



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

PROYECTO FIN DE CARRERA

Título del Proyecto

**OPERACIÓN, DISEÑO Y MONTAJE DE UN
SISTEMA DE FRENO PARA MOTOCICLETAS**

MEMORIA

AUTOR: Germán Casanova Sánchez

DIRECTOR: José Luis Santolaya Sáenz

TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Industrial Mecánica

CONVOCATORIA: Diciembre 2012

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación, en concreto al Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería, y en especial, a mi director de proyecto, D. José Luis Santolaya Sáenz, a quien agradezco su ayuda, dedicación y consejos recibidos a lo largo de todo el proyecto.

A mis padres, José Luis y María Resurrección, a mi hermano, David, a mi novia, Elisa, a mis amigos y compañeros de universidad, por su paciencia y apoyo en todo momento.

A todos ellos, GRACIAS.

RESUMEN

El objeto de este trabajo ha sido el análisis detallado del funcionamiento de un freno delantero de motocicleta, el diseño y modelado de un sistema de freno con mando radial para motocicletas de gran cilindrada y la elaboración de un completo manual de instrucciones para realizar operaciones de montaje, reparación y sustitución.

Para ello, se han estudiado diferentes tipos de freno, sus características y su modo de operación en motocicletas y se ha revisado la correspondiente normativa aplicada a sistemas de frenado. Utilizando como referencia una motocicleta de alta cilindrada y teniendo en cuenta la dinámica básica en frenada, se ha realizado el modelado 3D y cálculo de un sistema de freno delantero. En la optimización del sistema se han tenido en cuenta aspectos como la integración en el vehículo, la adecuada adaptación al piloto y la reparación o sustitución de componentes. Este sistema está formado por dos partes esenciales: el sistema de mando situado en el manillar y accionado por el piloto con su mano derecha y el sistema de actuación, montado en la rueda delantera para ejercer finalmente la fuerza de frenado.

ÍNDICE

1. EL SISTEMA DE FRENOS EN MOTOCICLETAS.....	5
1.1. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	6
1.2. TIPOS DE FRENOS.....	8
1.2.1. FRENOS DE TAMBOR.....	8
1.2.2. FRENOS DE DISCO.....	9
1.2.3. DISCOS VS TAMBOR.....	10
1.3. FUERZAS DE FRENADO.....	12
1.3.1. MOTOCICLETA MODELO.....	12
1.3.2. ANÁLISIS DE LA FRENADA.....	17
1.3.3. INERCIA DE ROTACIÓN RUEDAS Y CADENA CINEMÁTICA...	21
1.3.4. CÁLCULOS DE FUERZAS DE FRENADO.....	25
1.3.5. MULTIPLICACIÓN MECÁNICO-HIDRÁULICA.....	30
2. DISEÑO DE UN SISTEMA DE FRENO DELANTERO.....	34
2.1. SISTEMA DE MANDO.....	34
2.1.1. DISEÑO OPERATIVO.....	34
2.1.2. DISEÑO ERGONÓMICO.....	37
2.1.3. COMPONENTES DEL SISTEMA.....	39
2.2. SISTEMA DE ACTUACIÓN.....	50
2.3. ANÁLISIS RESISTENCIA MECÁNICA.....	54
3. MANUAL DE INSTRUCCIONES.....	59
3.1. ASPECTOS PREVIOS Y CONSIDERACIONES.....	59
3.2. INSTRUCCIONES DE ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE....	60
3.3. INSTRUCCIONES DE MONTAJE Y UTILIZACIÓN.....	61
3.3.1. MONTAJE.....	62
3.3.2. LLENADO.....	66
3.3.3. INSTRUCCIONES DE PRIMERA UTILIZACIÓN.....	67
3.3.4. INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO.....	68
3.4. REPARACIÓN, SUSTITUCIÓN Y CAMBIO DE COMPONENTES.	70
3.5. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS.....	75
4. BIBLIOGRAFÍA.....	77

1. EL SISTEMA DE FRENOS EN MOTOCICLETAS

En las primeras décadas de la automoción, especialmente en el caso de las motocicletas, los frenos eran accionados mediante sirgas de acero. Estas sirgas transmitían la fuerza ejercida por la mano o el pie del piloto del mismo modo que hoy en día lo hacen con las bicicletas. Este sistema resultaba claramente ineficiente y pronto se pasó a incorporar circuitos hidráulicos que amplificaban la fuerza del piloto enormemente.

Durante la primera mitad del siglo XX todas las motocicletas empleaban frenos de tambor. Estos frenos eran perfectamente válidos, pero se calentaban con facilidad, eran algo pesados y cambiar el ferodo de sus zapatas resultaba complicado.

A mediados de la década de los años 70 comenzaron a verse frenos de disco en las motocicletas de gama alta. Solamente se montaban en la rueda delantera y su precio resultaba elevado pero, poco a poco, debido a su mejor comportamiento, se fueron generalizando al igual que en el caso de los automóviles.

Hoy en día todas las motocicletas de gama media-alta poseen frenos de disco en ambas ruedas y en ocasiones el disco de la rueda delantera es doble. Algunas motos de gama media conservan el freno de tambor en la rueda trasera y tan solo las motocicletas más sencillas poseen tambores en el eje delantero, es el caso de algunos modelos de scooter que podemos encontrar actualmente en el mercado.



Figura 1. Motocicleta equipada con frenos de doble disco en la rueda delantera.

1.1. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

El circuito completo de frenos de una motocicleta se halla dividido en dos partes. Cada una de ellas, es un circuito menor completamente independiente, uno para frenar la rueda delantera y otro para realizar la misma acción en la rueda trasera. El freno de la rueda trasera se realiza con el pie derecho y es menos empleado que el freno delantero debido a efectos dinámicos.

El freno delantero es accionado con la mano derecha y este accionamiento se realiza mediante un circuito hidráulico cerrado con tres elementos claramente diferenciados: el accionamiento, los latiguillos y elementos de unión y las pinzas de freno.

El mecanismo de accionamiento consiste básicamente en un pequeño pistón accionado por una maneta. Los latiguillos están formados por tubos poliméricos o metálicos flexibles y, al mismo tiempo, muy resistentes a la presión. Estos tubos están diseñados para mantener el volumen invariable a pesar de las elevadas presiones que puedan alcanzarse en su interior. De lo contrario, el mecanismo tendría una carrera imperfecta en el accionamiento y no funcionaría correctamente.

Las pinzas de freno son piezas muy rígidas, construidas en aluminio o forjadas en acero, en cuyo interior llevan mecanizados diversos conductos y los alojamientos de varios pistones. Estos pistones ofrecen en conjunto una superficie mayor que la del pistón de accionamiento, aumentando así la fuerza del mecanismo por el Principio de Pascal. Los pistones empujan las pastillas de freno cuando realizan su carrera, produciendo el frenado de la rueda delantera.

Las pastillas de freno, son componentes consumibles del sistema formados por una sustancia conocida como “ferodo” de alto coeficiente de rozamiento y resistencia al desgaste. Antiguamente estaban compuestas principalmente por amianto, debido a la resistencia de este material a las altas temperaturas. Pero hoy en día, debido al riesgo cancerígeno de este material, se fabrican con materiales poliméricos especiales.

Los discos de freno son dos rotores de acero anclados a la llanta de la rueda. Tienen una superficie lisa sobre la que se produce el rozamiento de las pastillas durante el giro del rotor a través de las pinzas de freno. El frenado se produce, por tanto, gracias al rozamiento entre las pastillas y los discos de freno, transformando la energía cinética del vehículo en calor. Debido a la enorme generación de calor en el

proceso, los discos de freno son diseñados para evacuar el calor utilizando diseños intrincados con una gran superficie.

Con un movimiento de la maneta, las pastillas de freno avanzarán menos de un milímetro, pero con su fuerza enormemente amplificada. El sistema es reversible y el recorrido inverso es llevado a cabo por un muelle que hace retornar el mecanismo a su posición original cuando deje de ser accionado.

1. Maneta-bomba de freno
2. Vaso de expansión y reserva de líquido de frenos
3. Disco de freno
4. Pinza de freno
5. Válvula de sobrepresión y válvula de purgado
6. Centralita

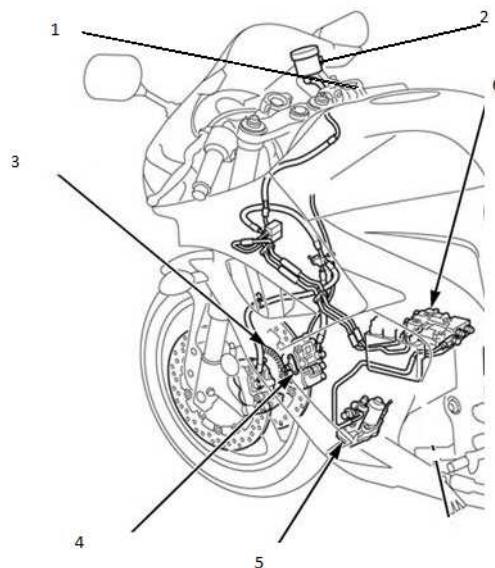


Figura 2. Esquema del circuito de freno delantero en una motocicleta de gran cilindrada.

1.2. TIPOS DE FRENO

Es cierto que la mayoría de las motos actuales llevan discos de freno pero los más veteranos recordarán que esto no ha sido siempre así, es más, en la actualidad, todavía las hay con freno de tambor.

Vamos ahora a hacer un breve comentario sobre estos dos sistemas de freno.

1.2.1. FRENOS DE TAMBOR

La mayoría de las motos actuales llevan discos de freno pero algunas todavía emplean freno de tambor en su parte posterior.

El freno de tambor es eso: un tambor, normalmente de hierro fundido, cuyo funcionamiento es el siguiente:

La presión del líquido de frenos hace que los pistones de los cilindros accionen las zapatas y las bandas de éstas entran en contacto con el tambor produciendo la fricción y frenando la rueda.

• VENTAJAS

- La temperatura de trabajo es menor que en los frenos de disco.
- Están mejor protegidos de la suciedad exterior.

• INCOVENIENTES

- La disipación del calor es menor que en el disco.
- El reglaje y cambio de material es más complicado.

Para que un freno de tambor sea bueno es necesario, entre otros elementos, tener un adecuado tamaño al uso que se le va a destinar, capacidad para soportar altas temperaturas y disipar rápidamente el calor.

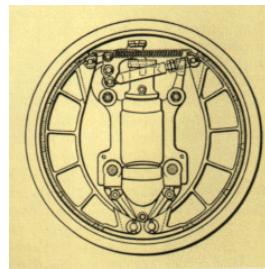


Figura 3. Esquema de un freno de tambor.

1.2.2. FRENOS DE DISCO

Los frenos de disco más utilizados son los de pinza que puede ser flotante o fija.

En la pinza flotante hay un cilindro y un pistón y en el de pinza fija normalmente dos cilindros con sus pistones enfrentados.

El funcionamiento es sencillo:

Si es de pinza flotante, el líquido de frenos a presión, proveniente de la bomba, desplaza el pistón y éste aprieta la pastilla contra el disco; la fuerza de reacción desplaza la pinza para que la pastilla opuesta entre en contacto con el disco.

Si es de pinza fija son los pistones situados a ambos lados del disco los que al frenar se desplazan simultáneamente apretando las pastillas contra el disco.

• VENTAJAS

- Respuesta casi inmediata.
- Disipación del calor por el aire que recibe directamente por ambos lados.
- La propia fuerza centrífuga de los discos al girar permiten "limpiarlos".
- Mantenimiento y ajuste sin problemas.

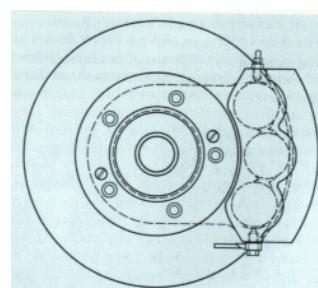


Figura 4. Esquema de un freno de disco.

1.2.3. DISCOS VS TAMBOR

Realmente pocas personas tienen idea del gran esfuerzo que tienen que realizar los frenos para detener nuestra moto cuando va a gran velocidad.

Por ejemplo: el motor de la SUZUKI GSXR1000 necesita poco más de 10 s para ponerse a 220 km/h partiendo del reposo, y los frenos logran pasar de 220 Km/h a 0 Km/h en poco más de 6 s.

Esto significa que los frenos deben desarrollar una potencia muchísima mayor que el motor.

Esta energía por unidad de tiempo es transformada en calor y son los frenos los que absorben dicho calor y lo disipan.

De ahí que una preocupación constante del fabricante sea la de lograr un sistema de frenos con la mayor capacidad posible de disipación del calor, amén de una alta resistencia a temperaturas elevadas.

La parte más caliente del sistema de frenos se localiza en donde el material de fricción entra en contacto con los discos o el tambor.

Es imprescindible una buena refrigeración para mantener una frenada eficaz.

La refrigeración de los discos es inmediata por el aire que recibe directamente en su superficie, sin embargo, esto en el freno de tambor no sucede.

Hay que tener en cuenta que es un tambor, normalmente, de hierro fundido. Esto significa que en el interior del tambor la temperatura es muy elevada, y para que los frenos no pierdan eficacia, el tambor debe disipar el calor rápidamente y soportar temperaturas excesivas. Esto ya no es posible con las prestaciones de las actuales motocicletas de gamas medias y altas.

Otro aspecto clave para determinar la eficacia del disco frente al tambor consiste en establecer una relación entre el peso de la motocicleta y la superficie barrida por el freno, en el disco es mayor que en el tambor porque éste último sólo barre un lado, el de dentro.

Esta es precisamente otra preocupación del fabricante: lograr una mayor área de barrido por kilogramo de peso de la motocicleta.

Los frenos de tambor, realmente, han quedado relegados a motos de bajas prestaciones y los fabricantes se han centrado en evolucionar los discos de frenos.

La última tendencia son discos de "flor" fabricados con acero inoxidable y carbono especialmente tratados.

Puede observarse que algunos discos presentan muchas ranuras y agujeros y tienen forma como de flor, con esto lo que se pretende es reducir la temperatura de trabajo, lograr una mayor disipación del calor, mayor limpieza al eliminar más rápidamente las partículas de polvo que se acumulan entre el disco y la pastilla, menor tendencia a la deformación aparte de un menor peso y una estética atractiva.

De hecho estas son las variables con las que están trabajando los fabricantes.

Los discos de freno de última generación son una alternativa a los de serie pero realmente son un capricho, si se adquieren hay que tener la certeza de que el sistema de frenos se sentirá "aliviado" al colocar estos discos, "sufre" menos y lo "agradecerá".



Figura 5. Esquema de un disco con diseño en “flor”.

1.3. FUERZAS DE FRENADO

En este apartado se van a analizar las fuerzas en diferentes partes de la motocicleta y la transferencia de masas entre los ejes debido al comportamiento dinámico del conjunto.

1.3.1. MOTOCICLETA MODELO

Para el cálculo y redacción de este proyecto se tomarán como referencia motocicletas de gran cilindrada (1000 cc) de los principales fabricantes. El comportamiento dinámico de estas motos ha sido estudiado en numerosas ocasiones por todos los fabricantes desde hace cuarenta años por lo que poco a poco se ha llegado a un modelo optimizado. Independientemente de si la moto es japonesa, italiana o alemana su distancia entre ejes, altura del centro de gravedad, peso y ángulo de la horquilla (entre otros datos) son prácticamente constantes en todos los modelos.

		Distancia entre ejes (mm)	Frenos delanteros (mm)	Altura asiento (mm)	Llanta delantera (pulgadas)	Neumático delantero
Tetracilíndricas de 1000cc	Aprilia RSV 4	1420	Doble disco Ø 320	845	17	120 / 70 ZR
	BMW S1000RR	1432	Doble disco Ø 320	820	17	120 / 70 ZR
	Honda CBR 1000R	1410	Doble disco Ø 320	820	17	120 / 70 ZR
	Kawasaki ZX	1425	Doble disco Ø 310	813	17	120 / 70 ZR
	MV Augusta	1430	Doble disco Ø 320	830	17	120 / 70 ZR
	Suzuki GSX 1000	1415	Doble disco Ø 310	810	17	120 / 70 ZR
	Yamaha R1	1415	Doble disco Ø 310	835	17	120 / 70 ZR
Bicilíndricas	Ducati 848	1430	Doble disco Ø 330	830	17	120 / 70 ZR
	Ducati 1098	1437	Doble disco Ø 330	825	17	120 / 70 ZR
	KTM RC8	1425	Doble disco Ø 320	825	17	120 / 70 ZR

Tabla 1. Datos y cotas de motocicletas de gran cilindrada existentes en el mercado.

En la tabla anterior se comprueba la similitud en las cotas de todos los modelos y el diámetro similar de sus discos de freno. En todos los casos las ruedas delanteras montan un doble disco de acero. Los pesos de las motocicletas no están expresados de la misma manera por todos los fabricantes. Las tres formas principales de expresar el peso de un vehículo son:

- Peso en seco: La motocicleta se encuentra sin ningún líquido (aceite, refrigerante, combustible, etc) por lo que es relativamente bajo.
- Peso en vacío: La motocicleta se encuentra con los líquidos necesarios para su funcionamiento pero con el depósito de gasolina por debajo del 20% de su capacidad total.
- Peso en orden de marcha: la motocicleta se halla con todos los líquidos y combustible y las herramientas y repuestos necesarios.

Comprobando numerosos catálogos y datos de fabricantes, se ha llegado a la conclusión de que el peso en orden de marcha para estos vehículos es de aproximadamente 200 Kg. Por ello se podrá “crear” una moto genérica en la que ensayar la dinámica de frenado y extraer los resultados a todos los vehículos similares.

	Distancia entre ejes (mm)	Frenos delanteros (mm)	Altura asiento (mm)	Llanta delantera (pulgadas)	Neumático delantero	Peso en orden de marcha (Kg)
Motocicleta genérica análisis	1410	Doble disco Ø 320	820	17	120 / 70 ZR	200

Tabla 2. Datos de la motocicleta tomada como referencia.

En las pruebas teóricas de frenada se añade un piloto de 70 Kg de peso y en aquellas con el sistema en condiciones de MMA (masa máxima autorizada) un motorista y acompañante cada uno de 90 Kg, por tanto con MMA = 380 Kg (200 Kg + 90 Kg * 2).

Determinación de la posición del centro de gravedad de la motocicleta:

- DISTANCIA DEL CENTRO DE GRAVEDAD (CDG) AL EJE DELANTERO:

De acuerdo a catálogos, se observa que el peso de la motocicleta se encuentra repartido correctamente en sus ejes, soportando algo más el eje de la rueda delantera. En nuestra motocicleta genérica consideraremos un reparto de cargas de 105 kg en la rueda delantera y 95 Kg en la trasera o lo que es lo mismo: 52,5% y 47,5% del peso respectivamente en cada rueda.

Con estos datos y mediante el sumatorio de momentos en el eje delantero es posible hallar la distancia del CDG del vehículo a este eje:

$$\Sigma M_{rueda \; delantera} = P_{rueda \; trasera} * d_{entre \; ejes} - P_{total \; motocicleta} * d_{centro \; gravedad}$$

Con lo que hallamos que el CDG se encuentra a **670 mm** del eje de la rueda delantera.

- ALTURA DEL CDG:

Es un dato algo oscuro ya que de este dato depende mucho la conducción del vehículo y los fabricantes no lo proporcionan. En un laboratorio podríamos conseguir este dato en diversos vehículos, comprobando su reparto de cargas entre ejes y después inclinando la motocicleta con la ayuda de una peana. Conociendo la altura de la peana y la distancia entre ejes, y midiendo el nuevo reparto de masas, estableceríamos la altura del centro de gravedad al compararlo con el reparto de masas en posición horizontal.

