

# Fase 1 de la VIII Edición Campeonato Nacional



Desafío 04: Sistema de dirección, suspensión y frenos

Centro: CIFP Juan de Herrera-IES Galileo



*Fecha: 7 de febrero de 2025*

*Autores: CIFP Juan de Herrera-IES Galileo*

# 0. Índice

.....	1
1. Introducción .....	3
2. Dirección.....	4
2.1. Diseño de la geometría de dirección.....	4
2.2. Materiales y dimensiones de los elementos.....	7
2.3. Dimensiones del volante y número de vueltas.....	9
2.4. Tipo de columna de dirección y uniones cardan .....	9
2.5. Tipo de dirección .....	10
2.6. Geometría de dirección y ángulos principales .....	10
3. Suspensión.....	12
3.1 Diseño, materiales y previsión de esfuerzos .....	12
3.2. Llanta y neumáticos.....	13
3.3. Recorrido de la suspensión.....	14
4. Frenos.....	14
4.2. Tipo de accionamiento y reparto de frenada.....	15



# 1. Introducción

Uno de nuestros objetivos en el diseño del vehículo es el comportamiento dinámico del chasis para conseguir agilidad en los cambios de dirección lo que conlleva y requiere un buen agarre del tren delantero.

Por otro lado, nuestro objetivo de peso mínimo nos ha condicionado continuamente en el diseño de cada uno de los elementos que componen el vehículo. Agradecemos la colaboración de **Javier y Miguel de la empresa Recambios Valladolid** que nos guían y ayudan con el diseño.

Volvemos a mostrar en este desafío nuestro cuadro de doble entrada, ya que está presente permanentemente, dado que nuestra pretensión es que **toda la geometría del vehículo sea regulable** y en ello nos basamos a lo largo del desarrollo del mismo.

		PRUEBAS DINÁMICAS				
		ACELERACIÓN	SLALOM	FRENADO	EFICIENCIA ENERGÉTICA	
CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO DE COMPETICIÓN	PESO VEHÍCULO	-	-	-	-	Más ligero posible. Objetivo 150 Kg con piloto.
	PESO PILOTO	-	-	-	-	Piloto de 1,70m de alto y 65 Kg.
	LONGITUD	-	-	-	-	Determinada por longitud mínima 2.200mm.
	ANCHURA	=	-	-	-	Determinada por la vía mínima 780mm.
	ALTURA	-	-	-	-	Lo más bajo posible.
	BATALLA	-	-	-	-	Batalla mínima 900mm.
	DISTANCIA AL SUELO	-	-	-	-	La mínima 70 mm teniendo en cuenta la flexibilidad del chasis y recorrido suspensión.
	RETROVISORES	-	-	-	-	Lo más pequeños posible.
	POSICIÓN DEL PILOTO	-	-	-	+	Lo más tumbado posible. Respaldo >40°.
	ALTURA ARCO DELANTERO	-	+	-	-	La mínima que permita cumplir el ángulo de visión establecido.
	NEÚMATICOS-ROZAMIENTO	+	+	+	-	Equilibrio entre pruebas.
	CENTRO DE GRAVEDAD ALTURA	+	+	+	=	Determinado por la postura del piloto. Lo más bajo posible.
	CENTRO DE GRAVEDAD POSICIÓN LONGITUDINAL ATRÁS	+	=	-	=	Balance entre frenada y Aceleración.
	DIRECCIÓN	=	=	=	=	Por bieletas (peso) o cremallera (fácil conducción).
	FRENOS	=	+	+	=	Dos circuitos reguladores de frenada delantero y trasero.
DISCOS DE FRENO	+	+	-	+	Dentro de la llanta por aerodinámica.	
CARROCERÍA	+	+	+	+	Sin alerón y mínima sección frontal	

+ influye positivamente    - influye negativamente    = no influye

## 2. Dirección

### 2.1. Diseño de la geometría de dirección.

La geometría de la dirección resulta básica para el comportamiento dinámico del vehículo, a continuación, centramos nuestro diseño basándonos en los siguientes puntos:

- ✚ El vehículo carece de diferencial, las velocidades de giro son iguales. Sin este diferencial, al tomar una curva, las revoluciones de ambas ruedas motrices son iguales, por lo que, empujan al vehículo describiendo una trayectoria recta y dificultando el giro. Como solución constructiva debemos conseguir que la rueda trasera interna al girar, se levante del suelo o en su defecto pierda la mayor tracción posible. Por lo tanto, las cotas del eje delantero serán determinantes en la agilidad del vehículo, en el agarre del tren delantero y en la facilidad para que obedezca al giro del volante.
- ✚ Para conseguir que el vehículo gire, necesitamos que la transmisión del par de fuerzas generado por la fuerza centrífuga al girar, se centre en las ruedas del eje delantero y la rueda externa del eje trasero (respecto a la trayectoria). Con unos ángulos de avance agresivos pretendemos que, al girar, la rueda externa suba respecto al plano horizontal y la interna baje, quedando prácticamente sin apoyo la rueda trasera interna con lo que facilitaremos el giro del vehículo.

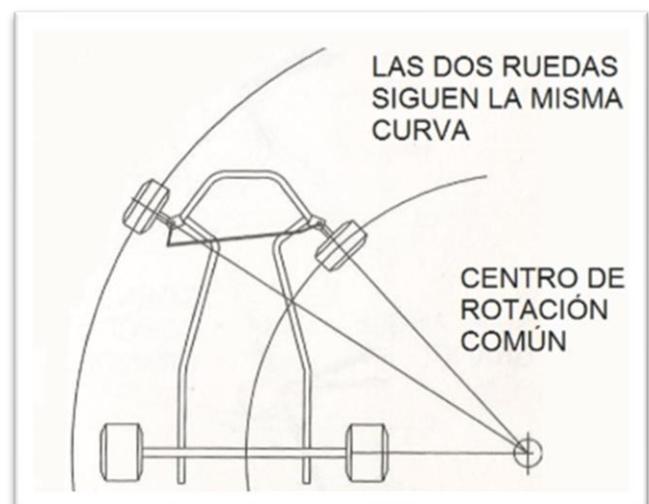
Esto se puede observar de manera muy clara cuando ejercemos una fuerza de empuje en el vehículo parado y conseguimos que eje trasero empuje al delantero describiendo una trayectoria recta.

- ✚ Otro aspecto importante a tener en cuenta es el **ángulo Ackerman**, que hace que la rueda delantera interna esté girada más que la externa.

