

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN - LATACUNGA



**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: DISEÑO, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN, DIRECCIÓN Y FRENOS PARA UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO BIPLAZA TIPO ROADSTER**

**AUTORES: JUAN CARLOS CEVALLOS SANDOVAL  
CRISTIAN DAVID VALLESTEROS BLANCO**

**DIRECTOR: ING. JUAN CASTRO**

**CO-DIRECTOR: STALIN MENA**

# OBJETIVO GENERAL

- ▶ Implementar los sistemas automotrices de suspensión, dirección y frenos en el bastidor de un prototipo de vehículo biplaza tipo roadster basados en el diseño y el análisis computarizado de los elementos que conforman cada uno de los sistemas mencionados, mediante información científica y experimental producto de una investigación exhaustiva, para satisfacer la necesidad del Ing. Jarol Ulloa de presentar este proyecto funcional como estrategia de marketing.



# ¿Qué es un vehículo Roadster?

► Un Roadster es un automóvil descapotable de dos plazas destinado para el uso urbano, pero no apto del todo para la competición. Se caracterizan por su rapidez al desplazarse; donde su suspensión es de carácter deportivo, es decir agresividad a las irregularidades del camino, lo cual se compensa con un sistema de dirección estable, un buen sistema de frenos ya que este va a poseer un motor potente y una buena aerodinámica.

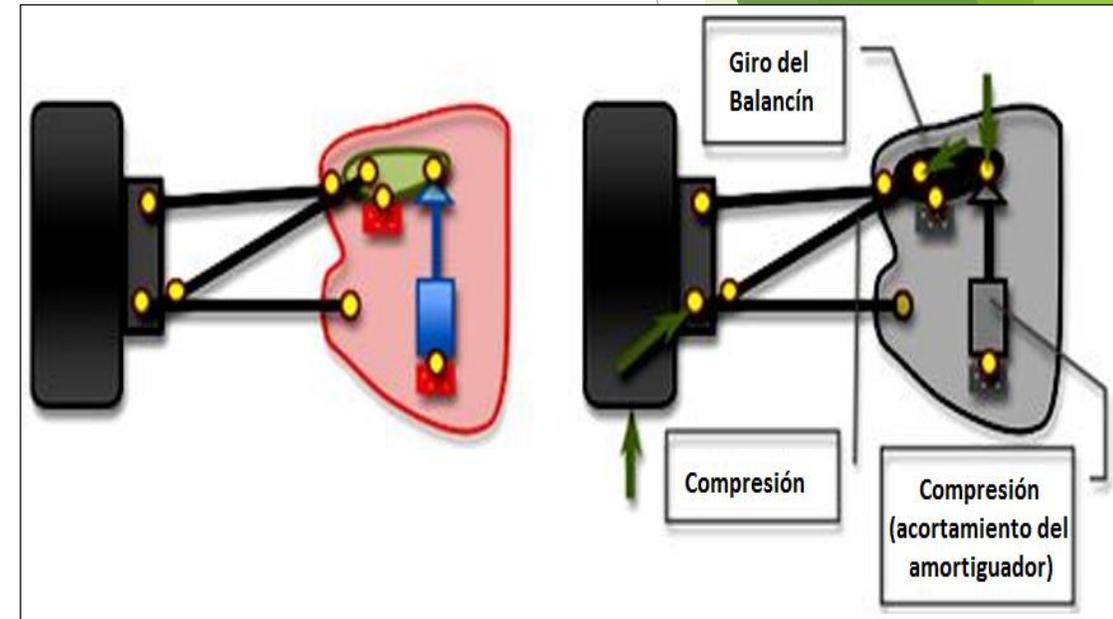


# SISTEMA DE SUSPENSIÓN

- ▶ Proporcionar un comportamiento vertical tal que las ruedas puedan superar los desniveles del terreno, aislando a la carrocería de las irregularidades de la carretera.
- ▶ Mantener la posición de los neumáticos y la geometría de la dirección en perfecto estado de funcionamiento respecto a la superficie de la carretera.
- ▶ Reaccionar a las fuerzas de control que se transmiten desde las ruedas: fuerzas longitudinales (aceleración y frenado), fuerzas laterales (en el giro), y pares de la dirección y frenado.
- ▶ Resistir el balanceo de la carrocería.
- ▶ Mantener las ruedas en contacto con la calzada con variaciones mínimas de carga.

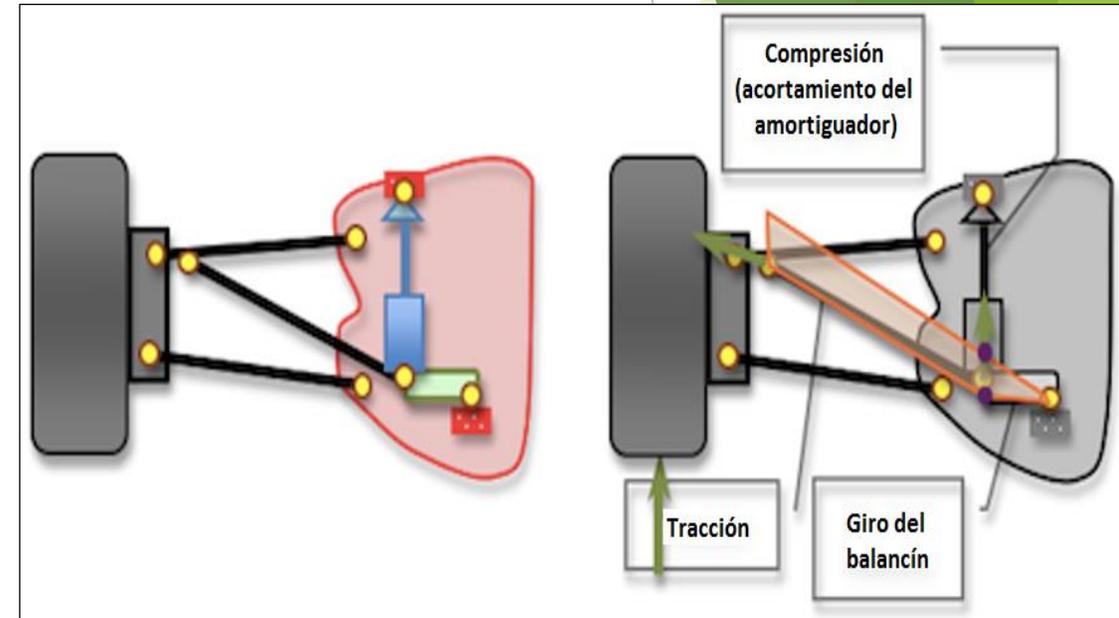
# SISTEMA DE SUSPENSIÓN PUSH ROD

- ▶ Consta principalmente de los 2 triángulos de suspensión, una barra diagonal que trabaja a compresión y que empuja a su vez un balancín que acciona un conjunto muelle-amortiguador. En este caso, al subir la rueda ante un impacto, giran los 2 triángulos. Con estos triángulos se mueve la barra diagonal, que empuja el balancín que actúa a su vez sobre el amortiguador, haciendo que se comprima. El tirante en diagonal funciona de este modo a compresión por lo que su grosor ha de ser mayor para soportar esa fuerza y no llegue a romperse.