En este caso se estimará la altura del centro de gravedad de la motocicleta de forma aproximada. En este tipo de vehículos, el CDG se halla en el conjunto del motor encima del cigüeñal, aproximadamente en la nona inferior de la carrera de los pistones. Observando los planos de diversos modelos, se ha estimado una altura de **570 mm**.

Las llantas de 17 pulgadas que portando un reumático 120/70 nos dan un radio de rodadura aproximado de 300 mm. El radio real será unos milímetros menor, pero dado que esta variación es distinta para cada modelo lo más preciso será tomar el radio de 300 mm.

Según los catálogos de fabricantes de llantas, discos de freno y neumáticos, la masa de las ruedas será la siguiente::

- Rueda delantera: llanta de aluminio más doble disco de acero de 320 mm con portadiscos, neumático y anillos separadores, 10 Kg.
- Rueda trasera: llanta de aluminio más disco de 220 mm de acero, corona y neumático, 11 Kg.

Determinación de la posición del centro de gravedad del piloto:

Los seres humanos tenemos diferente complejión y morfología, pero en general, nuestro centro de gravedad se halla a la altura de la cadera cuando nos encontramos erguidos y en nuestro estómago cuando la posición se asemeja a estar "en cucillas" que es la posición del motorista en el asiento. Con estos datos, situaremos el centro de gravedad del motorista y acompañante aproximadamente en su estómago, que se encuentra ligeramente más elevado que el asiento y unos centímetros más adelantado.

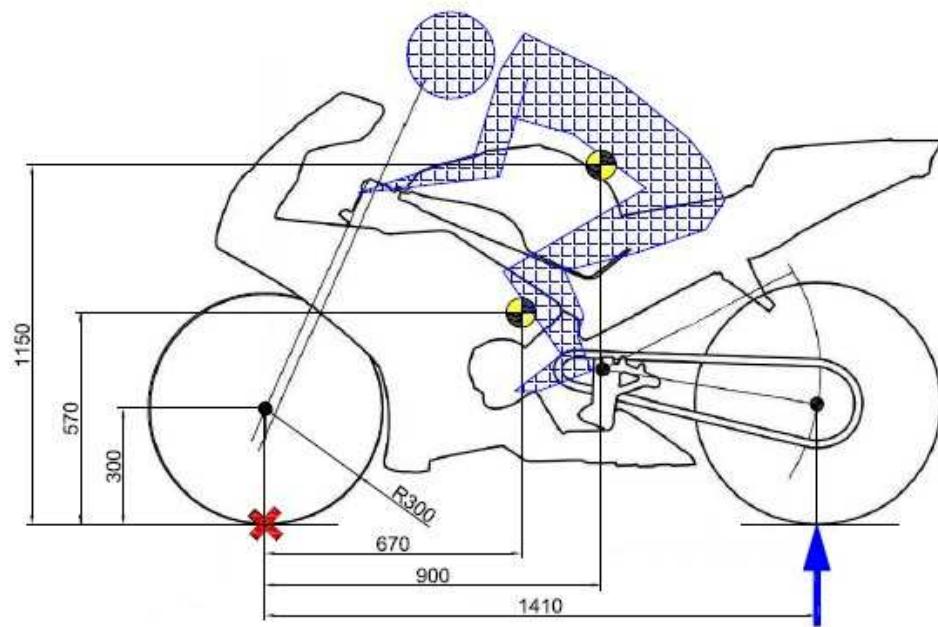


Figura 6. Situación de los centros de gravedad de la motocicleta genérica y su piloto.

Todos los datos anteriores se resumen en la siguiente tabla:

Motocicleta genérica análisis	Distancia eje delantero- CDG (mm)	Altura CDG (mm)	Masa sobre rueda delantera (Kg)	Masa sobre rueda trasera (Kg)
	670	570	10	11
	Peso rueda delantera (Kg)	Peso rueda trasera (Kg)	Masa piloto (Kg)	MMA (Kg)
	105	95	70	380

Tabla 3. Masas y centro de gravedad de la motocicleta a analizar.

Una vez obtenido el prototipo de la motocicleta, se definirá la operación de frenado.

1.3.2. ANÁLISIS DE LA FRENADA

A diferencia de lo que sucede en los automóviles, en las motocicletas el accionamiento del freno de la rueda trasera es independiente del de la delantera. Va a procederse en este proyecto únicamente al análisis del sistema de frenos de la rueda delantera. Tal y como se comprobará posteriormente, debido a la posición de los centros de gravedad y a la transferencia de masas al eje delantero de la motocicleta, adquiriendo por tanto una mayor importancia el freno delantero respecto al trasero. Es por este motivo, que estará dimensionado para soportar adecuadamente los esfuerzos a los que este sometido. También deberá tener un dispositivo que multiplique la fuerza lo suficientemente necesario, pero que al mismo tiempo conserve el tacto para calibrar la fuerza que sea precisa ejercer.

Cuando la motocicleta circula, las gomas del neumático ruedan sin apenas deslizamiento por el asfalto. La llanta de la rueda delantera lleva atornillado un disco de acero que gira solidariamente con ella. Dicho disco tiene un diámetro de 320 mm, frente a los 600 mm de la llanta, es por lo que un punto situado sobre el disco, llevará una velocidad lineal durante el giro de aproximadamente la mitad que el otro punto que se encuentre en la banda de rodadura (considerando giro en vacío, sin tener en cuenta el avance de la motocicleta). A continuación véase la siguiente figura:



Figura 7. Rueda con discos y pinzas de freno.

Mientras no exista deslizamiento debido al bloqueo de la rueda, la fuerza de interacción entre el asfalto y la rueda en el punto más inferior de ésta será la que haga

detenerse a la motocicleta. El valor máximo de esta fuerza será igual al producto de la masa que descansa sobre la rueda en ese instante, y multiplicado por la gravedad de la Tierra ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) y por el coeficiente de rozamiento rueda-asfalto, formulado de la siguiente forma:

$$M_{\text{rueda}} = \text{Masa de la rueda}$$

$$g = \text{Gravedad terrestre}$$

$$\mu_{\text{pavimento}} = \text{Coeficiente de rozamiento rueda-asfalto}$$

$$F_{\text{máxima de frenado}} = M_{\text{rueda}} * g * \mu_{\text{pavimento}}$$

Los coeficientes de rozamiento entre neumático y pavimento dependerán del estado del primero de ellos y el tipo de superficie por la que se circule. Véase la tabla siguiente:

COEFICIENTES DE ROZAMIENTO (μ)			
Terreno	Estado del terreno	Neumáticos	
		Nuevos	Viejos
Hormigón	Seco	0,9 - 0,7	0,6 - 0,4
	Mojado	0,6 - 0,4	0,4 - 0,3
Asfalto grueso	Seco	0,9 - 0,7	0,6 - 0,4
	Mojado	0,6 - 0,4	0,4 - 0,3
Asfalto normal	Seco	0,9 - 0,7	0,6 - 0,4
	Mojado	0,6 - 0,4	0,4 - 0,3
Barro		0,2	0,1
Hielo		0,1	0,1

Tabla 4. Coeficientes de rozamiento entre neumáticos y el pavimento.

Esta fuerza de rozamiento igual a la fuerza de frenada actúa sobre la banda de rodadura de la rueda, que puede girar libremente sobre su eje. Para detener el giro, las pastillas de freno son oprimidas por la fuerza hidráulica del circuito de frenos contra la superficie de los discos. Este contacto entre las pastillas y el disco crea una fuerza de rozamiento que debido a que el disco tiene un cierto radio, origina un par de fuerza capaz de detener la rueda de la motocicleta.

Debido al menor diámetro de los discos, para originar el par capaz de detener la rueda será necesaria una fuerza de rozamiento aproximadamente igual al doble del rozamiento rueda-pavimento.

Esta fuerza de rozamiento creada por las pastillas de freno sobre los discos, creará un par de giro ligeramente inferior al del contacto entre el neumático y el suelo. Si el par generado en los discos superase al par neumático-suelo, se produciría un bloqueo en la rueda, pudiendo causar un accidente.

Por ello, se comprende fácilmente que un buen sistema de frenos es aquel que permite al conductor crear en poco tiempo y con el menor esfuerzo posible el máximo par en los discos de freno sin llegar a rebasar el límite del bloqueo. Para ello será necesaria cierta sensibilidad a la hora de accionar la maneta de freno y una gran multiplicación de la fuerza transmitida a través del circuito hidráulico a la pinza de freno.

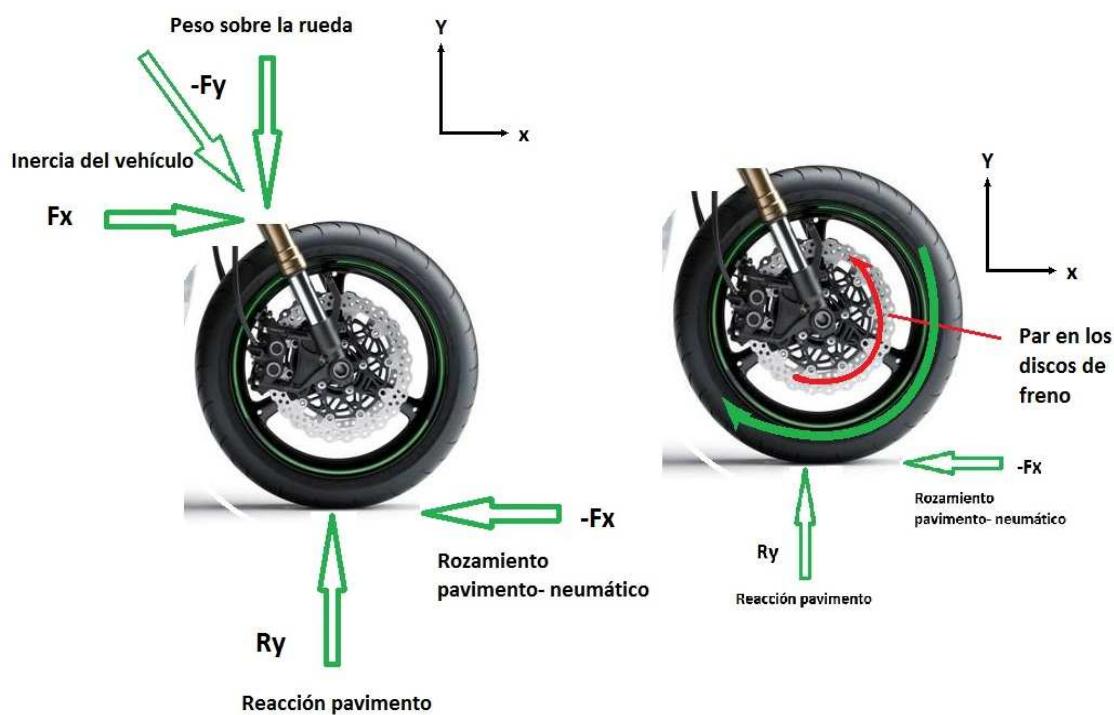


Figura 8. Fuerzas y momentos generados sobre la rueda delantera.

La fuerza de rozamiento que actúa sobre los discos será producida por la presión que ejercen los pistones. Para calcular esta presión, deberá tenerse en cuenta el coeficiente de rozamiento entre la superficie rozante de las pastillas y el acero del disco de freno.

FERODO	Desgaste	Coeficiente de fricción*	Desgaste del disco	Volumen desplazado**
	[Mm]	[-]	[g]	[Cm³]
DS 3000	2,04	0,51	13	2
DS 3000 Plus 03	2,26	0,58	16	1,9
DS 1:11	1,34	0,5	12	1,6
DS 2:11	1,53	0,62	3	1,3
DS 2500	3,12	0,39	10	3
DS 3000 Endurance	1,43	0,46	7	2,1

* Este coeficiente de fricción es un valor promedio obtenido a lo largo de todo el periodo de frenado, y para todo el rango de temperaturas de trabajo. En condiciones de funcionamiento óptimas, en las que los frenos alcanzan su temperatura de trabajo, los valores del coeficiente de fricción son mucho más altos a los descritos.

** Este volumen de líquido de frenos es el desplazado por un cilindro principal de freno durante una operación de frenado y no el volumen de líquido de frenos desplazado en la pinza.

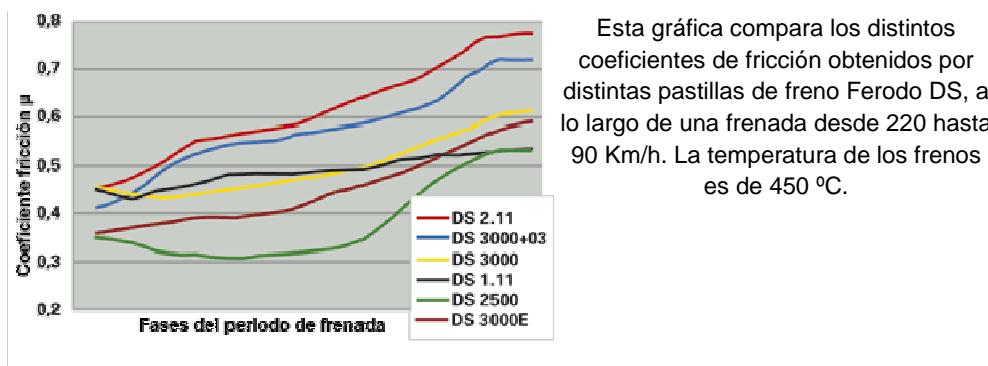


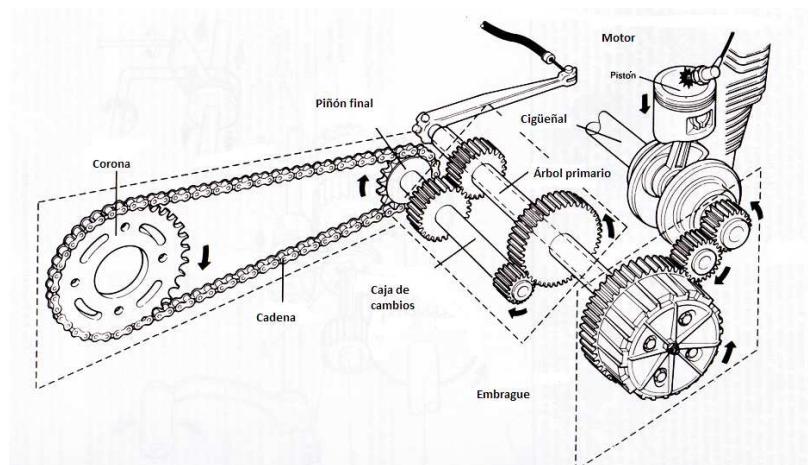
Tabla 5. Datos del coeficiente de rozamiento de pastillas de freno sobre un disco de acero.

En los datos proporcionados en la tabla 5, el ensayo se prolongó hasta agotar la vida de las superficies rozantes y los coeficientes de rozamiento que aparecen en la tabla son una media de los coeficientes a lo largo de la vida de cada modelo y para todo el rango de temperaturas de funcionamiento. El coeficiente en una situación con superficies rozantes en buen estado y temperatura correcta puede ser mucho mayor, superando incluso $\mu = 0,75$ para casi todos sus modelos según el fabricante.

1.3.3. INERCIA DE ROTACIÓN DE RUEDAS Y DE CADENA CINEMÁTICA

Cuando se quiere detener un sólido libre rígido, la fuerza a emplear será el producto de su masa total por la deceleración que se le desea aplicar. En el caso de un vehículo, habrá de tenerse en cuenta la rotación de los componentes de su cadena cinemática. Podemos dividir estos componentes en dos grupos principales:

- Las ruedas, que comprenden sus llantas, neumáticos, casquillos y rodamientos, discos de freno y portadiscos y en el caso de la rueda trasera, la corona de la cadena.
- La cadena de transmisión, que comprende: cigüeñal, volante de inercia, embrague, árboles y engranajes de caja de cambios, piñón y la propia cadena. Además, este grupo queda dividido a su vez en dos subgrupos dependiendo de la posición del embrague en cada momento, que puede aislar el cigüeñal y el volante de inercia del resto de la cadena de transmisión. Si se suman a esto los efectos del freno motor, los diferentes acoplos de los engranajes y sincronizadores, el cálculo de la inercia de la cadena de transmisión puede ser realmente complejo y variar de un modelo a otro, en especial de motocicletas bicilíndricas a tricilíndricas.



*Figura 9. Cadena cinemática de una motocicleta con transmisión final por cadena.
La caja de cambios aparece simplificada con solo dos marchas.*

Debido a las múltiples complicaciones que conlleva crear un modelo de cadena de transmisión, los ensayos teóricos se llevarán a cabo suponiendo el motor desembragado para evitar la ayuda del freno motor y a la poca inercia de la cadena de transmisión en comparación con la inercia total, se considerará nula.

Las ruedas de la motocicleta tienen una masa considerable respecto a la total del vehículo y su piloto. Esta masa en rotación es la que proporciona estabilidad al conjunto. Cuanto mayor sea la masa de las ruedas y su velocidad angular, mayor estabilidad tendrá la motocicleta y, al mismo tiempo, será más difícil de maniobrar y se requerirá un mayor trabajo para ponerla en movimiento y frenar. Una rueda ligera y de pequeño diámetro será útil para motocicletas cuyo motor no sea muy potente y en las que se busque la maniobrabilidad. Además, un pequeño diámetro de rodadura necesitará unos discos menores para ejercer el par de frenado.

Un ejemplo muy ilustrativo son las motocicletas custom Choppers, originarias de Estados Unidos tras la Segunda Guerra Mundial. Una Chopper es un tipo de motocicleta modificada que carece de elementos innecesarios. Puede estar basada en una motocicleta de producción o ser creada desde cero.

Se caracterizan por ser motocicletas delgadas, bajas por la parte de atrás y altas por la parte delantera, con horquillas muy largas (a veces exageradamente), la rueda del tren delantero delgada y la rueda trasera mucho más gruesa. En este caso sí se modifica el chasis e incluso en algunos casos se instala un chasis creado especialmente para convertir la moto en una chopper. Los manillares originales suelen sustituirse por "ape hangers" (cuelgamanos), llamados así porque dada su altura obligan a mantener los brazos en alto y dan la impresión de que el piloto va colgado de ellos, aunque también pueden verse choppers con manillares rectos y bajos, en los casos en los que el propio chasis deja las torres que sujetan el manillar a una altura equiparable a la de un cuelgamanos.

Así, en la actualidad existen matices sobre todo con el tipo de manillar y el ángulo de lanzamiento de la horquilla, pero básicamente es muy fácil reconocer una chopper por varios factores principales (aunque hay matices): Chasis estrechos y largos, mucho más altos por delante que por detrás, depósitos de combustible relativamente pequeños con respecto a una moto de origen, suspensiones traseras rebajadas o incluso inexistentes (chasis rígido), horquillas largas y muchas veces con suspensiones de muelles (Springer). La pintura suele ser colorista y llamativa, abundan los cromados y los brillos. La aerografía está muy presente a lo largo de toda la motocicleta.

Los usuarios de este tipo de motocicletas a menudo hacen trascender el hecho de poseer y usar sus máquinas hasta, en muchos casos, hacer de ello un estilo de vida.

En este caso lo que se busca con equiparlas con ruedas de gran tamaño y peso es la estabilidad, aunque las llantas suelen fabricarse en aluminio, debido a que un peso excesivo resulta perjudicial para las suspensiones, también se encuentran en el mercado llantas estampadas en chapa de acero. Los frenos de disco añaden inercias de rotación al conjunto de la motocicleta.