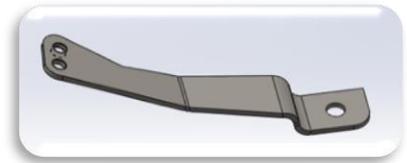
#### *Efecto Ackerman*

La rueda delantera interna describe un círculo de menor radio que la exterior.

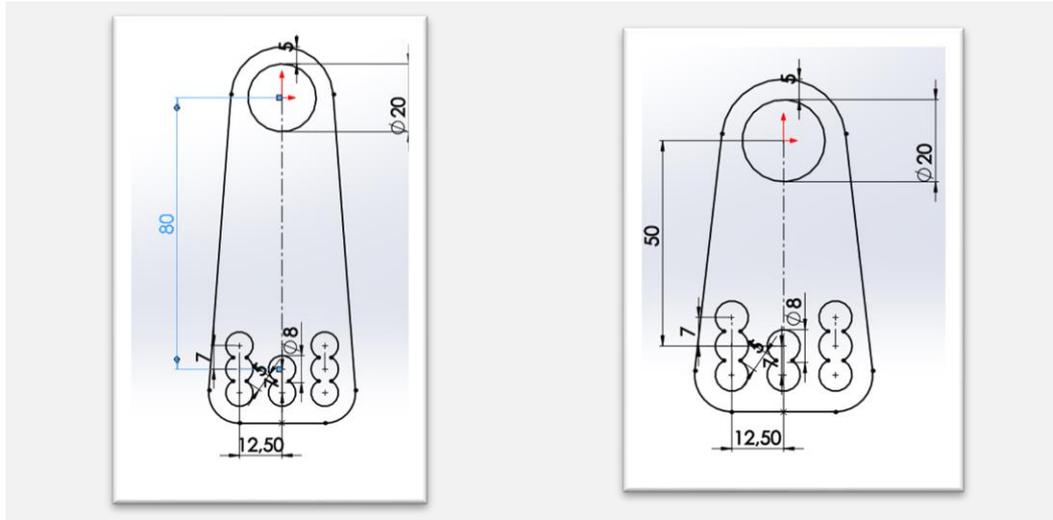
Cuando trazamos las perpendiculares a las ruedas delanteras podemos observar que la intersección se produce en un punto alineado con la línea del eje trasero, siendo ese punto el centro de rotación del vehículo. Ackerman puro.



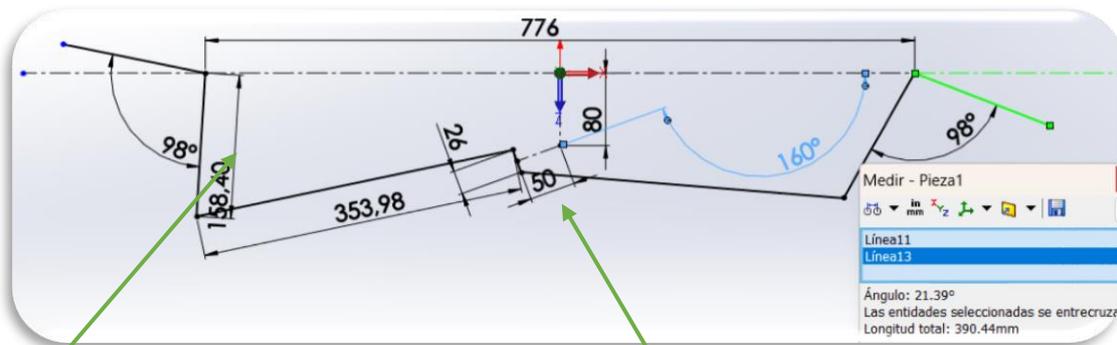
Las bieletas de las manguetas del tren delantero están diseñadas con dos posiciones que permiten conseguir diferentes ángulos Ackerman y diferente desmultiplicación. Estas son modificables ya que se pueden desmontar mediante tres tornillos, conseguimos así modificar la geometría fácilmente cambiando las bieletas sin cambiar todo el conjunto de la mangueta.



La bieleta de la caña de dirección también tiene múltiples posiciones que nos permiten variar la desmultiplicación y el ángulo Ackerman.



A continuación, presentamos un análisis de sobregiro de la rueda interna respecto de la externa. Para realizar los cuadros y los gráficos hemos llevado la geometría de la dirección a un croquis de Solidworks.



Bioleta mangueta

Bioleta caña de dirección

Hemos tomado los datos para diferentes giros del volante siendo los resultados los siguientes:

➤ Con bieleta de 50mm en la caña y 158mm de bieleta de las manguetas.

BIELTAS 50-158	GIRO EN GRADOS								PROMEDIO
GIRO VOLANTE	70	60	50	40	30	20	10	0	
RUEDA INTERNA	21,39	18,92	16,1	13,03	9,79	6,47	3,18	0	35,0
RUEDA EXTERNA	11,53	11,58	10,96	9,7	7,72	5,64	2,97	0	11,1
SOBREGIRO	86%	63%	47%	34%	27%	15%	7%	0%	7,5
DESMULTIP.	4,3	3,9	3,7	3,5	3,4	3,3	3,3	0,0	35%
									3,6

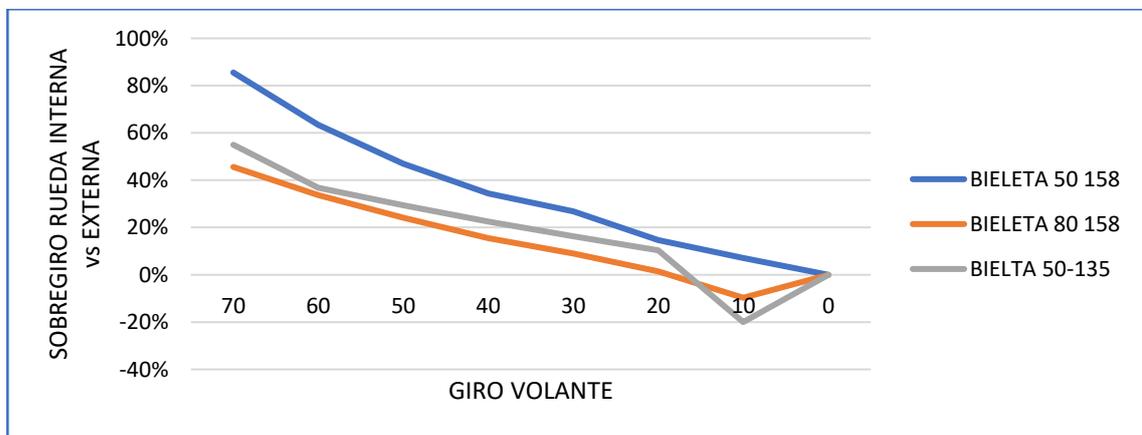
➤ Con bieleta de 80mm en la caña y 158mm de bieleta de las manguetas

