



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



## **TRABAJO FINAL DE GRADO**

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

---

# **DISEÑO DEL SISTEMA DE FRENADO DE UNA MOTOCICLETA PARA CIRCULACIÓN EN CARRETERA**

---

**AUTOR: José Antonio Díez Berja**

**DIRECTOR DEL PROYECTO: Francisco José Rubio Montoya**

Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales

Valencia, Septiembre de 2020

# ÍNDICE DE DOCUMENTACIÓN

MEMORIA .....	3
PRESUPUESTO .....	63
PLIEGO DE CONDICIONES .....	67



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# **TRABAJO FINAL DE GRADO**

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

---

## **DISEÑO DEL SISTEMA DE FRENADO DE UNA MOTOCICLETA PARA CIRCULACIÓN EN CARRETERA**

---

### **MEMORIA**

**AUTOR: José Antonio Díez Berja**

**DIRECTOR DEL PROYECTO: Francisco José Rubio Montoya**

Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales

Valencia, Septiembre de 2020

# RESUMEN

El presente proyecto se centra en el estudio, diseño y cálculo de los sistemas de frenado para una motocicleta de ruta pavimentada, o comúnmente conocida como moto de carretera. Concretamente la motocicleta objeto de estudio será de la marca Honda y modelo CBR 500R.

Para ello se ha decidido definir los diferentes elementos que componen los dos sistemas de frenado puesto que, al tratarse de una motocicleta, el sistema de frenado delantero es independiente del sistema de frenado trasero. Se llevará a cabo el cálculo y diseño de los elementos que componen el sistema basado en las especificaciones de la motocicleta mencionada.

Los sistemas de frenado serán enfocados hacia los discos de freno, ya que poseen mayor precisión y progresión o dosificación de la frenada. El diseño de estos frenos se realizará bajo unas condiciones de funcionamiento basadas en la realidad, para asegurar la integridad y la seguridad en cuanto se lleve la práctica.

Antes de todo ello, haremos un repaso por la historia para observar la evolución de los sistemas de frenado que han formado parte de las motocicletas.

## **Palabras clave**

Discos de freno, bomba de freno, líquido de frenos, pastillas, calzada, coeficiente de rozamiento, pinza de freno, fuerza de frenado, adherencia, fricción, motocicleta, frenado, seguridad.

# RESUM

El present projecte se centra en l'estudi, disseny i càlcul dels sistemes de frenat per a una motocicleta de ruta pavimentada, comunament coneguda com a moto de carretera. Concretament, la motocicleta objecte d'estudi serà de la marca Honda i model CBR 500R.

Per a això s'ha decidit definir els diferents elements que componen els dos sistemes de frenat perquè, en tractar-se d'una motocicleta, el sistema de frenat davanter és independent del sistema de frenat posterior. Es durà a terme el càlcul i disseny dels elements que componen el sistema basat en les especificacions de la motocicleta esmentada.

Els sistemes de frenat seran enfocats cap als discos de fre, ja que posseeixen major precisió i progressió o dosatge de la frenada. El disseny d'aquests frens es realitzarà sota unes condicions de funcionament basades en la realitat, per a assegurar la integritat i la seguretat quan s'emporte la pràctica.

Abans de tot això, farem un repàs per la història per observar l'evolució dels sistemes de frenat que han format part de les motocicletes.

## **Paraules clau**

Discos de fre, bomba de fre, líquid de frens, pastilles, calçada, coeficient de fregament, pinça de fre, força de frenat, adherència, fricció, motocicleta, frenat, seguretat.

# **ABSTRACT**

This project focuses on the study, design and calculation of braking systems for a paved road motorcycle, or commonly known as a road bike. Specifically, the motorcycle under study will be of the Honda brand and CBR 500R model.

For this, it has been decided to define the different elements that compose the two braking systems since, as it is a motorcycle, the front braking system is independent of the rear braking system. The calculation and design of the elements that compose the system based on the specifications of the motorcycle mentioned.

Braking systems will be focused on the brake discs, as they have greater precision and progression or dosing of braking. The design of these brakes will be carried out under reality-based operating conditions, to ensure integrity and security as soon as the practice is carried out.

Before all this, we will review history to observe the evolution of braking systems that have been part of motorcycles.

## **Keywords**

Brake discs, brake pump, brake fluid, pads, roadway, friction coefficient, brake calliper, braking force, adherence, friction, motorcycle, braking, security.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

1. OBJETIVO DEL PROYECTO .....	1
1.1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.2. MOTIVACIÓN PARA LA REALIZACIÓN .....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	2
2.1. DEFINICIÓN.....	2
2.2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA.....	3
3. DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO.....	10
3.1. INTRODUCCIÓN .....	10
3.2. COMPONENTES DEL SISTEMA .....	14
4. DATOS DE PARTIDA.....	27
5. DISEÑO .....	28
5.1. CÁLCULO.....	28
5.2. MODELO EN SOLIDWORKS .....	40
5.3. COMPONENTES DE NUESTRO SISTEMA .....	46

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Motocicleta provista de freno de cuchara en la rueda delantera. _____	4
<b>Figura 2.</b> Bicicleta provista de freno de llanta. _____	5
<b>Figura 3.</b> Freno de tambor de 'simple leva' en una motocicleta. _____	6
<b>Figura 4.</b> Diagrama de distribución de presiones de frenado. (Simple leva) _____	6
<b>Figura 5.</b> Freno de tambor de 'doble leva'. _____	7
<b>Figura 6.</b> Freno de tambor de 'cuádruple leva'. _____	7
<b>Figura 7.</b> Diagrama de distribución de presiones de frenado. (Doble leva) _____	7
<b>Figura 8.</b> Freno de disco en una motocicleta. _____	9
<b>Figura 9.</b> Distribución de presiones inicial (a) y tras desgaste sucesivo (b). _____	9
<b>Figura 10.</b> Tabla de medición experimental del coeficiente de adherencia. _____	12
<b>Figura 11.</b> Tabla de medición experimental del coeficiente de fricción. _____	14
<b>Figura 12.</b> Bomba axial delantera de una motocicleta. _____	15
<b>Figura 13.</b> Bomba radial delantera de una motocicleta. _____	16
<b>Figura 14.</b> Bomba radial trasera de una motocicleta. _____	16
<b>Figura 15.</b> Latiguillo de freno de goma rígida. _____	17
<b>Figura 16.</b> Latiguillo de freno metálico. _____	18
<b>Figura 17.</b> Pinza de anclaje axial flotante. _____	19
<b>Figura 18.</b> Principio de funcionamiento de una pinza axial flotante. _____	19
<b>Figura 19.</b> Pinza de anclaje axial fijo. _____	20
<b>Figura 20.</b> Principio de funcionamiento de una pinza axial fija. _____	20
<b>Figura 21.</b> Pinza de anclaje radial. _____	21
<b>Figura 22.</b> Pinza convencional y pinza Monoblock. _____	21
<b>Figura 23.</b> Pastillas de compuesto orgánico. _____	22
<b>Figura 24.</b> Pastillas de compuesto sinterizado. _____	23
<b>Figura 25.</b> Pastillas de compuesto semimetálico. _____	23
<b>Figura 26.</b> Disco liso de anclaje fijo. _____	24
<b>Figura 27.</b> Disco perforado y lobulado de anclaje flotante. _____	25
<b>Figura 28.</b> Representación gráfica del vehículo. _____	28

<b>Figura 29.</b> Cálculo de la relación de radios del primer supuesto mediante SOLVER. _____	30
<b>Figura 30.</b> Cálculo de la relación de radios del segundo supuesto mediante SOLVER. _____	34
<b>Figura 31.</b> Sistema de frenado delantero en SOLIDWORKS. _____	40
<b>Figura 32.</b> Pinza de freno delantera SOLIDWORKS. _____	41
<b>Figura 33.</b> Bomba de freno delantera SOLIDWORKS. _____	41
<b>Figura 34.</b> Disco de freno delantero SOLIDWORKS. _____	42
<b>Figura 35.</b> Latiguillo de freno delantero SOLIDWORKS. _____	42
<b>Figura 36.</b> Sistema de frenado trasero SOLIDWORKS. _____	42
<b>Figura 37.</b> Pinza de freno trasera SOLIDWORKS. _____	43
<b>Figura 38.</b> Bomba de freno trasera SOLIDWORKS. _____	43
<b>Figura 39.</b> Disco de freno trasero SOLIDWORKS. _____	44
<b>Figura 40.</b> Latiguillo de freno trasero SOLIDWORKS. _____	44
<b>Figura 41.</b> Chasis motocicleta SOLIDWORKS. _____	44
<b>Figura 42.</b> Disco de freno delantero Brembo 68B407H7. _____	46
<b>Figura 43.</b> Disco de freno trasero Brembo 68B40749. _____	47
<b>Figura 44.</b> Bomba de freno delantera Brembo XA2.B3.A0. _____	47
<b>Figura 45.</b> Bomba de freno trasera Brembo XA5.21.30. _____	48
<b>Figura 46.</b> Pinza de freno delantera Brembo XQ2.13.61. _____	49
<b>Figura 47.</b> Pinza de freno trasera Brembo XQ2.13.90. _____	50
<b>Figura 48.</b> Pastillas delanteras Galfer FD138 G1396. _____	51
<b>Figura 49.</b> Pastillas de freno traseras Galfer FD291 G1396. _____	52
<b>Figura 50.</b> Tornillo banjo con sangrador Galfer FK003D030A. _____	52
<b>Figura 51.</b> Tornillo banjo Galfer FK002D008B. _____	53
<b>Figura 52.</b> Latiguillo de freno Galfer tipo FK. _____	53

# **1. OBJETIVO DEL PROYECTO**

## **1.1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO**

El presente proyecto consiste en el diseño y cálculo de un sistema de frenado para una motocicleta que consistirá en un sistema independiente. Este sistema estará compuesto, a su vez, por un sistema para el frenado de la rueda delantera y por otro sistema para el frenado de la rueda trasera. Ambos trabajarán de forma independiente, como se ha mencionado anteriormente, para un mejor control del vehículo y evitar bloqueos durante la toma de una curva, evitando así situaciones comprometidas para el conductor y su pasajero si lo hubiere.

Para ello se hará un breve repaso por la historia y la evolución de los sistemas de frenos en el ámbito automovilístico, puesto que éstos se aplican también para las motocicletas. Cabrá analizar las diferentes tipologías y/o montajes de estos sistemas de freno, así como el análisis de los diferentes elementos que componen los diferentes sistemas.

Para el caso que nos ocupa se realizará el diseño para una Honda CBR 500 R, se seleccionarán los diferentes elementos que componen los sistemas basándonos en el cálculo realizado mediante los datos de partida, los cuales serán los proporcionados por el fabricante de la motocicleta citada. Dicha selección se realizará desde el punto de vista de la seguridad y máxima eficiencia, sin comprometer en exceso el peso y las fuerzas de inercias del conjunto.

## **1.2. MOTIVACIÓN PARA LA REALIZACIÓN**

Se ha escogido el diseño del sistema de frenado de una motocicleta puesto que resulta interesante el estudio y diseño de una parte de la seguridad de un vehículo como lo son los sistemas de frenado. De este modo se aplicarán los conocimientos adquiridos en el aula y éstos se ampliarán mediante la investigación a medida que se realiza el presente documento.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1. DEFINICIÓN

Según la Real Academia Española de la Lengua (RAE) un ‘freno’ es un mecanismo que sirve en las máquinas y carruajes para moderar o detener el movimiento.

Cuando se habla de los sistemas de frenado, se hace referencia a una parte fundamental de un vehículo, cuyas funciones principales son reducir la velocidad del vehículo, o lo que es lo mismo, desacelerar dicho vehículo, facilitando a su vez el estacionamiento de este. Estos sistemas son una pieza muy importante en cuanto a la seguridad activa y su correcto funcionamiento es vital para asegurar la integridad de los pasajeros del vehículo. Los frenos son la parte encargada de detener el giro de las ruedas, cuyos neumáticos están en contacto con el pavimento, existiendo fuerzas de fricción entre estos.

Habitualmente, toda persona, poseedora de un vehículo, o futura compradora de uno, no es consciente de la tipología y funcionamiento del sistema de frenado del vehículo que han adquirido. No son conocedoras de su tipología ni características, ni tampoco de su funcionamiento y si deben o no mantenerse, ni de la forma correcta en que debería realizarse. Los frenos son una parte fundamental de un vehículo que podrían salvar la vida de los integrantes en caso de algún tipo de peligro inminente.

Para que un sistema de frenado se considere que su función es correcta y efectiva, debe reunir las siguientes características:

- Eficacia (Detención del vehículo de un tiempo y recorrido mínimo).
- Estabilidad (Conservación de la trayectoria del vehículo cuando se accione el freno).
- Progresividad (Fuerza de accionamiento proporcional al esfuerzo realizado por el conductor).
- Confortabilidad (Accionamiento casi sin esfuerzo o impedimento).