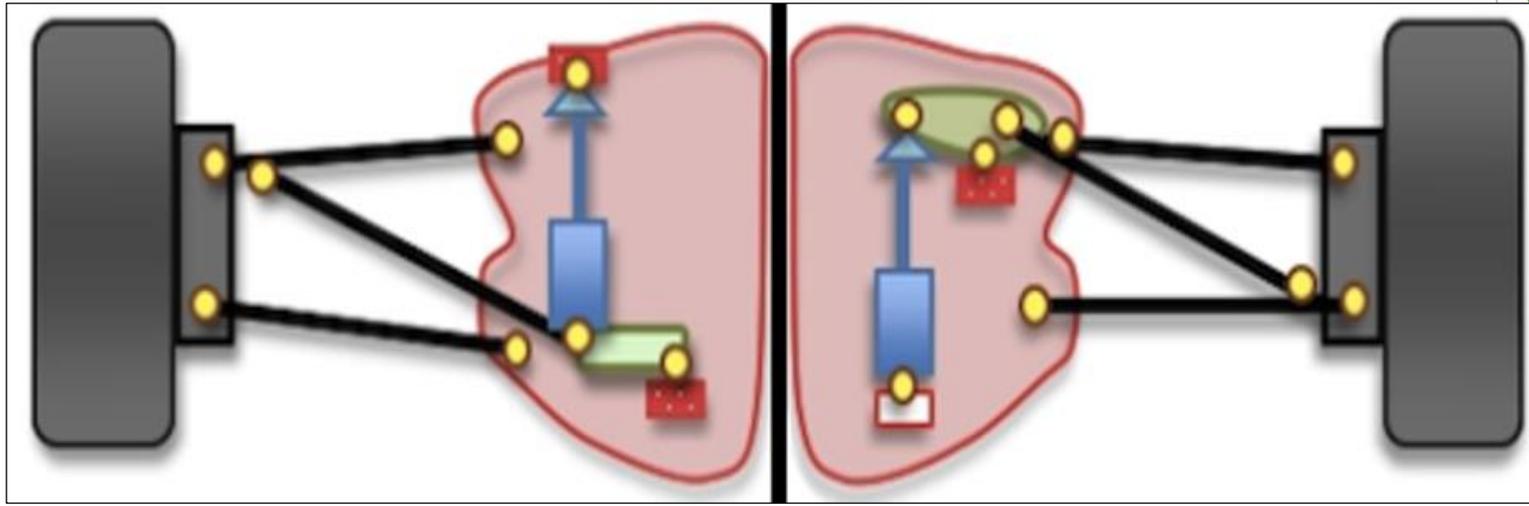


# SISTEMA DE SUSPENSIÓN PULL ROD

- ▶ En esta configuración, consta también de dos triángulos pero el tirante en diagonal está colocado al revés, uniendo el amortiguador con el balancín y moviendo el conjunto a tracción en vez de a compresión. Además de la ventaja del peso y la aerodinámica ya comentadas, en este tipo de suspensión los amortiguadores deben colocarse en la posición más baja reduciendo de este modo el centro de gravedad. En resumen, el tirante en diagonal es más fino y frágil lo que unido a las altas cargas aerodinámicas y cambios de pesos dinámicos en curvas de alta velocidad influye favorablemente.



# SUSPENSIÓN PULL ROD VS. PUSH ROD



- ▶ Cada una tiene sus ventajas y desventajas por ejemplo: En un sistema Pull Rod la pull bar es más ligera, y por la ubicación de los amortiguadores disminuye el centro de gravedad, nos brinda más confort, pero disminuye el flujo de aire hacia atrás.
- ▶ En cambio un sistema Push Rod, es un sistema más robusto, soporta grandes cargas, por su disposición de los amortiguadores levantados permite un mejor paso del aire hacia atrás, nos brinda una conducción agresiva disminuyendo el confort, pero incrementa el contacto de los neumáticos con la calzada.

# NEUMÁTICOS

- El Neumático de la marca TOYO TIRES DRB 175/50 R13 72V, cumple perfectamente con lo requerido ya que en base a su ficha técnica podemos ver que posee un índice de carga de 355 Kg, su índice de velocidad es de categoría V, es decir que está diseñado para velocidades de hasta 240 km/h, el ancho del neumático es de 175 mm lo que nos brinda una buena adherencia a suelo en carretera, su banda de rodadura se categoriza por ser DRB, es decir el diseño de su labrado le permite un óptimo comportamiento en superficies con agua evitando accidentes por aquaplaning.

TOYO TIRES DRB 175/50 R13 72V	
Marca - Llanta	Toyo
Labrado	DRB (7,2 máx - 1,6 min) mm
Ancho del Neumático	175
Perfil del Neumático	50
Rin del Neumático	13
Especialidad	Neumático de pasajero (P)
Capacidad	Autos livianos
Procedencia	Japón
Ensamblaje	Japón
Treadwear	340
Tracción	A
Temperatura	A
Índice de carga	72 (355 Kg)
Índice de velocidad	V (240 Km/h)
Banda de rodamiento	Direccional
Cara lateral	BSW (Letras negras)
Lonas	Standard Load (Carga normal)

# RÓTULAS UNIBALL

- ▶ Las rótulas son muy importantes en el sistema de suspensión ya que son las encargadas de anclar las mesas al bastidor y proporcionar el movimiento dentro de varios ángulos
- ▶ **RESISTENCIA:** Están fabricadas a partir de un único bloque de aleación de acero SAE 1040 de grano fino
- ▶ **DURABILIDAD:** Su diseño innovador es resistente al desgaste durante una vida útil más larga
- ▶ **ESTÁNDAR DE EQUIPO ORIGINAL:** Cumple o supera las especificaciones del fabricante de equipo original

## CARACTERÍSTICAS DE LAS RÓTULAS UNIBALL.

Superficie de fricción

Acero/Acero



Cabeza de rótula con engrasador incorporado

Rosca exterior. DIN 648

### CAPACIDAD DE CARGA

Rótula M8      Dinámica (KN) = 5, 5 KN

GAR8DO      Estática (KN) = 12,9 KN

Rótula M10      Dinámica (KN) = 8,1 KN

GAR10DO      Estática (KN) = 17.8 KN

# CONJUNTO MUELLE AMORTIGUADOR

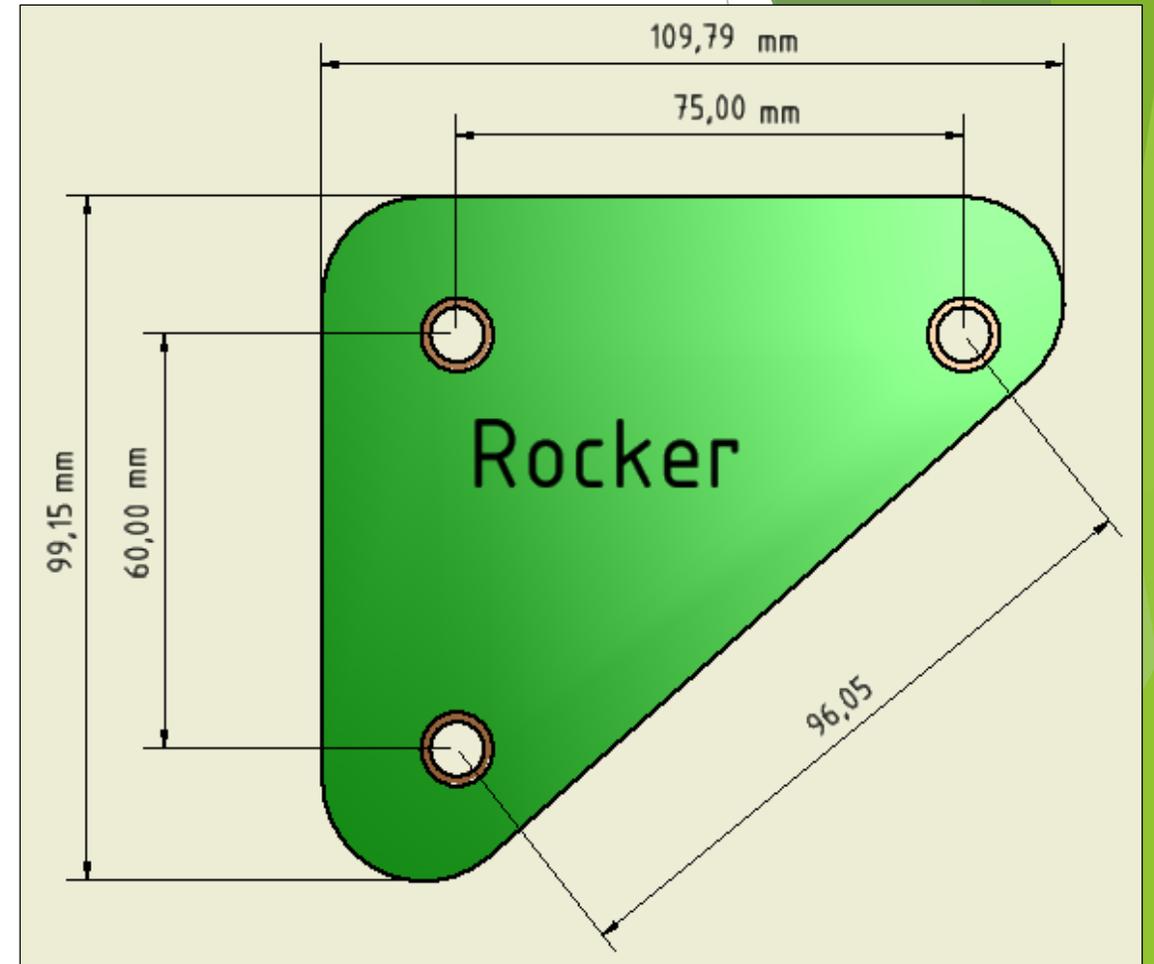
- ▶ El BURNER RCP-2 DNM, es utilizado en bicicletas de competición en condiciones muy extremas como lo es el All Mountain, Freeride y el Downhill, que son competencias que el piloto es capaz de saltar alturas de hasta 4 m, es por esta característica principal que se ha elegido este tipo de amortiguador el cual posee un muelle de 450 lb-f/pulg, el cual funciona a 4 sistemas, y posee ajustes para cada uno de ellos, los sistemas como: rebote, compresión, precarga y ajuste de alta presión. El cuerpo del amortiguador es de aleaciones de aluminio 7075 y posee un eje Cromado duro.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO		ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO
Peso	0,41 kg (0,91 lb)	Tamaño disponible Eye to Eye x viaje:
Tamaño	210 mm (8,27 pulg)	190 × 51 mm (7,48 x 2,01 pulgadas)
Eje de Amortiguador	Cromado	200 × 56 mm (7,87 x 2,20 pulgadas)
	12 mm (0,47 pulg)	210 × 61 mm (8,27 x 2,40 pulgadas)
Material	Aleaciones de Al 7075	220 × 66 mm (8,66 x 2,60 pulgadas)
Presión de aire	(80 - 100) psi	240 × 76 mm (9,45 x 2,99 pulgadas)
Muelle	450 lb-f/plg	170 mm de largo x Ø 40 mm x Ø 8 mm