BIELTAS 80-158		GIRO EN GRADOS							PROMEDIO
GIRO VOLANTE	70	60	50	40	30	20	10	0	35,0
RUEDA INTERNA	33,4	29,7	25,34	20,53	15,4	10,13	4,83	0	17,4
RUEDA EXTERNA	22,94	22,22	20,41	17,77	14,13	9,98	5,35	0	14,1
SOBREGIRO	46%	34%	24%	16%	9%	2%	-10%	0%	15%
DESMULTIP.	2,5	2,3	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0		2,2

➤ Con bieleta de 50mm en la caña y 135mm de bieleta de las manguetas.

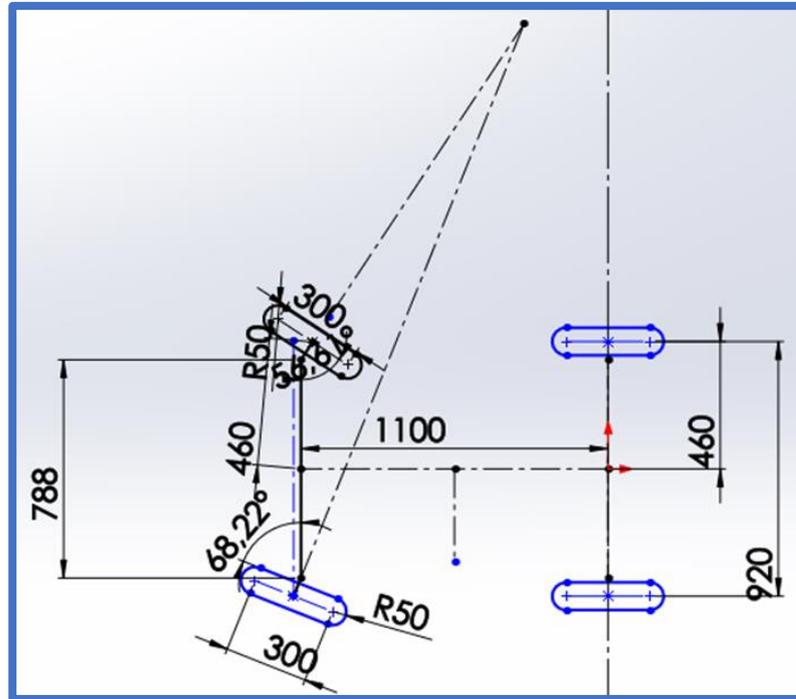
BIELETAS 50-135		GIRO EN GRADOS							PROMEDIO
GIRO VOLANTE	70	60	50	40	30	20	10	0	35,0
RUEDA INTERNA	25,4	21,44	18,53	15,17	11,51	7,67	3,79	0	12,9
RUEDA EXTERNA	16,39	15,67	14,32	12,38	9,9	6,95	9,53		12,2
SOBREGIRO	55%	37%	29%	23%	16%	10%	-20%	0%	19%
DESMULTIP.	3,4	3,2	3,0	2,9	2,8	2,7	1,5		2,8

Obtenemos, con los datos calculados, el siguiente gráfico comparativo



Analizando el gráfico obtenido llegamos a la conclusión de que, en los tres casos ensayados el ángulo Ackerman está multiplicado, cuanto más sobregiro tiene la rueda interna, más agarre conseguimos en el tren delantero y esta gira más de lo que corresponde a un ángulo Ackerman puro.

En la siguiente ilustración podemos observar como la intersección de las perpendiculares a las ruedas delanteras se produce por delante del eje trasero a diferencia de lo que ocurre con el Ackerman puro que referenciábamos anteriormente.

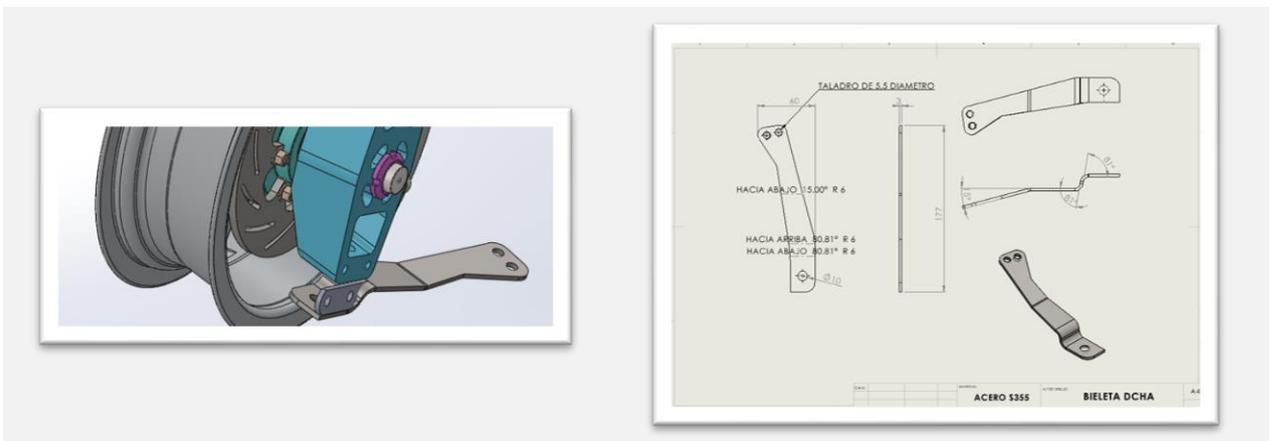


- Desmultiplicación de la dirección, al ser directa por bieletas, conseguimos que sea variable en función del giro del volante, siendo más directa para giros pequeños y más desmultiplicada para mayores ángulos, debido a la posición relativa entre las bieletas y las varillas de la dirección.

