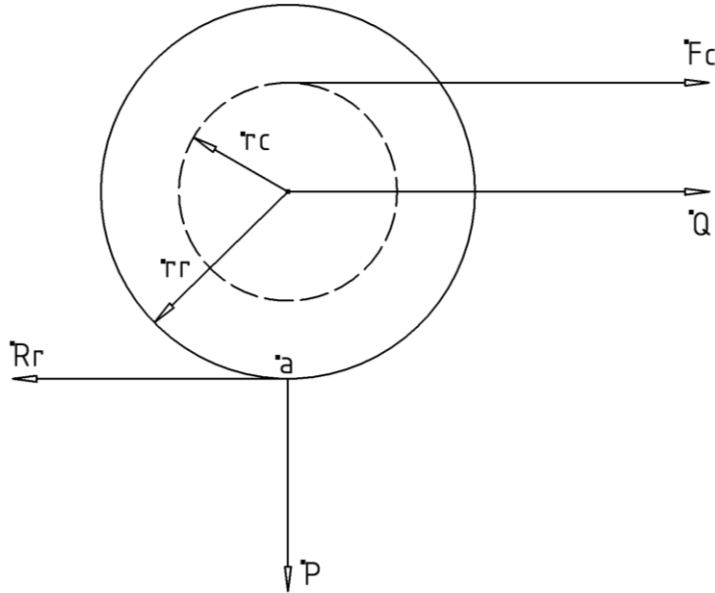
La resistencia a la rodadura se origina por el rozamiento del bandaje de la rueda con el suelo, la fuerza generada se dirige en sentido opuesto a la dirección del movimiento del vehículo. Esta fuerza retardatriz es igual al peso que gravita sobre las ruedas por el coeficiente de rozamiento del suelo, por lo tanto

$$R_r = P * f$$



# CÁLCULOS DE LAS FUERZAS

## Fuerza en las ruedas



$$Q = \frac{F_c * (r_r + r_c)}{2 * r_r}$$

$Q$  = Fuerza en las ruedas [N]

$F_c$  = Fuerza de la cadena de transmisión [N]

$r_c$  = Radio de la catalina [m]

$r_r$  = Radio de la rueda [m]

$R_r$  = Resistencia a la rodadura [N]

$P$  = Peso aplicado [N]





# CÁLCULOS DE LAS FUERZAS

## Fuerza de la cadena

$$F_c = \frac{M * i_p * i_1}{r_p} * \eta_c$$

$$F_c = 6879.6$$

**$F_c$**  = Fuerza de la cadena [N]

**$r_p$**  = Radio del piñón [m]

**$\eta_c$**  = Eficiencia mecánica

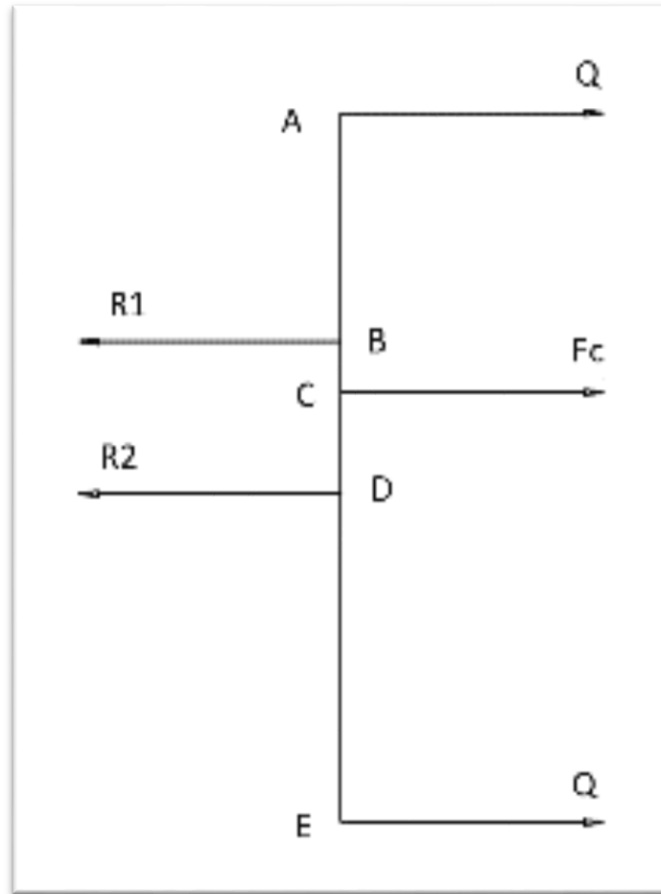
Se reemplaza en  **$Q$**  el valor de  **$F_c$**