Por otro lado, nos encontramos con otro perfil de usuarios, los que prefieren sacrificar la estabilidad a favor de la maniobrabilidad, es el caso de los amantes de las conocidas motocicletas italianas Vespa, concebidas para desenvolverse en el tráfico de las grandes ciudades.

Estas motocicletas se caracterizan por su estética característica: una carrocería que no se ha visto prácticamente alterada desde el lanzamiento de sus primeros modelos y pequeñas ruedas que son aptas para emplear frenos de tambor. Además, la reducción de las inercias de rotación facilita la tarea de su pequeño motor.



Figura 10. Chopper “Fire Bike” (Homenaje a bomberos de Nueva York fallecidos en los atentados del 11-S).



Figura 11. Vespa 150GS (1955).

El cálculo de la inercia de rotación de las ruedas se realiza aproximando su geometría a un anillo en rotación. El momento de inercia para esta figura será:

$$I_x = \frac{1}{2} \times m_{rueda} \times r_{inercia}^2$$

Consideraremos que en nuestro modelo el radio en el que se concentra la masa de toda la rueda es de 250 mm = 0.25 m. Al tratarse la delantera y la trasera de dos ruedas del mismo diámetro, su velocidad angular será la misma. Consideraremos la inercia de rotación como la de una sola rueda de 21 Kg.

$$I_x = \frac{1}{2} \times 21 \times 0,25^2 = 0,65625 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Para comparar la importancia de la inercia de giro de las ruedas con la del sistema completo en desplazamiento lineal, compararemos la energía cinética almacenada en los dos casos a distintas velocidades.

$$E_{\text{cinética}} \underset{(\text{giro ruedas})}{=} \frac{1}{2} \times I_x \times \omega^2$$

$$E_{\text{cinética}} \underset{(\text{desplazamiento})}{=} \frac{1}{2} \times m_{\text{TOTAL}} \times V^2$$

Al ser la velocidad angular de las ruedas directamente proporcional a la velocidad de desplazamiento de la motocicleta y ambas magnitudes aparecer en forma cuadrática, ambas energías serán directamente proporcionales.

Velocidad desplazamiento (Km/h)	Velocidad desplazamiento (m/s)	Energía cinética traslación (J)	Energía cinética rotación ruedas (J)	Ec. rotación/Ec. traslación (%)
50	13,89	26046	705	2,71
80	22,22	66653	1806	2,71
100	27,77	104108	2821	2,71
120	33,33	149970	4064	2,71
200	55,55	416583	11289	2,71

Tabla 6.Datos de la comparativa de energías cinéticas a distintas velocidades.

Al ser la energía cinética de rotación de las ruedas siempre proporcional a la de traslación, siendo este porcentaje del 2,71, será despreciada. En el apartado de homologación añadiremos una fuerza extra en los mandos del 3% para compensar la omisión de esta energía en los cálculos.

1.3.4. CÁLCULO DE FUERZAS DE FRENADO

Para calcular la fuerza que es necesario ejercer entre todos los pistones de las pinzas de freno se aplicarán las siguientes condiciones:

- *Solamente se accionará el freno de la rueda delantera. El freno trasero quedará completamente libre.*
- *No se considerarán variaciones en la geometría propuesta. En un caso real la horquilla de una motocicleta se comprime debido a la fuerza a la que está sometida durante el frenado. Al mismo tiempo, al transferirse la masa a la parte delantera del vehículo, la suspensión trasera se relaja. De el mismo modo, el cuerpo del motorista tiende a cambiar su posición en unos centímetros. Estos cambios producen variaciones en la posición de los centros de gravedad que es imposible simular sin recurrir a ensayos reales ya que las suspensiones y su reglage tienen ciertas variaciones dependiendo del modelo y su ajuste, por lo que no los tendremos en cuenta.*

En el caso real, el juego de la suspensión provocará una rápida transferencia de masas, haciendo la frenada más eficaz durante los primeros momentos. Pero al mismo tiempo la nueva geometría facilitará el vuelco frontal por lo que los casos límite se darán ante deceleraciones menores que no se deberán rebasar.

- *La frenada será uniforme a lo largo del tiempo, desde su comienzo hasta la detención.*
- *El tiempo de reacción y el de accionamiento en vacío no se contará. El objetivo de la simulación es únicamente el cuantificar las fuerzas que se producen y la distancia necesaria para la detención.*
- *Inercia de rotación de las ruedas delantera y trasera y de la cadena de transmisión será despreciada.*

CASOS:**A) Se conoce la distancia de frenado:**

Con este dato y mediante la fórmula: $d_{frenado} = V \times t + \frac{1}{2} \times a \times t^2$

Resolviendo la ecuación diferencial: $d_{frenado} = \frac{1}{2} \times (V_0 + V_{final}) \times t$

En caso de querer detener el vehículo completamente: $d_{frenado} = \frac{1}{2} \times V_0 \times t$

Conocido el tiempo, despejaremos la aceleración : $\Delta V = a \times t$

Partiendo de la ecuación inicial, también es posible obtener la aceleración:

$$d_{frenado} = \frac{(V_0^2 + V_{final}^2)}{2a}$$

B) Se requiere una determinada deceleración:

En este caso, no tendremos que despejar las ecuaciones anteriores.

Esta situación se dará cuando se deba analizar el frenado para cumplir la normativa de homologación .

PROCESO DE CÁLCULO:**1) Fuerza para detener la motocicleta:**

$$F_{frenada} = (M_{motocicleta} + M_{piloto}) \times a_{frenada}$$

Esta fuerza se producirá en el punto de contacto entre la rueda delantera y el pavimento.

2) Transferencia de masas:

La deceleración produce un cambio en la distribución del peso que soporta cada rueda. La fuerza de frenado se produce en el punto más bajo de la rueda delantera mientras que los centros de gravedad del vehículo y el motorista se hallan a una cierta distancia sobre le vertical. En la frenada, ambas masas producen una fuerza de inercia horizontal a la altura de sus centros de gravedad (paralela al pavimento) que crea un momento de giro al hallarse sus centros de gravedad por encima del punto de contacto con el suelo. Este momento actuando sobre el conjunto motocicleta-piloto hace que la rueda delantera soporte mayor peso.

En el caso límite, la totalidad del peso se concentraría sobre la rueda delantera y si el momento debido a la aceleración aumentase, se produciría el vuelco frontal de la motocicleta. Para hallar la transferencia total de masa a la rueda delantera se realizará el cálculo de todos los momentos creados por las distintas fuerzas.

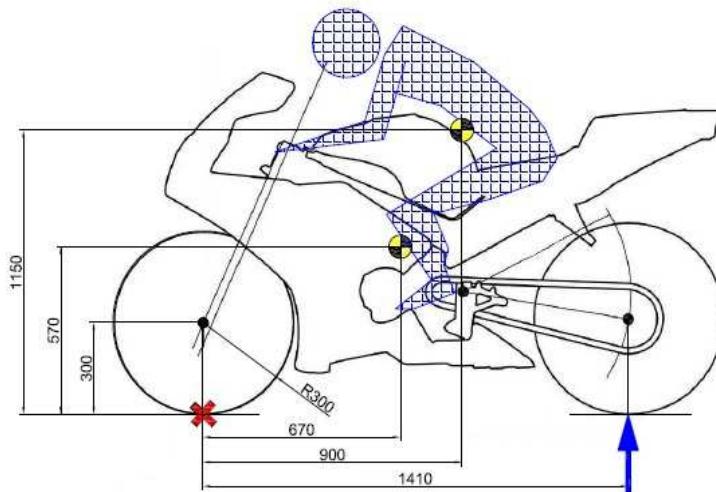


Figura 12. Situación de los centros de gravedad de la motocicleta genérica y su piloto.

A: punto de contacto de la rueda delantera y el suelo.

B: punto de contacto entre la rueda trasera y el suelo

R_B : reacción con el suelo

$$\sum M_A = 0$$

$$\begin{aligned} & -M_{\text{motocicleta}} \times g \times d_{\text{CDG motocicleta}-A} - M_{\text{piloto}} \times g \times d_{\text{CDG piloto}-A} + \\ & + M_{\text{motocicleta}} \times a_{\text{frenada}} \times h_{\text{CDG motocicleta}} + M_{\text{piloto}} \times a_{\text{frenada}} \times h_{\text{CDG piloto}} + \\ & + R_B \times d_{\text{ejes}} = 0 \end{aligned}$$

En caso de que el peso sobre la rueda trasera sea negativo habrá vuelco.

- 3) En el paso anterior queda despejado el peso que descansa sobre la rueda trasera. Al ser conocido el peso total del conjunto moto-motorista, el peso que gravita sobre la rueda delantera será la diferencia entre el total y el de la rueda trasera.

$$P_{\text{rueda delantera}} = P_{\text{TOTAL}} - P_{\text{rueda trasera}}$$

- 4) Comprobamos si hay bloqueo:

En el caso de que el coeficiente de rozamiento entre el neumático y el suelo sea menor del requerido, la rueda delantera se bloqueará y comenzará a deslizarse

sobre el pavimento. En la comprobación emplearemos la tabla de coeficientes que aparecía anteriormente (Tabla 5) y el peso que soporta la rueda delantera. Para que no haya bloqueo se cumplirá la siguiente condición:

$$F < F_{rozamiento}$$

$$(M_{motocicleta} + M_{piloto}) \times a_{frenada} < P_{rueda delantera} \times \mu_{pavimento-neumático}$$

- 5) Si se dan todas las condiciones anteriores, podremos calcular la fuerza que es necesaria en los pistones de la pinza de freno. Estos pistones empujan a las pastillas contra el disco de acero, por lo que deberemos introducir un nuevo coeficiente de rozamiento. Este coeficiente nos lo dará el fabricante en una tabla como la anterior, pero en nuestros cálculos tomaremos $\mu_{pastilla} = 0,45$. Este coeficiente es para unas pastillas más bien corrientes tras un uso prolongado, por tanto cualquier mejora en este consumible redundará en la eficacia y seguridad del vehículo. Además, la elección de un coeficiente bajo, actuará como un ligero coeficiente de seguridad en los cálculos del presente proyecto.

La fórmula empleada relaciona la fuerza en las pastillas con la fuerza de frenado y el par que ejerce cada una para el radio de su distancia al eje:

$$\sum F_{pistones} = \frac{P_{rueda delantera} \times \mu_{pavimento} \times r_{rodadura}}{r_{disco} \times \mu_{pastilla}}$$

De este modo conoceremos la fuerza requerida por el conjunto de todos los pistones y a partir de ese dato se dimensionará el mecanismo que ocupa el proyecto.

Ejemplo:

Se requiere que la motocicleta-prototipo sea capaz de detenerse en un espacio de 55 m cuando circula a 100 Km/h:

- 1) Cálculo de la aceleración y del tiempo de frenado.

$$a_{frenada} = -5,8 \frac{m}{s^2}$$

$$t_{frenada} = 3,96 s$$

- 2) Cálculo de la fuerza de frenado. Esta es la que se producirá en el punto de contacto del neumático con el pavimento.

$$F_{frenada} = (M_{motocicleta} + M_{piloto}) \times a_{frenada} = (200 + 70) \times (-5,8) = -1566 N$$

- 3) Transferencia de masas, despejaremos R_B de la siguiente ecuación:

$$-200 \times 9,81 \times 670 - 70 \times 9,81 \times 900 + 200 \times 5,8 \times 570 + 70 \times 5,8 \times 1150 + R_B \times 1410 = 0$$

$$R_B = 570,546 \text{ N} = 58,16 \text{ Kgf}$$

- 4) Peso sobre la rueda delantera.

$$P_{\text{rueda delantera}} = (200 \times 9,81) - 570,546 = 2078 \text{ N} = 212 \text{ Kgf}$$

- 5) Comprobación de bloqueo de la rueda para un coeficiente de 0,9.

$$(200 + 70) \times 5,8 \leq 2078 \times 0,9$$

$$1566 \text{ N} < 1870 \text{ N}$$

Por lo tanto, para estas condiciones se cuenta con la adherencia necesaria para evitar el bloqueo de la rueda delantera.

- 6) Fuerza total a ejercer por los pistones de la pinza sobre las pastillas de freno:

$$\sum F_{\text{pistones}} = \frac{2078 \text{ N} \times 0,9 \times 300 \text{ mm}}{160 \text{ mm} \times 0,45} = 7792,5 \text{ N} = 794,34 \text{ Kgf}$$

Esta fuerza es enorme y a pesar de ser el caso del ejemplo una frenada muy severa, sigue tratándose de una escala que supera la del ser humano. Por eso el sistema de frenos cuenta con un circuito hidráulico capaz de amplificar la fuerza del piloto lo necesario.

1.3.5. MULTIPLICACIÓN MECÁNICO-HIDRÁULICA

El sistema está concebido para su funcionamiento hidráulico como se ha comentado anteriormente. Las especificaciones a tener en cuenta son:

- Doble disco de freno.
- Cada disco es frenado por una pinza de 4 pistones de Ø 25 mm. En total tendremos 8 pistones de Ø 25 mm.
- El pistón de la bomba de freno tiene un diámetro de 16 mm.
- El líquido de frenos es incompresible.

Tendremos un sistema hidráulico de superficie grande (S_{grande}) y superficie pequeña ($S_{pequeña}$).

Superficie total de los pistones de las pinzas de freno:

$$S_{grande} = 8 \text{ pistones} \times \frac{\pi \times d^2}{4} = 8 \times \frac{\pi \times 25^2}{4} = 3927 \text{ mm}^2$$

Superficie del pistón de la bomba de freno:

$$S_{pequeña} = \frac{\pi \times 16^2}{4} = 201 \text{ mm}^2$$

Tendremos un sistema hidráulico en el que la superficie grande es $\frac{3927}{201} = 20$ veces mayor que la superficie menor. El mecanismo hidráulico basa su funcionamiento en el principio de Pascal por el cual todos los puntos en el interior de un fluido se hallan sometidos a la misma presión. Por ello si en la superficie grande queremos ejercer una determinada presión, tendremos que aplica la misma presión en la superficie pequeña. Al ser sesenta veces menor, podemos afirmar que:

El factor multiplicador de la fuerza del sistema hidráulico será igual a 20.

Por el mismo motivo, el desplazamiento lineal del pistón de la maneta será veinte veces mayor que el de los pistones.

La maneta, también tiene un efecto multiplicador de la fuerza. Este se basa en el principio de la palanca, en el que la diferencia de longitud de los brazos modifica la fuerza y el recorrido necesario para vencer una resistencia. En este caso tenemos una

palanca de segundo género en el que en un extremo se encuentra el punto de apoyo, en un lugar intermedio la resistencia a vencer y en el otro extremo se aplica la fuerza.

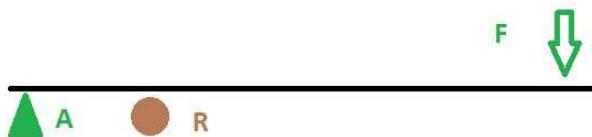


Figura 13. Palanca de segundo género. Punto de apoyo A, Fuerza aplicada F y resistencia R.

Este tipo de palanca es el mismo que encontramos en mecanismos como el cascanueces, la carretilla o una guillotina de papel. En el caso que nos concierne tendremos en el punto de apoyo el pasador de Ø6 mm, como resistencia el pasador perforado de Ø12 mm que a su vez transmite la fuerza al vástagos y este al pistón de la bomba de freno. La fuerza será hecha por la mano del piloto. Según la normativa 2006/27 CE, esta fuerza ha de hacerse a 50 mm del extremo de la maneta.

Conociendo las cotas de la maneta-brazo y la situación de los pasadores así como el punto de aplicación de la fuerza, De este modo, calcularemos el efecto multiplicador de la parte mecánica del freno.

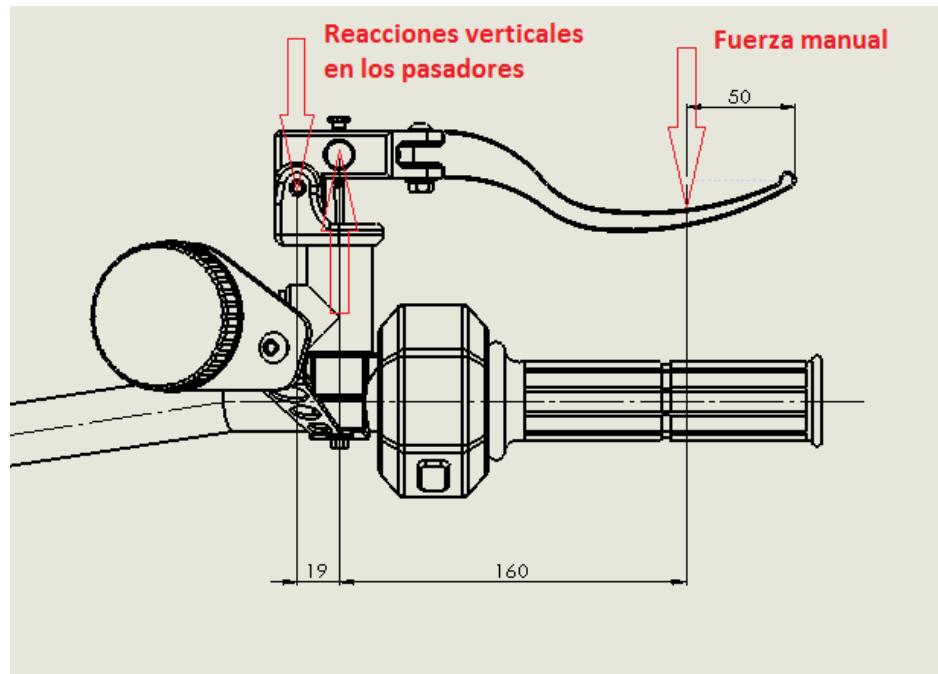


Figura 14. Punto de aplicación de la fuerza y situación de los pasadores.

Se proponen las cotas que aparecen en la figura. Además, debido al giro que experimenta la maneta, la distancia entre los dos pasadores varía desde los 19 a los 22 mm, dependiendo del ángulo en el que esté flexionado el mecanismo. Se tomará

siempre la distancia mayor de 22 mm. Esta mayoración actuará como un coeficiente de seguridad. En el caso real, sabremos que la multiplicación de la fuerza será mayor en el comienzo del recorrido de la mano, haciendo el mecanismo más eficaz.