# DISEÑO DE LOS ROCKERS

- Sabemos que nuestro prototipo posee una masa total de 440 kg, ya con los dos pilotos dentro del vehículo, como los neumáticos van a estar sometidos a fuerzas instantáneas y a grandes velocidades y según la tercera ley de Newton que dice “A toda acción corresponde una reacción en igual magnitud y dirección pero de sentido opuesto”. Nosotros vamos a asumir que la masa total del vehículo va a actuar sobre una sola rueda, por tanto la  $F_A = 440 \text{ kg}$ .



# DISEÑO DE LOS ROCKERS

$$K = 450 \frac{\text{lb}f}{\text{pl}g} \left| \frac{4.448 \text{ N}}{1 \text{ lb}f} \right| \left| \frac{1 \text{ pl}g}{0,0254 \text{ m}} \right| = 78806,693 \frac{\text{N}}{\text{m}} \left| \frac{1\text{m}}{100\text{cm}} \right| = 7880,6693 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$$

$$\blacktriangleright F_A = 440 \text{ kg} \left| \frac{9,8\text{N}}{1\text{Kg}} \right| = 4312 \text{ N}$$

$$\blacktriangleright \sum M_O = M_{AO} + M_{BO} = 0$$

$$\blacktriangleright \therefore M_{AO} = M_{BO}$$

$$\blacktriangleright M_{AO} = F_A \cdot \overline{OA}$$

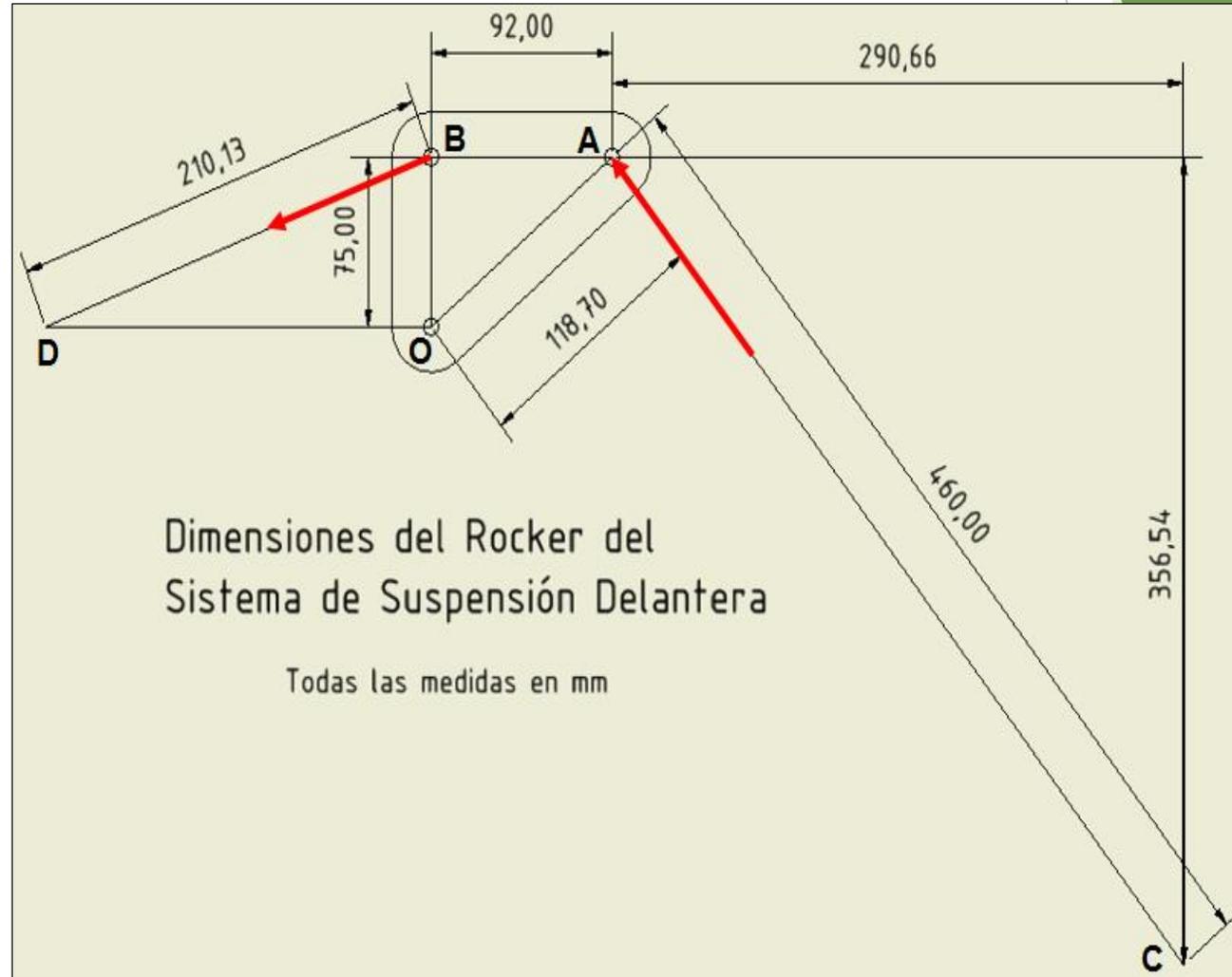
$$\blacktriangleright M_{AO} = 4312\text{N} \cdot 0,1187\text{m}$$

$$\blacktriangleright M_{AO} = \mathbf{511,8344 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