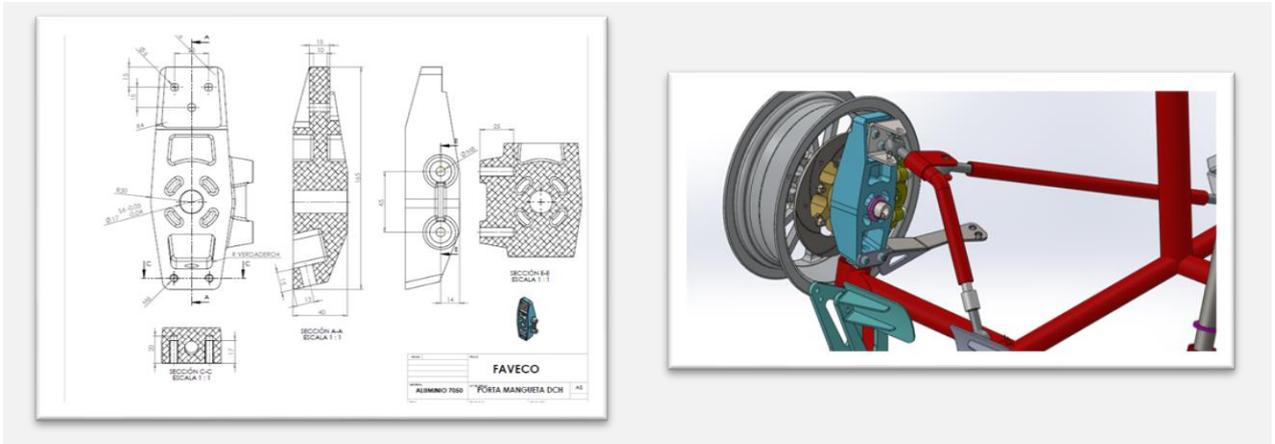
Como promedio de las tres configuraciones planteadas están entre 2.2 a 3.6.

## 2.2. Materiales y dimensiones de los elementos

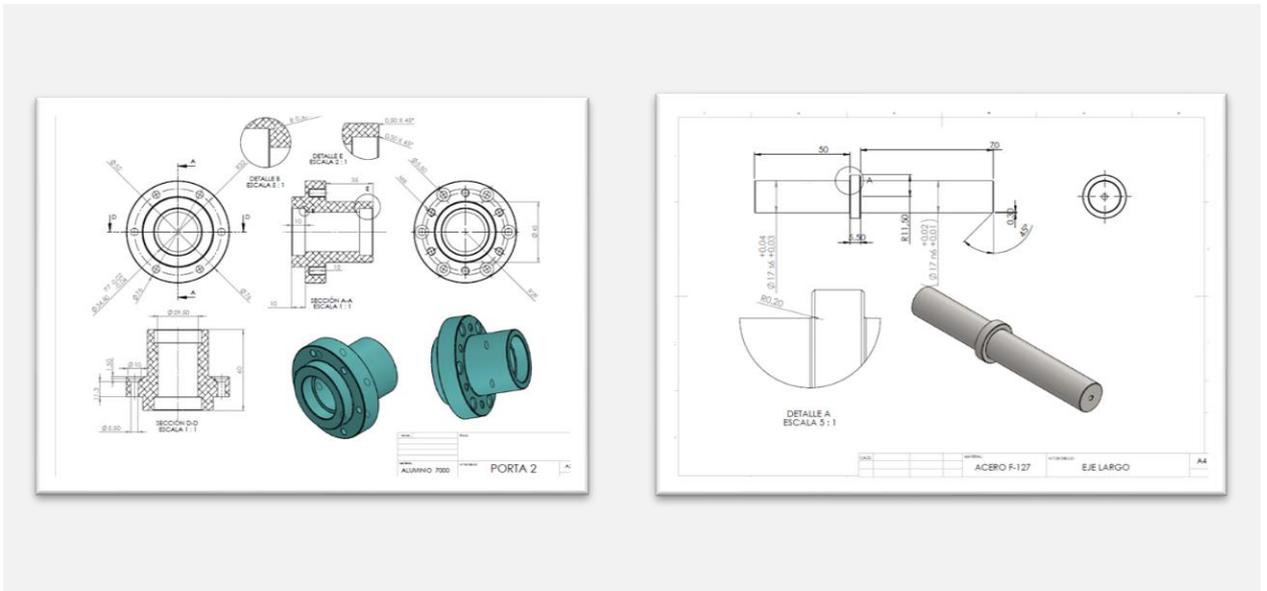
Las bieletas de la mangueta son de acero S355, están realizadas por corte laser y plegado a medida y según diseño.



La **mangueta** se realiza en aluminio 7050, diseñada específicamente para el vehículo y, mecanizada según diseño. Esta mangueta gira sobre una rotula de 12mm en la parte inferior (fijada al chasis) y una rotula de 10mm móvil, unidas al chasis mediante dos tirantes lo que permite modificar la caída y el avance.



El **eje** de 17mm de diámetro realizado en acero se embute por un lado en la mangueta y por otro extremo va alojado en un **buje** con sus correspondientes **rodamientos** y, en la llanta. Los elementos están mecanizados a medida según diseño. El eje en acero y el buje en aluminio 7000.



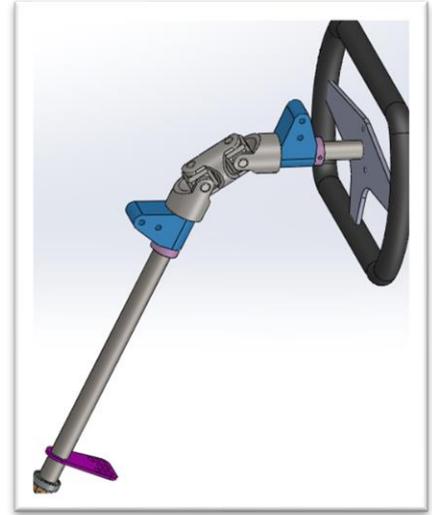
Gracias a la colaboración de **Jonatan**, de la empresa **Rojo soluciones metalúrgicas** hemos conseguido el corte y mecanizado de los elementos diseñados a medida para obtener esa geometría variable de la que hablamos durante todo el desafío.