A partir de estas características, a lo largo de la historia el hombre ha empleado tiempo y esfuerzo en mejorar los sistemas de detención de los vehículos para conseguir obtener un sistema preciso, ajustado, y acorde a las necesidades de cada vehículo o demandante del mismo. Para observar la evolución de estos sistemas se debe realizar un repaso a través de la historia.

## 2.2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Primeramente, debemos señalar el origen de la motocicleta, puesto que se trata del vehículo de estudio del presente trabajo.

Los principios de la motocicleta se pueden decir que fueron en 1867, cuando Sylvester Howard Roper inventó un motor de cilindros, cuyo funcionamiento se llevaba a cabo mediante vapor, y lo incorporó en una bicicleta. Sin embargo, mucha gente no considera este invento o artefacto como la primera motocicleta debido a que estaba provista por un motor a vapor.

Más tarde, en 1885, Gottlieb Daimler, incorpora a una bicicleta un motor de combustión interna, desarrollado por Nikolaus August Otto en 1876. Este invento se puede considerar como la primera motocicleta propiamente dicha.

Dados estos dos inventos, los historiadores no acuerdan a quien atribuir realmente la invención de la motocicleta debido a que existen varios puntos de vista, pero se podría asumir que la primera motocicleta sería la primera comentada, provista de motor de vapor, ya que, según la RAE, una ‘motocicleta’ es un vehículo automóvil de dos ruedas, con uno o dos sillines y, a veces, con sidecar, y no se hace alusión a la tipología de motor utilizado en dicho vehículo.

Llegados a este punto, podemos decir que la necesidad principal había consistido en cómo hacer funcionar un motor. A raíz de este desarrollo surgió un nuevo problema, había que desarrollar sistemas que fueran capaces de detener el vehículo creado, de lo contrario, la utilización de este podría resultar peligrosa. Por ello, al principio, sobre todo, se usaron sistemas basados en los que montaban las bicicletas de la época.

Ahora ya podríamos realizar un repaso en la historia sobre la evolución de los sistemas de frenado utilizados en las motocicletas.

Cuando apareció la primera motocicleta, en la época se utilizaban los frenos de cuchara, los cuales consistían en una zapata de caucho o cuero que se presionaban, mediante un sistema de palanca de varilla, contra el neumático, consiguiendo crear fricción entre ambos elementos y, por tanto, decelerando la rotación de la rueda. Habitualmente eran montados en las ruedas delanteras, y sobre la parte superior del neumático, y estaban accionados mediante una varilla, accionada a su vez por una palanca en el manillar, instalada usualmente en el lado derecho del mismo.

Sin embargo, este tipo de freno era muy sensible a las condiciones de la calzada y el desgaste del neumático era considerable. Debido a esto, un tiempo después aparecieron los frenos de zapatas, que actuaban en la llanta y no sobre el neumático, reduciendo así su desgaste.



*Figura 1. Motocicleta provista de freno de cuchara en la rueda delantera.*

Debido a los problemas de desgaste, y dependencia del estado de la calzada de los frenos de cuchara, se desarrollaron los frenos de zapata-zapata, o comúnmente conocidos como frenos de llanta. Este tipo de freno empleaba fuerzas de frenado que se aplicaban mediante unas pastillas (o almohadillas), generalmente de cuero o goma, enfrentadas a la llanta, generando fricción sobre el aro o llanta de la rueda y, de esta forma disminuyendo la velocidad de rotación de dicha rueda.

Este tipo de sistema se accionaba al apretar una palanca que estaba montada en el manillar y, mediante un sistema de cable y levas, se friccionalaban las pastillas o zapatas con el aro de la rueda. Habitualmente las almohadillas, de cuero o goma, se montaban en zapatas de metal.

Actualmente podemos encontrar este sistema de freno en las bicicletas infantiles. Cabe destacar que la eficacia de frenado se verá reducida si la llanta se encuentra mojada, manchada de lubricantes, etc. Sin embargo, no producen desgaste sobre el neumático, lo cual supuso un avance respecto al sistema que anteriormente se empleaba.



*Figura 2. Bicicleta provista de freno de llanta.*

Ya a principios del siglo XX, aparecen los frenos de tambor modernos, inventados por Louis Renault en 1902, y se fueron incorporando en todo tipo de vehículos, incluidas las motocicletas.

Este invento consistía en un tambor giratorio que estaba acoplado al eje o rueda, girando de forma solidaria con este. A este tambor se le ejercía unas fuerzas de fricción a causa de unas zapatas que presionaban el interior de dicho tambor y, por consiguiente, se conseguía una disminución o detención de la marcha del vehículo.

Habitualmente este sistema estaba accionado por un sistema de cables metálicos, o también por varillas, los cuales accionaban unas mordazas que presionaban el material de alta fricción contra el tambor. Inicialmente estos sistemas estaban compuestos por un sistema de ‘simple leva’, una única leva era la que accionaba el conjunto y se conseguía que una zapata ejerciera más presión que la opuesta, ya que una mordaza se apoyaba sobre el tambor en el sentido del giro de este y la otra en sentido contrario, y obteníamos una distribución de presiones desigual.

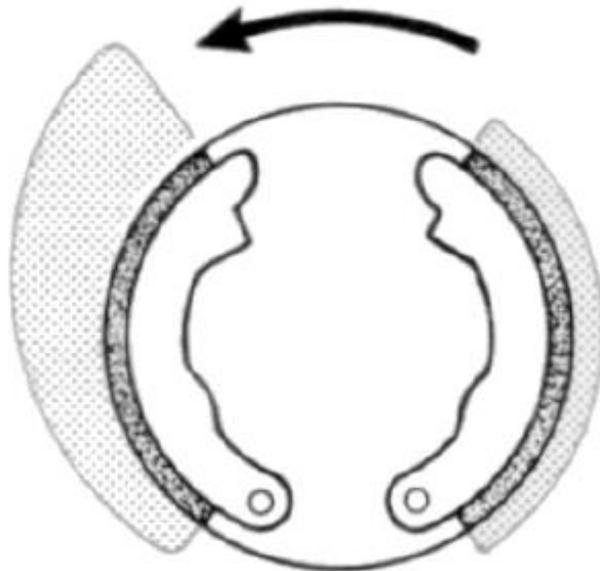
Por esta última razón, se desarrollaron los sistemas de ‘doble y cuádruple leva’. Estos consistían en accionar las zapatas de tal forma que actuasen de la misma manera, aplicando

las fuerzas de frenado en el mismo sentido. De esta forma conseguimos una distribución de presiones iguales para ambas mordazas.

Todo ello se puede entender de una forma visual en las siguientes imágenes, en las cuales podremos ver la distribución de presiones de cada tipo de sistema de leva.



*Figura 3. Freno de tambor de 'simple leva' en una motocicleta.*



*Figura 4. Diagrama de distribución de presiones de frenado. (Simple leva)*

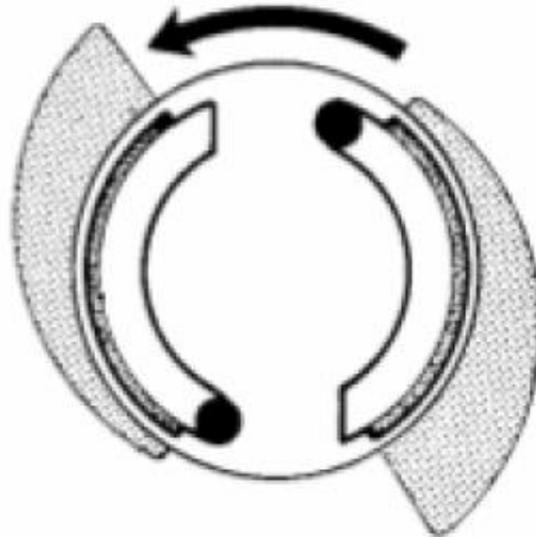


**Figura 5.** Freno de tambor de 'doble leva'.



**Figura 6.** Freno de tambor de 'cuádruple leva'.

Como podemos observar, el sistema de 'cuádruple leva', consiste en el montaje de dos sistemas de 'doble leva', aumentando así la capacidad de frenado. Para un sistema de doble leva tendremos la siguiente distribución de presiones:



**Figura 7.** Diagrama de distribución de presiones de frenado. (Doble leva)

Para un sistema de cuádruple leva la distribución de presiones sería uniforme para ambas zapatas completas. A pesar de conseguir una mejor distribución de presiones, este sistema no se utilizó demasiado.

Vemos que estos sistemas ya no actúan sobre el neumático o sobre la llanta directamente, si no que actúan en un tambor solidario a la rueda. Estos sistemas de frenos de tambor tienen la ventaja de ser muy efectivos, además de que no conllevan un coste elevado y presentan una larga duración, por ello este sistema supuso un gran avance en cuanto a los sistemas de frenado de vehículos, respecto a los sistemas que se utilizaban anteriormente derivados de las bicicletas. Cabe destacar que algunos vehículos estaban diseñados con un circuito hidráulico para el accionamiento del sistema de frenado, pero la mayoría utilizaban el sistema mecánico (cables o varillas) mencionado anteriormente.

Pero el gran avance que podemos observar es que este sistema no es dependiente del estado de la carretera, lo que conlleva un aumento de la eficiencia y capacidad de frenado, ante cualquier circunstancia en la cual circule el vehículo.

Ya a mediados del siglo pasado, durante los años 70 aproximadamente, podemos observar la aparición de las primeras motocicletas provistas de frenos de disco, principalmente en la parte delantera, pero se fueron incorporando en ambas ruedas progresivamente. Estos sistemas estaban derivados del mundo del automóvil.

El sistema de freno de disco consiste en un disco metálico, o dos, solidarios al buje de la llanta, que están ‘mordidos’ por unas pastillas de fricción accionadas por unos pistones que ejercen presión sobre estas. Estos pistones, a su vez, están accionados por presión hidráulica mediante unos bombines sobre los que actúa el piloto.

La potencia de frenado disponible aumentó considerablemente debido a la gran disipación de calor que se podía obtener con este sistema. Además, este sistema es capaz de autolimpiarse y las pastillas de fricción son capaces de ajustarse automáticamente, lo que supuso mucha diferencia y avance respecto a los frenos de tambor. Cabe destacar que este sistema ocupa un espacio más reducido para una misma potencia de frenado.

Una diferencia destacable de los frenos de disco, respecto a los frenos de tambor, es que los discos no están igual de protegidos que los frenos de tambor, lo que puede intervenir en el funcionamiento de este sistema. Pero al estar montados ‘al aire’ obtenemos mejor refrigeración y, por tanto, podemos absorber mayor energía y la transformación en calor se realiza y disipa de una forma más rápida.

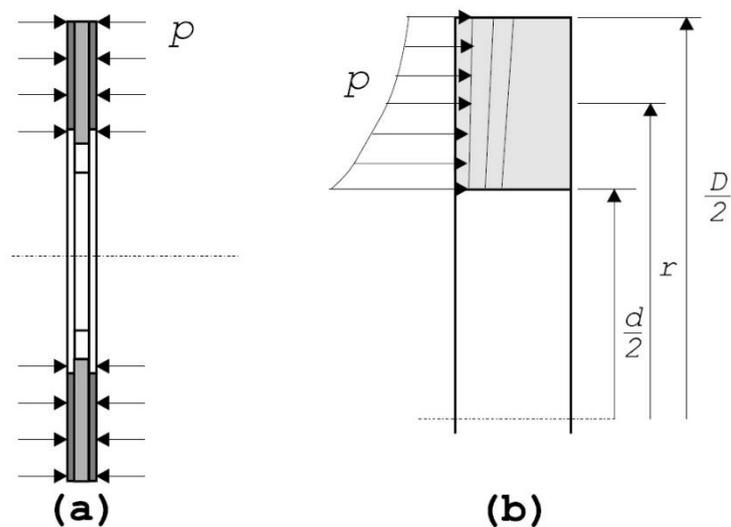
La acción de frenado es más enérgica en los frenos de disco, lo que se traduce en un menor tiempo de actuación y, consecuentemente, en una distancia de parada menor, lo que supone disponer de sistemas más seguros.

Dentro de los discos de freno podemos encontrar varios montajes, cada cual, con sus atributos, los cuales se verán en un apartado más adelante.

Los frenos de disco actúan de forma axial al disco, consiguiendo un reparto de presiones uniforme. Sin embargo, cuando el material de fricción se desgasta estas presiones dejan de ser uniformes y se consigue un reparto desigual de dicha presión, consiguiendo las más altas en el interior del disco.