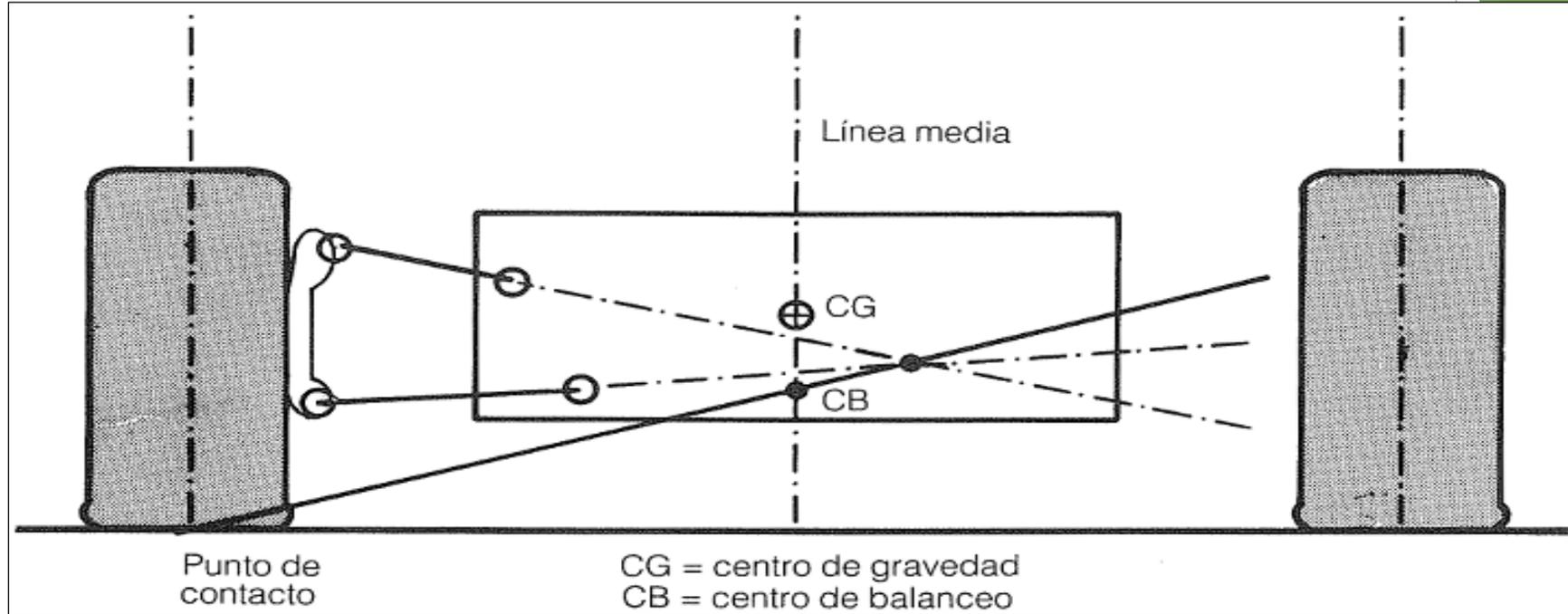
$$\blacktriangleright F_B = \frac{M_{BO}}{\overline{OB}}$$

$$\blacktriangleright F_B = \frac{511,8344\text{N} \cdot \text{m}}{0,075\text{m}}$$

$$\blacktriangleright F_B = \mathbf{6824,459\text{N}}$$

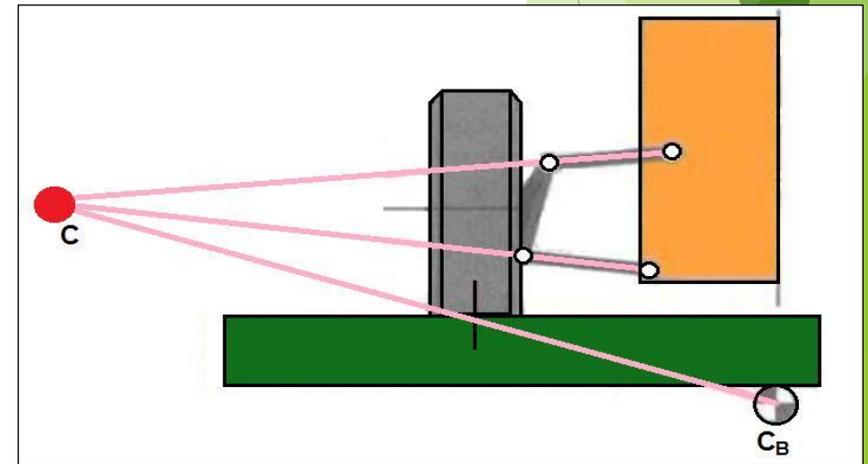
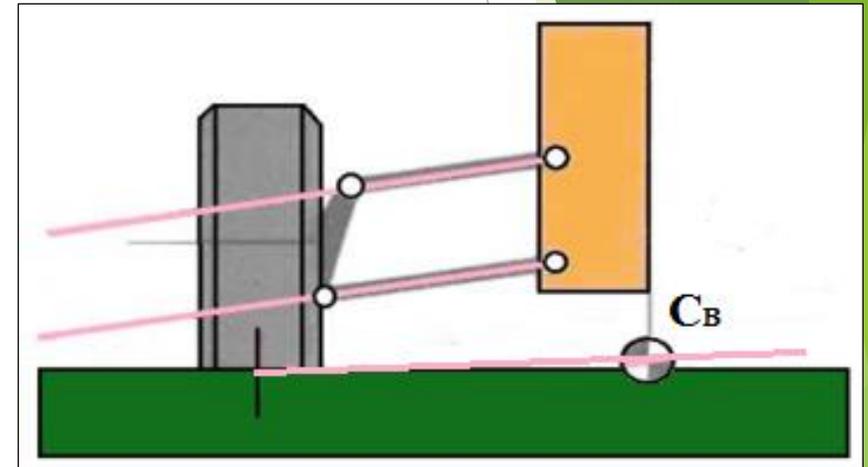
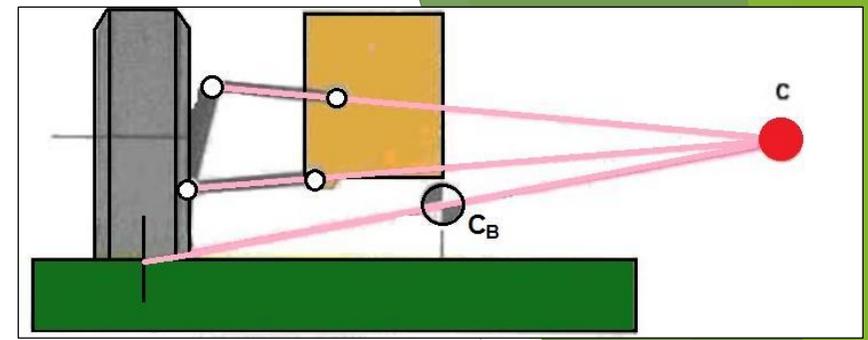


# UBICACIÓN DEL CENTRO DE BALANCEO



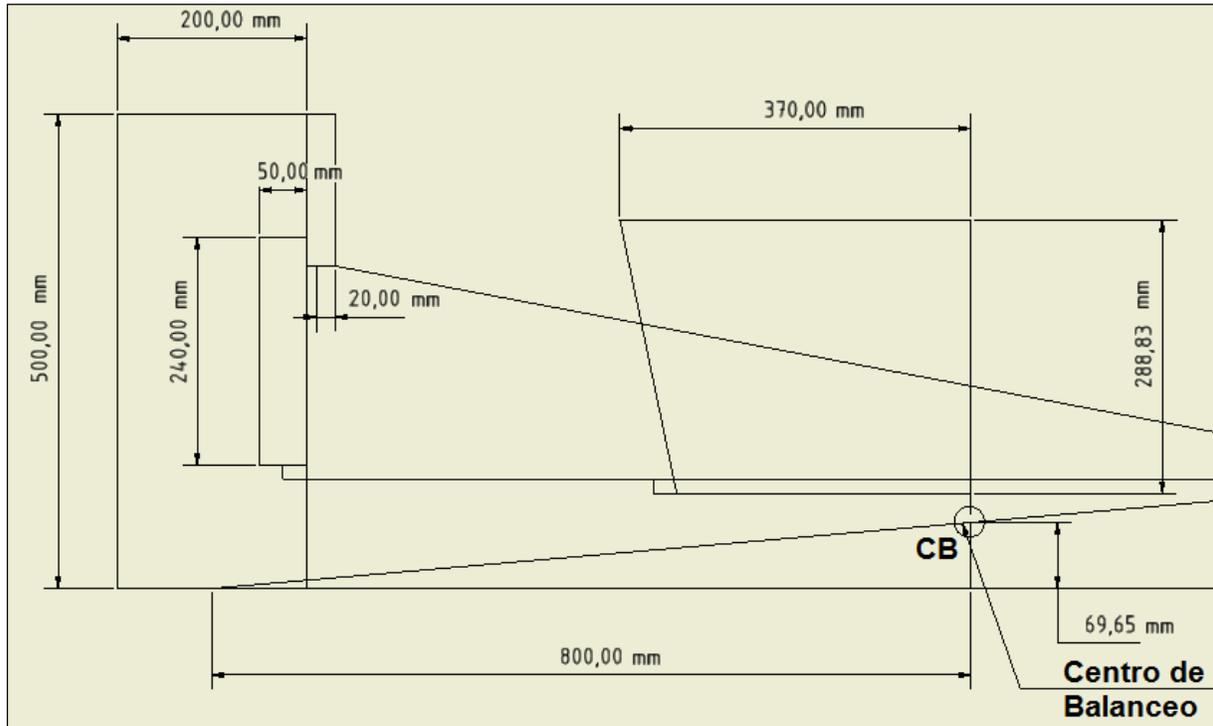
- ▶ Se trata del punto virtual a través del cual actúan las fuerzas laterales que transmiten los neumáticos al resistir la acción de la fuerza centrífuga. En una suspensión independiente, de brazos transversales no paralelos y desiguales (como en la Fórmula 1, Fórmula 3 o Fórmula 3000) la posición del centro de balanceo se encuentra de la siguiente manera:

- ▶ **Centro de balanceo por encima del nivel del piso:** hace que el vehículo se eleve en los virajes, se obtiene mejor compensación de camber.
- ▶ **Centro de balanceo a la altura del piso:** el chasis no sube ni baja en curvas. Sería teóricamente el punto ideal, pero no se cuenta con la compensación de camber necesario para contrarrestar la deformación del neumático.
- ▶ **Centro de balanceo por debajo del nivel del piso:** es solo usado en Formula uno a causa de distribución de cargas aerodinámicas en el tren de rodaje. Tiene como inmensa desventaja la de tener la mínima compensación de camber, pero es la de menos deformación lateral del neumático.