### 2.3. Dimensiones del volante y número de vueltas

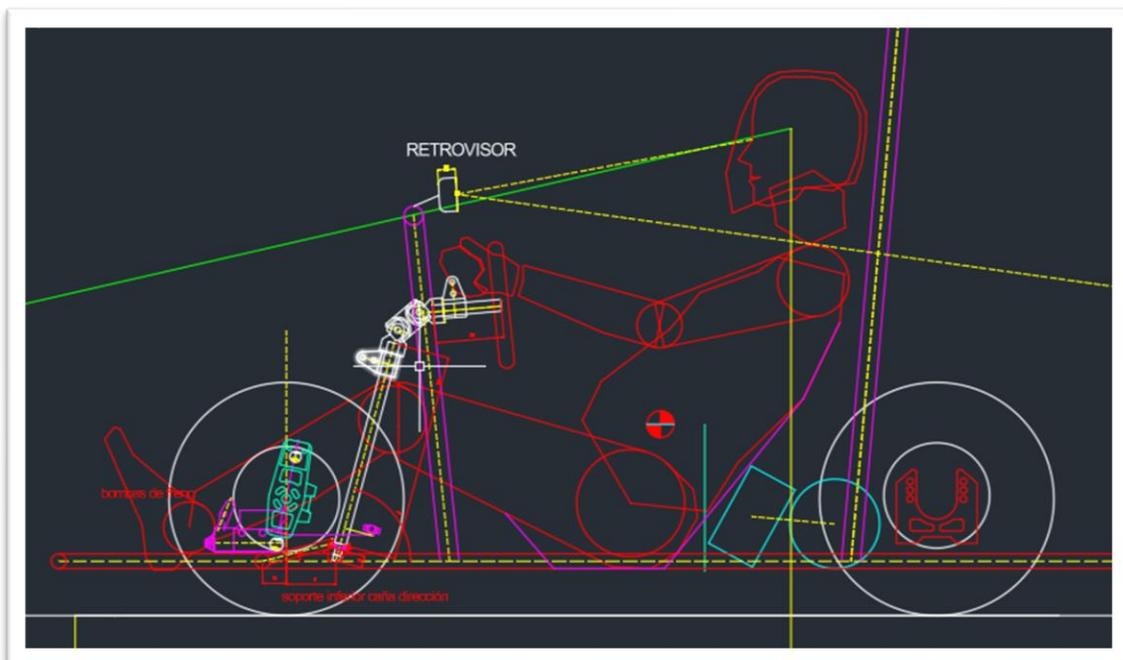
El volante tiene un giro de 140° totales, repartiendo 70° en cada sentido. Su diámetro es de 250mm diseñado así por razones aerodinámicas, con posibilidad de montar un volante de hasta 300mm de diámetro. Siempre pensando en lo más pequeño posible.

### 2.4. Tipo de columna de dirección y uniones cardan

✚ **Caña de dirección:** debido a la posición del piloto y la configuración del sistema en sí, necesitamos disponer de dos barras que transmitan el giro del volante hasta las ruedas. La barra que va unida al volante se sitúa en posición casi horizontal, mientras que la otra tiene una inclinación de unos 45° hacia abajo con respecto a la horizontal. Entre ellas se coloca una **junta cardan doble** para poder transmitir el movimiento con gran desfase angular y, obteniendo un movimiento de salida uniforme que no se consigue con una única cardan. Ambas cañas van sujetas al chasis por medio de soportes. Al final de la caña que baja a 45° se sitúa una leva con 8 orificios, cuyo cometido es que cada barra de acoplamiento entre la caña de dirección y la mangueta tenga 4 posiciones diferentes, para tener un Ackerman variable. Dicha caña descansará finalmente sobre un rodamiento.



✚ **Barras de acoplamiento:** consisten en tubos con los extremos roscados interiormente, para colocar rotulas de dirección con contratuerca, uniendo la leva de la caña de dirección y la mangueta. La longitud total de la barra de acoplamiento se puede variar roscando más o menos las rotulas y fijándolas con su contratuerca.



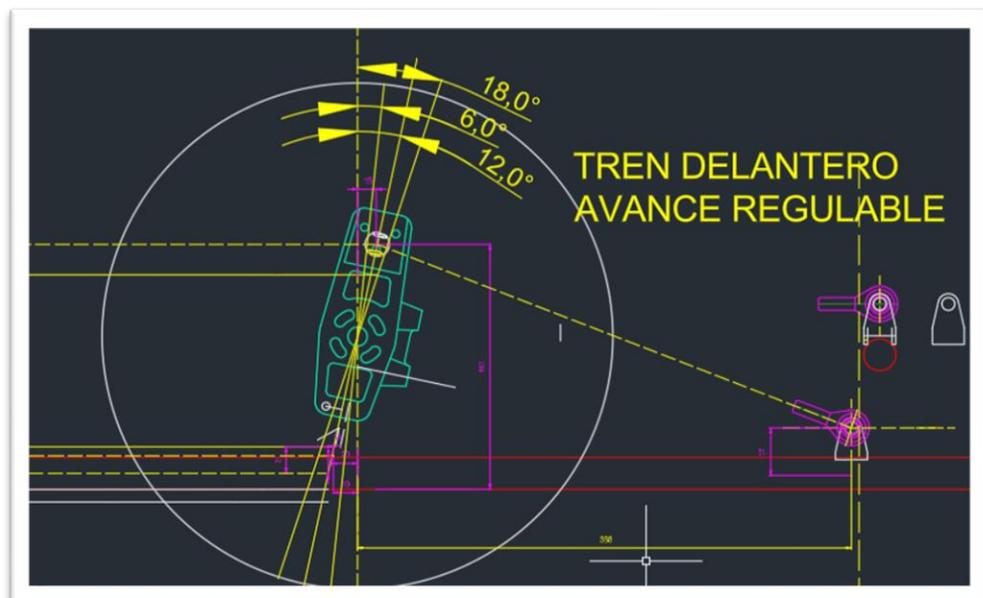
## 2.5. Tipo de dirección

Como se viene describiendo con anterioridad hemos optado por una **dirección directa por bieletas y variable** dependiendo del ángulo de giro del volante, debido a la posición relativa entre las bieletas y las varillas de la dirección. La desmultiplicación de la dirección en función de las tres configuraciones planteadas va de 1,2 a 3,6.