*Figura 8. Freno de disco en una motocicleta.*



*Figura 9. Distribución de presiones inicial (a) y tras desgaste sucesivo (b).*

## **3. DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

#### **3.1.1. Principio de funcionamiento.**

El sistema de frenado de un vehículo es activado cuando el conductor de este lo acciona, mediante unas palancas, provocando una fricción entre el disco o tambor y las pastillas, generando así calor. Podemos decir que existe una transformación de la energía cinética (velocidad) a energía calorífica; por tanto, cuanto más calor se genere más rápido se detendrá nuestro vehículo, puesto que se estará transformando una cantidad de energía mayor.

El proceso de frenado en una motocicleta pasa por el siguiente orden:

1. Accionamiento de las palancas de freno por parte del piloto.
2. Tiempo de respuesta. Tiempo que tarda el sistema en transmitir la acción de frenado al sistema de detención equipado en la rueda.
3. Incremento de la fuerza de frenado, generando calor en el sistema.
4. Duración de la frenada.
5. Detención del vehículo.

Para que el proceso descrito sea efectivo se debe dar la máxima adherencia entre el neumático y la calzada, de lo contrario la efectividad del sistema se reducirá y la distancia de frenado se verá incrementada, pudiendo provocar situaciones comprometidas para los ocupantes.

Por tanto, las características que determinan la capacidad de frenado de un sistema de freno son las siguientes:

- Detención del vehículo con seguridad y en todo momento.
- Progresividad.
- No precisar de grandes esfuerzos de frenado por parte del conductor.
- Detener el vehículo en la distancia más corta posible.

### **3.1.2. Fuerzas y momentos de frenado.**

Cuando la motocicleta está en orden de marcha se pueden observar una serie de fuerzas retardadoras que intervienen en el proceso de frenado, pudiendo ser beneficiosas, aunque en un porcentaje reducido.

1. Fuerza de frenado.

Es la fuerza desarrollada por el propio sistema de freno, siendo la principal y de más importancia para la disminución de la velocidad de la motocicleta. Esta fuerza dependerá de la resistencia obtenida en las ruedas.

2. Resistencia aerodinámica.

Es la resistencia que aparece cuando un vehículo, o un cuerpo, se mueve a través del aire, por tanto, aparecerá una fuerza contraria al movimiento debido al rozamiento de las capas fluidas que rodean al vehículo. La deceleración equivalente de esta fuerza es alrededor de 0.03g, un valor relativamente bajo. Es de vital importancia tenerla en cuenta a altas velocidades, a bajas velocidades no se suele tener en cuenta.

3. Resistencia de rodadura.

Es la fuerza que se opone al movimiento del vehículo debido a la imperfecta elasticidad de los neumáticos. Es debida a la resistencia al desplazamiento longitudinal de una rueda que se encuentra girando de forma libre. La deceleración equivalente de esta fuerza es de 0,01g, lo cual es insignificante frente a la fuerza de frenado obtenida por el sistema.

4. Resistencia mecánica.

Debidas al motor, sistema de cambio y la transmisión, estas contribuyen a los efectos de inercia y arrastre en la acción del frenado. Estos últimos surgen de la fricción y presión de los engranajes y sistemas mecánicos que componen la caja de cambios y el sistema de transmisión, aunque también intervienen las creadas en la acción del freno motor. Habitualmente estas fuerzas son suficientes para decelerar el vehículo, cuando la reducción de velocidad que se quiere conseguir es pequeña.

5. Resistencia debido a la pendiente.

Esta fuerza se consigue debido a la inclinación de la calzada e influye directamente al esfuerzo del sistema de frenado positivamente (cuesta arriba) o negativamente

(cuesta abajo). Su contribución es elevada; por ejemplo, una pendiente del 4% de inclinación supone una deceleración de  $\pm 0.04g$ .

### 3.1.3. Adherencia y condiciones de la calzada.

La adherencia neumático-calzada es importante puesto que es la que nos permite llevar a cabo el proceso de frenado y de la cual depende la eficacia de dicho proceso.

En este punto, el coeficiente de adherencia ( $\mu_a$ ) es importante, ya que representa la oposición al deslizamiento que ofrece el neumático con la superficie sobre la que se desplaza el vehículo. Es un valor que se mide de forma experimental y que depende de varios factores.

Factores internos que afectan al  $\mu_a$ :

- Velocidad de marcha.
- Dibujo de la banda de rodadura.
- Carga normal sobre la rueda.

Factores externos que afectan al  $\mu_a$ :

- Naturaleza y estado de la calzada.
- Estado de humedad superficial de la calzada.
- Estado de limpieza.

Cabe decir que la adherencia se verá reducida si las ruedas se encuentran desequilibradas, es decir, la masa de la rueda se encuentra distribuida de forma no uniforme.

Velocidad de la marcha	Estado de los neumáticos	Calzada seca	Calzada húmeda	Calzada mojada	Charco de agua	Calzada helada
Km/h	$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$
50	Nuevos	0,85	0,65	0,55	0,5	Menor a 0,1
	Desgastados	1	0,5	0,4	0,25	
90	Nuevos	0,8	0,6	0,4	0,2	
	Desgastados	0,95	0,2	0,1	Menor a 0,1	
120	Nuevos	0,75	0,55	0,2	0,1	
	Desgastados	0,9	0,1	Menor a 0,1	Menor a 0,1	

*Figura 10. Tabla de medición experimental del coeficiente de adherencia.*

### **3.1.4. Óptima distribución del frenado.**

La fuerza de frenado debe distribuirse entre ambas ruedas en función del peso que soporta, el cual varía según el número de viajeros, la disposición del motor, peso propio de los componentes, etc.

Esto se debe principalmente a la transferencia de la carga, debido a la energía cinética, desde el eje trasero hacia el delantero cuando se produce una frenada. De esta forma se sobrecarga el eje delantero y se modifica la capacidad de frenado máxima en cada rueda.

Por ello los frenos se disponen para que su actuación sea más activa en el eje delantero que en el trasero, lo cual se traduce en unos frenos delanteros de mayor tamaño que los traseros.

En función de la distribución de pesos, el centro de gravedad, etc. se establece un reparto de pesos el cual, habitualmente, se sitúa sobre el 70% en la rueda delantera y el 30% en la rueda trasera, pudiendo variar estos porcentajes.

El conductor será el encargado, en este caso, de dosificar y distribuir de forma óptima la presión aplicada en el sistema de freno delantero y trasero, de lo contrario se podría producir el derrape (bloqueo en la rueda trasera) o el fenómeno de ‘caballito’ en la parte delantera, cuando el frenado no es proporcional.

### **3.1.5. Mecanismo de fricción**

Debido a la interacción pastilla-disco (o tambor) aparecen fuerzas de fricción entre los dos elementos causando una reducción de la rotación de este último. A causa de esta fricción, la energía cinética de la rueda (solidaria con el disco o tambor de freno) se convierte en energía calorífica.

Al alcanzar altas temperaturas se necesita de materiales de fricción que sean estables a la variación de temperatura, para que la capacidad de frenado no varíe debido a la alteración de las propiedades de dicho material con la temperatura.

La fuerza de fricción es debida al contacto entre dos superficies y ser puestas en movimiento entre sí, creando una fuerza en la dirección contraria a dicho movimiento.

Podemos encontrar dos tipos de fuerzas de fricción:

- Fuerza de fricción estática: es la fuerza que se requiere para poner un objeto en movimiento. Si la fuerza empleada es menor que ésta no se iniciará el movimiento.
- Fuerza de fricción dinámica: representa la fuerza que se requiere para mantener los cuerpos en movimiento. El valor de ésta es menor que la anterior.

El coeficiente de fricción se representa con la letra  $\mu$ , y expresa el poder de fricción de un material sobre otro. Cuanto mayor sea éste mayores fuerzas de frenado se podrán alcanzar.

Materiales en contacto	Coeficiente de fricción estática	Coeficiente de fricción dinámica
Acero - Acero	0,74	0,57
Acero - Aluminio	0,61	0,47
Acero - Latón	0,51	0,44
Acero - Cobre	0,53	0,36
Acero - Teflón	0,04	0,04
Madera - Madera	0,37	0,20
Teflón - Teflón	0,04	0,04

*Figura 11. Tabla de medición experimental del coeficiente de fricción.*

## 3.2. COMPONENTES DEL SISTEMA

El sistema a diseñar será de discos, en ambas ruedas, puesto que la motocicleta que nos ocupa es de conducción deportiva, y el sistema de frenos de disco es uno de los más eficientes y seguros que encontramos en la actualidad. A continuación, describiremos los componentes que pueden conformar el sistema de frenos de disco de una motocicleta y sus tipologías más usuales.

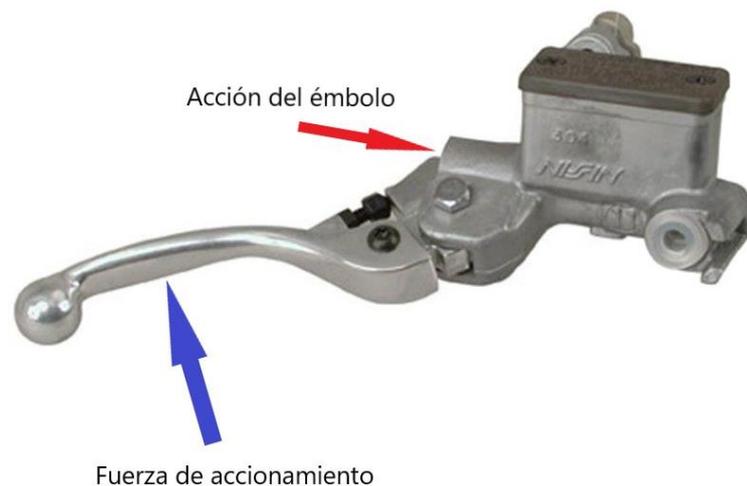
### 3.2.1. Bombas de freno

Es el componente encargado de generar presión hidráulica a partir de la acción del conductor sobre la maneta o el pedal de freno. Esta presión se transmite a través del líquido

de frenos para accionar los émbolos de las pinzas de freno. La presión generada dependerá, en mayor medida, del calibre de los émbolos de la bomba ( $Presión = Fuerza / Superficie$ ).

Los tipos de bombas de freno de las motocicletas que podemos encontrar actualmente son los siguientes:

- **Axiales:** Es el montaje más utilizado actualmente. Estas bombas necesitan mayor fuerza de accionamiento y de un mayor recorrido para la generación de la presión deseada en el sistema. Por tanto, podemos decir que estas bombas poseen un tacto menos directo y más esponjoso. El émbolo de la bomba está dispuesto horizontalmente a la dirección de la fuerza de accionamiento ejercida por la maneta.

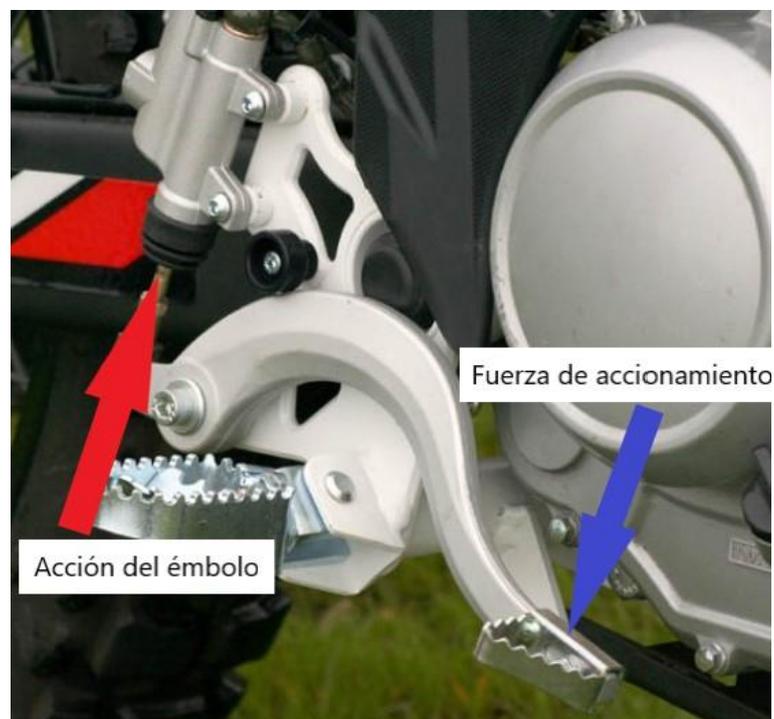


*Figura 12. Bomba axial delantera de una motocicleta.*

- **Radiales:** Son las más recientes y se utilizan en la parte trasera generalmente, y en la parte delantera para motos de alto rendimiento. En este tipo de pinza es necesario aplicar una menor fuerza de accionamiento para conseguir la misma presión que una axial, puesto que poseen una menor desmultiplicación mecánica bomba-pinza. El émbolo está dispuesto en la misma dirección que la fuerza de accionamiento, consiguiendo así un recorrido menor y un tacto más dosificable y directo, lo que se traduce en una frenada más eficaz.