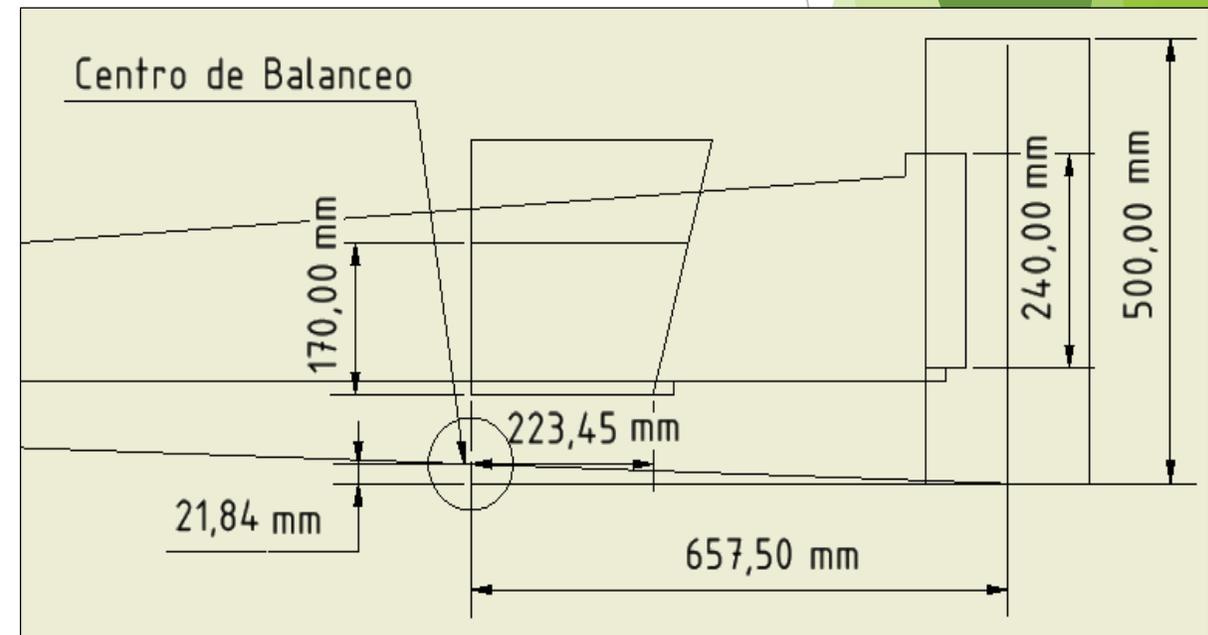


# CENTROS DE BALANCEO

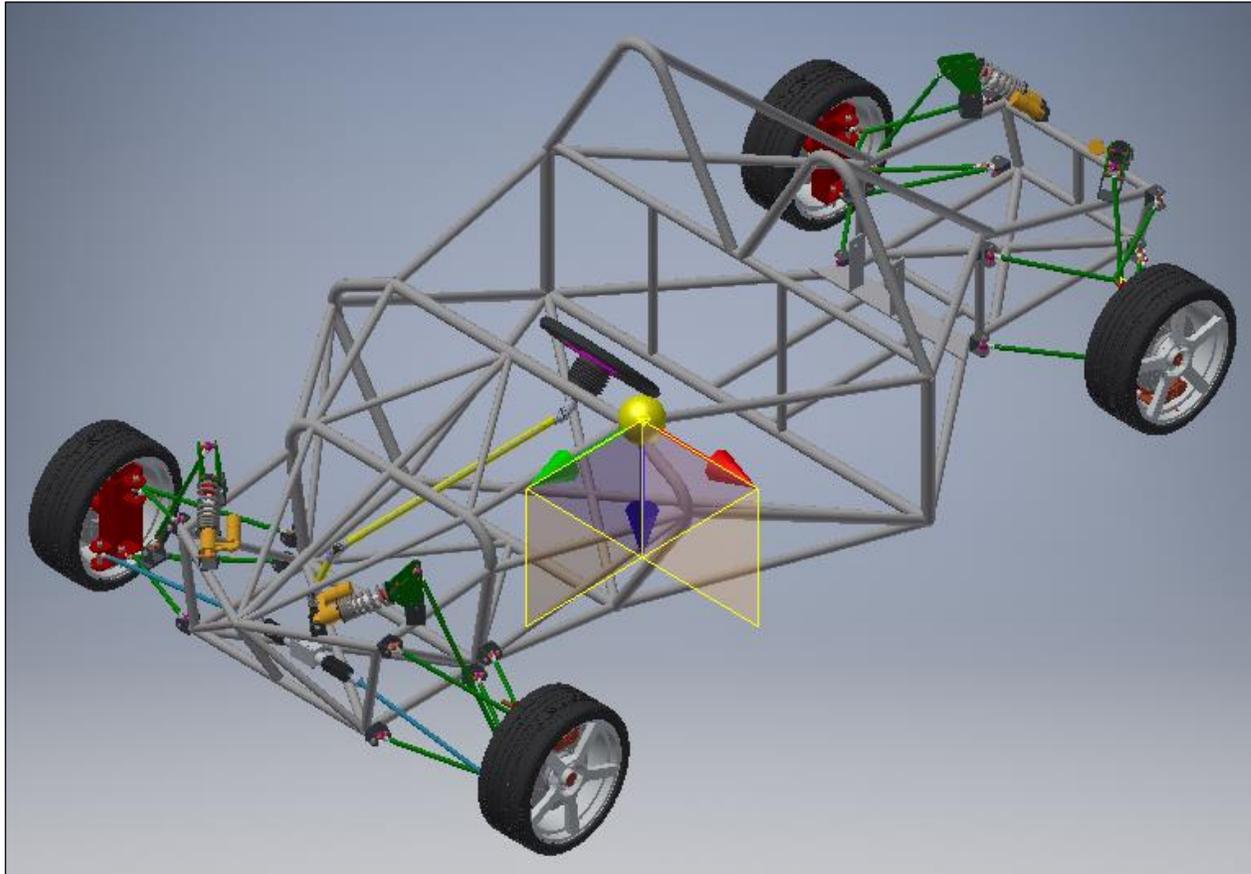
## ► Centro de balanceo eje delantero



## ► Centro de balanceo eje posterior



# UBICACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD

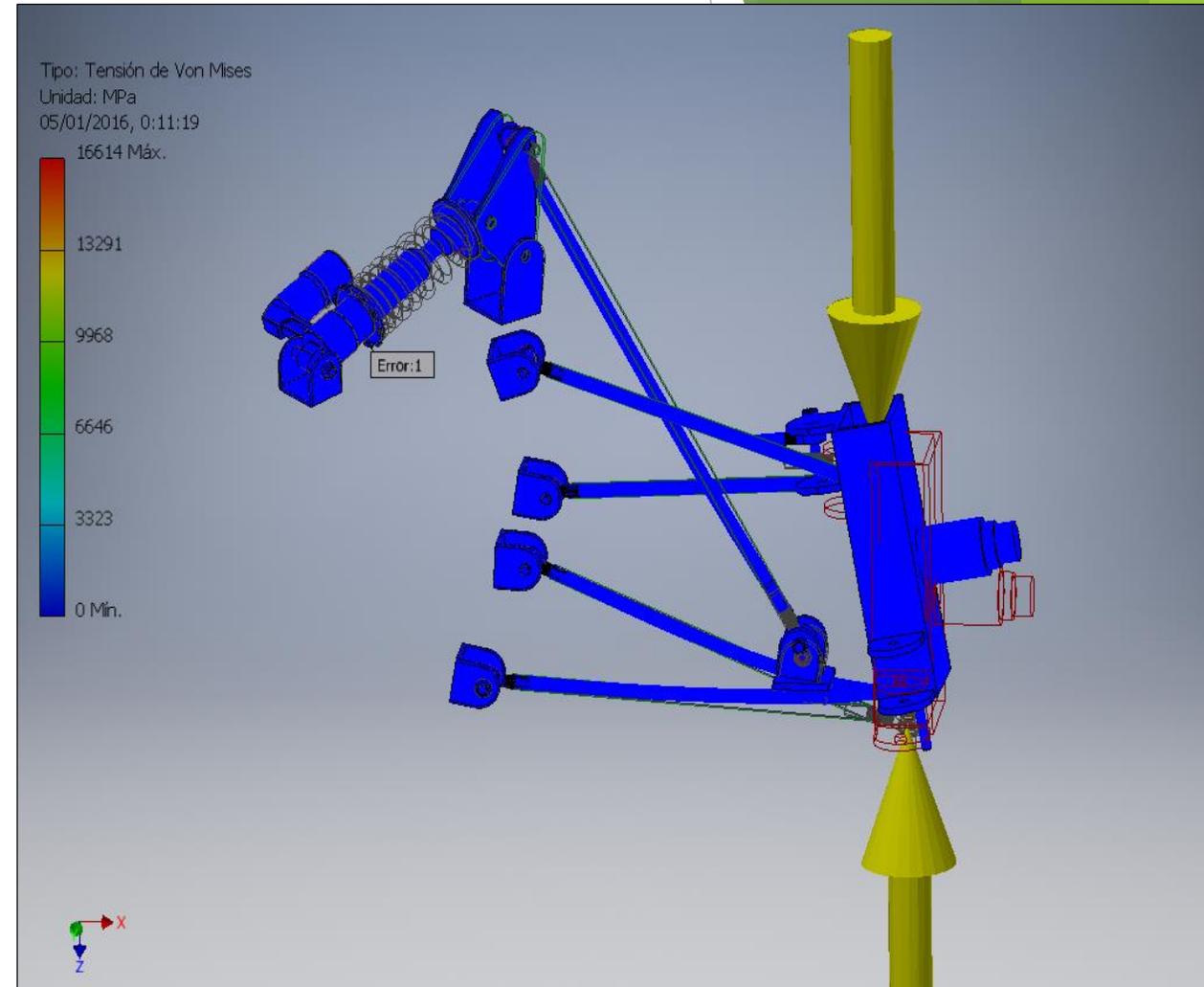


- ▶ El centro de gravedad se encuentra a una distancia de 293,76 mm desde el suelo, este centro de gravedad es muy bajo, y como resultado tenemos un vehículo muy estable en rectas y es curvas.

# ANÁLISIS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

## TENSIÓN DE VON MISES

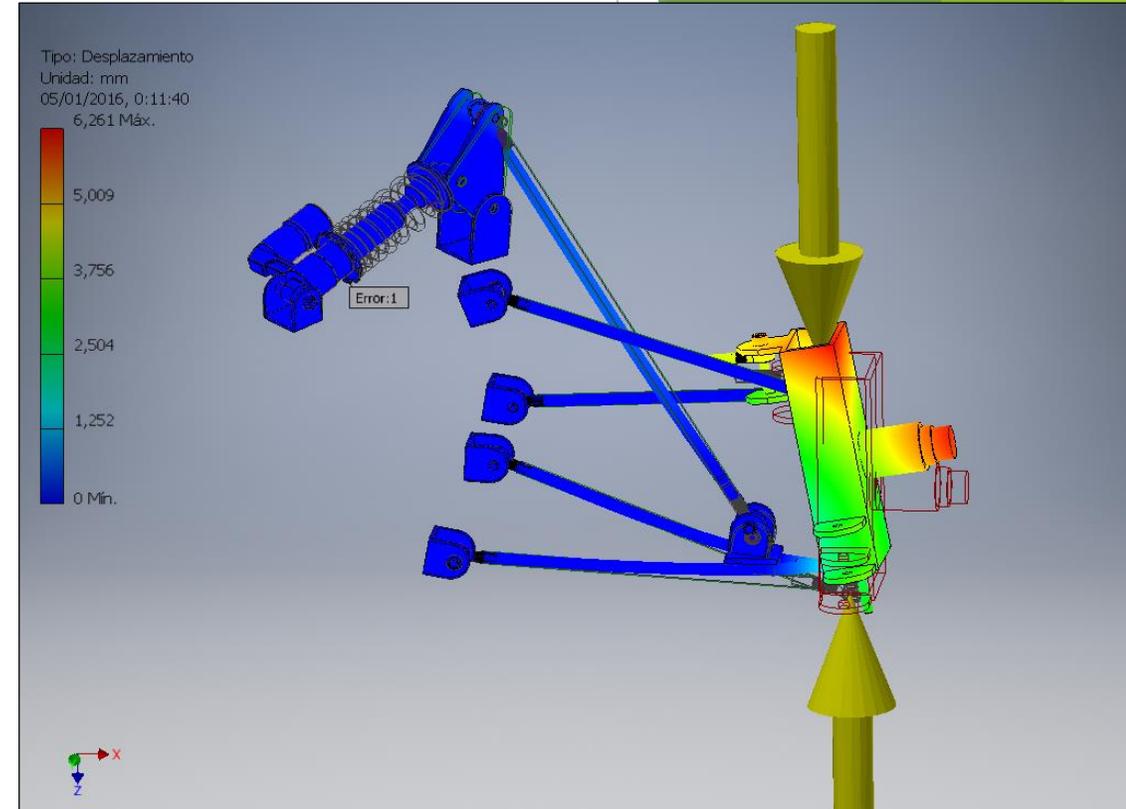
- ▶ En esta imagen el esfuerzo de Tensión de Von Mises se puede apreciar mediante colores, que da una tonalidad azul a las tensiones mínimas y de color rojo para las tensiones críticas. Las tensiones