La multiplicación mecánica de la fuerza F para una resistencia R será:

$$F \times (160 + 22) = R \times 22 \quad F = \frac{11}{91}R$$

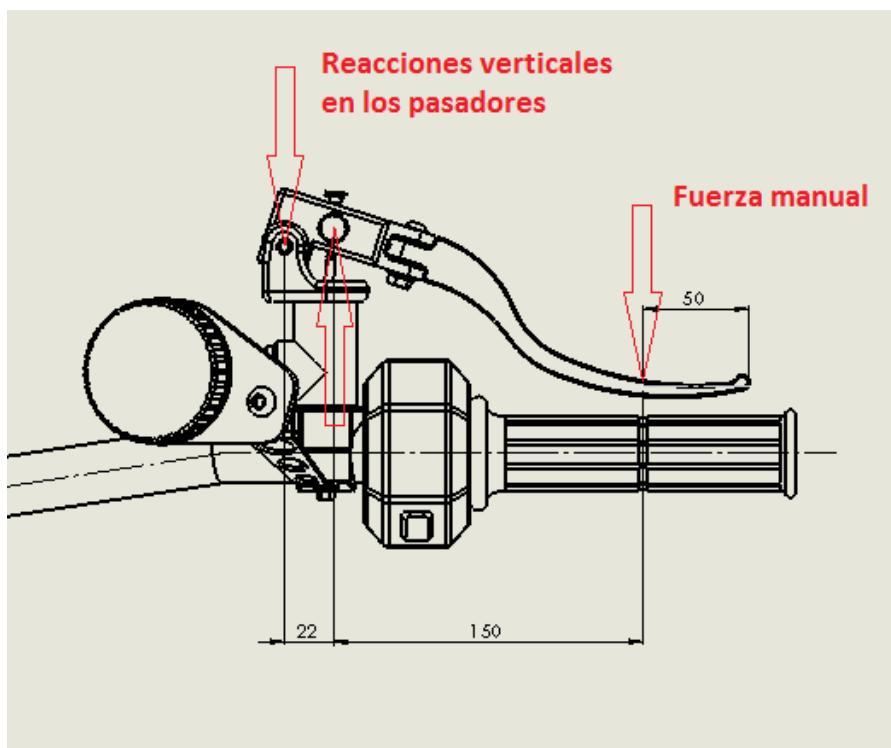


Figura 15. Punto de aplicación de la fuerza y situación de los pasadores.

En el caso de tener la maneta en máxima flexión:

$$F \times (150 + 22) = R \times 22 \quad F = \frac{11}{86}R$$

Estableciendo una media para el recorrido completo, consideraremos una multiplicación media de valor 8,0.

La multiplicación mecánica de la fuerza es de 8,0.

La multiplicación total de la fuerza del mecanismo de la maneta y la bomba de frenos será igual a la multiplicación hidráulica por la multiplicación mecánica:

$$25 \times 8,0 = 200$$

El mecanismo completo multiplica de forma teórica la fuerza de la mano del piloto en casi 200 veces.

En un caso aplicado de conducción, el piloto no frena únicamente aplicando la fuerza en el punto señalado anteriormente. Los estudios de ergonomía afirman que se tiende a hacer la mayor parte de la fuerza con el dedo índice y el corazón siempre que nos es posible. En el caso de agarrar la maneta con la mano completa, la hipótesis de la normativa puede resultar más aproximada, aunque a medida que se va flexionando los dedos meñique y anular participan menos y la mayor parte de la fuerza radica en el corazón y el índice.

Durante una conducción tranquila, el frenado se produce únicamente empleando los dedos índice y corazón e incluso solamente el índice, mientras el resto de la mano se emplea en agarrar el manillar. La distancia de aplicación de la fuerza en este caso tan habitual será menor y por tanto, el factor de multiplicación de la fuerza también será menor. Además, el tiempo de reacción necesario para desplazar los dedos índice y corazón es menor por lo que en muchos casos de sorpresa o imprevistos en los que se requiere la máxima fuerza del mecanismo tan solo se emplean dos dedos. En estos casos cobra más importancia todavía. En un caso más realista, los latiguillos ceden ligeramente ante el incremento de presión del líquido en su interior, lo que resta eficacia al sistema. Si se realiza el cálculo de multiplicación de la fuerza en un caso aplicado a la conducción normal, considerando una distancia de 110 mm entre el punto de aplicación de la fuerza y el pasador de Ø12 mm:

$$F \times (110 + 22) = R \times 22 \quad F = \frac{1}{6} R$$

En el caso de una conducción relajada, se tiene un factor aproximado de multiplicación igual a 150 veces.

2. DISEÑO DE UN SISTEMA DE FRENO DELANTERO

2.1. SISTEMA DE MANDO

2.1.1. DISEÑO OPERATIVO

Durante la frenada de un vehículo con un circuito hidráulico, las pastillas de freno, al interaccionar con el disco de acero en movimiento producen vibraciones. Estas son transmitidas a lo largo del circuito, debido a la incompresibilidad del líquido que se aloja en su interior, hasta llegar a los mandos de accionamiento del mecanismo. Estas fuerzas y vibraciones hacen que el piloto regule la presión que ejerce sobre los mandos, ajustándola con el fin de frenar correctamente.

En un sistema convencional, las fuerzas de reacción y vibración del circuito hidráulico actúan sobre la maneta en dirección perpendicular a la fuerza de accionamiento que es ejercida por la mano del piloto. Por ello, el motorista percibe de forma indirecta lo que sucede durante la actuación del mecanismo y la información de la frenada es percibida de forma distorsionada y algo imprecisa.

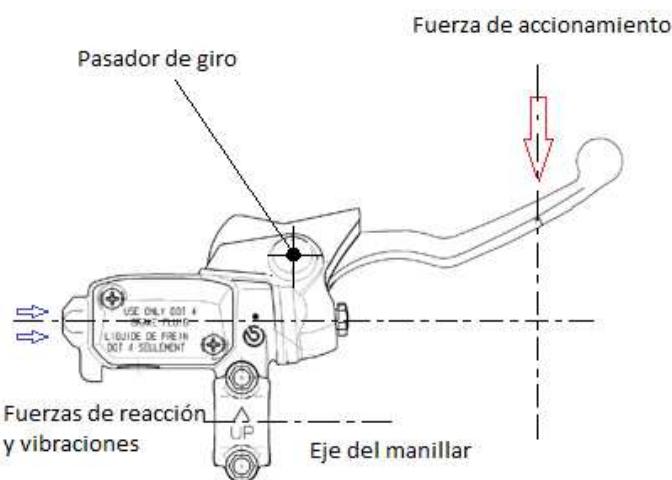


Figura 16. Diseño convencional del mecanismo maneta-bomba.

En un sistema con maneta de freno radial, las fuerzas de reacción se transmiten a la maneta en un eje paralelo al de la fuerza de los dedos del piloto, por lo que son percibidas mucho mejor. Este cambio de dirección se debe a que el pistón hidráulico y el vástago se desplazan en dirección radial respecto al manillar o al puño con el que se maneja el vehículo (de ahí su nombre).

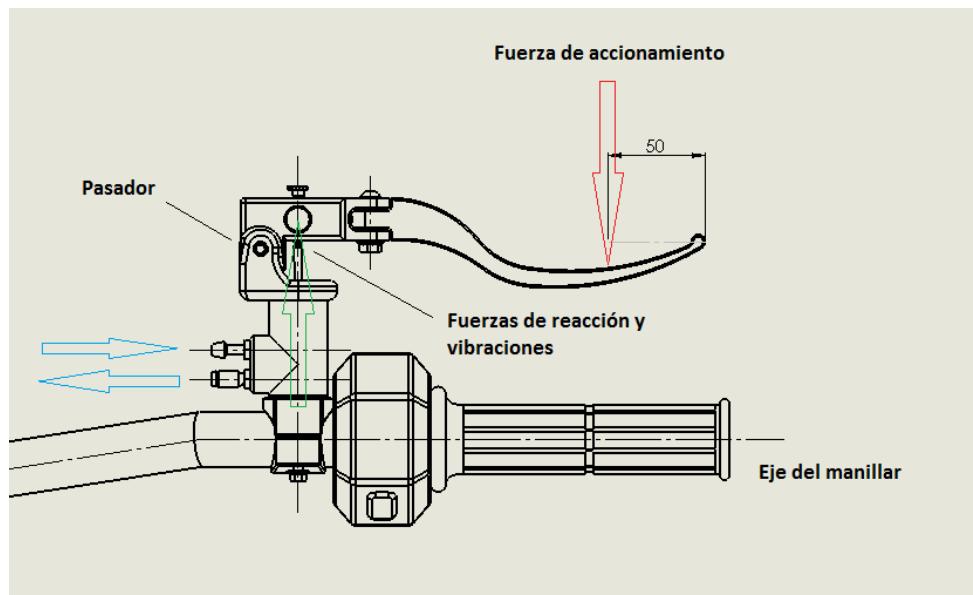


Figura 17. Mecanismo radial de maneta-bomba de freno.

En el accionamiento de los frenos, la fuerza del piloto es amplificada por la maneta mediante el efecto palanca. El brazo de la maneta sobre el que se coloca la mano, es mucho mayor que el que empuja el mecanismo hidráulico. Por ello, el movimiento manual se transmite al pistón de la bomba de freno con un recorrido menor y una fuerza amplificada.

En un sistema convencional, esta fuerza se transmite por contacto entre la maneta y el pistón. Un tetón de la maneta empuja al pistón hacia el interior de su alojamiento, accionando así el circuito hidráulico. Este empuje se debe únicamente al contacto entre las dos piezas, sin existir ninguna articulación o unión entre ellas, tan solo la presión que las mantiene unidas (generalmente debida a algún tipo de resorte) por lo que las vibraciones pueden ser frecuentes y erráticas.

Además, debido a cuestiones geométricas, se produce un deslizamiento entre el tetón de la maneta y la cabeza del pistón. Por ello, este punto ha de permanecer con una pequeña cantidad de grasa para su perfecto funcionamiento. Al estar expuesto a la intemperie, esta grasa desaparece o se deteriora, haciendo que el mecanismo no deslice correctamente. En el caso de una maneta radial la interacción entre la maneta y el pistón se produce mediante un mecanismo del tipo biela-manivela en el cual no existen deslizamientos y cuyas partes se hallan perfectamente sujetas por pasadores. De esta forma se logra transmitir con más fidelidad, las fuerzas y vibraciones del sistema de frenos al piloto.



Figura 18. Maneta convencional y su interacción con la bomba de freno.

Por otra parte, los sistemas convencionales son más compactos y más resistentes a impactos. En un accidente hipotético, como una caída cuando el vehículo está parado (en un parking, al colocar mal el caballete, en un bordillo, etc.) al volcar la motocicleta los elementos más sobresalientes reciben un impacto con todo el peso del vehículo. Los retrovisores probablemente queden rotos o doblados sin oponer apenas resistencia y a continuación la maneta de freno y el manillar reciben el golpe.

El punto más prominente del mecanismo y por tanto el que tiene más posibilidades de recibir un impacto es la maneta. Una pieza esbelta y fundida como ésta, probablemente se fracture o se doble si está fabricada de chapa plegada. Hasta llegar al momento de la fractura, parte de la energía de la caída puede ser absorbida por el mecanismo de la bomba de freno, dejándolo inutilizado en algún caso.

La geometría compacta de un sistema convencional hace que no queden partes sensibles del mecanismo expuestas a choques, golpes o posibles caídas. Todos los elementos de la bomba de freno se hallan en el interior del cuerpo de fundición de la pieza principal. Por ello la maneta quedará rota pero lo más probable es que el mecanismo de la bomba resulte intacto.

En las manetas de freno radiales, la maneta va unida a un vástago que sobresale por el exterior del mecanismo. Este vástago es de pequeño diámetro y aunque está fabricado en acero de alta resistencia, en caso de una caída podría doblarse y romperse. Antes de llegar a este punto, el vástago se doblará o quizás alguna de las orejetas o el brazo en el que se alojan los pasadores se partirán. Para evitar esto, resulta muy conveniente introducir elementos de diseño que protejan al conjunto.

2.1.2. DISEÑO ERGONÓMICO

Al no ser un mando aislado, la ergonomía de este conjunto mecánico ha de estar relacionada con el resto de accionamientos y condiciones del vehículo, que incluyen entre otros aspectos, la posición relativa de la empuñadura, la altura y curvatura del manillar o el uso de guantes por parte del piloto. El objetivo final es que el usuario se sienta ágil y cómodo al utilizar el mando de freno.

La maneta ha de tener una longitud mínima para el agarre, de tal forma que una mano enguantada pueda actuar completamente sobre ella. Una maneta demasiado corta es incómoda y menos operativa. Considerando los datos de anchura palmar de la mayor parte de la población y las longitudes recomendadas para mangos y empuñaduras, se propone una longitud de la zona de agarre de 115 mm (figura 19).

La forma de la sección transversal tiene que impedir el deslizamiento de los dedos, que además experimentan una notable pérdida de sensibilidad por el uso de guantes y por las bajas temperaturas. Tal y como muestra la figura 19, la anchura de la sección de la maneta es de 15 mm.

El extremo final es de forma esférica y tiene un radio de 3,5 mm, como exige la normativa. Esta forma impide que se pueda clavar y reduce los efectos de un golpe violento sobre las personas. Para evitar daños en el mecanismo frente a posibles impactos se prevé un punto de rotura controlada de la maneta, que es la sección donde se aloja el tornillo que la sujetta al cuerpo. Esta sección presenta orificios internos que actúan concentrando las tensiones.

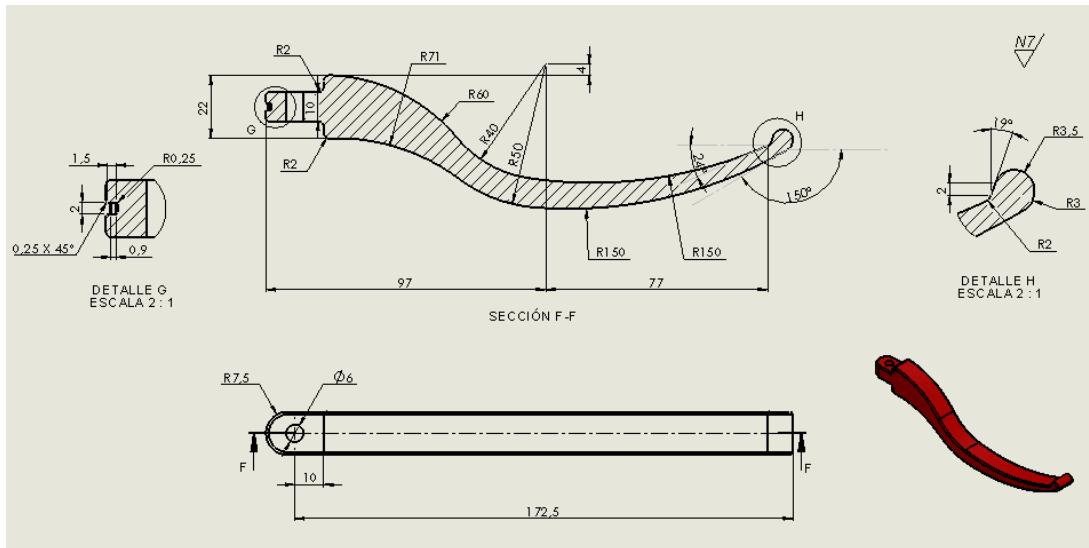


Figura 19. Forma y dimensiones características de la maneta diseñada.

Por otra parte, existen muchos tipos de motocicletas con manillares de formas diversas. Para que la maneta quede correctamente situada en cualquiera de ellos, con la inclinación adecuada para que le piloto pueda accionarla manteniendo una posición cómoda, el mando de freno se monta en el manillar a través de una brida. El mando de freno en su conjunto puede ser montado y desmontado con facilidad utilizando herramientas sencillas. Para cualquier modificación se recomienda consultar el manual de instrucciones que acompañará el producto en su comercialización.

2.1.3. COMPONENTES DEL SISTEMA

Los elementos que forman parte del sistema de accionamiento del presente proyecto (véase figura 20), son:

- Maneta
- Brazo
- Cuerpo de la bomba de freno
- Cilindro
- Pistón
- Vástago
- Pasador vástago
- Protector cuerpo
- Brida

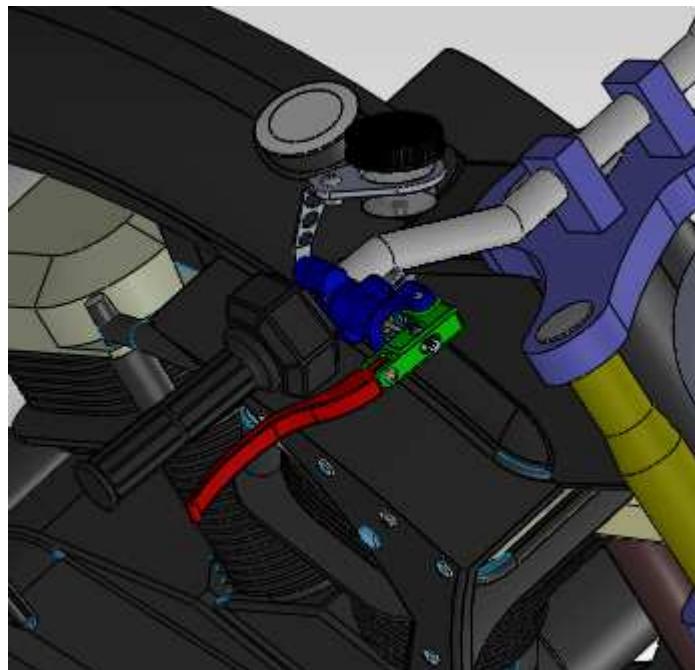


Figura 20. Sistema de accionamiento.

A continuación, pasamos a la descripción individual de cada uno de ellos.

- **MANETA**

Es el componente que va a entrar en contacto con la mano del piloto cuando éste desee frenar, va a permitirle ejercer la fuerza sobre el sistema para realizar la correspondiente frenada. Es por ello que se trata de un componente de vital importancia para poder realizar de manera correcta, debe estar siempre en perfectas condiciones de utilización, de no ser así habrá que proceder a su cambio inmediato (véase figura 21).

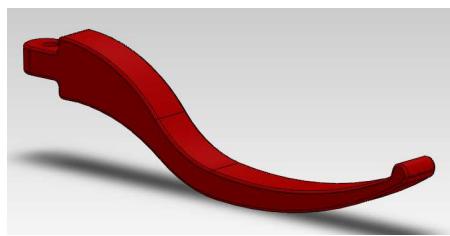


Figura 21. Maneta.

Tal y como muestra la siguiente figura (véase figura 22) mediante una unión atornillada con un tornillo de cabeza semiesférica hexagonal hueca (ISO 7341 M6x25) y su respectiva tuerca hexagonal abridada (ISO 4161 M6) se realiza el amarre de la maneta al brazo.

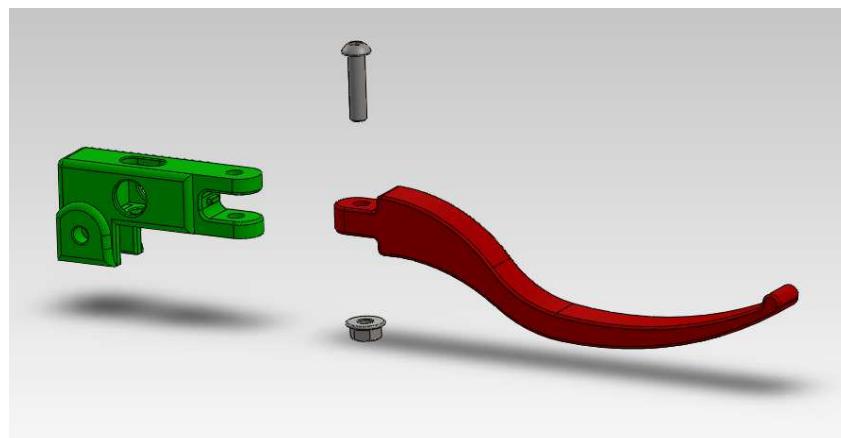


Figura 22. Unión atornillada de maneta a brazo.

- BRAZO

Como se ha comentado anteriormente, a él se amarra la maneta, en su interior alberga el vástago y el correspondiente pasador que permitirá el accionamiento del mecanismo. Mediante un pasador tipo remache (DIN 7341 Ø6x43) se realizará la unión al cuerpo. En el lateral contrario al amarre con la maneta, se situará una pieza protectora (Protector cuerpo) para evitar la entrada de suciedad al sistema y proteger al pasador (véase figura 23).