*Figura 13. Bomba radial delantera de una motocicleta.*



*Figura 14. Bomba radial trasera de una motocicleta.*

### **3.2.2. Conductos de freno**

Mayoritariamente conocidos como latiguillos de freno, son los tubos los cuales alojan el líquido de freno, encargado de transmitir la presión ejercida en la bomba hasta la pinza. Las prestaciones de estos conductos vienen determinadas por el material utilizado en su fabricación, y encontramos las siguientes variantes según su material:

- **Goma rígida:** Son los que comúnmente se utilizan en las motocicletas de serie para un uso normal. Su propiedad principal es su casi inextensibilidad, sin embargo, debido al uso y a la alta temperatura del líquido de frenos, tiende a perder sus propiedades y dilatarse sin alojar la presión para la que fueron diseñados. Esto puede derivar en una pérdida de presión y, por tanto, una pérdida de eficiencia durante la frenada. Es por ello por lo que, según la recomendación de los fabricantes, estos conductos deben ser reemplazados usualmente tras cuatro años de utilización.



*Figura 15. Latiguillo de freno de goma rígida.*

- **Metálicos:** Son utilizados en motos deportivas o en los modelos más sofisticados y competentes. Son caracterizados por estar compuestos de un tubo de polímero, comúnmente de PTFE, recubierto por una maya trenzada metálica, que impide la dilatación del tubo, consiguiendo frenadas más contundentes, dosificables y directas, puesto que la presión se transmite completamente entre la bomba y la pinza. Una frenada con baja adherencia neumático-calzada puede resultar brusca por lo directa y rápida que resulta la frenada.

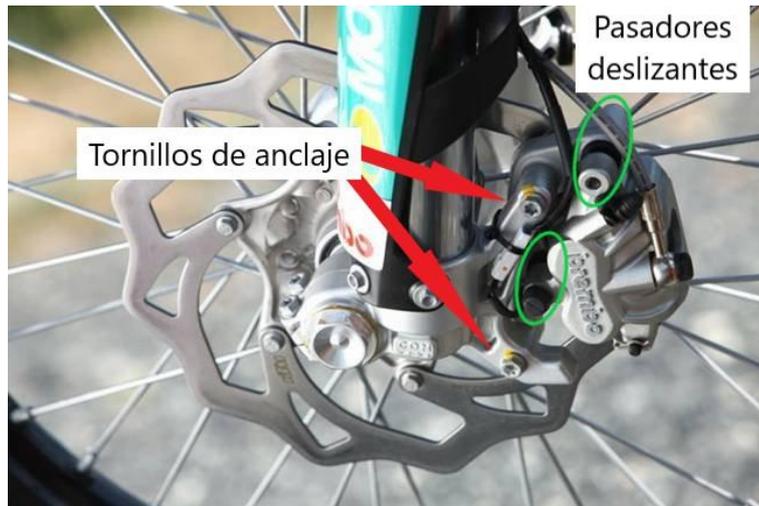


*Figura 16. Latiguillo de freno metálico.*

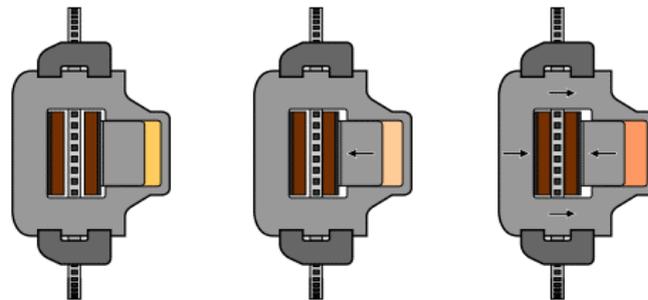
### 3.2.3. Pinzas de freno

La pinza de freno es el elemento que aloja los émbolos (o pistones) que empujan las pastillas ejerciendo presión contra el disco de freno. Pueden alojar 1 pistón o un número par de ellos. Deben de estar fabricadas con materiales de alta calidad dotándolas de alta rigidez puesto que están sometidas a mucho esfuerzo y altas temperaturas generadas por la fricción de las pastillas-disco. Sus características varían según su montaje, proporcionando una mayor rigidez al conjunto. Los montajes que encontramos son los siguientes:

- **Pinzas de anclaje axial:** Este montaje es el más antiguo y usual en la actualidad, pero poseen bajas prestaciones. Están diseñadas para anclarse con los tornillos perpendiculares al plano de la rueda. Este montaje hace que el conjunto pierda rigidez en la frenada, lo que se traduce en una disminución de eficacia en la frenada. A su vez, estas pinzas pueden montarse de las siguientes formas:
  - **Anclaje flotante:** la pinza se encuentra ‘flotando’ sobre unos pasadores sobre los que desliza. El émbolo presiona la pastilla interior contra el disco y, mediante la fuerza de reacción, el cuerpo de la pinza se desplaza arrastrando consigo la pastilla exterior y haciéndola friccionar con el disco. El conjunto se separa debido al propio tambaleo del disco de freno. Este montaje permite émbolos de mayor superficie y, por tanto, mayor fuerza de frenado. No se produce un alto calentamiento del líquido de frenos al actuar a cierta distancia del disco de freno.

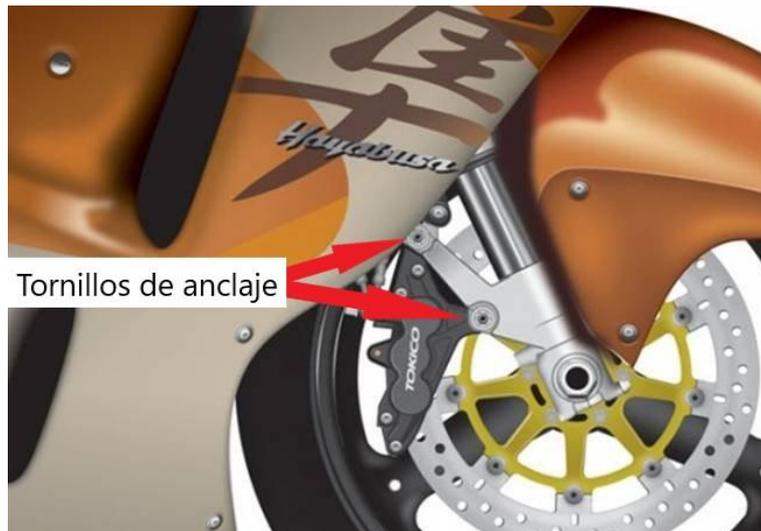


*Figura 17. Pinza de anclaje axial flotante.*

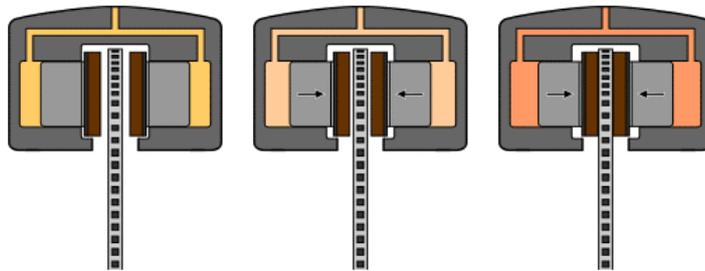


*Figura 18. Principio de funcionamiento de una pinza axial flotante.*

- **Anclaje fijo:** En este montaje la pinza se encuentra totalmente fija en la horquilla y mediante una serie de conductos permiten transmitir la presión, ejercida por el líquido, hasta los émbolos para desplazarlos. Todos los émbolos se empujan con la misma presión y tienen el mismo recorrido de desplazamiento. Al circular el líquido por el interior de la pinza se alcanzan altas temperaturas en el conjunto pudiendo formar burbujas de aire en los conductos y reduciendo así la capacidad de frenado.

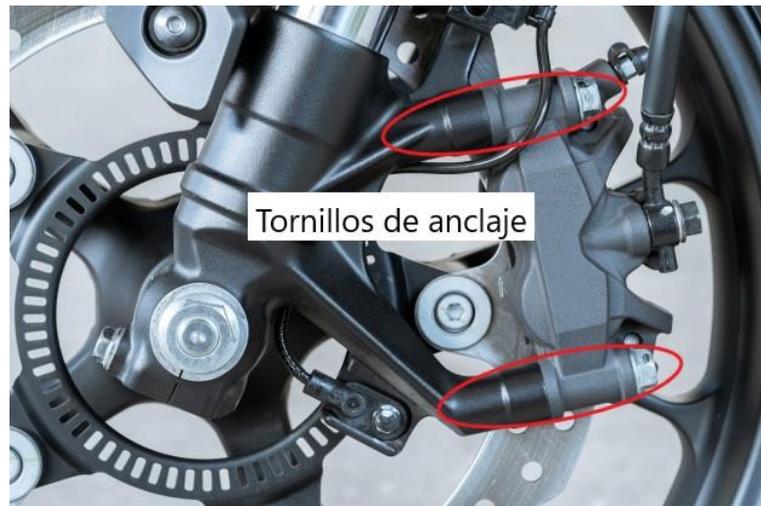


*Figura 19. Pinza de anclaje axial fijo.*



*Figura 20. Principio de funcionamiento de una pinza axial fija.*

- Pinzas de anclaje radial:** Su anclaje es fijo y están diseñadas para anclarse con los tornillos paralelos al plano de la rueda. De esta forma se consigue la mayor rigidez ante el esfuerzo de una frenada y ante cualquier situación. Debido a la mayor rigidez y tener menos holguras, se consigue un mayor alineamiento de las pastillas y, por tanto, una frenada más contundente, estable, dosificable y una mayor disipación de calor. Es el tipo más utilizado en motocicletas de altas prestaciones de carretera. El principio de funcionamiento es el mismo que el mostrado en la figura 20, puesto que están completamente fijas a la horquilla.



*Figura 21. Pinza de anclaje radial.*

Normalmente las pinzas de freno de una motocicleta están construidas a partir de un cuerpo principal donde se alojan los émbolos, las pastillas, canalizaciones de líquido, etc. y este cuerpo está compuesto por dos piezas atornilladas entre sí. Pero los fabricantes han desarrollado las conocidas como pinzas Monoblock, con el fin de conseguir la máxima rigidez del conjunto. Esta pinza está fabricada mediante fundición o mecanizado creando una única carcasa, pudiendo conseguirse así las mejores prestaciones.



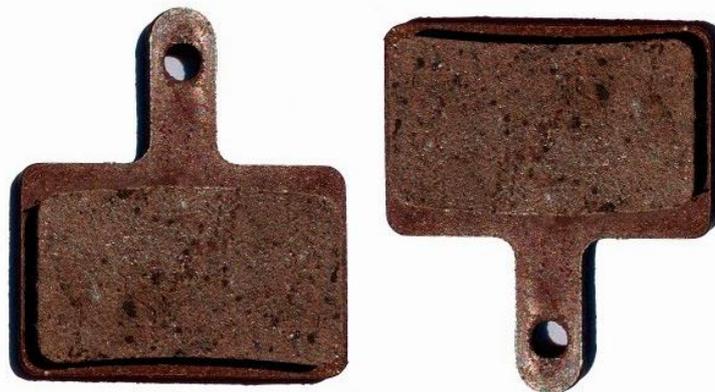
*Figura 22. Pinza convencional y pinza Monoblock.*

### 3.2.4. Pastillas de freno

Son los elementos encargados de proporcionar la fricción necesaria para la detención de los discos de freno; por tanto, son los elementos que mayor temperatura alcanzan durante la frenada y, a causa de ello, sufren un alto desgaste. Debido a este desgaste son una pieza a mantener de forma constante, reemplazándolas cuando se observe pérdida del material de fricción. En el caso de no reemplazarlas se pierde capacidad y eficacia de frenado para realizar una frenada segura. Su composición debe ser adecuada y acertada, debe proporcionar un coeficiente de fricción adecuado ante cualquier umbral de temperatura y proporcionar una buena dosificación y tacto durante la frenada. Además, deben de diseñarse para que tenga una resistencia al desgaste adecuada, para que este no sea excesivo, de lo contrario tendrían que ser reemplazadas de forma más frecuente, lo que supone un mayor coste en el mantenimiento.

Podemos encontrar diversos tipos de pastillas de freno, dependiendo de su composición, como los siguientes:

- **Pastillas orgánicas:** Están fabricadas a base de fibras orgánicas (como el grafito) e inorgánicas (como el carbono) unidas entre sí mediante resinas especiales. Tienen una durabilidad baja y un bajo rendimiento a altas temperaturas, pero no transmiten un excesivo calor a la pinza de freno y proporcionan un excelente frenado cuando estas son nuevas. Se utilizan para una conducción normal, o un uso poco exigente.