por esfuerzos estáticos son mínimas ya que las rótulas nos ayudan mucho en el momento de recibir impactos en el neumático, estas seden el sistema y permiten transferir todo estos esfuerzos mediante la Push bar hacia el amortiguador.



# ANÁLISIS DEL DESPLAZAMIENTO DE LA SUSPENSIÓN

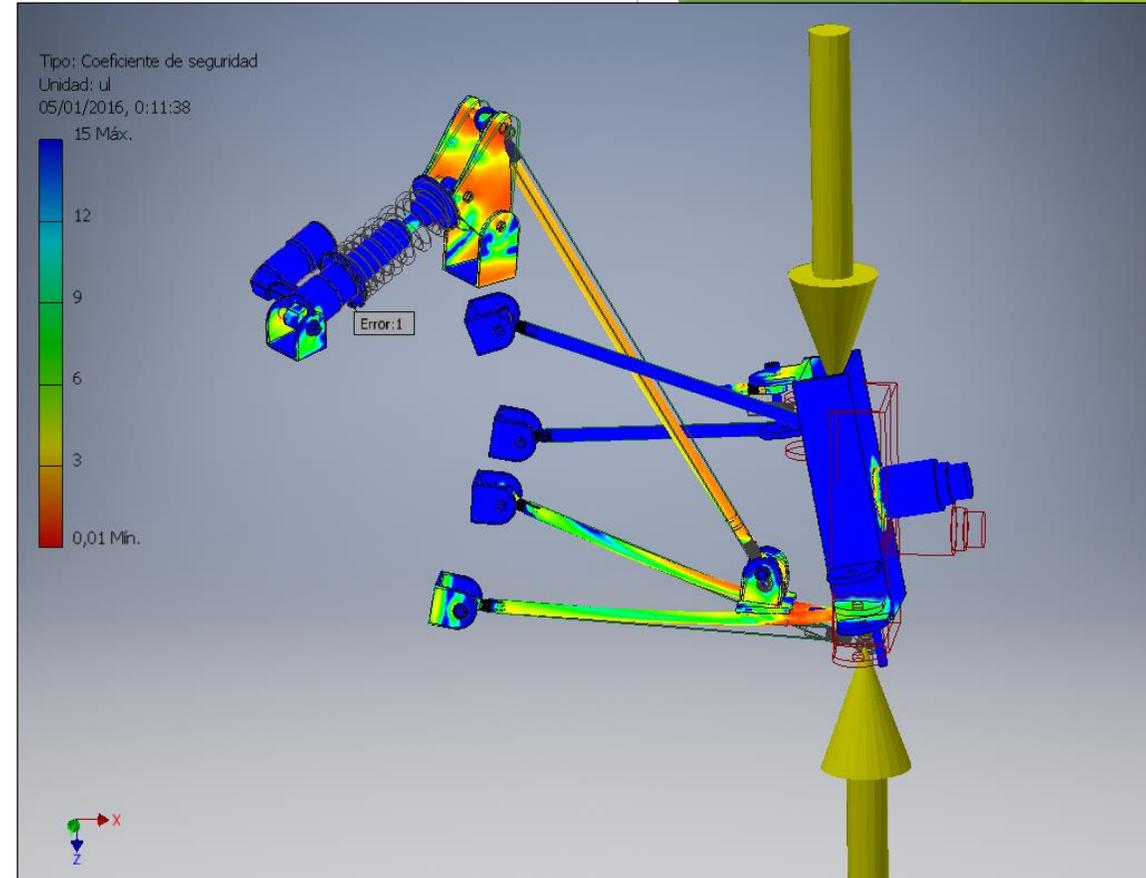
► En la siguiente gráfica se analiza el desplazamiento que se produce en el sistema de suspensión por efecto de las fuerzas que actúan sobre el neumático. La mangueta es la que presenta el desplazamiento más notorio del sistema, esto se debe a que las bases de la mangueta son rótulas que permiten su movimiento giratorio, además las mesas a las que está sujeta la mangueta también se mueven de forma que transfieran mediante la Push bar hacia el amortiguador las oscilaciones del suelo