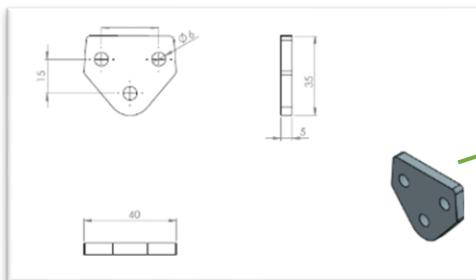
## 2.6. Geometría de dirección y ángulos principales

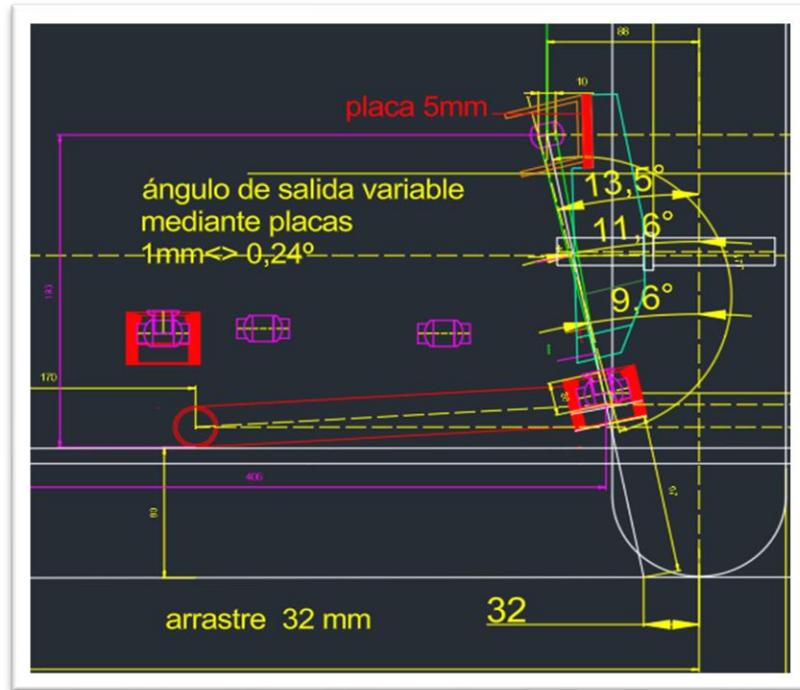
Del análisis realizado en el punto 2 de este desafío se describen a continuación los parámetros principales:

- ✚ **Ángulo de avance:** es el que forma el eje de giro de la mangueta respecto a la vertical en el sentido de la marcha. Será regulable entre  $6^\circ$  y  $18^\circ$  y, hemos determinado que será inicialmente de  $12^\circ$ .



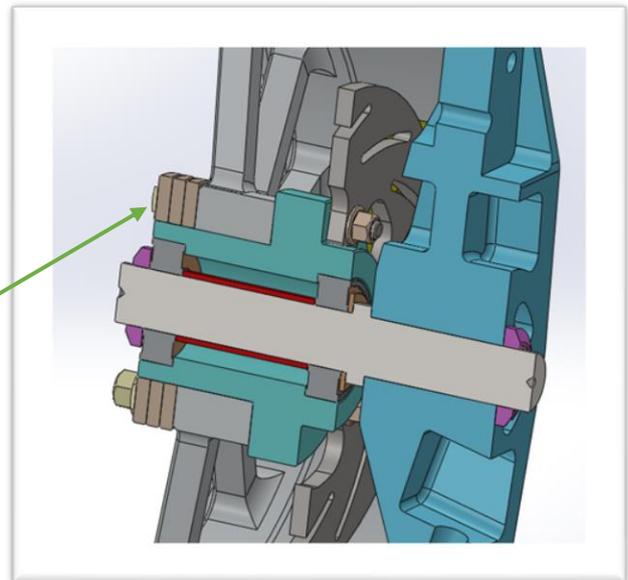
- ✚ **Ángulo de salida:** es el que forma el eje de giro con la vertical en el sentido transversal de la marcha. Se puede variar intercambiando las placas de acero que van entre la mangueta y la U de acero a la que va anclada la rótula superior, de tal manera que por cada mm de espesor de placa se varían  $0,24^\circ$ . Podemos conseguir una variación de  $9,6^\circ$  a  $13,5^\circ$ .





- ✚ **Caída de la rueda:** Las caídas serán cero, para ello se actuará sobre el tirante de la rótula superior, consideramos que no hay ninguna ventaja en llevar caídas diferentes dado que hemos elegido neumáticos de perfil redondo.
- ✚ **Arrastre:** es la distancia entre la intersección del eje de giro de la mangueta y el punto de contacto del neumático con el suelo. Influye en los cambios de altura de las ruedas al girar, a mayor arrastre, mayor variación y, con mayor variación de altura, mayor agarre del eje delantero. El reglaje de partida es de 32mm y la variación oscila entre 32mm y 44mm.

Mediante las **arandelas de color marrón**, intercaladas entre el buje delantero y la llanta, podemos variar hasta 4mm por arandela, consiguiendo una variación que oscila entre los 4mm y los 12mm.



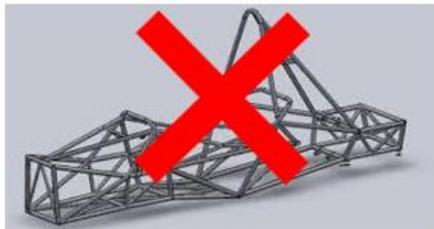
- ✚ **Convergencia:** el reglaje inicial será cero, paralelo. Un reglaje distinto tendría más rozamiento y por lo tanto tendría una influencia negativa para el consumo.

## 3. Suspensión

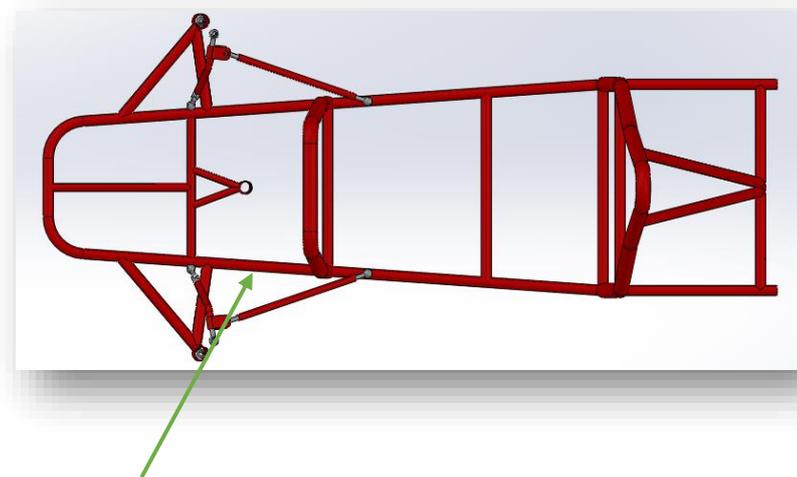
Partimos de la base de que uno de los objetivos principales que nos hemos marcado es, que el vehículo tenga el mínimo peso posible para garantizar un buen rendimiento dinámico, la elección del chasis y la suspensión está condicionada por dicho objetivo.