*Figura 23. Pastillas de compuesto orgánico.*

- **Pastillas sinterizadas:** Están fabricadas a base de partículas metálicas aglomeradas mediante procesos de presión a altas temperaturas. Proporcionan una mayor durabilidad y resistencia al desgaste y un rendimiento mejor en condiciones extremas. Sin embargo, transmiten mucho calor a la pinza, y por tanto al sistema, pudiendo resultar contraproducente. Son las pastillas más utilizadas y recomendables para motocicletas de uso deportivo.



*Figura 24. Pastillas de compuesto sinterizado.*

- **Pastillas Semimetálicas:** Son una combinación de los componentes utilizados en las pastillas anteriormente comentadas. Se combinan fibras orgánicas e inorgánicas con fibras metálicas, y se aglutinan utilizando una resina fenólica. Ofrecen muy buenas ventajas como son su durabilidad y resistencia al desgaste soportando temperaturas más altas que las de compuesto orgánico. Sin embargo, se pueden desgastar con rapidez en situaciones de alta exigencia.



*Figura 25. Pastillas de compuesto semimetálico.*

### 3.2.5. Discos de freno

Los discos son los encargados de decelerar el movimiento cinético de la rueda mediante el efecto de la presión que ejercen las pastillas sobre éstos. Los discos requieren de cierta ligereza puesto que suponen, junto a la llanta y el neumático, la masa no suspendida del vehículo, y por tanto se pretende conseguir el menor peso de estos componentes. Es por esto último que podemos encontrar varios tipos de discos según su diseño, fijación, o materiales.

Según su fijación:

- **Discos fijos:** Son los utilizados de manera estándar ya que son los más económicos. Presentan mayor rigidez radial y lateral, pero tienen una mayor transmisibilidad de calor. Un desalineamiento entre discos y pastillas produciría una reducción del poder de frenado y, por tanto, de la seguridad.
- **Discos flotantes:** Se componen de 2 piezas, alma o araña y el propio disco, unidos entre sí mediante unas arandelas. Esto le permite tener un juego lateral y radial, de decimas de milímetro, pudiendo adaptarse perfectamente a las pastillas, consiguiendo así un mayor contacto y aumentando el poder de frenada. Debido a la temperatura estos discos pueden dilatarse, o contraerse, libremente sin producir desalineamiento o dobleces del disco; y, además, tiene una menor transmisibilidad de calor hacia los componentes con los que está en contacto.

Según su diseño:

- **Discos lisos:** Son discos completamente macizos y con ellos se consigue una mayor superficie de contacto. Sin embargo, producen un mayor calentamiento reduciendo la eficacia en el frenado.



*Figura 26. Disco liso de anclaje fijo.*

- **Discos tipo Wave:** Mayormente conocidos por ‘lobulados’, tienen en su canto un diseño tipo ola, a modo de reducción de peso, aunque además se puede llegar a conseguir mejorar un poco el enfriamiento de los discos.
- **Discos perforados:** Estos discos presentan varias perforaciones o agujeros a lo largo de su estructura, para conseguir una mayor limpieza de la superficie de fricción y un mayor enfriamiento cuando se alcanzan altas temperaturas. Estas perforaciones reducen la superficie de contacto entre pastilla y disco, pero se consiguen mayores rendimientos.



*Figura 27. Disco perforado y lobulado de anclaje flotante.*

Mayoritariamente los discos están compuestos por materiales de fundición gris de grafito laminar, puesto que garantiza una estabilidad de las prestaciones, pero también podemos encontrar discos carbo-cerámicos, montados en vehículos de altas prestaciones, están compuestos de carbono y cerámica, lo cual le aportan al disco de una mayor resistencia a altas temperaturas.

### 3.2.6. Líquido de freno

Es un líquido hidráulico el cual es encargado de transmitir la fuerza ejercida sobre la maneta o pedal de freno a los émbolos de las pinzas de freno para generar la fricción pastilla-disco requerida. Normalmente está compuesto de poliglicol, y en ocasiones se añaden siliconas o aceites minerales. Sus propiedades principales son su incompresibilidad y su aguante a la ebullición hasta alcanzar altas temperaturas. Por contrapartida, una de sus propiedades a tener en cuenta es que se trata de un líquido higroscópico, es decir, tiende a atraer y absorber la humedad, generando consigo pequeñas gotas de agua, disminuyendo así su punto de ebullición y, por tanto, su eficiencia para transmitir la presión en el sistema. Se trata de un líquido altamente corrosivo, es por ello por lo que se deben tomar las medidas correspondientes para su manipulación.

Estos líquidos tienen regulada su calidad, a través del organismo DOT (Department Of Transport), y contempla los siguientes tipos de líquidos de frenos:

- **DOT 3:** Tiene un punto de ebullición seco de 205°C, su punto de ebullición húmedo es de 140°C y su viscosidad es de 1500cSt.
- **DOT 4:** Su punto de ebullición seco es de 230°C, el punto de ebullición húmedo es de 155°C y su viscosidad es de 1800cSt.
- **DOT 5:** Tienen un punto de ebullición de 260°C y una base sintética, por lo que nunca se deben mezclar con los DOT 3 o DOT 4.
- **DOT 5.1:** Su punto de ebullición seco es de 270°C, el punto de ebullición húmedo es de 180°C y tiene una viscosidad de 900cSt. El principal problema es su baja viscosidad, que aumenta el riesgo de que se produzcan fugas en el circuito.

## 4. DATOS DE PARTIDA

Para realizar los cálculos disponemos los siguientes datos, procedentes de la ficha técnica del vehículo del cual realizaremos el estudio, una Honda CBR 500R:

Masa total (vehículo+ conductor)	282 (192+90)	kg
Distancia entre puntos de apoyo de los neumáticos	1410	mm
Altura del centro de gravedad	705	mm
Reparto de pesos estático	52 (del) + 48 (tras)	%
Diámetro efectivo del neumático delantero	599.8	mm
Diámetro efectivo del neumático trasero	623.8	mm
Presión admisible en el material de fricción	2750	kPa
Coefficiente de rozamiento pastilla-disco	0.4	-
Coefficiente de seguridad a la presión	1.8	-
Diámetro máximo de disco delantero y trasero	380	mm

La moto objeto de estudio cuenta con una rueda delantera de medida 120/70-17 y una rueda trasera de 160/60-17, cuyos diámetros efectivos para la rodadura son los citados en la tabla de datos expuesta.

Se establecerán dos supuestos para así poder realizar un cálculo más coherente con la realidad. Posteriormente se establecerá un tercer supuesto que nos será de utilidad para comprobar que nuestro diseño es solvente en una situación normal. Los supuestos son los siguiente:

- Se pierde el contacto entre la rueda trasera y la calzada durante la frenada.
- Se pretende pasar de 100 a 0 km/h en una distancia de 80 metros.
- Se realiza una disminución de velocidad de 100 a 60 km/h en 5 segundos.

## 5. DISEÑO

### 5.1. CÁLCULO

Antes de todo, lo que debemos realizar es una representación gráfica, mediante la cual nos resultara más sencillo obtener las distancias al centro de gravedad y reparto de cargas, entre otros.

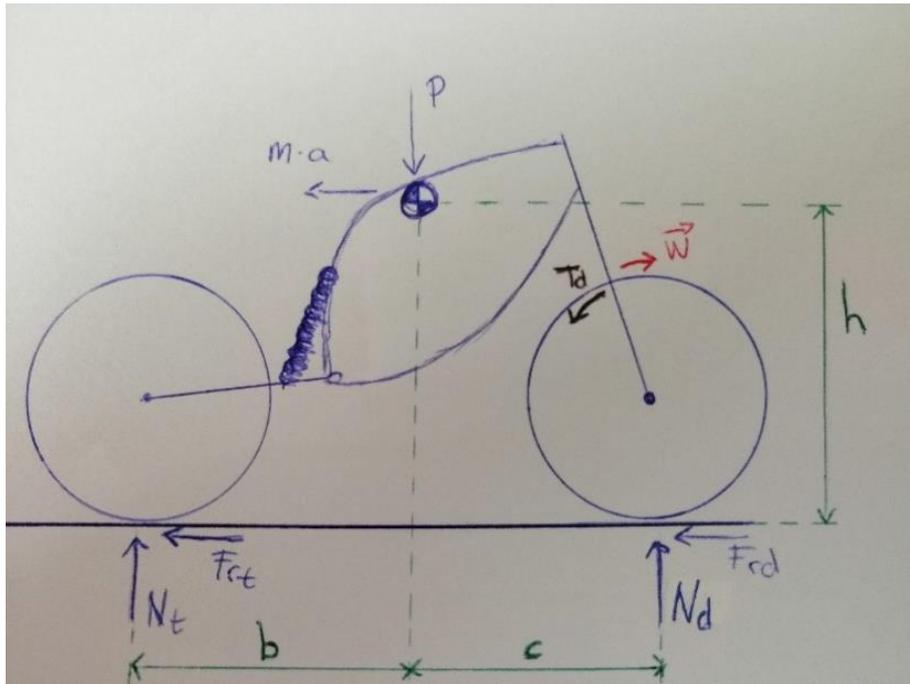


Figura 28. Representación gráfica del vehículo.

De la representación gráfica y para el estado estático podemos obtener las distancias 'b' y 'c' del centro de gravedad a los puntos de apoyo. Como se calculan para el caso estático, podemos asumir que no hay aceleración ni fuerzas de rozamiento.

$$\sum M_t = 0; P * b - N_{dest} * D_{entre apoyos} = 0$$

$$b = \frac{N_{dest} * D_{entre apoyos}}{P} = \frac{0,52 * P * D_{entre apoyos}}{P}$$

$$b = 0,52 * D_{entre apoyos} = 0,52 * 1410 = 733.2 \text{ mm}$$

$$c = D_{entre apoyos} - b = 1410 - 733,2 = 676.8 \text{ mm}$$

### 5.1.1. Primer supuesto.

De la representación gráfica, y para el supuesto de la pérdida de contacto de la rueda trasera con la calzada, las fuerzas en la rueda trasera desaparecen, y realizamos el análisis de fuerzas para obtener la fuerza de rozamiento de la rueda delantera y, por consiguiente, el par de frenado.

$$\sum F_v = 0; \quad P - N_d = 0 \rightarrow P = N_d = m * g = 282 * 9,81 = 2766.42 \text{ N}$$

$$\sum M_{cdg} = 0; \quad N_d * c - Fr_d * h = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow Fr_d = \frac{N_d * c}{h} = \frac{2766,42 * 0,676,8}{0,705} = 2655.7632 \text{ N}$$

$$T = Fr_d * \frac{D_{efectivo}}{2} = 2655,7632 * \frac{0,5998}{2} = 796.46338 \text{ Nm}$$

Ahora construimos una tabla para obtener el ángulo de contacto ' $\emptyset$ ' óptimo para nuestro sistema, dependiendo de las relaciones de radios y del radio exterior, que vendrá limitado por el diámetro máximo que podemos ocupar en la llanta. Los valores de la relación de radios siempre estarán acotados en el rango entre 0.6:0.8, puesto que son los valores límites de diseño.

La expresión que utilizaremos para determinar el ángulo es la siguiente:

$$\emptyset = \frac{T}{z * \mu * \frac{P_{adm}}{X} * r_i * \left(\frac{r_e^2 - r_i^2}{2}\right)} = \frac{T}{z * \mu * \frac{P_{adm}}{X} * \left(r_e * \frac{r_i}{r_e}\right) * \left(\frac{r_e^2 - \left(r_e * \frac{r_i}{r_e}\right)^2}{2}\right)} \text{ (rad)} * \frac{360 (^\circ)}{2 * \pi \text{ (rad)}}$$

		Valores de ri/re								
		0,600	0,625	0,650	0,675	0,700	0,725	0,750	0,775	0,800
Valores de re	0,19	28,35	28,59	29,00	29,63	30,50	31,66	33,18	35,17	37,80
	0,18	33,34	33,62	34,11	34,85	35,87	37,23	39,02	41,37	44,46
	0,17	39,58	39,91	40,49	41,36	42,57	44,19	46,32	49,11	52,78
	0,16	47,48	47,87	48,57	49,61	51,07	53,01	55,56	58,90	63,30
	0,15	57,62	58,09	58,94	60,21	61,98	64,33	67,43	71,48	76,82
	0,14	70,87	71,45	72,50	74,06	76,23	79,13	82,94	87,92	94,49
	0,13	88,51	89,24	90,55	92,50	95,21	98,83	103,59	109,81	118,02
	0,12	112,54	113,46	115,12	117,60	121,05	125,65	131,70	139,62	150,05
	0,11	146,10	147,31	149,46	152,68	157,15	163,13	170,98	181,26	194,80
	0,10	194,46	196,07	198,93	203,22	209,17	217,12	227,58	241,26	259,28

Una vez construida la tabla, buscamos un ángulo de 50°, puesto que se trata de un ángulo más comercial, y lo podemos conseguir con un radio exterior de 160 mm o 170 mm, pero escogeremos el menor para no incrementar los costes de producción. Una vez seleccionado el radio exterior de 160 mm y el ángulo de 50°, con la herramienta SOLVER de Excel podemos obtener el valor de la relación de radios y, por consiguiente, con ello podremos obtener el valor del radio interior.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a table of values for the ratio of radii (ri/re) and a Solver Parameters dialog box. The table has columns for values from 0,600 to 0,800 and rows for values from 0,19 to 0,10. The Solver dialog box is open, showing the objective cell as \$Y\$33, set to 'valor de: 50'. The constraints are \$Y\$34 <= 0,8 and \$Y\$34 >= 0,6. The method of resolution is GRG Nonlinear.