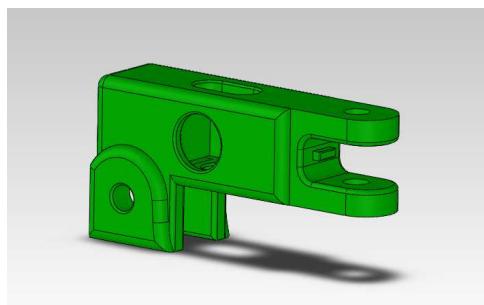


Figura 23. Brazo.

El orificio de la parte frontal permitirá realizar un correcto montaje del pasador del vástago. También puede apreciarse un saliente en la zona que entra en contacto con la maneta (en ésta hay un entrante), todo ello para evitar que una vez hemos colocado el tornillo de amarre, no se gire la maneta respecto al eje del tornillo.

Tal y como muestra la siguiente figura (véase figura 24), se realiza el montaje de los componentes del brazo.

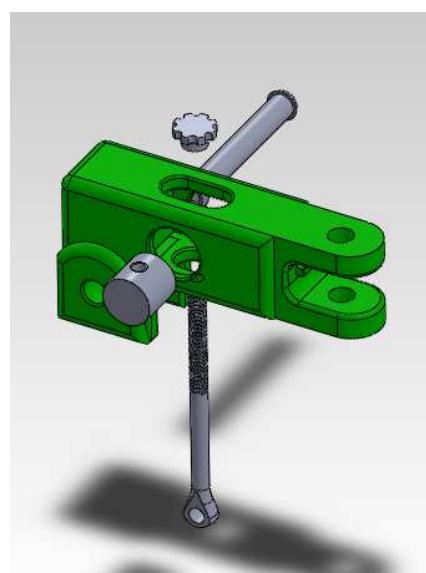


Figura 24. Montaje componentes de brazo.

- CUERPO DE LA BOMBA DE FRENO

Es el componente de mayor tamaño del sistema de accionamiento de la maneta de freno (véase figura 25).

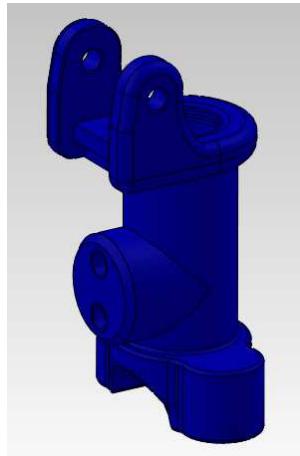


Figura 25. Cuerpo de la bomba de freno.

A las orejetas de su parte superior van a ensamblarse el pasador tipo remache, el brazo y el protector del brazo. En su interior va a albergar la bomba de freno, cámara por la que circulará el líquido de frenos procedente del depósito donde se encuentra dicho fluido. En la bomba también se encontrarán alojados el vástago ($\varnothing 4$) con su correspondiente pistón ($\varnothing 16$) y pasador paralelo ($\varnothing 4 \times 14$), y el cilindro ($\varnothing 22$). En su parte frontal se encuentran los alojamientos para el racor de entrada (AISI 316) y salida (AISI 316) de líquido de frenos, uno encima de otro respectivamente. Finalmente en su parte inferior, puede contemplarse la superficie en arco para alojar el manillar y los dos taladros para los pernos de la brida (ISO 4162 M5x30).

Tal y como muestra la siguiente figura (véase figura 26) se describe el ensamblaje de los elementos que forman parte del cuerpo.

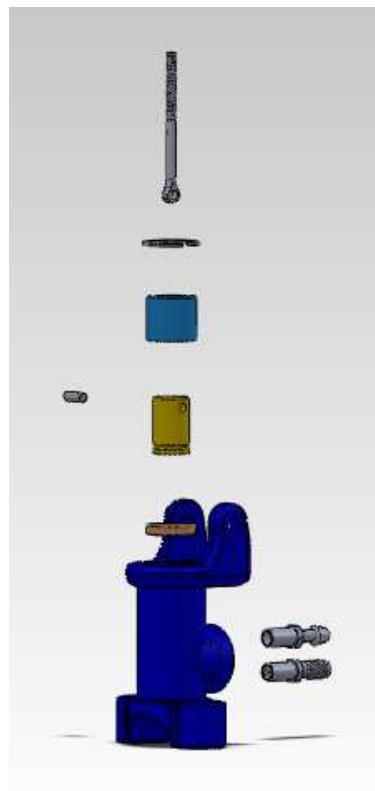


Figura 26. Componentes del cuerpo de la bomba de freno.

- **CILINDRO**

Va a ir alojado en la cámara del líquido de frenos del cuerpo, a través de él pasará el pistón. Irá posicionado sobre el anillo elástico interno (UNE 26074 Ø16), y sobre él se situará el retén de aceite (UNE 25077 16x22x4), que evitará las fugas de líquido de frenos (véase figura 27).

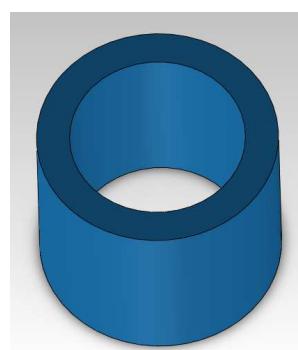


Figura 27. Cilindro.

La siguiente figura (véase figura 28) muestra la posición correcta del cilindro maestro en el alojamiento del cuerpo.

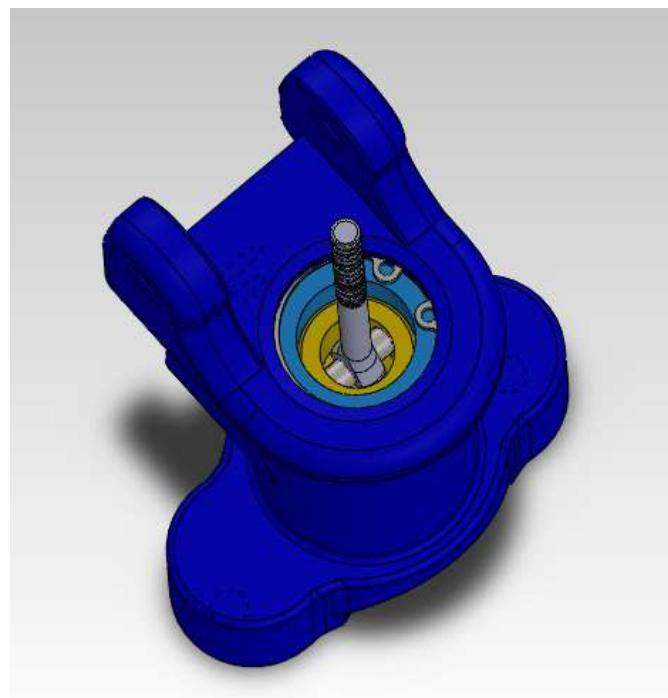


Figura 28. Posición del cilindro maestro.

- **PISTÓN**

Este componente es el que va a permitir que el líquido de frenos una vez que entre por el racor de entrada a la cámara del cuerpo, pueda mediante el accionamiento de la maneta y el posterior descenso del conjunto vástago-pistón, llevarlo a través del racor de salida y el latiguillo que conecta con el racor de la pinza, dicho líquido hasta la cámara de las pinzas donde se encuentran los pistones y estos mediante el empuje ejercido por el líquido de frenos, mover las pastillas y morder los discos para realizar la frenada (véase figura 29).

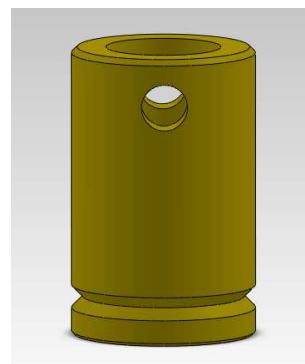


Figura 29. Pistón.

Las siguientes figuras (véase figuras 30 y 31) muestran la carrera del pistón en el interior de la cámara del cuerpo (20 mm).

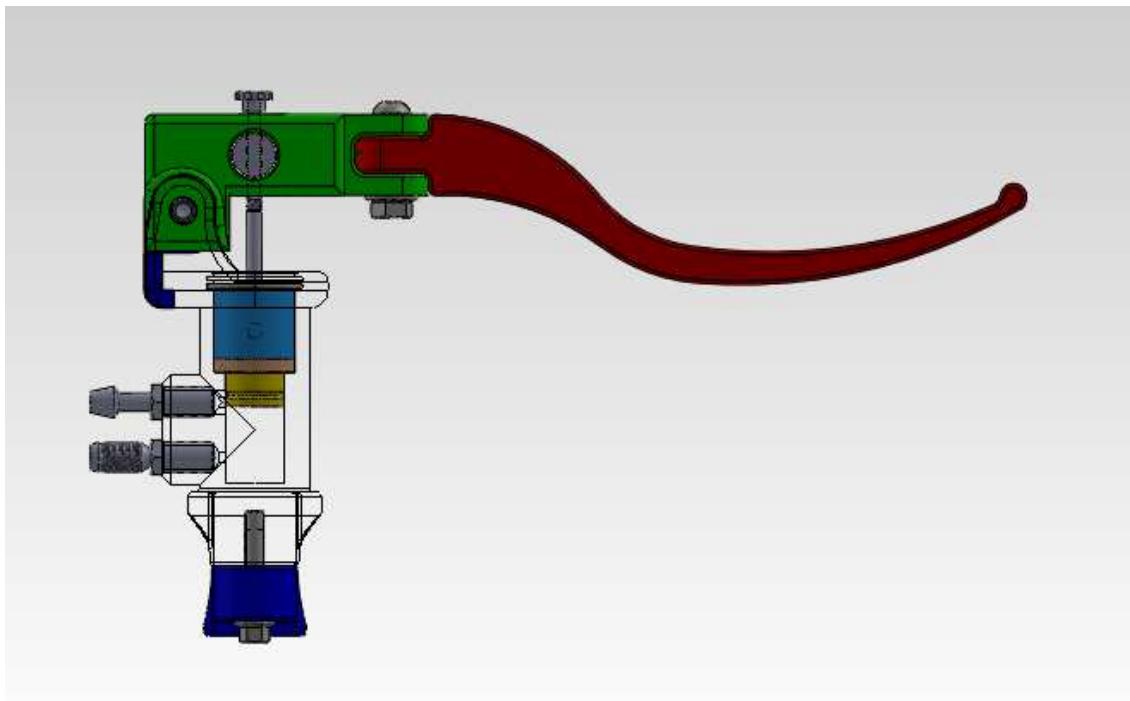


Figura 30. Maneta en posición de reposo.

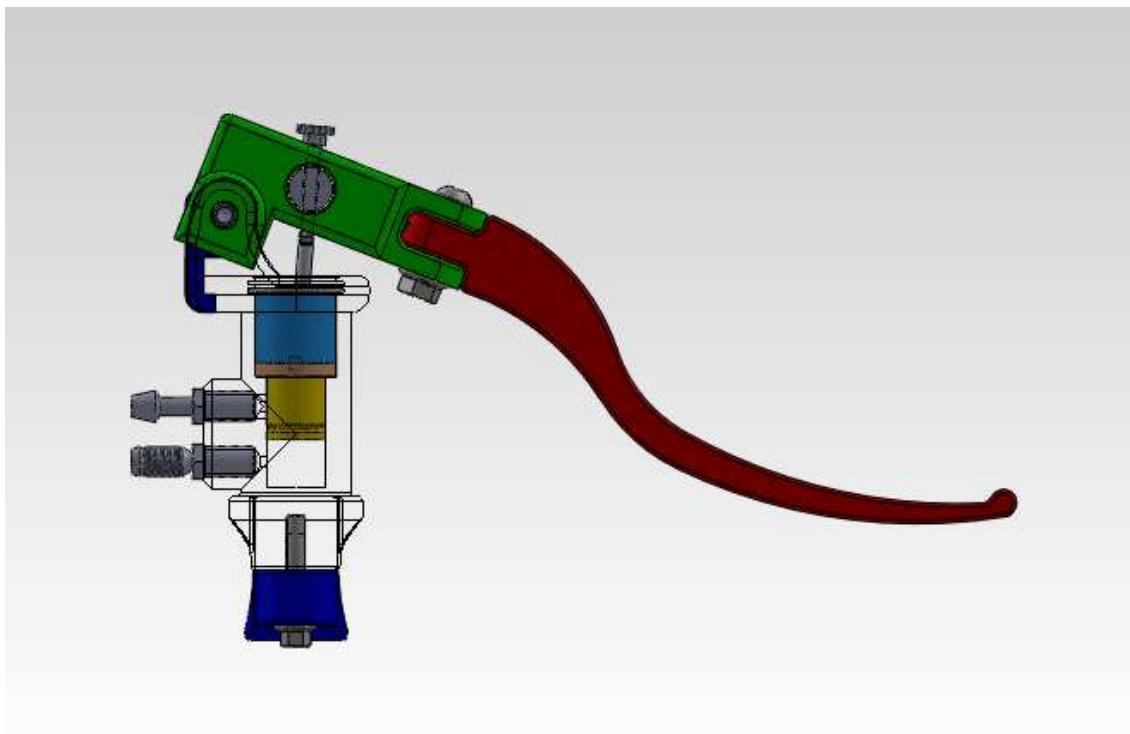


Figura 31. Maneta en posición de máxima frenada.

- **VÁSTAGO**

Este va a encargarse de descender el pistón por la cámara del cuerpo para poder enviar el líquido de frenos hasta las pinzas a través de los latiguillos (véase figura 32).

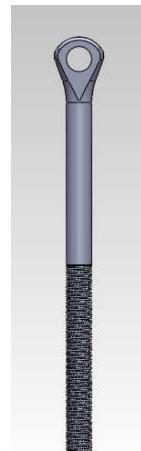


Figura 32. Vástago.

La siguiente figura (véase figura 33) muestra la posición del vástago en el conjunto de los componentes del accionamiento.

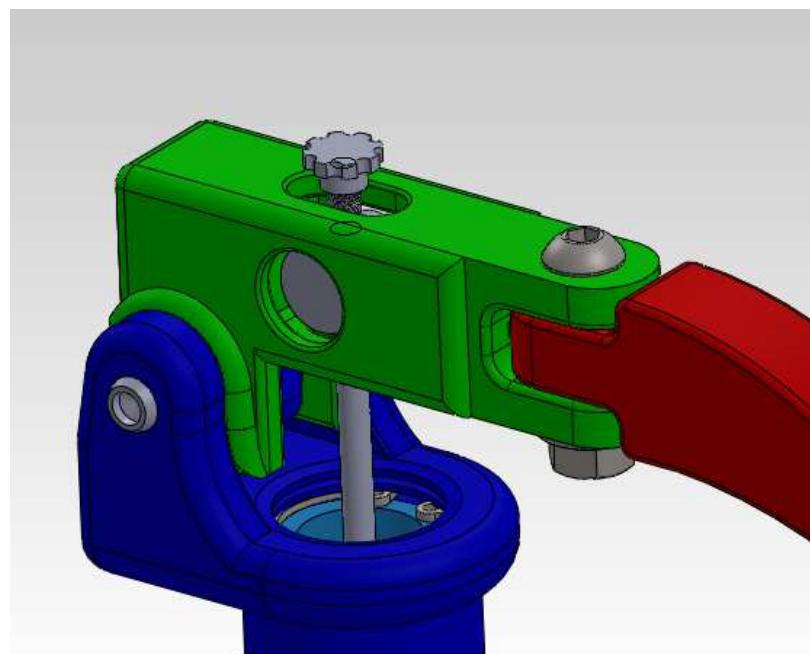


Figura 33. Posición del vástago.

- PASADOR VÁSTAGO

Este componente como ya se ha visto anteriormente, va a ir alojado en el interior del brazo, y el vástagos lo atravesará por el taladro que lo recorre longitudinalmente de abajo a arriba (taladro M4). Este componente servirá para que pueda funcionar correctamente el mecanismo (véase figura 34).



Figura 34. Pasador vástagos.

La siguiente figura (véase figura 35) muestra la posición del pasador vástagos en el conjunto de los componentes del accionamiento.

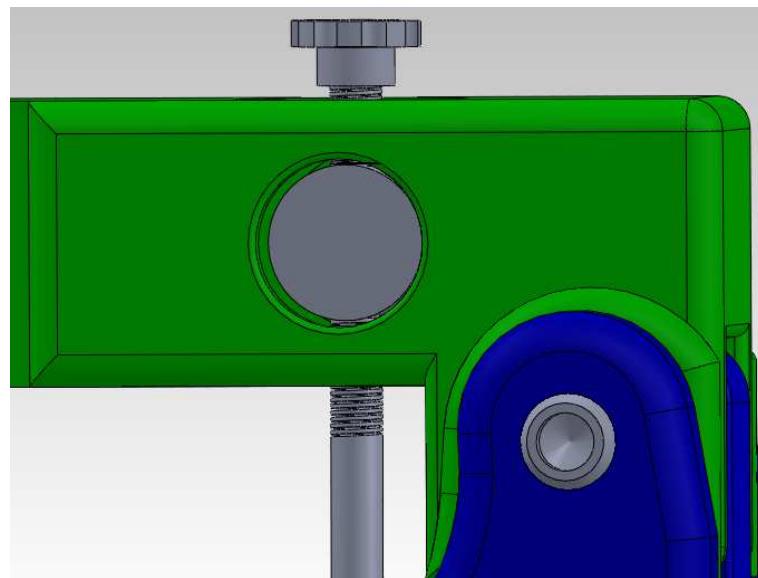


Figura 35. Posición del pasador vástagos.

- **PROTECTOR CUERPO**

Este componente va a permitir proteger la parte en la que el pasador esta desnudo y a la vez va a permitir la entrada de suciedad a la cámara del cuerpo. Va a conseguirse también mejorar la robustez del conjunto (véase figura 36).

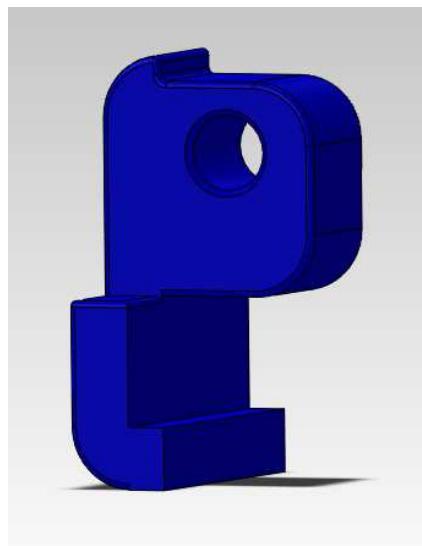


Figura 36. Protector cuerpo.

La siguiente figura (véase figura 37) muestra la posición del protector cuerpo en el conjunto de los componentes del accionamiento.

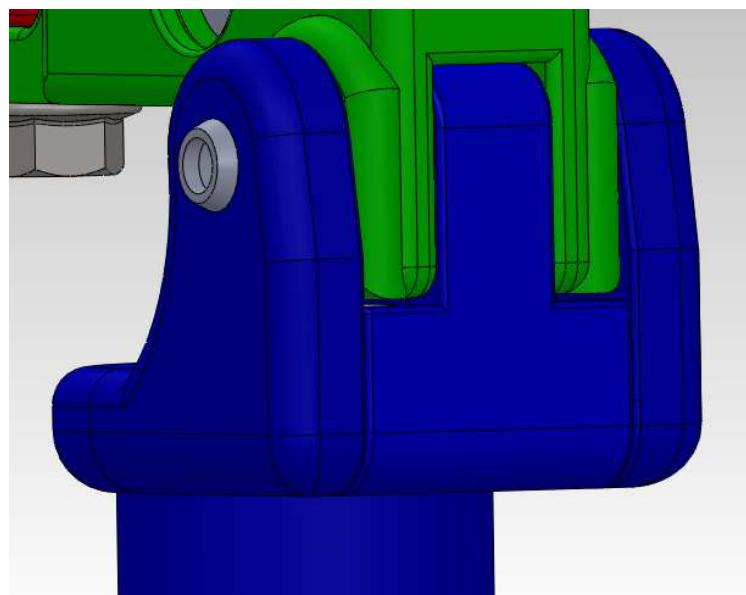


Figura 37. Posición del protector cuerpo.