### 3.1 Diseño, materiales y previsión de esfuerzos

Por lo expuesto, se ha optado por un diseño de **chasis plano** que, por el material (tubo de acero 25CrMo4 de diámetro 25 y espesor de 1,5mm) y por la disposición de los tubos, trabajando a flexión y torsión, doten de flexibilidad al vehículo, garantizando a su vez, el contacto necesario con el suelo y, absorbiendo las irregularidades del terreno. Hemos descartado suspensiones articuladas que obligan a un chasis más pesado, con estructura reticular o multitubular.

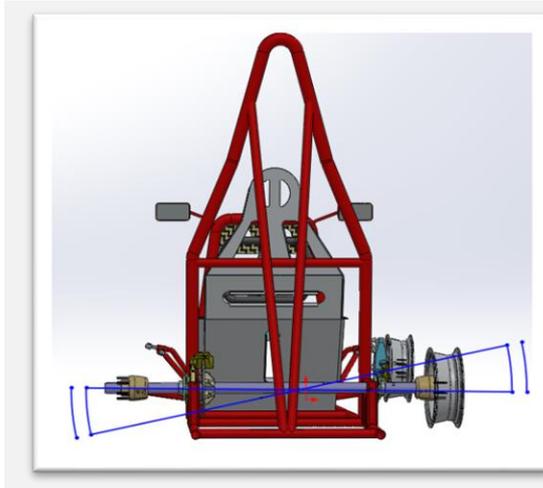


Chasis multitubular reticulado



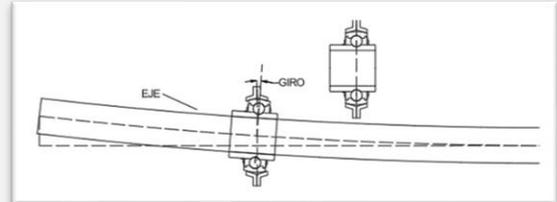
Chasis plano

- ✚ La **flexibilidad del tren delantero** viene determinada por la torsión de los largueros longitudinales del chasis
- ✚ La **flexibilidad del tren trasero** viene determinada por la torsión transversal del chasis, los soportes de los rodamientos permiten el movimiento del eje y la flexión del chasis.

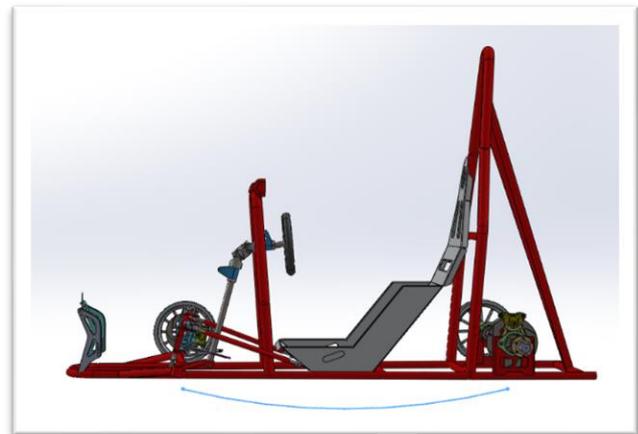


⚡ Eje trasero

Flexión y movimiento de los rodamientos en sus soportes



⚡ La flexión longitudinal del chasis también contribuye a la suspensión del vehículo.



### 3.2. Llanta y neumáticos

Nos hemos decantado por neumáticos de perfil esférico, con el objetivo de reducir al máximo las fuerzas de rozamiento de la rodadura y por llantas de aluminio para reducir el peso.

Las **llantas** elegidas son unas "Dagani" multi-radio fabricadas de aluminio 6082 con un peso de 720g. Su orificio central para el buje tiene un diámetro de 45mm, posee 12 orificios de fijación de 6mm formando un círculo de 58mm.

Los **neumáticos** son unos MITAS B5 SUPER 4.00-8 TT 71J, de 4" de anchura y 8" de diámetro. Se ha optado por estos por su banda de rodadura tipo balón obteniendo agarre suficiente y a su vez una huella de rodadura pequeña, minimizando el rozamiento.



### 3.3. Recorrido de la suspensión

Por todo lo descrito, esperamos un **recorrido de la suspensión** (movimiento vertical de una de las ruedas sin que el resto despegue del suelo) de unos 25mm-30mm, considerándolo suficiente para el comportamiento dinámico del vehículo, dada la baja potencia y el diámetro de las ruedas (ayuda a absorber irregularidades).

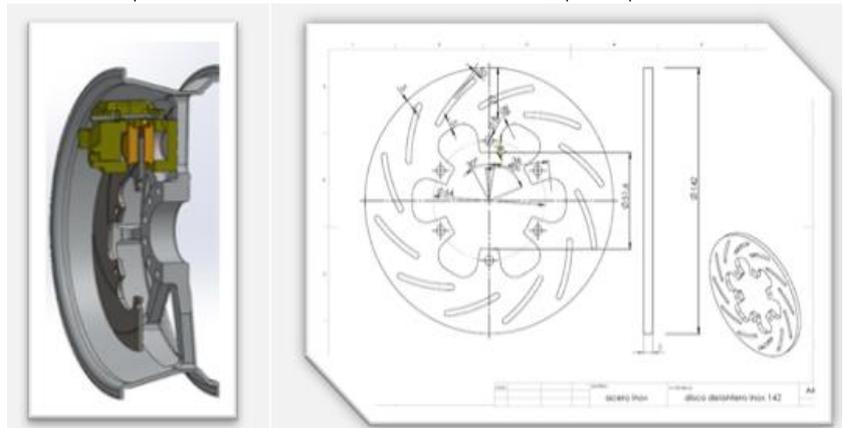
## 4. Frenos

El sistema de frenos es de **dos circuitos independientes** con discos de freno.

### 4.1. Descripción del sistema de freno delantero y trasero

Se ha diseñado teniendo en cuenta que el eje trasero es rígido, por ello la frenada se logra mediante un disco de freno montado directamente en dicho eje, lo que asegura que ambas ruedas traseras reduzcan la velocidad de manera uniforme, además de los dos discos de freno en las ruedas delanteras.