Valores de ri/re	
0,19	28,35
0,18	33,34
0,17	39,58
0,16	47,48
0,15	57,62
0,14	70,87
0,13	88,51
0,12	112,54
0,11	146,10
0,10	194,46

Ø	50°
ri/re	0,682
ri	0,109 m

**Figura 29.** Cálculo de la relación de radios del primer supuesto mediante SOLVER.

Ø	50	°
ri/re	0,682	-
ri	0,109	m

Una vez obtenidas las dimensiones del disco podemos obtener la fuerza y la presión de accionamiento.

$$N = \frac{P_{adm}}{X} * r_i * \emptyset * (r_e - r_i) = \frac{2750}{1,8} * 0,109 * \left(50 * \frac{2\pi}{360}\right) * (0,16 - 0,109) =$$

$$N = 7.4115 \text{ kW}$$

Con las dimensiones que disponemos podemos colocar dos pistones, para ocupar la mayor superficie de pastilla posible, de la siguiente dimensión.

$$D_{pistón} = r_e - r_i = 0,16 - 0,109 = 0.051 \text{ m}$$

Ahora determinaremos la presión ejercida por cada pistón y, por consiguiente, calcularemos la presión soportada por la línea de frenado delantera.

$$P_{accionamiento_{pistón}} = \frac{N}{Área_{pistón}} = \frac{N}{\frac{\pi * d_{pistón}^2}{4}} = 3628.05 \text{ kPa} \rightarrow 36.281 \text{ bar}$$

$$P_{accionamiento_{línea}} = 2 * P_{accionamiento_{pistón}} = 72.561 \text{ bar}$$

Llegados a este punto ya hemos calculado las dimensiones del freno delantero, es por ello por lo que realizaremos un nuevo cálculo para el segundo supuesto para así obtener las dimensiones del freno trasero de la motocicleta.

### 5.1.2. Segundo supuesto.

Para el supuesto de una frenada de 100 a 0 km/h en una distancia de 80 metros, primeramente, debemos calcular la deceleración producida y, posteriormente, de la representación gráfica, y para una frenada en condiciones normales, podemos hacer el balance de fuerzas para poder obtener el coeficiente de rozamiento con la calzada, y poder obtener así los valores de las fuerzas normales en los puntos de contacto con la calzada y realizar el cálculo de los pares de frenada necesarios. (Suponemos que no se produce el fenómeno de cabeceo).

A partir de las siguientes expresiones cinemáticas podemos calcular la deceleración:

$$\left. \begin{array}{l} v_f = v_0 + a * t \\ e = v_f * t + \frac{1}{2} * a * t^2 \end{array} \right\} \rightarrow t = \frac{v_f - v_0}{a}$$

Sustituyendo nos queda:  $e = v_f * \frac{v_f - v_0}{a} + \frac{1}{2} * a * \left(\frac{v_f - v_0}{a}\right)^2$

Como la velocidad final es nula, operamos y obtenemos lo siguiente:

$$e = \frac{1}{2} * a * \left(\frac{-v_0}{a}\right)^2 = \frac{1}{2} * a * \frac{v_0^2}{a^2} = \frac{1}{2} * \frac{v_0^2}{a} \rightarrow$$

$$\rightarrow a = (-) \frac{v_0^2}{2 * e} = (-) \frac{27,78^2}{2 * 80} = -4.283 \text{ m/s}^2$$

$$\sum F_h = 0; \quad -Fr_d - Fr_t = m * a_x \quad (1)$$

$$\sum F_v = 0; \quad P - N_d - N_t = 0 \rightarrow P = N_d + N_t \quad (2)$$

$$\sum M_{cdg} = 0; \quad N_d * c - N_t * b - (Fr_d + Fr_t) * h = 0 \quad (3)$$

De (1):  $-\mu * N_d - \mu * N_t = m * a_x$

$$-\mu * (N_d + N_t) = m * a_x \rightarrow -\mu * P = m * a_x$$

$$\mu = -\frac{m * a_x}{P} = -\frac{m * a_x}{m * g} = -\frac{a_x}{g} = -\frac{-4,283}{9,81} = 0.4916$$

De (3):  $N_d * c - N_t * b - (\mu * (N_d + N_t)) * h = 0$

$$N_d * (l - b) - N_t * b - \mu * N_d * h - \mu * N_t * h = 0$$

$$N_d * l - N_d * b - N_t * b - \mu * N_d * h - \mu * N_t * h = 0$$

$$N_d * l - (b + \mu * h) * (N_d + N_t) = 0$$

$$N_d * l - (b + \mu * h) * P = 0$$

$$N_d = \frac{(m * g) * (b + \mu * h)}{l} = \frac{(282 * 9,81) * (733,2 + 0,4916 * 705)}{1410} =$$

$$N_d = 2118.515 \text{ N}$$

De (2):  $P = N_d + N_t \rightarrow N_t = P - N_d = m * g - N_d = 282 * 9,81 - 2118,515$

$$N_t = 647.905 \text{ N}$$

$$T_d = \mu * N_d * \frac{D_{\text{efectivo}_{del}}}{2} = 0,4916 * 2118,515 * \frac{0,5998}{2} = 312.33 \text{ Nm}$$

$$T_t = \mu * N_t * \frac{D_{\text{efectivo}_{tras}}}{2} = 0,4916 * 647,905 * \frac{0,6238}{2} = 99.342 \text{ Nm}$$

Como del primer supuesto ya hemos obtenido los datos necesarios para el diseño del freno delantero, ahora para el freno trasero construimos una tabla para obtener el ángulo de contacto ' $\emptyset$ ' óptimo para nuestro sistema, dependiendo de las relaciones de radios y del radio exterior, que vendrá limitado por el diámetro máximo que podemos ocupar en la llanta.

La expresión que utilizaremos para determinar el ángulo es la siguiente:

$$\emptyset = \frac{T}{z * \mu * \frac{P_{adm}}{X} * r_i * \left(\frac{r_e^2 - r_i^2}{2}\right)} = \frac{T}{z * \mu * \frac{P_{adm}}{X} * (r_e * r_i / r_e) * \left(\frac{r_e^2 - (r_e * r_i / r_e)^2}{2}\right)} \text{ (rad)} * \frac{360 (^\circ)}{2 * \pi \text{ (rad)}}$$

		Valores de ri/re								
		0,600	0,625	0,650	0,675	0,700	0,725	0,750	0,775	0,800
Valores de re	0,19	3,54	3,57	3,62	3,70	3,80	3,95	4,14	4,39	4,72
	0,18	4,16	4,19	4,25	4,35	4,47	4,64	4,87	5,16	5,55
	0,17	4,94	4,98	5,05	5,16	5,31	5,51	5,78	6,12	6,58
	0,16	5,92	5,97	6,06	6,19	6,37	6,61	6,93	7,35	7,90
	0,15	7,19	7,25	7,35	7,51	7,73	8,02	8,41	8,92	9,58
	0,14	8,84	8,91	9,04	9,24	9,51	9,87	10,34	10,97	11,79
	0,13	11,04	11,13	11,29	11,54	11,88	12,33	12,92	13,70	14,72
	0,12	14,04	14,15	14,36	14,67	15,10	15,67	16,43	17,41	18,72
	0,11	18,22	18,37	18,64	19,04	19,60	20,35	21,33	22,61	24,30
	0,10	24,26	24,46	24,81	25,35	26,09	27,08	28,39	30,09	32,34

Una vez construida la tabla, buscamos un ángulo de 20°, puesto que se trata de un ángulo más comercial, y lo podemos obtener con un radio de disco de 110mm, por tanto, mediante la herramienta SOLVER de Excel, podemos obtener la relación de radios que nos daría 20° como resultado, haciendo forzar que el ángulo sea el deseado y con el radio exterior de 110mm y, posteriormente, podremos calcular el radio interior con dicha relación.

The image shows an Excel spreadsheet with a table of values for the ratio of radii (ri/re) based on the angle (re) and the outer radius (re). The Solver Parameters dialog box is open, showing the following settings:

- Establecer objetivo: \$Y\$33
- Para:  Máx  Mín  Valor de: 20
- Cambiando las celdas de variables: \$Y\$34
- Sujeto a las restricciones:
  - \$Y\$34 <= 0.8
  - \$Y\$34 >= 0.6
- Convertir variables sin restricciones en no negativas
- Método de resolución: GRG Nonlinear

Below the spreadsheet, a small table shows the results of the calculation:

Ø	20	°
ri/re	0,714	-
ri	0,078	m

Figura 30. Cálculo de la relación de radios del segundo supuesto mediante SOLVER.

Ø	20	°
ri/re	0,714	-
ri	0,078	m

Una vez obtenidas las dimensiones del disco podemos obtener la fuerza y la presión de accionamiento.

$$N = \frac{P_{adm}}{X} * r_i * \emptyset * (r_e - r_i) = \frac{2750}{1,8} * 0,078 * \left(20 * \frac{2\pi}{360}\right) * (0,11 - 0,078) =$$

$$N = 1.3311 \text{ kW}$$

Con las dimensiones que disponemos podemos colocar un pistón del siguiente diámetro:

$$D_{pistón} = r_e - r_i = 0,11 - 0,078 = 0.032 \text{ m}$$

Y la presión de accionamiento de este pistón y, por tanto, la presión en la línea de frenado delantera sería:

$$P_{accionamiento_{pistón}} = \frac{N}{Área_{pistón}} = \frac{N}{\frac{\pi * d_{pistón}^2}{4}} = 1655.09 \text{ kPa} \rightarrow 16.551 \text{ bar}$$

Por tanto, mediante todo el cálculo realizado determinamos que las dimensiones de nuestro sistema resumidamente son las siguientes:

❖ Sistema delantero:

- Diámetro exterior del disco: ..... 320mm
- Diámetro interior del disco: ..... 218mm
- Ángulo de contacto de las pastillas con el disco: .....50°
- Diámetro del pistón: ..... 51mm
- Número de pistones: ..... 2

❖ Sistema trasero:

- Diámetro exterior del disco: ..... 220mm
- Diámetro interior del disco: ..... 156mm
- Ángulo de contacto de las pastillas con el disco: .....20°
- Diámetro del pistón: ..... 32mm
- Número de pistones: ..... 1

### 5.1.3. Tercer supuesto.

Este tercer supuesto nos permite comprobar que el diseño realizado, mediante los dos supuestos anteriores, es correcto. Se trata de una deceleración de 100 a 60 km/h en un tiempo de 5 segundos. Para este supuesto debemos calcular la deceleración producida y, posteriormente, de la representación gráfica, y para una frenada en condiciones normales, podemos hacer el balance de fuerzas para poder obtener el coeficiente de rozamiento con la calzada, y poder obtener así los valores de las fuerzas normales en los puntos de contacto con la calzada y realizar el cálculo de los pares de frenada necesarios, tanto para la parte delantera como la trasera. (Suponemos que no se produce el fenómeno de cabeceo).