- BRIDA

Este componente va a permitir la unión del conjunto de accionamiento de la maneta al manillar, tiene dos taladros para poder realizar la unión comentada (véase figura 38).

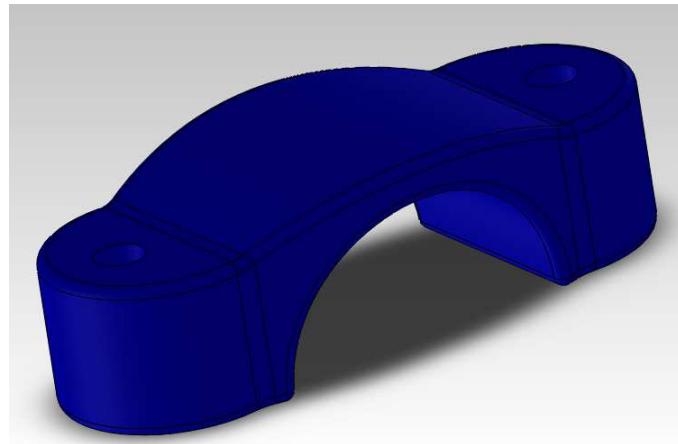


Figura 38. Brida.

Tal y como muestra la siguiente figura (véase figura 39) se describe el proceso de ensamblaje correspondiente a la brida.

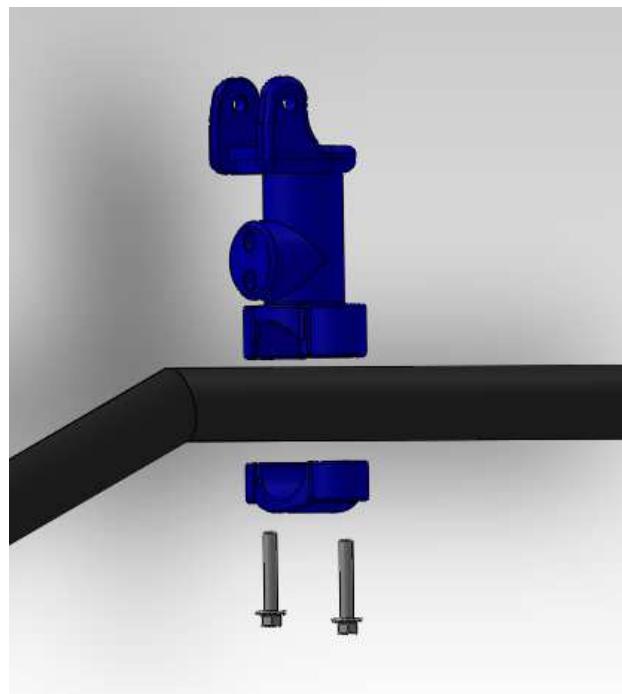


Figura 39. Unión atornillada de la brida y el cuerpo al manillar.

2.2. SISTEMA DE ACTUACIÓN

A continuación, siguiendo con la descripción de los elementos del conjunto va a pasarse a describir los componentes que forman parte del sistema de actuación, que son (véase figura 40):

- Disco exterior (x2)
- Disco interior (x2)
- Pinza (x4)
- Pistón pinza (x8)

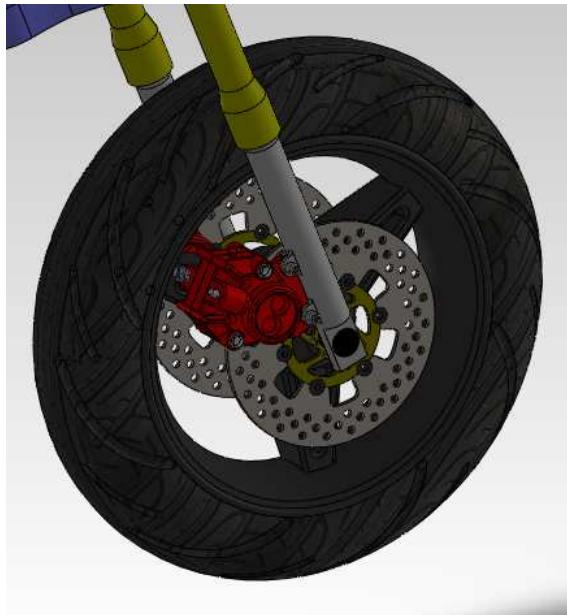


Figura 40. Sistema de actuación.

Al igual que se ha hecho en la descripción de los elementos del sistema de accionamiento de la maneta, los elementos comerciales que forman parte del sistema de ejecución se nombrarán conforme se avance en dicha descripción.

• DISCO EXTERIOR

Se trata del disco con el que van a entrar en contacto las pastillas que accionaran las pinzas de freno. En el presente proyecto este componente tiene un diámetro exterior de 320 mm ($\varnothing 320$). Tiene un diseño particular, en el que los orificios permiten

liberar las grandes temperaturas que llegan a soportar en grandes frenadas (véase figura 41).

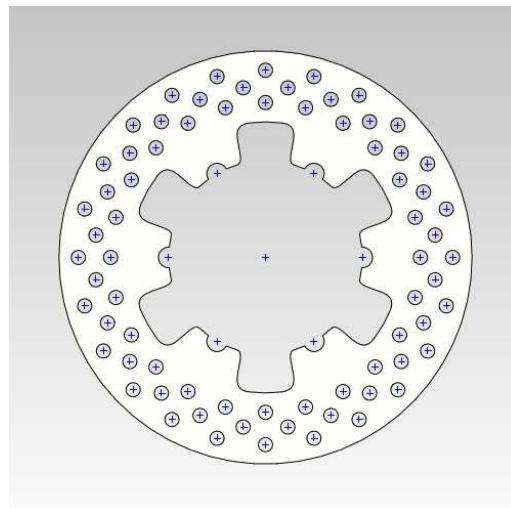


Figura 41. Disco exterior.

- **DISCO INTERIOR**

Este disco va unido al disco exterior por una serie de remaches (6), y a su vez va atornillado al eje de la rueda mediante 6 tornillos de cabeza hexagonal hueca (ISO 4762 M5x16). El conjunto de los discos va a girar solidariamente con la rueda (véase figura 42).

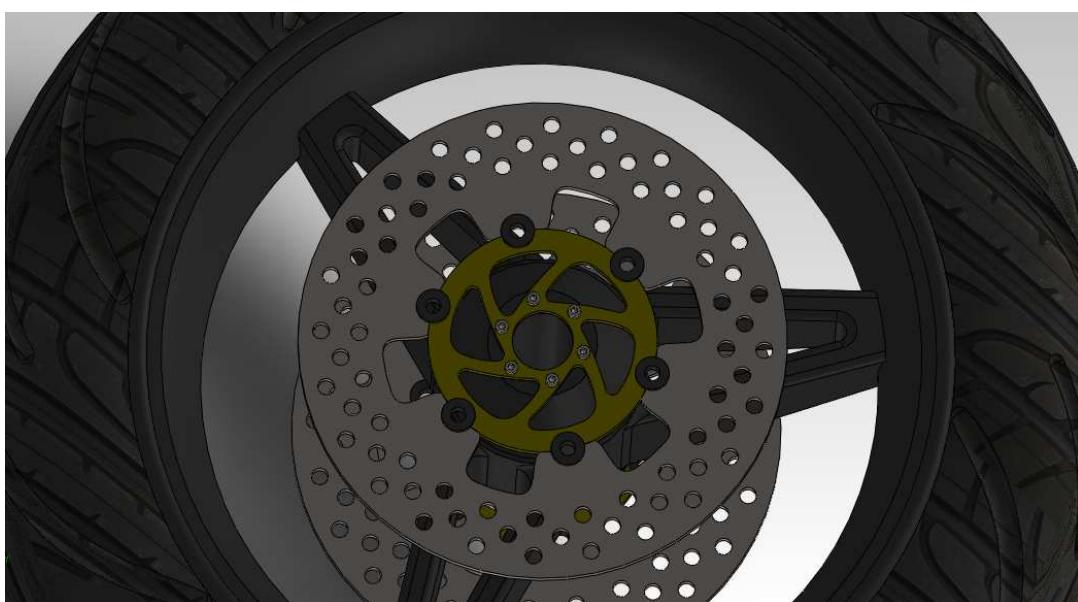


Figura 42. Rueda con discos.

- PINZA

Como ya se ha comentado en los puntos anteriores, este componente tiene un papel muy importante en el sistema de frenado, sin ella no podría llevarse a cabo la tarea de frenar. Para el presente proyecto se van a emplear 2 parejas de pinzas, con 4 pistones de diámetro 25 mm ($\varnothing 25$) cada una (8 para el sistema completo). Dicho componente realizará la tarea de “morder” los discos para conseguir disminuir la velocidad de la motocicleta hasta la situación deseada (véase figura 43).

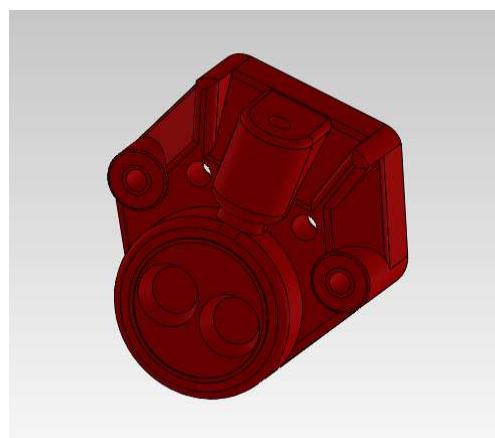


Figura 43. Pinza.

La siguiente figura (véase figura 44) muestra el amarre con orejetas a la pata de la horquilla, empleando 2 tornillos de cabeza hexagonal hueca (ISO 4762 M10x35), dos arandelas achaflanadas (ISO 7090 M10) y 2 tuercas hexagonales abridadas (ISO 4161 M10), todos ellos para cada una de las dos pinzas.

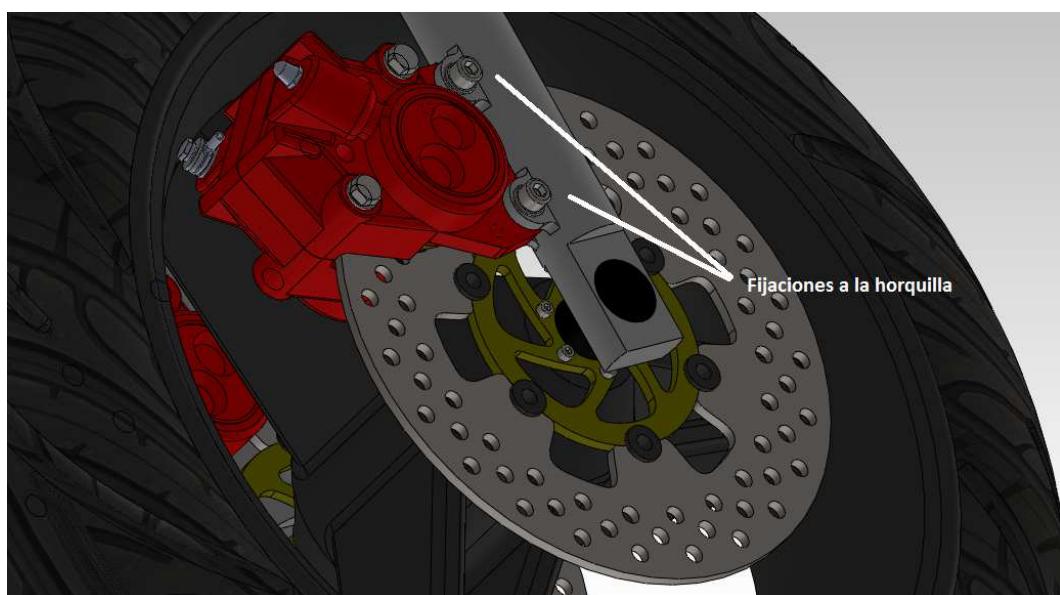


Figura 44. Posición de pinza.

- **PISTÓN PINZA**

Es el componente que va a empujar las pastillas (*Polini GP*) hacia los discos, hay que tener en cuenta que sin accionar los frenos, las pastillas están muy próximas a los discos (1 Mm). En los alojamientos donde van a situados van a tener cada uno un anillo elástico interno (UNE 26074 Ø25) para evitar posibles fugas de líquido de frenos (véase figuras 45 y 46).

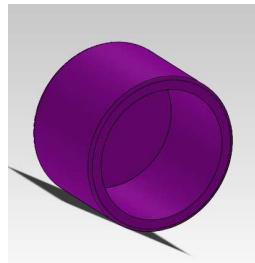


Figura 45. Pistón pinza.

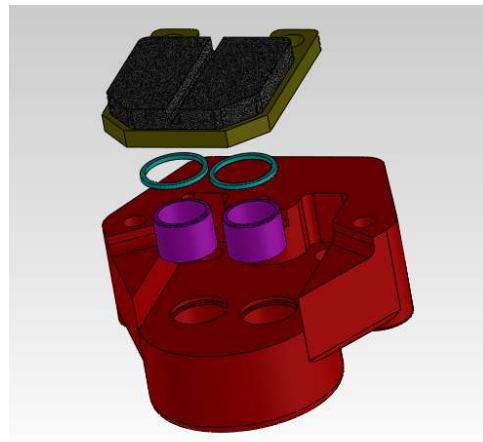


Figura 46. Posición de los pistones en la pinza.

2.3. ANÁLISIS RESISTENCIA MECÁNICA

En la figura 47 se muestra el esquema de la maneta a calcular. El objetivo del diseño es confirmar un prediseño basado en un modelo comercial de maneta de freno ya existente. Los cálculos y estudios realizados para el diseño se detallaran a continuación.

Como se comentó en el apartado 1.3.5. Multiplicación mecánico-hidráulica, el funcionamiento de la maneta se basa en el principio de la palanca, en el que la diferencia de longitud de los brazos modifica la fuerza y el recorrido necesario para vencer una resistencia. En este caso tenemos una palanca de segundo género en el que en un extremo se encuentra el punto de apoyo, en un lugar intermedio la resistencia a vencer y en el otro extremo se aplica la fuerza.

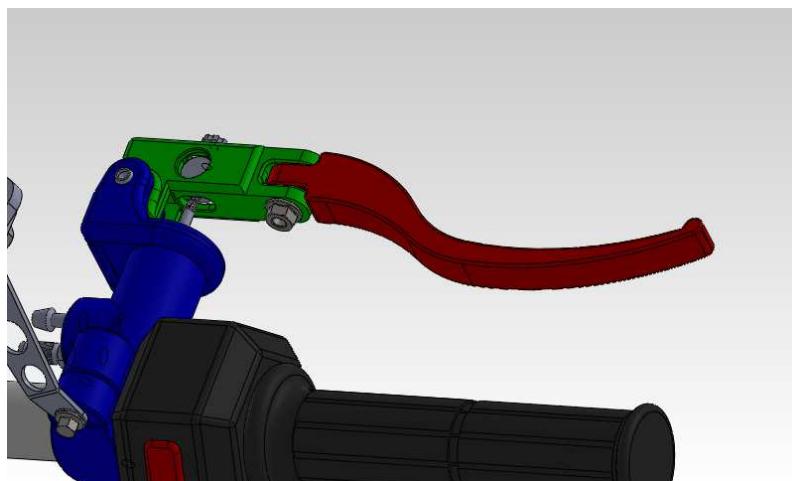


Figura 47. Esquema del sistema de accionamiento.

El anclaje de la maneta al brazo se hace mediante una unión atornillada, y el de dichas piezas al cuerpo mediante un pasador.

Teniendo en cuenta las características de los materiales utilizados en cada componente del sistema, así como los coeficientes de seguridad exigidos según la Teoría de Cortante Máximo, se han de determinar los siguientes puntos:

- Coeficiente de seguridad (C_s) del vástago.
- Esfuerzo cortante a soportar por el pasador.

2.3.1. COEFICIENTE DE SEGURIDAD DEL VÁSTAGO

Este cálculo se va a realizar teniendo en cuenta la situación más desfavorable, siendo ésta cuando la maneta se encuentra en el punto de máxima frenada (véase figura 48).

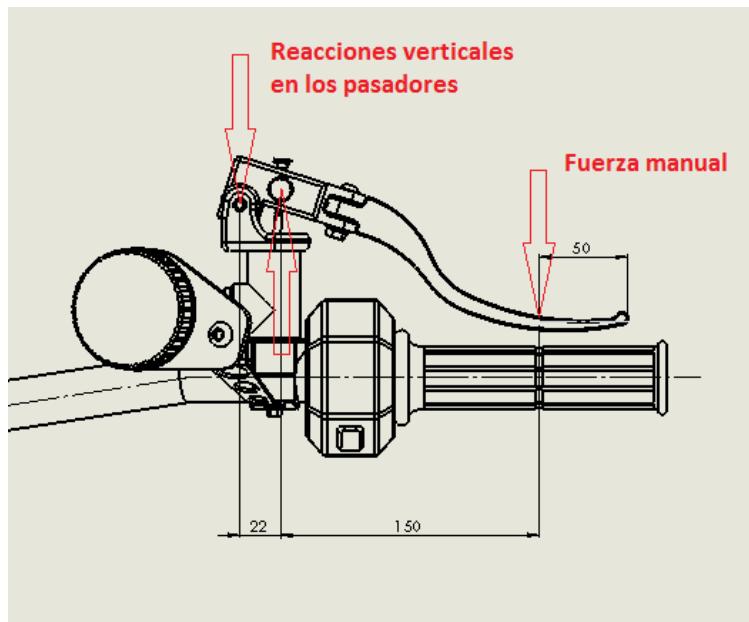


Figura 48. Posición de máxima frenada.

Cálculamos la fuerza de compresión ($F_{compresión}$) a la que va a estar sometido el vástagos:

$$\begin{aligned}\sum M_{pasador} &= 0 \\ -200 \times 172 + F_{compresión} \times 22 &= 0 \\ F_{compresión} &= 1563,63 \text{ N}\end{aligned}$$

A continuación, con sus dimensiones pasamos a calcular su área ($A_{vástago}$) e inercia ($I_{vástago}$) necesarias para cálculos posteriores.