$$Q = 5292.0$$



# CÁLCULOS DE LAS FUERZAS

## Reacciones en los apoyos



Donde las distancias son:

$$AB = 0.45 \text{ m}$$

$$BC = 0.045 \text{ m}$$

$$CD = 0.085 \text{ m}$$

$$DE = 0.65 \text{ m}$$



# CÁLCULOS DE LAS FUERZAS

## Reacciones en los apoyos

$$\Sigma F_x = 0$$

$$Q + F_c + Q - R_1 - R_2 = 0$$

$$R_1 + R_2 = 17464$$

$$R_1 = 1648.77 \text{ [N]}$$

$$R_2 = 15815.23 \text{ [N]}$$

$$\Sigma M_c = 0$$

$$(AB + BC) * Q - BC * R_1 + CD * R_2 - (CD + DE) * Q = 0$$

$$0.045 * R_1 + 0.085 * R_2 = 1270.1$$



# SELECCIÓN DE MATERIALES



## ACERO

- Fuerza y dureza moderadas en la condición de laminado. Buena maquinabilidad y soldabilidad



## ALUMINIO

- Tienen buena formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión



## MATERIALES COMPUESTOS

- Son materiales con una elevada resistencia a la fatiga y rigidez, a bajas y altas temperaturas, y simultáneamente una baja densidad y mecanizado.



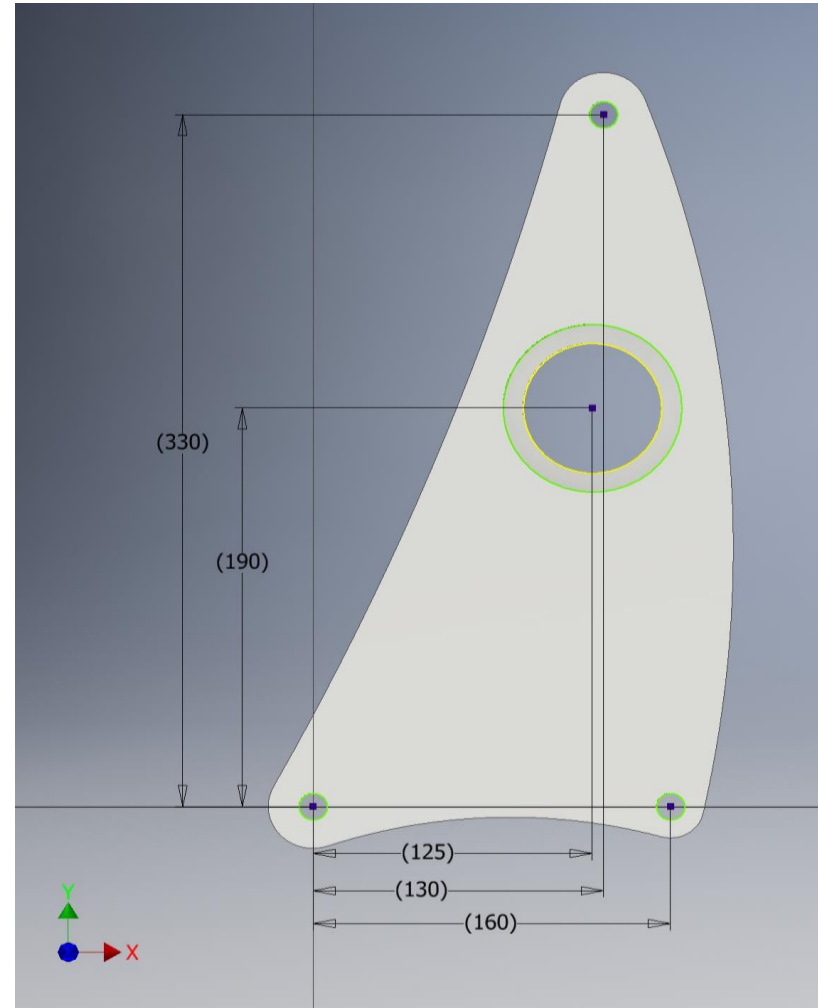
# PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Material	Densidad g/cm <sup>3</sup> lb/in <sup>3</sup>	Resistencia a la tracción MPa kpsi	Limite elástico MPa kpsi	Módulo de elasticidad GPa kpsi	Maquinabi-lidad
Acero AISI 4130	7.85 0.283	560 81.221	460 66.717	205 29732.73	Buena
Acero ASTM A36	7.85 0.283	550 79.770	345 50.038	206 29877.77	Buena
Aluminio 6061 – T6	2.7 0.097	310 44.961	276 40.030	68.9 9993.10	Buena
Aluminio 7075 – T6	2.81 0.102	572 82.961	503 72.953	71.7 10399.20	Buena
Duraluminio 7075	2.81 0.102	538 78.030	462 67.007	71 10297.67	Buena
Fibra de vidrio	2.11 0.076	2415 350.266	2415 350.26	51.7 7498.45	Mala
Compuesto estructural	-	-	-	-	Mala