A partir de la siguiente expresión cinemática podemos calcular la deceleración que se producirá:

$$v_f = v_0 + a * t \rightarrow a = \frac{v_f - v_0}{t}$$

Como la velocidad final es nula, operamos y obtenemos lo siguiente:

$$a = (-) \frac{27,78}{5} = -5.556 \text{ m/s}^2$$

$$\sum F_h = 0; \quad -Fr_d - Fr_t = m * a_x \quad (1)$$

$$\sum F_v = 0; \quad P - N_d - N_t = 0 \rightarrow P = N_d + N_t \quad (2)$$

$$\sum M_{cdg} = 0; \quad N_d * c - N_t * b - (Fr_d + Fr_t) * h = 0 \quad (3)$$

$$\text{De (1):} \quad -\mu * N_d - \mu * N_t = m * a_x$$

$$-\mu * (N_d + N_t) = m * a_x \rightarrow -\mu * P = m * a_x$$

$$\mu = -\frac{m * a_x}{P} = -\frac{m * a_x}{m * g} = -\frac{a_x}{g} = -\frac{-5.556}{9,81} = 0.5663$$

$$\text{De (3): } N_d * c - N_t * b - (\mu * (N_d + N_t)) * h = 0$$

$$N_d * (l - b) - N_t * b - \mu * N_d * h - \mu * N_t * h = 0$$

$$N_d * l - N_d * b - N_t * b - \mu * N_d * h - \mu * N_t * h = 0$$

$$N_d * l - (b + \mu * h) * (N_d + N_t) = 0$$

$$N_d * l - (b + \mu * h) * P = 0$$

$$N_d = \frac{(m * g) * (b + \mu * h)}{l} = \frac{(282 * 9,81) * (733,2 + 0,5663 * 705)}{1410} =$$

$$N_d = 2221.872 \text{ N}$$

$$\text{De (2): } P = N_d + N_t \rightarrow N_t = P - N_d = m * g - N_d = 282 * 9,81 - 2221,872 =$$

$$N_t = 544.548 \text{ N}$$

$$T_d = \mu * N_d * \frac{D_{\text{efectivo}_{del}}}{2} = 0,5663 * 2221.872 * \frac{0,5998}{2} = 377.35833 \text{ Nm}$$

$$T_t = \mu * N_t * \frac{D_{\text{efectivo}_{tras}}}{2} = 0,5663 * 544.548 * \frac{0,6238}{2} = 96.186 \text{ Nm}$$

Como se trata de una comprobación de los diseños realizados, realizamos el cálculo del ángulo de contacto tanto para el sistema delantero como para el sistema trasero. Construimos una tabla para obtener el ángulo de contacto ' $\emptyset$ ' óptimo para nuestro sistema, dependiendo de las relaciones de radios y del radio exterior, que vendrá limitado por el diámetro máximo que podemos ocupar en la llanta. Y, posteriormente, comprobaremos los radios obtenidos para los ángulos deseados.

La expresión que utilizaremos para determinar el ángulo es la siguiente:

$$\emptyset = \frac{T}{z * \mu * \frac{P_{adm}}{X} * r_i * \left(\frac{r_e^2 - r_i^2}{2}\right)} = \frac{T}{z * \mu * \frac{P_{adm}}{X} * (r_e * r_i / r_e) * \left(\frac{r_e^2 - (r_e * r_i / r_e)^2}{2}\right)} \text{ (rad)} * \frac{360 (\text{°})}{2 * \pi \text{ (rad)}}$$

## SISTEMA DELANTERO

		Valores de ri/re								
		0,600	0,625	0,650	0,675	0,700	0,725	0,750	0,775	0,800
Valores de re	0,19	13,43	13,54	13,74	14,04	14,45	15,00	15,72	16,67	17,91
	0,18	15,80	15,93	16,16	16,51	16,99	17,64	18,49	19,60	21,06
	0,17	18,75	18,91	19,18	19,60	20,17	20,94	21,95	23,27	25,00
	0,16	22,49	22,68	23,01	23,51	24,20	25,12	26,32	27,91	29,99
	0,15	27,30	27,52	27,93	28,53	29,36	30,48	31,95	33,87	36,40
	0,14	33,58	33,85	34,35	35,09	36,12	37,49	39,29	41,66	44,77
	0,13	41,94	42,28	42,90	43,83	45,11	46,82	49,08	52,03	55,92
	0,12	53,32	53,76	54,54	55,72	57,35	59,53	62,40	66,15	71,09
	0,11	69,22	69,79	70,81	72,34	74,46	77,29	81,01	85,88	92,30
	0,10	92,14	92,89	94,25	96,28	99,10	102,87	107,82	114,31	122,85

Una vez construida la tabla, buscamos un ángulo de 50°, puesto que se trata de un ángulo más comercial, y lo podemos obtener con un radio de disco de 130mm, como para el primer supuesto se obtuvo un disco de 160 mm, podemos decir que la frenada para este tercer supuesto estará garantizada, por disponer de un freno superior al requerido. De igual modo, mediante SOLVER se obtendrán los datos de la relación de radios y, por tanto, radio interior, tal como se explicó en los anteriores supuestos, y obtenemos lo siguiente:

Ø	50	°
ri/re	0,759	-
ri	0,083	m

Ante este resultado, podemos decir que el sistema delantero será más que solvente para la situación de frenado de este supuesto.

## SISTEMA TRASERO

		Valores de ri/re								
		0,600	0,625	0,650	0,675	0,700	0,725	0,750	0,775	0,800
Valores de re	0,19	3,42	3,45	3,50	3,58	3,68	3,82	4,01	4,25	4,57
	0,18	4,03	4,06	4,12	4,21	4,33	4,50	4,71	5,00	5,37
	0,17	4,78	4,82	4,89	5,00	5,14	5,34	5,59	5,93	6,37
	0,16	5,73	5,78	5,87	5,99	6,17	6,40	6,71	7,11	7,64
	0,15	6,96	7,02	7,12	7,27	7,48	7,77	8,14	8,63	9,28
	0,14	8,56	8,63	8,76	8,94	9,21	9,56	10,02	10,62	11,41
	0,13	10,69	10,78	10,93	11,17	11,50	11,94	12,51	13,26	14,25
	0,12	13,59	13,70	13,90	14,20	14,62	15,17	15,90	16,86	18,12
	0,11	17,64	17,79	18,05	18,44	18,98	19,70	20,65	21,89	23,53
	0,10	23,48	23,68	24,02	24,54	25,26	26,22	27,48	29,14	31,31

Una vez construida la tabla, buscamos un ángulo de  $20^\circ$ , puesto que se trata de un ángulo más comercial, y lo podemos obtener con un radio de disco de 110mm, el cual es igual que el obtenido en el segundo supuesto, por tanto, estamos en posición de decir que nos proporcionará la frenada deseada para este supuesto. Sin embargo, mediante SOLVER calcularemos la relación de radios y el radio interior, y así poder observar el ancho que necesitaremos de pastilla para esta frenada, puesto que, si es mayor que el del segundo supuesto, ese diseño no nos será válido.

$\emptyset$	20	$^\circ$
ri/re	0,734	-
ri	0,080	m

Como podemos observar, el radio interior es 0.8 y para el segundo supuesto 0.78, por tanto, el diseño del segundo supuesto nos resulta válido para poder realizar la frenada que se requiere en este 3er supuesto.

Realizados estos cálculos, podemos decir que los diseños realizados en los anteriores supuestos nos resultan válidos y solventes para la detención de la motocicleta objeto de estudio.

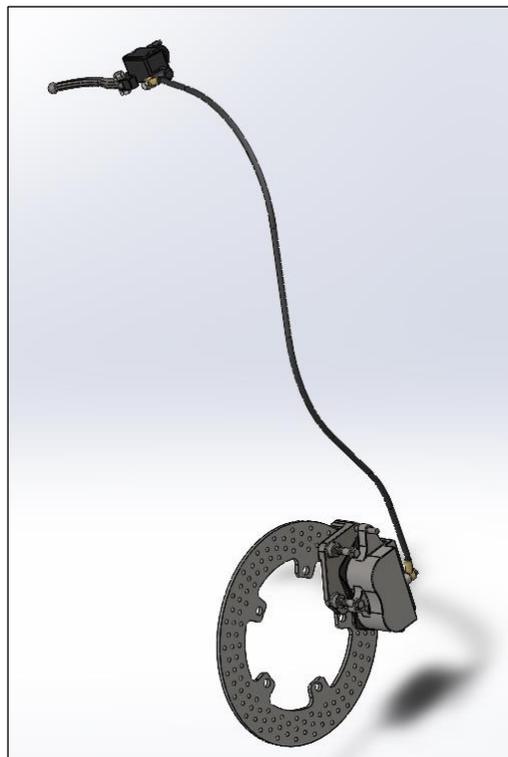
## 5.2. MODELO EN SOLIDWORKS

A partir de los cálculos realizados y los resultados obtenidos, estamos en posición de realizar una modelización, mediante el programa SOLIDWORKS, para poder observar el funcionamiento de nuestro conjunto.

Primeramente, se diseñará cada elemento de forma individual y, posteriormente, se realizará un ensamblaje de todas las piezas y se realizará un video para observar el funcionamiento de estas de forma conjunta.

Analizaremos los diferentes elementos, paso por paso, que componen ambos sistemas de frenado.

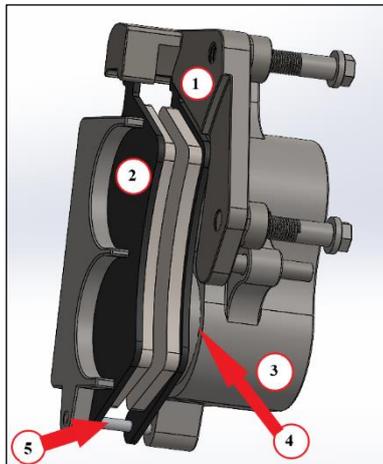
### 5.2.1. Sistema de frenado delantero.



*Figura 31. Sistema de frenado delantero en SOLIDWORKS.*

Este sistema está compuesto por:

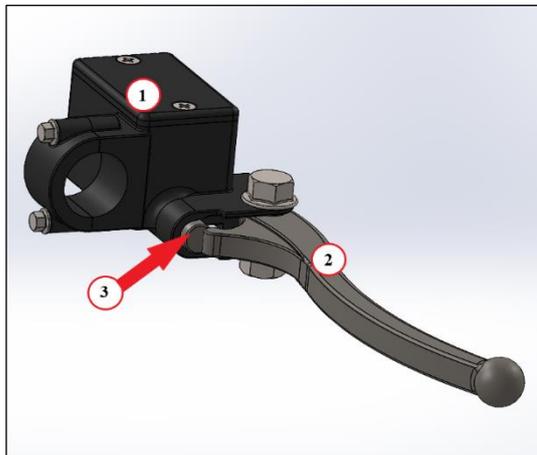
- Pinza de freno delantera.



1. Porta-pinzas.
2. Pastilla de freno.
3. Bloque pinza.
4. Émbolo.
5. Pasador de pastillas.

**Figura 32.** Pinza de freno delantera SOLIDWORKS.

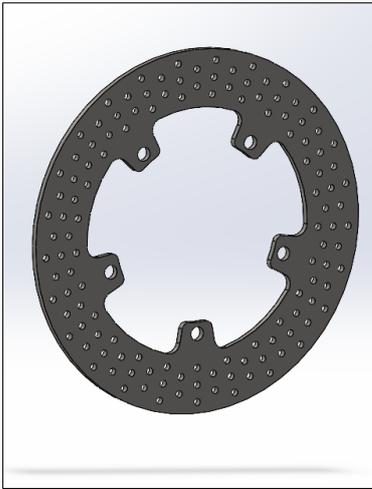
- Bomba de freno delantera.



1. Bloque bomba/depósito.
2. Maneta de accionamiento.
3. Cilindro actuador.

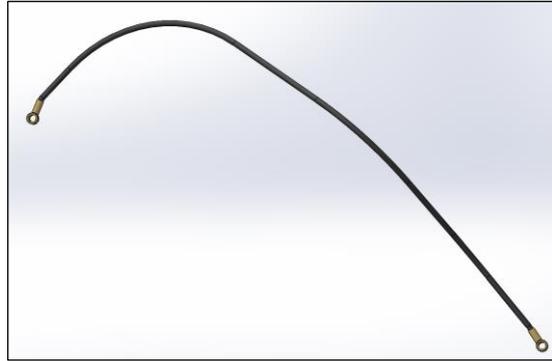
**Figura 33.** Bomba de freno delantera SOLIDWORKS.

- Disco de freno delantero.



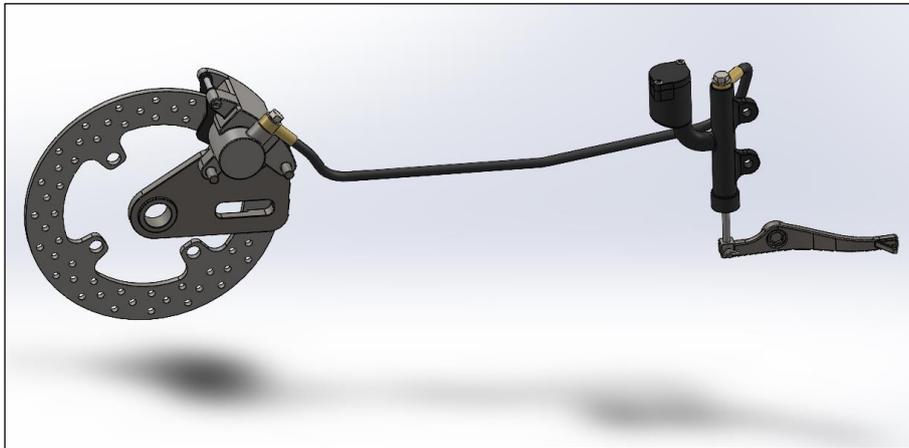
*Figura 34. Disco de freno delantero SOLIDWORKS.*

- Latiguillo de freno delantero.