Datos:

$$\varnothing_{vástago} = 4 \text{ mm}$$

$$L_{vástago} = 66 \text{ mm}$$

$$A_{vástago} = \frac{\pi \cdot \varnothing^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4^2}{4} = 12,56 \text{ mm}^2$$

$$I_{vástago} = \frac{\pi \cdot \varnothing^4}{64} = \frac{\pi \cdot 4^4}{64} = 12,56 \text{ mm}^4$$

Realizamos el análisis del tipo de columna aplicando la teoría de pandeo adecuada:

$$\text{Relación de esbeltez de la columna: } \lambda = \frac{L_e}{i}$$

$$\beta = 1 \text{ (biarticulado)}$$

$$L_e = \beta \cdot L_{\text{vástago}} = 1 \cdot 66 = 66 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I_{\text{vástago}}}{A_{\text{vástago}}}} = \sqrt{\frac{1}{1}} = 1$$

$$\lambda = \frac{66}{1} = 66 \text{ mm}$$

Las columnas se dividen, en función de su esbeltez, en **columnas largas y cortas**. El valor de esbeltez que define la transición entre una y otra categoría, se llama **Esbeltez límite** y su valor viene dado por la siguiente expresión:

$$\lambda_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_F}}$$

COLUMNA LARGA: se utiliza el criterio de pandeo de EULER.

$$\lambda > \lambda_{\text{lim}}$$

COLUMNA CORTA: se utiliza el criterio de pandeo de JOHNSON

$$\lambda < \lambda_{\text{lim}}$$

$$\lambda_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \frac{N}{mm^2}}{440 \text{ MPa}}}$$

$$\lambda_{\text{lim}} = 97 \text{ mm}$$

Por tanto tenemos el caso de columna corta, y hay que aplicar el criterio de JOHNSON.

$$\lambda < \lambda_{\text{lim}} \\ 66 \text{ mm} < 97 \text{ mm}$$

Cuando la esbeltez de la columna es inferior al valor de la esbeltez límite, el cálculo de la carga crítica a pandeo, viene dada por la expresión definida por J.B. Johnson:

$$F_{cr} = A \cdot \sigma_F \left[1 - \frac{\sigma_F \cdot \lambda^2}{4\pi^2 E} \right]$$

$$F_{cr} = 12,56 \cdot 440 \left[1 - \frac{440 \cdot 66^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5} \right]$$

$$F_{cr} = 4248,77 \text{ N}$$

Finalmente, calculamos el coeficiente de seguridad (C_s) aplicando la siguiente expresión:

$$C_s = \frac{F_{cr}}{F_{\text{compresión}}} = \frac{4248,77}{1563,63} = 2,72$$

A la vista del resultado obtenido, y teniendo en cuenta que los valores de coeficientes de seguridad para vástagos se encuentran comprendidos entre 2 y 3, nuestro dimensionado es correcto.

2.3.2. ESFUERZO CORTANTE A SOPORTAR POR EL PASADOR

A continuación, vamos a analizar las tensiones cortantes que va a soportar el pasador. Despejaremos la fuerza del pasador que aparecía en la figura 49:

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ -F_{\text{pasador}} + F_{\text{compresión}} - 200 &= 0 \\ F_{\text{pasador}} &= 1363,63 \text{ N}\end{aligned}$$

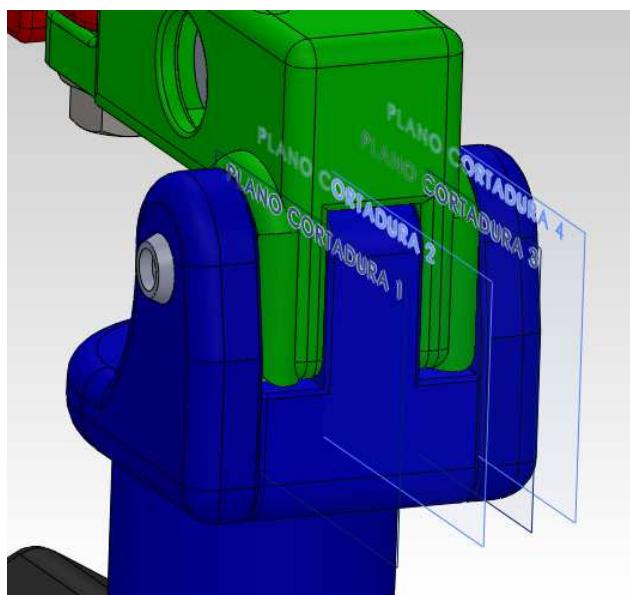


Figura 49. Planos de cortadura del pasador.

Como se puede ver en la figura 49, el pasador va a tener 4 planos de cortadura (cuádruple cortadura), por tanto el cálculo del cortante directo al que va a verse sometido será según la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{F_{\text{pasador}}}{4A_{\text{pasador}}}$$

$$A_{\text{pasador}} = \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 28,27 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{1363,63}{4 \cdot 28,27} = 12,05 \text{ MPa}$$

$$\tau < \tau_{\text{adm}} \quad 12,05 \text{ MPa} < \frac{440 \text{ MPa}}{2} \quad \text{El pasador soportará el esfuerzo.}$$

3. MANUAL DE INSTRUCCIONES

3.1. ASPECTOS PREVIOS Y CONSIDERACIONES PARA USUARIOS

La totalidad de las piezas y componentes que aparecen en este manual han sido probados y calculados para un correcto funcionamiento durante su utilización.

Para un rendimiento máximo, las bombas de freno han de ser ajustadas adecuadamente para cada vehículo y usuario siguiendo atentamente las instrucciones del presente manual.

Así mismo, se recomienda un reglaje de la suspensión de la motocicleta y de las pinzas de freno a las que irá conectada la bomba.

La información, especificaciones e ilustraciones de este manual, corresponden a los datos disponibles en el momento de la publicación y únicamente para este producto.

El objeto del manual es lograr una instalación del sistema de frenos lo más correcta y segura posible así como el mayor rendimiento en la frenada de la motocicleta.

Se garantiza la hermeticidad del cilindro maestro y la pinza de frenos para un período de 2 años para los componentes y el sistema de frenos. La garantía no comprende el desgaste normal ni los usos en carreras.

Cualquier pieza modificada o montaje diferente al sugerido en el manual así como los daños que puedan ocasionar estas modificaciones quedarán fuera de la responsabilidad del fabricante.

Del mismo modo, la garantía quedará invalidada ante cualquier modificación o si no se siguen las instrucciones de montaje indicadas en este manual.

3.2. INSTRUCCIONES DE ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

La bomba de freno que ha adquirido es un conjunto de gran responsabilidad en su motocicleta. Debe comprobar que el envase no ha sido manipulado antes de proceder. Si sospecha que faltan piezas o el conjunto no es idéntico a la referencia de la caja, póngase en contacto con el proveedor.

Se trata de un mecanismo destinado a un uso a la intemperie, por lo que no se requieren especiales cuidados para su almacenaje.

- Evite la exposición a la humedad.
- No apile cajas en más de cinco alturas.
- Manipular con cuidado.

Para realizar el transporte de la motocicleta, se deben respetar ciertas normas relativas a los sistemas de frenos de disco:

- No tire de la palanca de frenos cuando la rueda delantera esté desmontada. Si se diera el caso, proceda según lo descrito en “Mantenimiento del sistema”.
- Tras el transporte, comprobar el buen funcionamiento de los frenos. En caso de que adopten una posición inclinada u horizontal, puede entrar aire del recipiente de compensación en el cilindro. Si el punto de presión se modificara, usar la válvula de purga para purgar el sistema.

3.3. INSTRUCCIONES DE MONTAJE, INSTALACIÓN Y UTILIZACIÓN

Cambiar la bomba de freno de su motocicleta le proporcionará unas condiciones óptimas de conducción siempre y cuando sea acompañada de una pinza adecuada que complete el sistema y de una suspensión delantera bien reglada. Además, es necesario que los sistemas de freno delantero y trasero se complementen adecuadamente y estén reglados para funcionar al mismo tiempo sin perjudicarse entre sí.

La información de especial relevancia aparecerá marcada con las siguientes señales:

	Peligro	Situaciones en la que la integridad física del usuario está en peligro. Han de seguirse correctamente las instrucciones para evitar heridas y daños personales.
	Precaución	Situaciones en las que la maneta-bomba de freno o la motocicleta pueda resultar dañada.
	Nota	Indicaciones de especial importancia para el correcto montaje.

- ⚠** Modificar el sistema de frenado de forma inadecuada, puede afectar a la estabilidad de su motocicleta. El fabricante no se hará cargo de los daños personales o materiales ocurridos después de instalar la bomba de freno. Si no está seguro de si puede acoplar este producto a su motocicleta, contacte con el fabricante o con su proveedor.
- ⚠** Ajuste de la suspensión: todas las motocicletas son diseñadas con una geometría adecuada para su pilotaje. Esta geometría se verá modificada al regular su suspensión.

Por favor, lea atentamente este manual de instalación y asegúrese de que comprende las instrucciones que aparecen en él antes de manipular el kit. Si tiene dudas o precisa datos técnicos, contacte con su proveedor.



Asegúrese de que posee todas las herramientas necesarias para la instalación.

3.3.1. MONTAJE

El desmontaje del conjunto anterior se ha de realizar verificando que no existe ningún elemento presionado en el circuito (pinzamiento de latiguillos, etc.) que pueda provocar sobrepresiones interiores. Una vez que la maneta ha sido desmontada del manillar, siga los siguientes pasos para un montaje correcto (véase figura 50). Todas las operaciones han de realizarse en un taller en condiciones óptimas de limpieza, ya que la inclusión de arena, gravilla, gasolina y demás impurezas en el circuito es muy perjudicial, pudiendo llegar a su total inutilización.

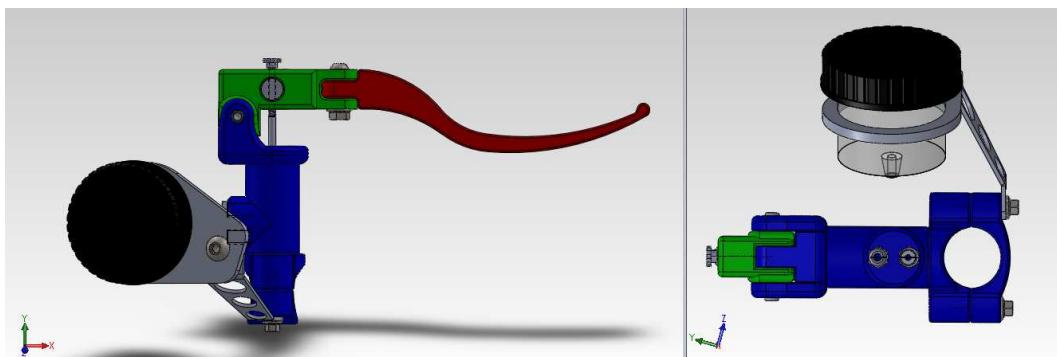


Figura 50. Sistema de accionamiento.

- En el caso de que hubiese un conjunto anteriormente instalado, retírelo.
 - Para instalar el nuevo conjunto, el circuito de frenado ha de hallarse completamente purgado y vaciado. Para vaciar completamente el líquido del circuito de frenado, se ha de abrir a la atmósfera por su parte inferior. Esto se hará mediante el purgador, situado en la pinza de freno delantera. Puede ser de utilidad colocar un cubo debajo del purgador, al igual que si se purgase un sistema de calefacción doméstico.
 - Para deshacerse del líquido de frenos usado, consulte la normativa medioambiental y depositelo en un contenedor de residuos especiales.
- ⚠️** Pueden existir presiones residuales en el circuito por lo que ha de tenerse cuidado para no recibir un chorro de líquido de frenos a alta presión mientras se desenrosca el purgador o cualquier componente.

- ⦿ Será de gran ayuda para el vaciado el desenroscar la tapa del vaso de expansión situado en el manillar. De este modo se vaciará el circuito a una velocidad mucho mayor.
 - ⦿ El líquido de frenos resulta corrosivo para la pintura y componentes de plástico de su moto. Tenga especial cuidado evitando derramarlo. En caso de que esto suceda, limpiar lo antes posible los restos.
-
- Limpiar de grasas y suciedad el manillar para evitar que el conjunto se deslice durante su uso. En caso de existir una zona sin pintura o con la superficie estriada, ese es el lugar en el que deberá colocarse.
 - Atornillar levemente la brida. Colocarse en la posición de conducción estándar y comprobar que la inclinación y posición es la correcta. Apretar definitivamente los dos tornillos de la brida al manillar (véase figura 51).

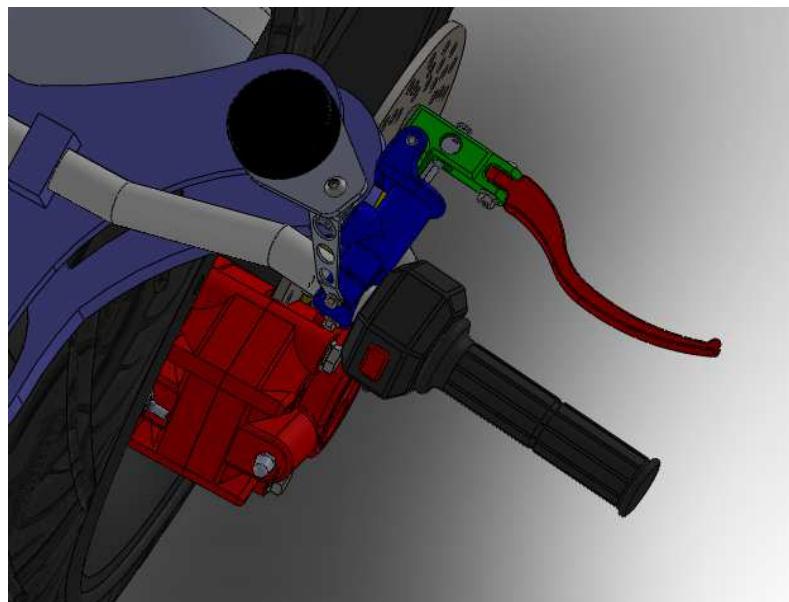


Figura 51. Posición final del sistema de accionamiento.

- Conectar el racor de entrada con el latiguillo que lleva al vaso de expansión. Esta unión ha de hacerse apretando el latiguillo contra la abrazadera lisa. Presione el latiguillo hasta cubrir completamente la abrazadera (véase figuras 52 y 53).

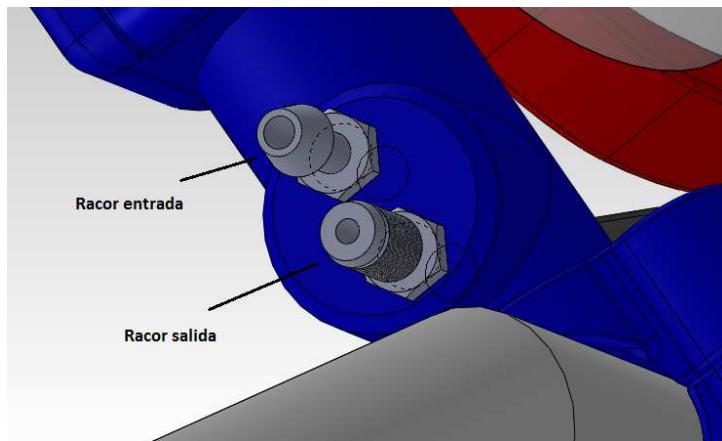


Figura 52. Racor de entrada y salida del sistema.

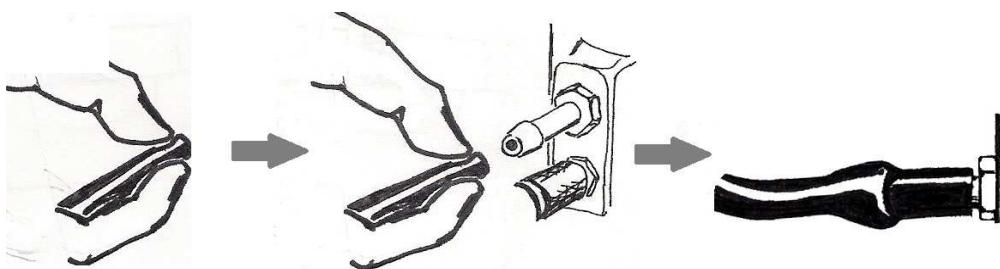


Figura 53. Posicionamiento del latiguillo en racor de entrada.

- Coloque las dos pinzas de alambre para evitar que se suelte. En el caso de que la abrazadera y el latiguillo de goma sean de diferente diámetro, deberá recurrir a su proveedor para que le sea recomendado el conector correcto (véase figura 54).

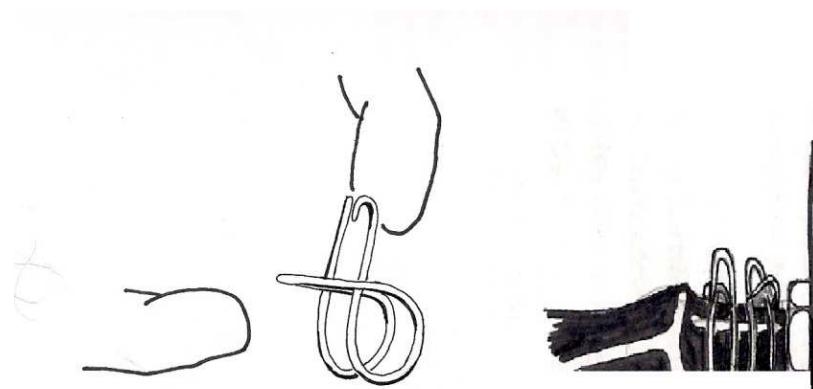


Figura 54. Posicionamiento de pinzas de alambre en la abrazadera del racor.

- Conectar el racor de salida con el latiguillo que comunica la presión al circuito de frenado. En caso de ser de diferente métrica los componentes, deberá recurrir a su proveedor para que le sea recomendado el conector correcto.
- Conectar el latiguillo inferior con el racor de la pinza de freno (véase figura 55).

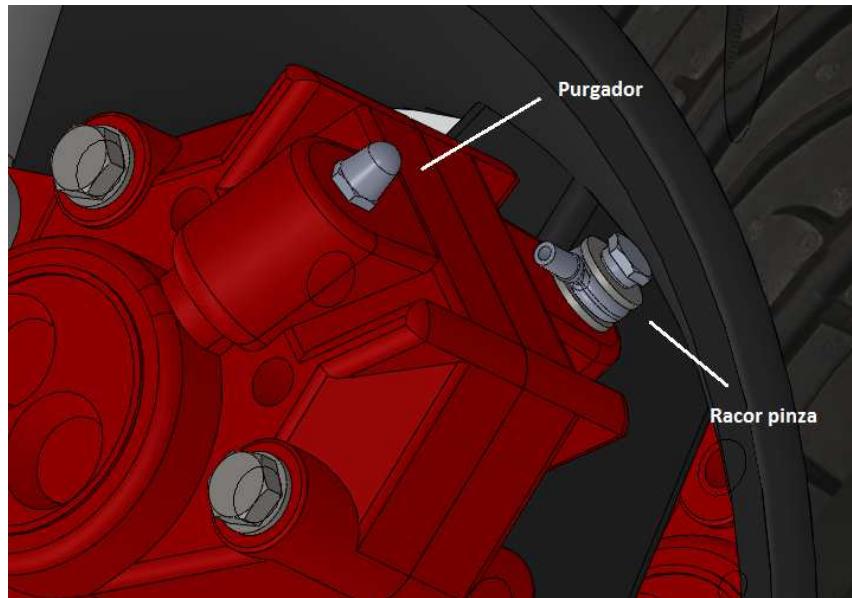


Figura 55. Racor y purgador de pinza de freno.

3.3.2. LLENADO

Una vez que se hayan conectado todos los racores correctamente, asegúrese de que el vaso de expansión se encuentra limpio y de que no hay grasa, agua o residuos en el circuito de frenado. El objetivo de todos estos pasos, es evitar que queden burbujas de aire dentro de los conductos del circuito.