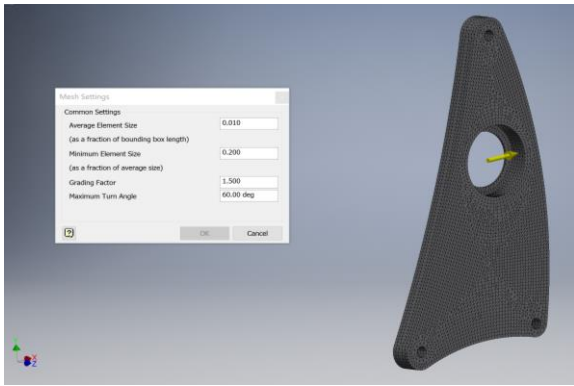
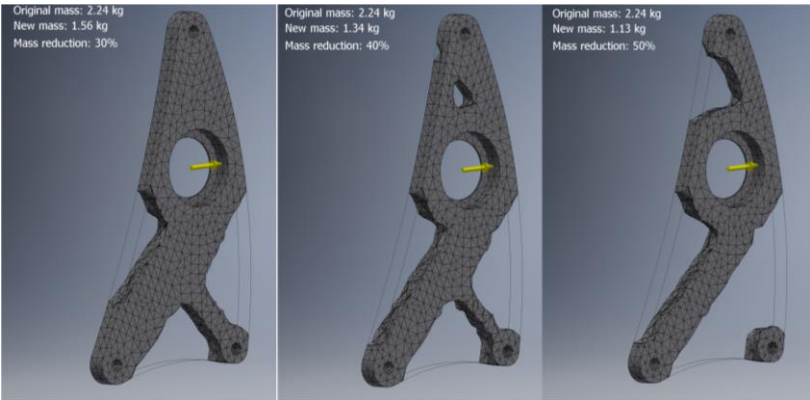
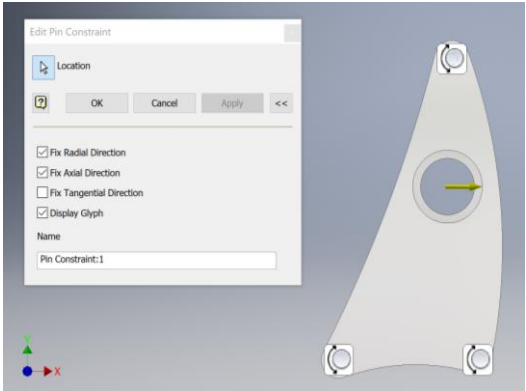
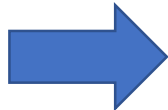
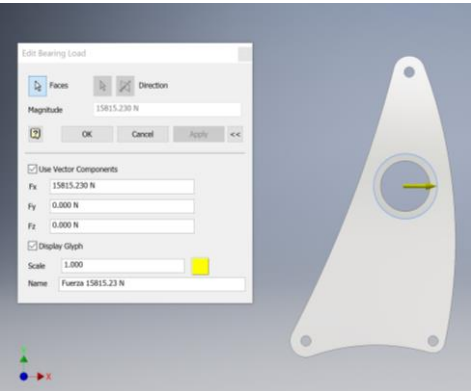
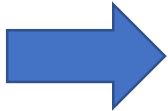
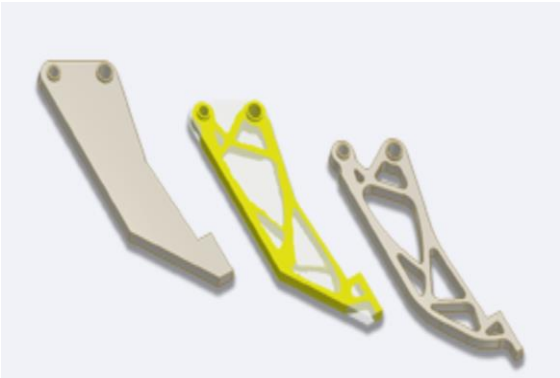
# REDISEÑO DEL SOPORTE