receptadas por el neumático. La mangueta en su mayoría tiene una coloración verde claro comprendida entre 2 y 4 mm, con un poco de amarillo comprendido entre 4 y 5 mm y unas esquinitas de coloración naranja mayores a 5 mm.



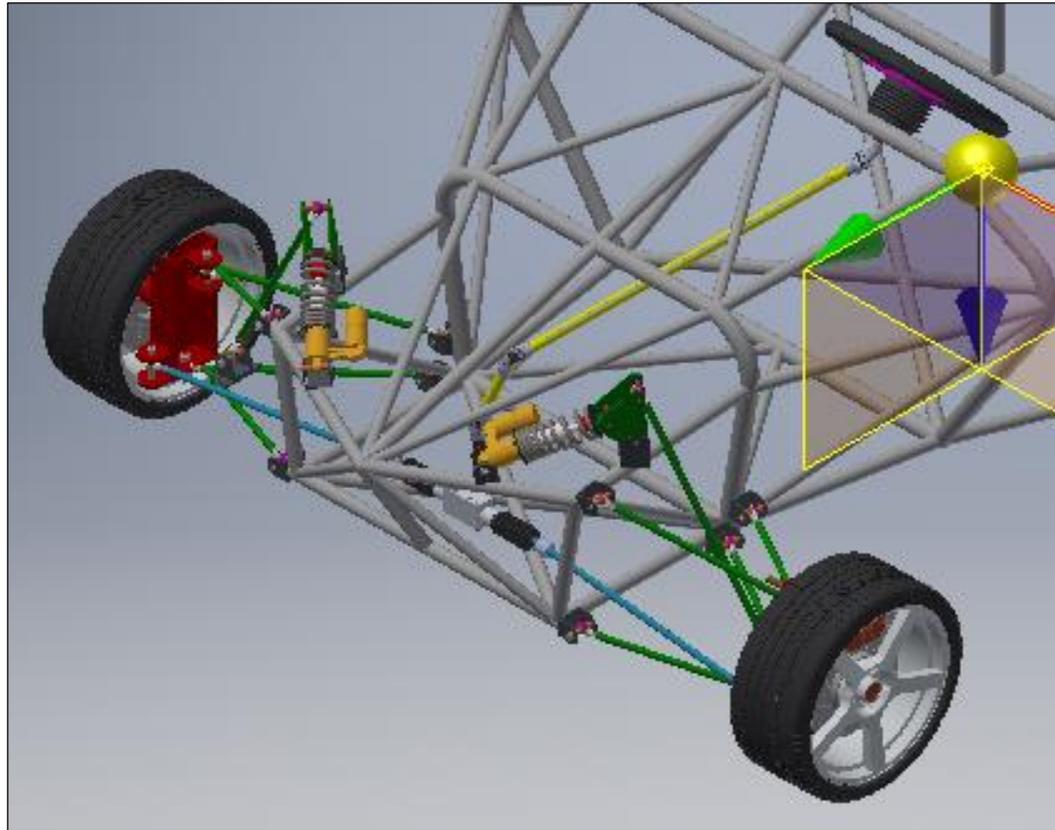
# COEFICIENTE DE SEGURIDAD

Para el análisis de coeficiente de seguridad de los componentes del sistema de suspensión tenemos una escala graduada por colores donde va desde 0,01 como crítico hasta un factor de seguridad de 15 como sobredimensionado. Nótese que para diseño se recomienda un factor de seguridad de superior a 1 y que se encuentre entre 1,5 y 2 según el libro de diseño de Robert Mott de “Resistencia de materiales”. La mangueta, la mesa superior y el amortiguador están de color azul que llevan un factor de seguridad de 13 a 15, esto se debe a que al realizar el análisis estas piezas se encuentran casi estáticas y no reciben esfuerzos.



# SISTEMA DE DIRECCIÓN

- ▶ La función del sistema de dirección es permitir el control direccional suficientemente preciso para realizar el trazado en las curvas, las acciones de adelantamiento de evasión ante obstáculos presentes en la carretera y las maniobras a velocidad.