- Coloque un recipiente bajo la pinza de freno.
- Desenrosque la válvula de la pinza de freno para que salga todo el aire.
- Abra la tapa del vaso de expansión y llénelo.
- Probablemente, el líquido no llene todos los tubos del circuito por sí mismo. Para ayudar a que esto suceda, apriete y suelte la maneta lentamente repetidas veces. Cada vez que hace esto, el circuito se llena poco a poco. Llegará un momento en el que el líquido rebose por la válvula de la pinza. En ese momento, manteniendo apretada la maneta, cerrar la válvula. Si suelta antes de cerrar la válvula, el aire entrará de nuevo en el circuito formando burbujas (véase figura 56).

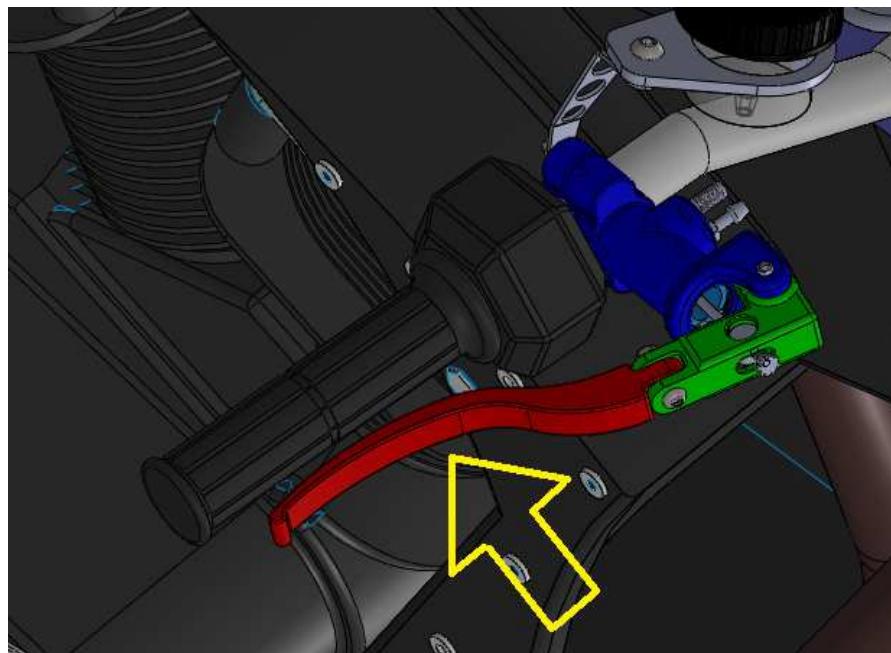


Figura 56. Accionamiento de la maneta para cerrar la válvula.

3.3.3. INSTRUCCIONES DE PRIMERA UTILIZACIÓN

Hacer las comprobaciones pertinentes a velocidad moderada para familiarizarse con el nuevo sistema de frenos y su tacto antes de circular por la vía pública.

- Compruebe en primer lugar la presión en parado antes de circular. Apriete la maneta en el taller y compruebe su tacto.
- Trate de usar el freno en un lugar apartado para comprobar que funciona correctamente y no hay fugas.
- Evite frenadas extremas hasta que no esté completamente familiarizado con la nueva maneta.
- ¡No circule si su motocicleta no funciona adecuadamente! Acuda a un taller mecánico especializado.

3.3.4. INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO

• ANTES DE CADA CONDUCCIÓN

Compruebe el tacto de los frenos. Si este fuese muy blando, puede deberse a:

- a) Ha entrado aire en el circuito: para solucionar este problema, purgue el circuito de frenos
- b) Existen fugas. Compruebe si hay restos de líquido y en caso de que sea así, acuda a un taller para solucionar el problema.

• DESPUÉS DE PASAR POR EL TALLER O LUGARES MUY SUCIOS

Comprobar la limpieza de los discos de freno. En caso de estar impregnados de grasa, barro o aceite, limpiarlos completamente. Si no lo hace, no servirá de nada su maneta de freno radial. Es posible que sus pastillas de freno queden irrecuperables y deba sustituirlas.

• CADA MES

Asegurarse de que las pastillas no rozan permanentemente en los discos de freno. En caso de que suceda, reglar el sistema junto con la maneta-bomba.

• CADA DOS AÑOS

Vigile si los latiguillos están deteriorados o corroídos. Sustitúyalos si es así.

Cambie el líquido de frenos. Es una operación que no debe hacerse nunca en un período superior a 4 años, ya que pueden formarse burbujas en el líquido envejecido y la eficacia de la frenada disminuirá peligrosamente.

- ⦿ Líquido de frenos: La bomba de freno está diseñada para un alto rendimiento y por ello el circuito se rellenará con líquido DOT 4 o DOT 5.1, capaces de trabajar a altas temperaturas. Una reposición con otro líquido diferente podrá ocasionar problemas en el circuito, especialmente en las pinzas. De todos modos, la bomba tolerará también DOT 3. Las gomas empleadas en su

construcción y las superficies de aluminio son completamente resistentes a la corrosión de los líquidos.

El líquido de frenos tiende a absorber la humedad del ambiente, por lo que si el circuito permanece con la tapa abierta, o las botellas de relleno no son cerradas correctamente, se deteriorará y el conjunto no funcionará adecuadamente.

• MEDIDAS DE SEGURIDAD

- ⚠ El líquido de frenos es tóxico e irritante, por lo que se han de llevar puestas gafas y guantes cuando se trabaje con él.
- ⚠ ¡No circule si su motocicleta no funciona adecuadamente! El montaje de la maneta-bomba puede resultar complejo. Por ello, es altamente aconsejable que encargue esta tarea a un profesional. Acuda a un taller mecánico especializado en caso de dudas.

3.4. REPARACIÓN, SUSTITUCIÓN Y CAMBIO DE COMPONENTES

• MANETA

Al poseer una maneta atornillada, esta puede sustituirse por una más ergonómica o acorde con los gustos del usuario.

En caso de caída y deformación o rotura de la maneta, esta es fácilmente sustituible. Para reponerla, tan solo es necesario un destornillador o llave torx de métrica 5.

Esta operación puede hacerse sin herramientas ya que el dispositivo que ha adquirido ha sido pensado para un ajuste rápido y sencillo. Se seguirán las siguientes instrucciones:

- En primer lugar, desenroscar y liberar el pasador del brazo de la maneta. Puede manipularse fácilmente con las manos (véase figura 57).

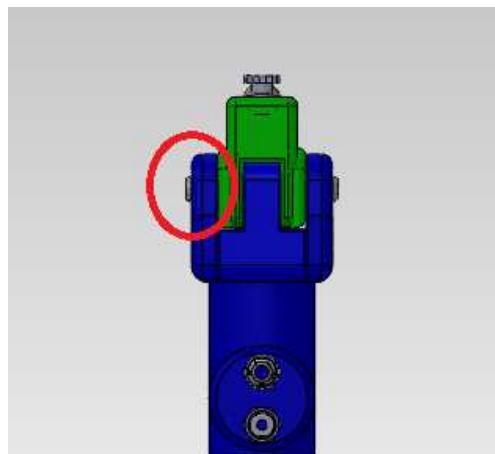


Figura 57. Posición pasador del brazo.

- No se deben perder la pequeña arandela grower ni las arandelas planas que van debajo de la tuerca. Estas arandelas pueden serle útiles en los pasos siguientes.
- Retirar la tuerca del vástago de la parte superior del brazo. Esta tuerca está moleteada. Guarde con cuidado la tapa de plástico que evita la entrada de suciedad por el orificio superior del brazo (véase figura 58).

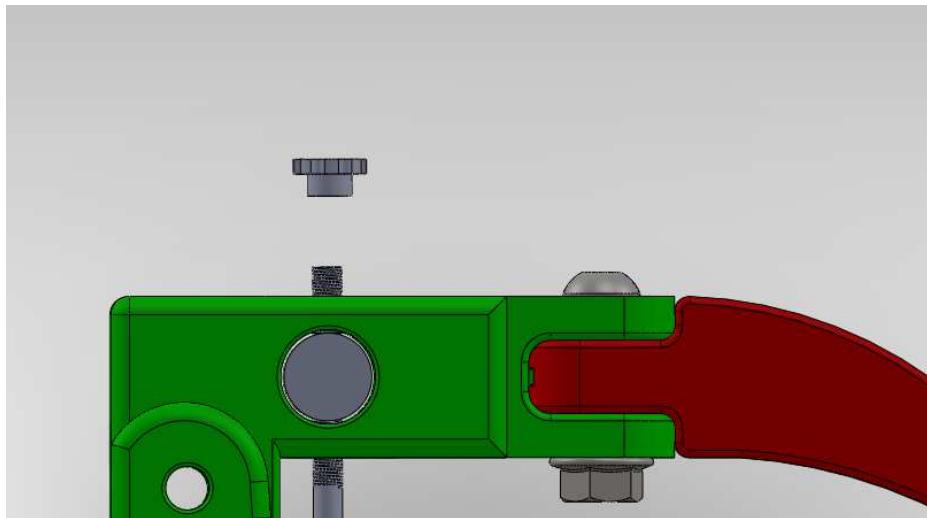


Figura 58. Desmontaje tuerca para liberar vástago.

- Ahora, la maneta, el protector del cuerpo y el brazo se encuentran libres. Cuidadosamente y asegurándose de tener todas las arandelas, sepárelos de la bomba de freno (véase figura 59).

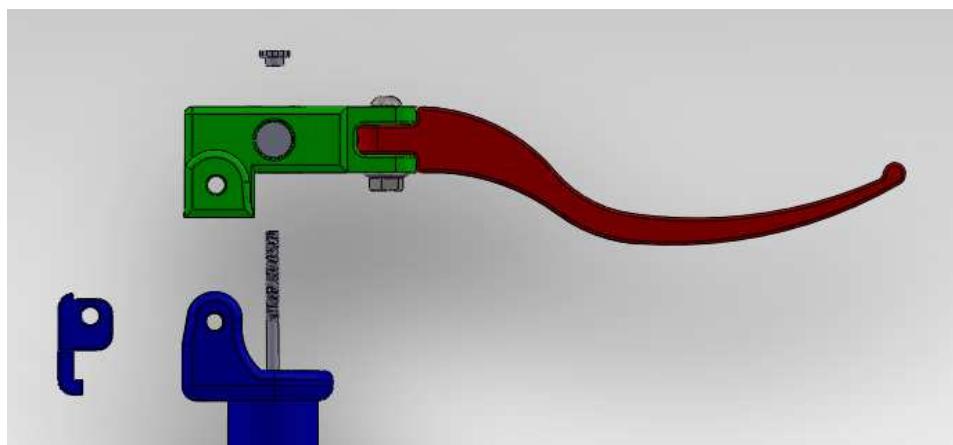


Figura 59. Desmontaje maneta del cuerpo de la bomba.

- Coloque la maneta en su lugar y compruebe que la nueva posición de la maneta es la adecuada para usted antes de terminar el montaje.
- Monte de nuevo el conjunto, apriete las tuercas moleteadas y asegúrese de que la maneta realiza su recorrido normalmente.

⚠ ¡Compruebe que funciona adecuadamente antes de circular!

• ANILLO DE GOMA

La sustitución de las partes de goma es posible gracias a la posibilidad de desmontar el conjunto (algo que no sucede con otros fabricantes).

Si nota que el líquido rebosa por los recovecos de la maneta, es posible que la junta de goma se haya deteriorado. Para su sustitución, siga los mismos pasos que se detallan más adelante para el tarado de la bomba de freno.

- Tan solo deberá sustituir la junta antigua por una nueva.

• RETÉN

Solo podrá llevarse a cabo en un taller especializado y sustituirlo por uno adecuado. Los daños causados por la manipulación del conjunto no serán cubiertos por la garantía. Para cambiar el retén, han de seguirse los mismos pasos que se detallan más adelante para tarar la bomba de freno.

- Una vez extraídos el vástago, el pistón y el muelle, desenrosque la tapa de la bomba de freno. La tapa no tiene ningún saliente, por lo que deberá introducir unos tornillos de métrica M2 en los agujeros roscados de la tapa.
- A continuación, gire la tapa y sáquela fuera.
- Extraiga el cilindro hidráulico con la ayuda de un extractor de rodamientos. No se encuentra sometido a presión por lo que tan solo deberá ejercer la fuerza necesaria para arrancar el sellador de juntas reseco.
- Extraiga el retén, que ahora se encuentra libre.
- Limpie perfectamente los restos de sellador de juntas que queden en el alojamiento e introduzca el nuevo retén.
- Impregne el cilindro con sellador de juntas, (Wurth o similar) e intodúzcalo en el interior de la bomba.
- Coloque de nuevo la tapa, retire los tornillos y monte el resto de elementos.

• PASTILLAS

También será recomendable llevarlo a cabo en un taller especializado y sustituirlas por pastillas compatibles con las pinzas que utilicemos. Se seguirán los siguientes pasos:

- Quite los dos tornillos que sujetan la pinza a la horquilla.
- Retire la pinza y saque las pastillas usadas.
- Coloque las pastillas nuevas asegurándose de que se posicionan correctamente.
- Meta el pistón con el utilaje (se puede usar palancas u otros utensilios).
- Coloque la pinza con los tornillos en la horquilla.
- Cebe el freno delantero para ajustar las pastillas al disco.
- Ahora ya puede circular aunque tendrá que tener precaución en las 100 próximas frenadas hasta que las pastillas se hagan al disco.

• LATIGUILLOS METÁLICOS

Es frecuente que al incorporar manetas radiales a su moto, también desee montar unos latiguillos metálicos para dar un tacto más deportivo a la frenada de su moto. Los latiguillos metálicos son perfectamente combinables con la bomba de freno y debido a las características de la maneta le transmitirán todas las vibraciones durante la frenada, pudiendo apurar más todavía en situaciones límite.

No obstante, tenga en cuenta que al ser mucho más rígidos que los latiguillos de goma, su tacto seco puede hacer que frene muy bruscamente y causar una caída. Por ello, trate de habituarse a la conducción con la bomba radial y los latiguillos metálicos en un lugar apartado de la vía pública antes de circular.

• TARADO DE LA BOMBA DE FRENO

- ⦿ El tarado de la bomba de freno / cilindro maestro requiere un desmontaje completo del conjunto y la inclusión de piezas nuevas (muelle). En caso de no realizarse adecuadamente o dañar el conjunto por su mal montaje, quedará fuera de garantía.
- ⦿ Probablemente, usted nunca necesite tarar la bomba de freno ya que está preparada para unos valores normales de funcionamiento. Pero si tiene unos requerimientos especiales para uso en competición, el mecanismo es completamente desmontable. El tarado consistirá en el reemplazo del muelle interior de la bomba por uno que usted prefiera. Si se sustituye el muelle por uno más duro (mayor constante K) se deberá hacer una mayor (o menor dado el caso) fuerza para accionar el freno. Un muelle de diferente longitud, modificaría la "fuerza cero" para comenzar la carrera del cilindro y luego se comportaría linealmente durante su recorrido. La modificación del volumen del muelle se traduce en un cambio del caudal de líquido de freno desplazado por el vástagos durante su carrera, lo que también modificará el mordiente de las pinzas de freno para cada posición.

Los siguientes pasos le ayudarán en la tarea:

- Vacíe completamente el circuito de frenos utilizando el purgador de las pinzas.
- Desenrosque la tuerca como en el caso del ajuste y extraiga los tubos y la arandela del vástagos.
- Estire con cuidado del vástagos hasta extraerlo junto con su cilindro. Puede producirse el vacío mientras estira, pero poco a poco, haga fuerza hasta oír el sonido "plop" al entrar aire a través del retén. Tenga cuidado de no perder el pistón ni su pasador y su goma, ya que son de muy pequeño tamaño y quedarán completamente liberados.
- Extraiga el muelle antiguo y coloque el nuevo en su lugar con cuidado de no rasgar el retén.
- Vuelva a montar el conjunto siguiendo los pasos anteriores en sentido inverso.

3.5. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
Rendimiento deficiente de los frenos	Los frenos no han tenido el debido rodaje Disco/forros con aceite Aire en el sistema Sistema no hermético	Rodar los frenos. Lavar disco con limpiador de frenos, sustituir forros y hacer rodaje. Purgar los frenos. Comprobar conexiones y el conducto de frenos; si fuera necesario, cambiarlos y cargar de nuevo los frenos
Punto de presión débil	Aire en el sistema Sistema no hermético Conducto de frenos defectuoso	Purgar los frenos. Comprobar conexiones y el conducto de frenos; si fuera necesario, cambiarlos y cargar de nuevo los frenos. Comprobar si el conducto de frenos presenta alguna “abolladura” o si se aprecia líquido de frenos en la funda protectora transparente
Los frenos chirrían al accionarlos	Montaje erróneo Tensión radial de la rueda portante insuficiente Discos de freno desgastados El disco de freno lleva forros de carbón y sinterizados	Posicionar correctamente la pinza de freno. Asegurarse de que los agujeros de montaje no sufren daños ni están sucios. Comprobar que existe la tensión radial adecuada. Comprobar el espesor mínimo y si fuera necesario cambiar el disco de freno. Usar un disco de freno separado para los forros de carbón y sinterizados
Forros con aceite (líquido de frenos, aceite)	Descuido	Cambiar los forros

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
Rueda delantera no se mueve libremente	Montaje defectuoso Demasiado líquido de frenos en el recipiente de compensación La pinza de frenos no está orientada hacia el disco	Comprobar montaje. Abrir recipiente de compensación y si fuera necesario drenar la sobrepresión. Soltar los tornillos de fijación de la pinza de frenos – “bombear” los forros al disco de frenos – apretar de nuevo los tornillos de la pinza de frenos manteniendo tensionada la palanca de frenos manual
Discos de freno con aceite	Descuido	Lavar con limpiador de frenos o con alcohol
La rueda portante no puede montarse	Se ha tirado de la palanca de frenos cuando la rueda portante estaba desmontada	Colocar manualmente los forros
Los frenos hacen ruido y les cuesta decelerar	Los forros están totalmente desgastados, el material de base de los forros desgasta el disco	Cambiar forros

4. BIBLIOGRAFÍA

- Apuntes de la asignatura “Diseño de Máquinas”
- Libro “*Dibujo Industrial. Conjuntos y Despiece*s”
- Apuntes de la asignatura “Oficina Técnica”
- Proyecto Fin de Carrera “*Diseño de un conjunto maneta y bomba radial de freno para motocicletas (Sevil Serrano, Juan)*”
- “*Manual Radial Supermoto Brake System. Magura 2008*”
- F. Farrer, G. Minaya, J. Niño, M. Ruiz, Manual de Ergonomía, Ed. MAPFRE, S.A., 1995
- M. de Castro, Biblioteca técnica y práctica de la Motocicleta. Suspensión, dirección, frenos. Ed. CEAC. 2001
- K. Ulrich, S. Eppinger, Product Design and Development. Boston, MA: Irwin McGraw-Hill, 2000
- Fabricantes de motocicletas.

Aprilia, disponible en <http://spain.aprilia.com/>

Kawasaki, disponible en <http://www.kawasaki.es/>

Ducati, disponible en <http://www.ducati.es/>

Honda, disponible en <http://www.honda-montesa.es/>

Suzuki, disponible en <http://moto.suzuki.es/>

Yamaha, disponible en <http://www.yamaha-motor.com/>

- Directiva CEE relativa al frenado de los vehículos de motor de dos o tres ruedas, 93/14/CEE. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 5 de Abril de 1993
- Directiva CEE por la que se modifican, para adaptarlas al progreso técnico la Directiva del Consejo 93/14/CEE, 2006/27/CEE de la Comisión. Diario Oficial de la Unión Europea, 3 de Marzo de 2006
- www.circulaseguro.com/frenos/motocicletas