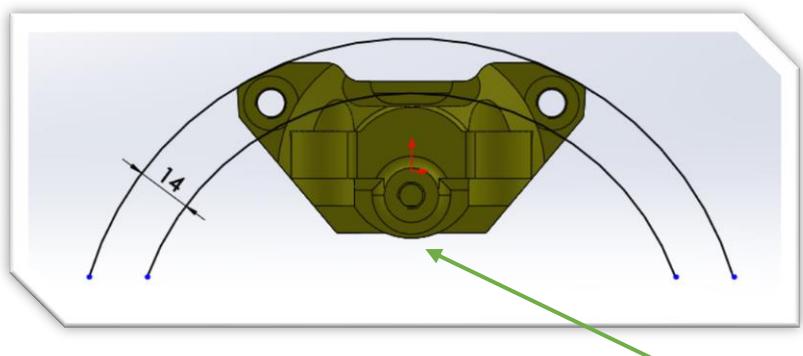
Ha sido determinante la elección de las pinzas de freno del tren delantero, para poder montar los discos de freno del mayor diámetro posible sin que la pinza interfiera con la llanta. Estos **discos de freno delanteros** son de acero inoxidable, de diámetro 140mm y un espesor de 4mm, han sido realizados con corte laser según diseño y, mecanizados y rectificados posteriormente.



Llevan ranuras para facilitar la eliminación del polvo del desgaste de la pastilla y la mejora de la frenada en lluvia, van dentro de la llanta por razones de aerodinámica y por ello necesitamos unas pinzas donde la distancia entre la circunferencia de la parte superior de la pastilla y la de la parte exterior de la pinza sea la menor posible.

Las **pinzas de freno** elegidas tienen la toma del latiguillo concéntrica con el pistón y son de doble pistón de 24mm.

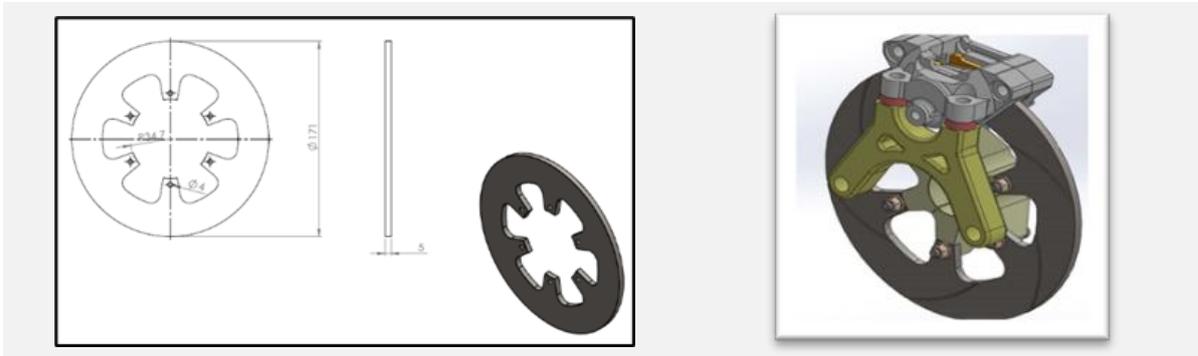
Los **latiguillos** del tren delantero dispuestos en "Y" y con conexiones tipo banjo.



Distancia diámetro disco de freno y exterior de la pinza y toma del latiguillo.

El disco de freno trasero es de acero inoxidable, tiene 170mm de diámetro y 4mm espesor. Mecanizado según diseño y posteriormente rectificado.

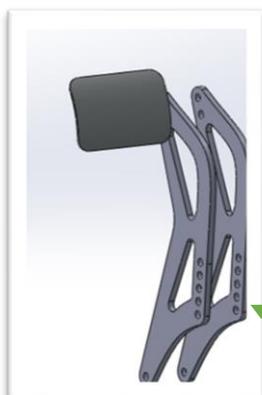
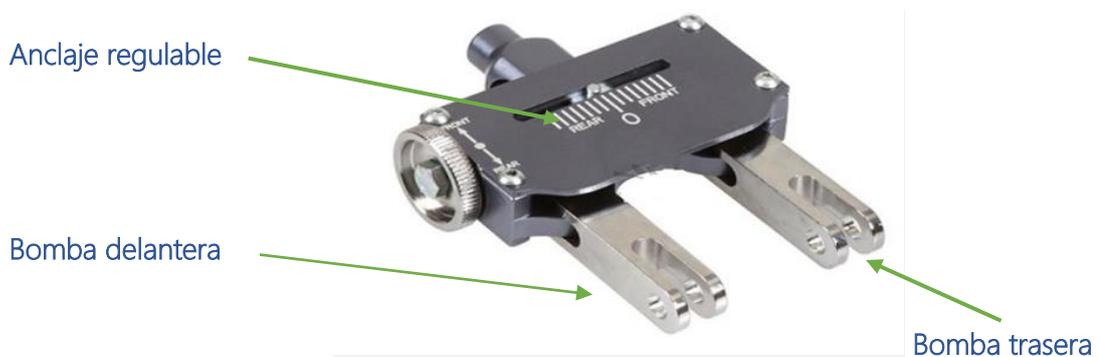
La pinza de freno trasera, de diseño compacto y ligero es de doble pistón de 24mm



## 4.2. Tipo de accionamiento y reparto de frenada

El sistema de accionamiento es **hidráulico**. Este sistema es crucial para garantizar el control y la seguridad durante la conducción. El pedal de freno es el punto de entrada de la fuerza generada por el piloto, esta fuerza se transmite de forma directa hacia dos bombas de freno, una para el eje delantero y otra para el trasero, generando la presión de frenado. Esta presión es transmitida gracias al líquido hidráulico a través de los latiguillos, y consigue mover los pistones de las pinzas, que empujan las pastillas contra el disco, creando fricción. La fricción reduce la velocidad del eje trasero / delantero y, finalmente la del vehículo.

Las bombas de freno son de 20 mm para favorecer un buen tacto de frenada en detrimento de la fuerza de frenada ya que tenemos un motor de baja potencia y una huella de neumático pequeña.



El **pedal de freno** debe ser sólido, que nos permita una buena dosificación de la frenada. Podrá variarse la altura del tiro de las bombas para adecuar la fuerza de frenada y progresividad adecuándose a la adherencia del asfalto.

También se puede variar la potencia de frenado en cada eje variando la distancia del punto de anclaje a cada bomba. La fuerza en cada bomba será inversamente proporcional a la distancia del anclaje a la bomba

**Anclaje variable tiro de las bombas**