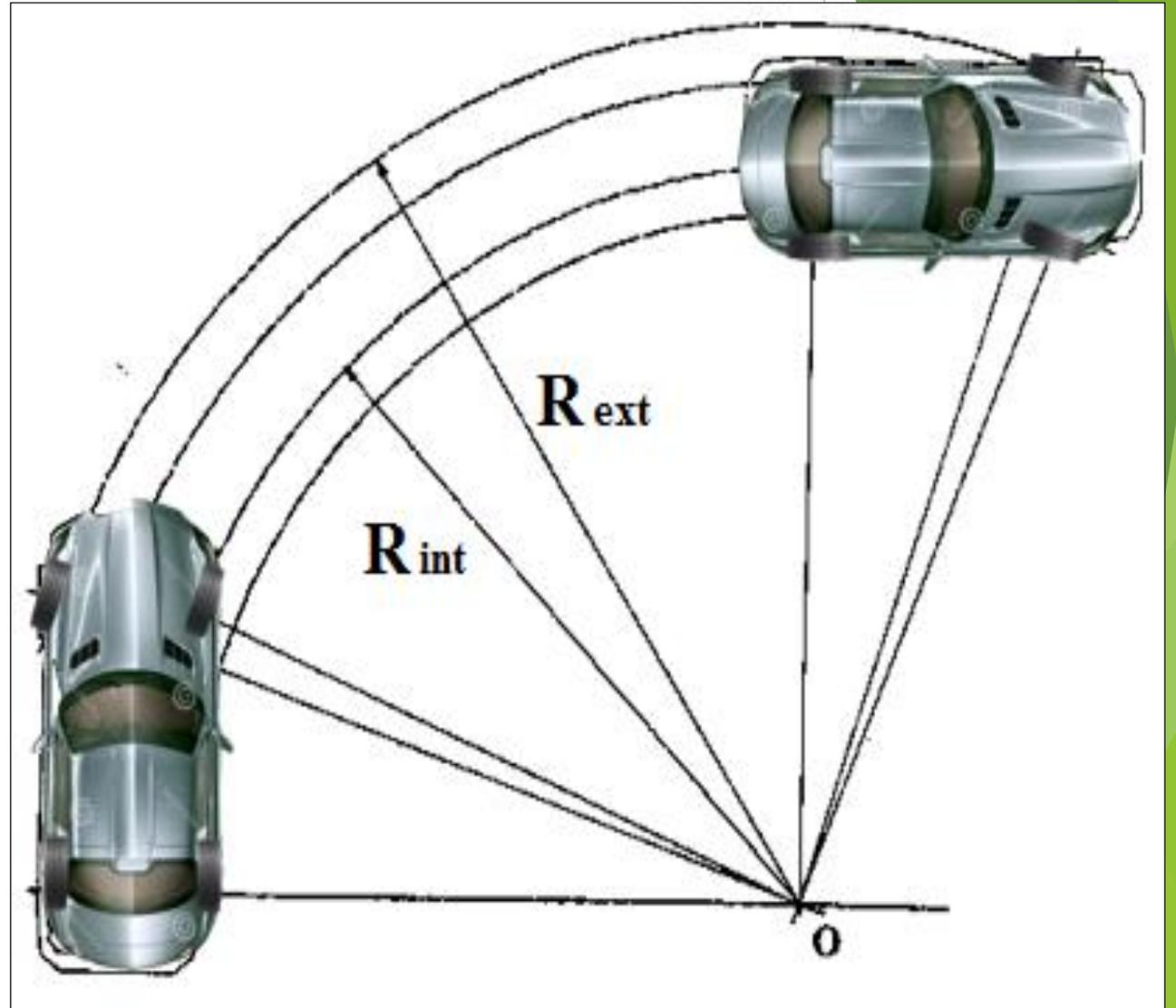
# SISTEMA DE DIRECCIÓN

- ▶ **Dirección manual:** Las fuerzas de dirección son producto únicamente del esfuerzo muscular del conductor.
- ▶ **Dirección asistida:** Las fuerzas de dirección son producto tanto del esfuerzo muscular del conductor como de una fuente externa de energía.
- ▶ **Servodirección:** Las fuerzas de dirección proceden de una o varias fuentes externas de energía.
- ▶ **Autodirección:** El ángulo de guiado de una o varias de las ruedas se modifica únicamente por la aplicación de las fuerzas o los momentos en el contacto entre el neumático y la carretera.



# GEOMETRÍA DE LA DIRECCIÓN

- ▶ En la geometría del sistema de dirección de un vehículo podemos observar que en el momento de realizar un giro, el radio que dibuja la trayectoria de las ruedas internas es menos que el radio dibujado por las ruedas externas. El vehículo debe poseer un comportamiento dinámico donde los ángulos de deriva de los neumáticos deben ser lo menores posibles.



# CONCUSIONES

- ▶ Mediante la investigación de bases científicas, como “La Ingeniería del Automóvil de Pablo Luque”, “La Suspensión - Automóviles de Competición de Orlando Ríos” y “Fórmula Student”, que aunque no fueron netamente basadas en la construcción de un prototipo tipo Roadster, se logró encontrar los parámetros necesarios para poner en marcha nuestro proyecto, el mismo que era la construcción en base a un diseño de los sistemas de suspensión, dirección y frenos para nuestro prototipo de vehículo tipo Roadster.
- ▶ En el momento de diseñar los sistemas de suspensión, dirección y frenos, tomamos en cuenta varios factores, los mismos que influían en el vehículo directamente o indirectamente, y vimos que las condiciones aplicadas por ejemplo del camber, caster, convergencia, influían en todos los sistemas de suspensión, dirección y frenos, a la vez por lo que cada uno de estos factores tuvo que ser cuidadosamente tomado en cuenta en el momento del diseño.

# CONCLUSIONES

- ▶ Para diseñar el sistema de suspensión es necesario tener en cuenta todas las masas que van a influir en el vehículo (como la masa suspendida total que es de 395 kg y la masa no suspendida total que es de 45 kg), ya que el vehículo se encontrará trabajando con un peso total cuando el vehículo lleve a sus dos ocupantes en su interior.
- ▶ Al realizar el análisis de los sistemas de suspensión dirección y frenos del vehículo, se pudo observar que todo funcionaba correctamente de acuerdo a lo planeado, y mediante el estudio estático de cada sistema, notamos el comportamiento de cada componente que se encuentra sometido a esfuerzos, manteniendo siempre un factor de seguridad superior a 2 y ascendiente hasta 4, que está entre los valores de seguridad permisibles. Nótese también que existen componentes del sistema con un factor de seguridad superiores a 6 y que hacen hasta 15, pero esto nos da el software, ya que al realizar el análisis estos elementos se encuentran estáticos y sobre ellos no se ejercen grandes esfuerzos.

# CONCLUSIONES

- ▶ En el momento de la implementación de los sistemas de suspensión, dirección y frenos en el bastidor de nuestro prototipo, cada uno de los componentes de cada sistema fueron colocados con mucho cuidado, siempre pendientes de que cumplan correctamente con todos los parámetros que tomamos en cuenta para el diseño, por ejemplo en el sistema de suspensión las medidas de camber, caster, necesarios para cada rueda, en la dirección fue un reto colocar la columna de dirección ya que se le dio al vehículo una configuración neutra, y en el sistema de frenos el conjunto armado de la mordaza y el disco se centraron bien de manera que no rosen en el interior del aro.
- ▶ Cada uno de estos sistemas a medida que se los fue implementando, se fueron realizando pruebas para ver el comportamiento y su correcto ensamblaje, y ya cuando estuvo listo cada uno de ellos fueron probados de forma dinámica.

# CONCLUSIONES

- ▶ Una vez con todo listo fue necesario desarrollar un manual de mantenimiento ya que nuestro prototipo posee algunos componentes adaptados como los amortiguadores de bicicletas para alta montaña, así que el manual de mantenimiento de este vehículo no es como el de los vehículos de turismo convencionales, sino adaptado a los componentes que forman parte de los sistemas de suspensión, dirección y frenos de nuestro prototipo.
- ▶ La aplicación de los conocimientos en la construcción de vehículos de diferentes autores fueron de gran ayuda, ya que cada uno diseñaba un vehículo propio, pero iba tomando en cuenta factores importantes para el diseño de un vehículo.
- ▶ La información científica y práctica recopilada por los grupos FESPE de algunos semestres, que participaron en importantes competiciones en Alemania, fue muy importante en el diseño del sistema de suspensión de nuestro prototipo, ya que basados en ellos supimos que componentes utilizar para anclar las mesas en el bastidor.

# RECOMENDACIONES

- ▶ Se debe tener mucha precaución en el momento del diseño ya que para ello nosotros en base a nuestro diseño buscamos los componentes que se necesitaban, los dibujamos y verificábamos si cumplían correctamente con los requerimientos de los sistemas de suspensión, dirección y frenos, en base a los análisis de esfuerzos, desplazamiento y coeficiente de seguridad, realizados en cada sistema.
- ▶ En el análisis de los sistemas de suspensión, dirección y frenos del vehículo, nosotros previamente tuvimos que calcular la masa suspendida, la masa no suspendida y la masa total, para simular en el software Inventor 2015, los esfuerzos estáticos trabajando bajo condiciones reales.

# RECOMENDACIONES

- ▶ Cada elemento de los sistemas de suspensión, dirección y frenos del prototipo Roadster, fue correctamente verificado su ubicación, su funcionabilidad en ese punto, para ser soldado o armado, de manera de evitar un reproceso ya que esto a parte de robarnos tiempo, podía comprometer el funcionamiento del elemento y esto implicaría un costo adicional al proyecto.
- ▶ En el momento de montar los amortiguadores debemos verificar que la regulación de rebote, presión y ajuste del muelle, no se encuentren en sus puntos más extremos, ya que esto podría dañar el correcto funcionamiento del conjunto muelle amortiguador.
- ▶ La disposición del cajetín de dirección de piñón cremallera, estuvo ubicado en base al espacio disponible en el bastidor después de ubicar los pedales, las bombas de freno y embrague, ya que el piloto debe estar lo más cómodo posible en el momento de la conducción.

# RECOMENDACIONES

- ▶ Para el circuito de frenos, tuvo que ser diseñado uno nuevo, ya que se debe acoplar a las dimensiones de nuestro prototipo, y debe estar dotado de una bomba que proporcione la fuerza de frenado necesaria para las cuatro ruedas.
- ▶ Verificar el correcto funcionamiento de cada componente, así como también su tipo de mantenimiento, para al final agrupar todo y generar un manual de mantenimiento propio para este prototipo.

**MUCHAS GRACIAS ESPE POR TODO LO QUE NOS HAS  
DADO QUERIDA UNIVERSIDAD**

**QUE NUESTRO SEÑOR JESUCRISTO BENDIGA A TODOS  
LOS INGENIEROS QUE CADA DÍA NOS BRINDAN SUS  
ENSEÑANZAS**

**DIOS, PATRIA Y LIBERTAD**

**VIVA LA ESPE!**