El rediseño parte de la toma de medidas para los nuevos puntos de anclaje del soporte, los cuales tendrán su fundamento en la triangulación ya que en diseño es la mejor forma para soportar cargas estructurales. Además, como partida se toma la localización del centro del eje en el cual estarán los rodamientos que sostendrán al conjunto diferencial y no deben cambiar para que todo se ensamble correctamente



# REDISEÑO DEL SOPORTE

## Proceso de la optimización de forma



# REDISEÑO DEL SOPORTE

A partir de la forma CAD entregada por el software, se crea en base a la referencia del análisis al 40%, que es el que me da menor masa sin suprimir los puntos de apoyo, a partir de eso se crea el nuevo diseño





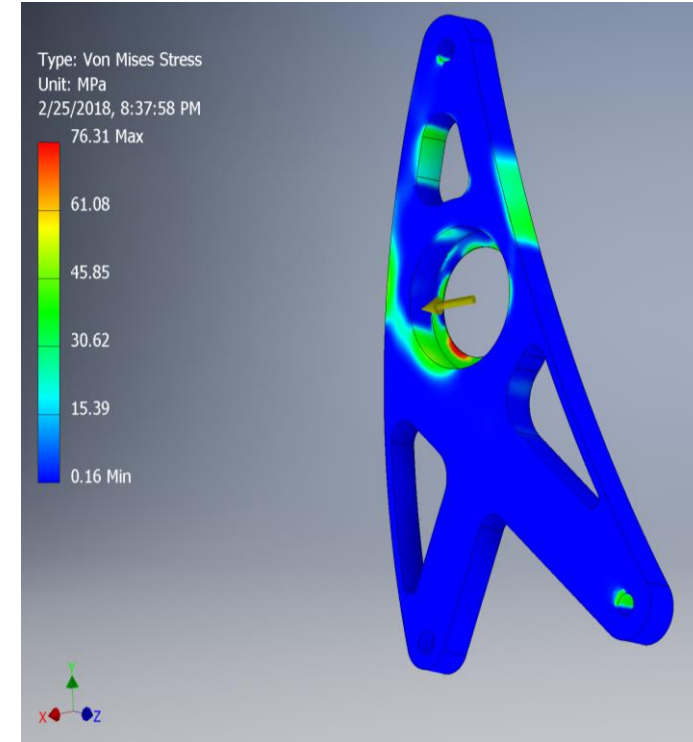
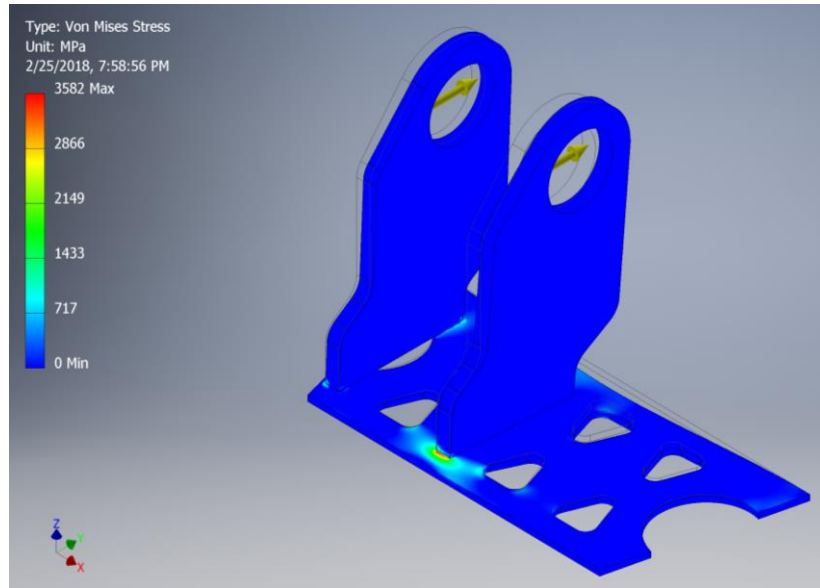
# DISEÑO ORIGINAL DE LOS SOPORTES

Representación CAD del soporte original



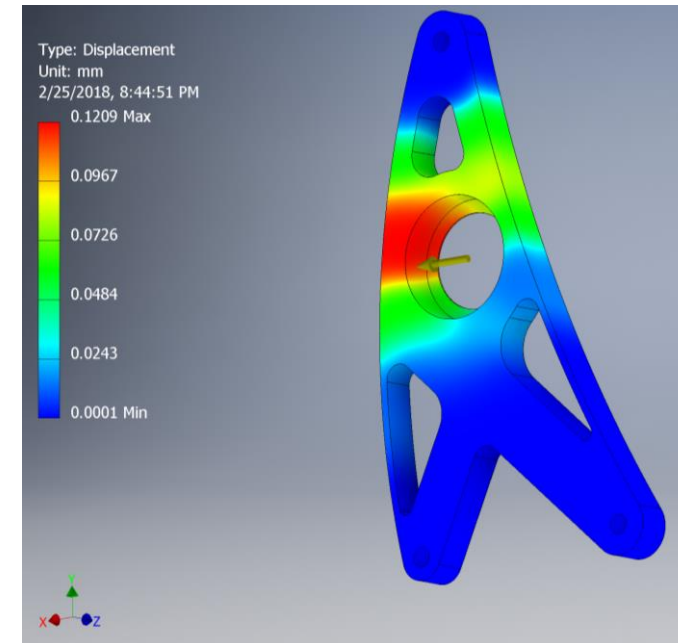
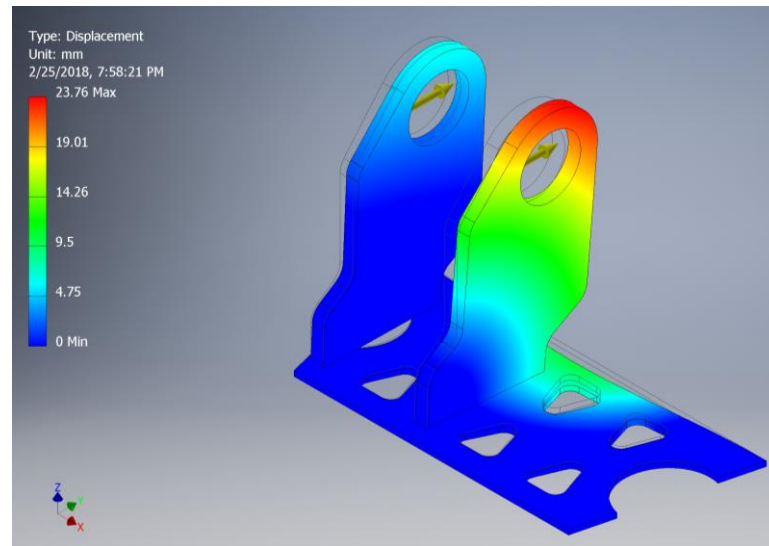
# RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTÁTICO

## Tensión Von Mises



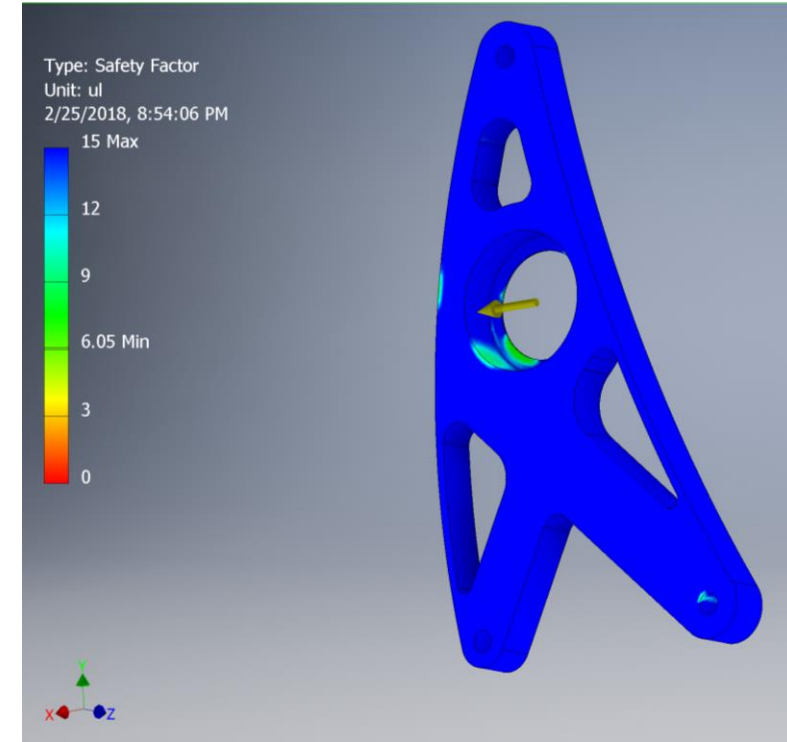
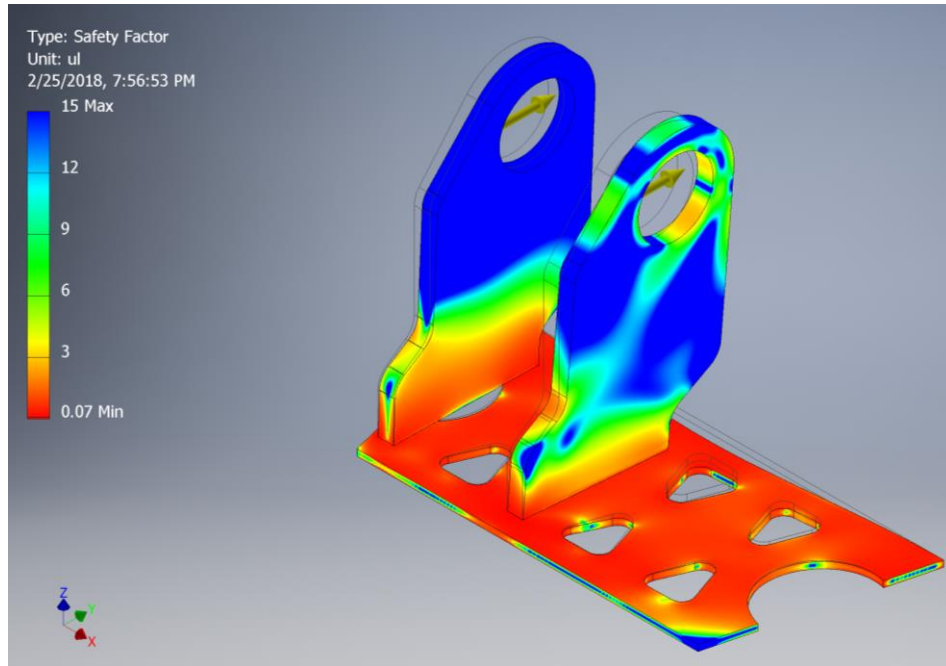
# RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTÁTICO

## Desplazamiento



# RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTÁTICO

## Factor de seguridad



# COMPARACIÓN DE RESULTADOS

	Peso	Tensión	Desplazamiento [mm]	Factor de seguridad	
	Kg	Von Mises [MPa]		1	1.5
Soporte original	10.762	3582	23.76	0.07	-
Rediseño con Duraluminio	4.217	76.31	0.1209	6.05	4.04
Rediseño con acero A36	10.276	76.19	0.043	3.28	2.19

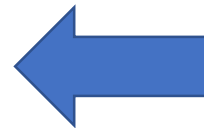
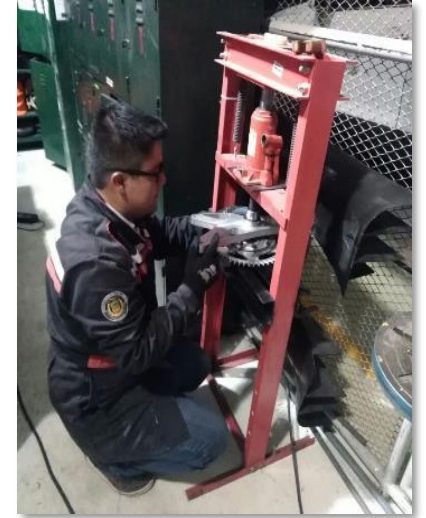


# MANUFACTURA



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

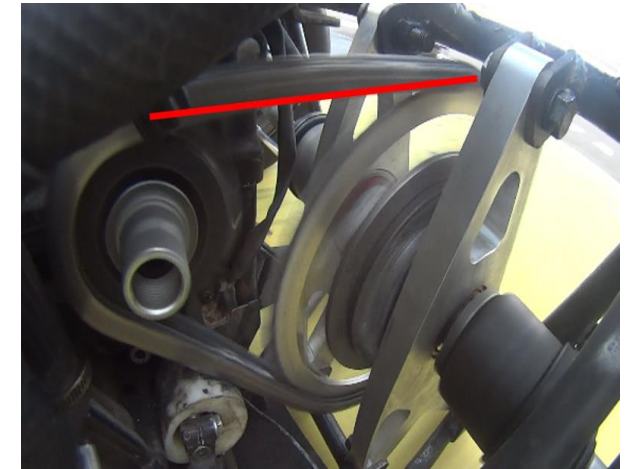
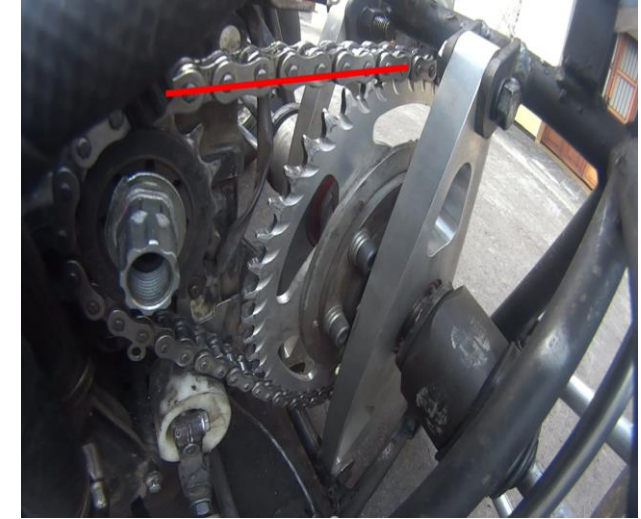
# IMPLEMENTACIÓN



# PRUEBAS



la cadena se mantiene templada tanto en reposo como en funcionamiento respecto a la línea de referencia, gracias a los nuevos soportes los cuales al no tener un desplazamiento significativo mantienen el conjunto en su lugar, dando una mayor transmisión de carga a las ruedas.





# RESULTADOS

Material del soporte	Peso [Kg]	Tensión Von Mises [MPa]	Desplazamiento [mm]	Factor de seguridad
Acero ASTM A36	10.6	3582	23.76	0.07
Duraluminio 7075	4.22	76.31	0.1209	6.05



# CONCLUSIONES

- Los fundamentos teóricos permitieron calcular las fuerzas que se generan en los soportes del conjunto diferencial, que posterior se utiliza en el análisis computacional.
- El Duraluminio 7075 del fabricante BOHLER es el material con las mejores características mecánicas como es su resistencia de 538 MPa, y su densidad de 2.81 g/cm<sup>3</sup>, lo hace el material más liviano con mayor resistencia que se encontró en el mercado ecuatoriano, con el cual se redujo en un 60.18% el peso de los soportes originales.



# CONCLUSIONES

- La representación de los soportes originales en el software CAD, permitió realizar una evaluación de las propiedades físicas como el peso, teniendo un valor de su peso calculado de 10.76 kg, dicho valor sirvió para realizar la comparación de pesos entre los diseños.
- El software CAE y la herramienta de optimización de forma se obtuvo diseños preliminares al 30%, 40% y 50% de reducción de masa, siendo la optimización al 40%, la mejor opción de modelado al mantener sus puntos de anclaje para tomar de referencia en el rediseño final de los soportes del diferencial.



# CONCLUSIONES

- Se analizó el rediseño final con software CAE, obteniendo resultados del análisis estático favorables como una tensión Von Mises de 76.31 MPa y un desplazamiento máximo de 0.1209 mm, en relación a los resultados originales de 3582 MPa y 23.76 mm respectivamente.
- La manufactura de los nuevos soportes se realizó mediante maquinaria CNC, en la empresa SAIC, sin tener problemas en el mecanizado de los soportes, ya que los soportes se diseñaron de forma simétrica para reducir los conflictos con el mecanizado.



# CONCLUSIONES

- El ensamblaje de los soportes en el vehículo prototipo permitieron realizar la prueba de aceleración, donde se exigió al componente a diferentes aceleraciones sin sufrir deformaciones ni fallos.



# RECOMENDACIONES

- En futuros diseños es recomendable un análisis topológico a los soportes del diferencial del vehículo, a partir de un estudio de potencia efectiva para maximizar su desempeño en la prueba de aceleración según la Formula SAE.
- Para los procesos de manufactura se recomienda mantener geometrías no complejas en el diseño para no tener problemas en la selección y uso de las herramientas de corte para fresado.



# RECOMENDACIONES

- Durante el ensamblaje el centrado y alineado de los piñones y cadena respectivamente debe realizarse minuciosamente respecto al plano vertical, para no tener problemas al momento del funcionamiento.
- Dentro del soporte del diferencial los elementos que necesitan atención son los rodamientos los cuales sufren desgaste con el tiempo de funcionamiento, de ser así se recomienda un cambio de los mismos.