*Figura 35. Latiguillo de freno delantero SOLIDWORKS.*

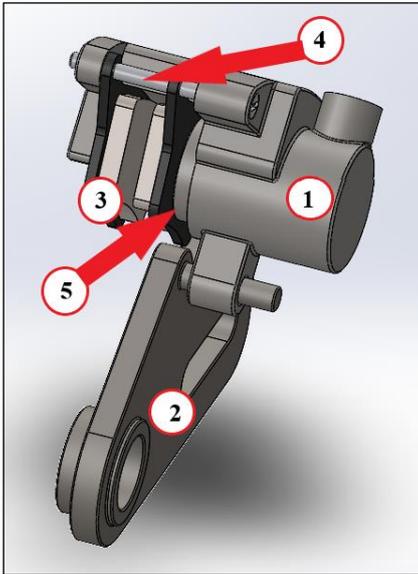
### 5.2.2. Sistema de frenado trasero.



*Figura 36. Sistema de frenado trasero SOLIDWORKS.*

El sistema trasero se compone de los siguientes elementos:

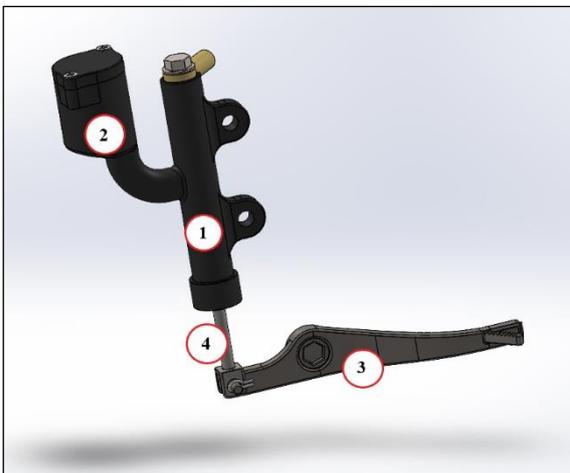
- Pinza de freno trasera.



1. Bloque pinza.
2. Porta-pinza.
3. Pastilla de freno,
4. Pasador pastillas.
5. Émbolo.

*Figura 37. Pinza de freno trasera SOLIDWORKS.*

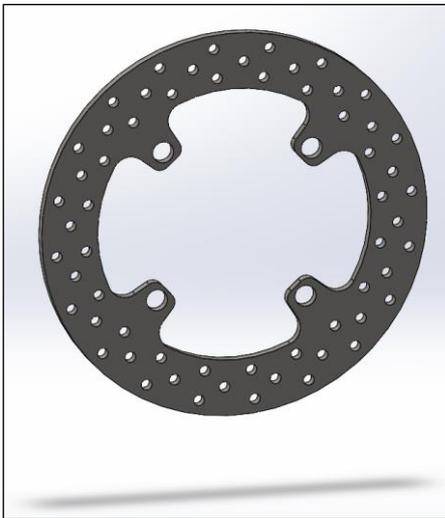
- Bomba de freno trasera.



1. Bloque bomba.
2. Depósito de líquido de frenado.
3. Pedal de accionamiento.
4. Cilindro actuador.

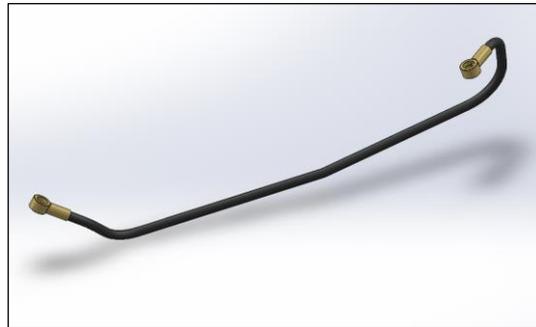
*Figura 38. Bomba de freno trasera SOLIDWORKS.*

- Disco de freno trasero.



*Figura 39. Disco de freno trasero SOLIDWORKS.*

- Latiguillo de freno trasero.



*Figura 40. Latiguillo de freno trasero SOLIDWORKS.*

Para poder observar el funcionamiento de los sistemas, tanto por separado como de forma conjunta, se ha diseñado, a su vez, el chasis y trenes de rodadura, los cuales serían los observados en la siguiente figura:



*Figura 41. Chasis motocicleta SOLIDWORKS.*

Llegados a este punto, mediante la herramienta ‘Estudio de movimiento’ de SOLIDWORKS, podemos dotar de movimiento a nuestro ensamblaje, y así observar cómo sería su funcionamiento en conjunto. Una vez realizado el estudio de movimiento podemos obtener algo como lo que podemos observar en los siguientes videos depositados en drive:

Frenado general:

[https://drive.google.com/file/d/17-7fJfYQtsUACBumroJJ2GNnR\\_9JQ3dn/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/17-7fJfYQtsUACBumroJJ2GNnR_9JQ3dn/view?usp=sharing)

Frenado delantero:

[https://drive.google.com/file/d/12sgtkfZmbKVsvV\\_PQKIY-ehWRXwof7zz/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/12sgtkfZmbKVsvV_PQKIY-ehWRXwof7zz/view?usp=sharing)

Frenado trasero:

[https://drive.google.com/file/d/1aMO5wfwHGewqpZJtdbsnZ\\_mhc7kzk\\_fh/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1aMO5wfwHGewqpZJtdbsnZ_mhc7kzk_fh/view?usp=sharing)

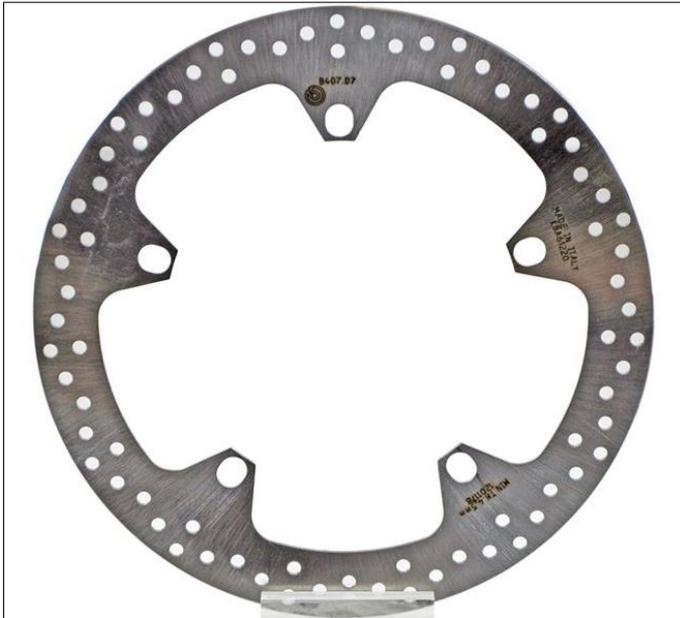
Además, se ha realizado un explosionado del conjunto, para poder observar con más detalle cómo se ensamblan, conectan y encaja cada pieza con otra. Esto lo podemos observar en el siguiente video:

[https://drive.google.com/file/d/1Y\\_hwNb9cT7CGMUy6XPDxFHfjGSoCtTt2/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1Y_hwNb9cT7CGMUy6XPDxFHfjGSoCtTt2/view?usp=sharing)

### 5.3. COMPONENTES DE NUESTRO SISTEMA

#### 5.3.1. Disco de freno delantero.

Disco perforado de anclaje fijo modelo Brembo 68B407H7, con las siguientes características.



Øext.: \_\_\_\_\_ 320mm

Øint.: \_\_\_\_\_ 180.5mm

Øentre agujeros: \_\_\_\_\_ 203.4mm

Øagujeros: \_\_\_\_\_ 13.8mm

Espesor: \_\_\_\_\_ 4.5mm

*Figura 42. Disco de freno delantero Brembo 68B407H7.*

### 5.3.2. Disco de freno trasero.

Disco perforado de anclaje fijo modelo Brembo 68B40749, con las siguientes características:



Øext.: \_\_\_\_\_ 220mm

Øint.: \_\_\_\_\_ 105mm

Øentre agujeros: \_\_\_\_\_ 125mm

Øagujeros: \_\_\_\_\_ 10.5mm

Espesor: \_\_\_\_\_ 5mm

*Figura 43. Disco de freno trasero Brembo 68B40749.*

### 5.3.3. Bomba de freno delantera.

Bomba de freno modelo Brembo XA2.B3.A0, fabricada de aluminio fundido y de funcionamiento axial, cuenta con un pistón de accionamiento de 10mm de diámetro y un peso de 275gr, resultando ultra ligera.



*Figura 44. Bomba de freno delantera Brembo XA2.B3.A0.*

#### 5.3.4. Bomba de freno trasera.

Bomba de freno trasera modelo Brembo XA5.21.30, fabricada a partir de aluminio mecanizado, cuenta con un pistón de accionamiento de 13 mm de diámetro, y su peso es de apenas 112gr.



*Figura 45. Bomba de freno trasera Brembo XA5.21.30.*

### 5.3.5. Pinza de freno delantera.

Como pinza de freno delantera se ha escogido la Brembo XQ2.13.61 la cual es flotante y está fabricada en aluminio mecanizado. Esta pinza cuenta con 2 pistones de 28mm de diámetro, los cuales, pese a no ser de 51mm como se destacó en el diseño, proporcionan una frenada eficiente y que cumple con las especificaciones, únicamente el piloto deberá aplicar una fuerza algo mayor. Funciona mediante líquido de freno DOT 4 y pesa 595gr.



*Figura 46. Pinza de freno delantera Brembo XQ2.13.61.*

### 5.3.6. Pinza de freno trasera.

Para la parte trasera se ha escogido una pinza de freno modelo Brembo XQ2.13.90, la cual está compuesta por aluminio mecanizado y es flotante. Cuenta con un único embolo de 26mm de diámetro que debe ser accionado por líquido de frenos DOT 4 y pesa 595gr.



*Figura 47. Pinza de freno trasera Brembo XQ2.13.90.*

### 5.3.7. Pastillas de freno.

Para la pinza delantera escogida, modelo Brembo XQ2.13.61, debemos montar las pastillas de freno modelo Galfer FD138 G1396. Y para la pinza trasera escogida, modelo Brembo XQ2.13.90, debemos montar las pastillas de freno modelo Galfer FD291 G1396.

Las pastillas Galfer son de material sinterizado y cuentan con las siguientes características:

- Frenada potente, progresiva y modulable.
- Bajo índice de desgaste y mínimo ruido.
- Máxima resistencia al efecto "fade".
- Muy eficiente en seco y mojado.
- Mínima agresividad sobre el disco.



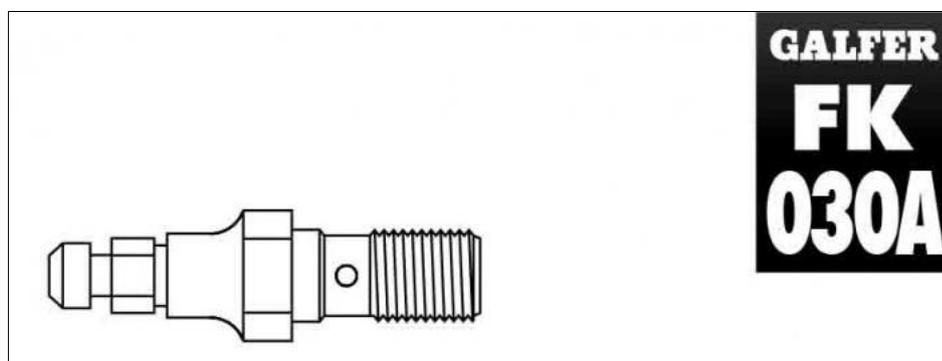
*Figura 48. Pastillas delanteras Galfer FD138 G1396.*



*Figura 49. Pastillas de freno traseras Galfer FD291 G1396.*

### 5.3.8. Tornillo banjo con sangrador.

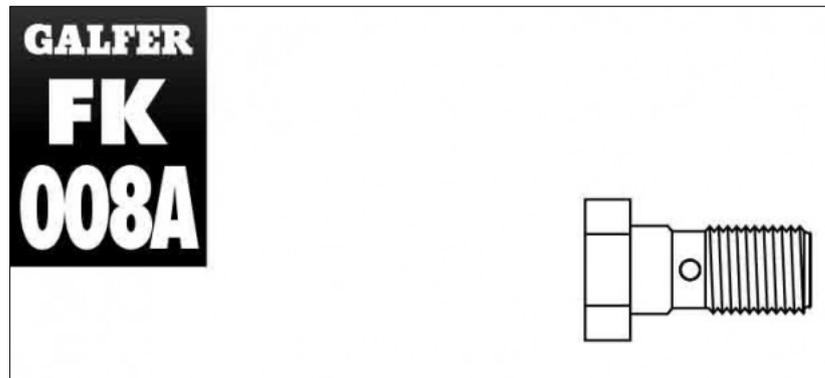
Tornillo banjo modelo Galfer FK003D030A, compuesto de Latón y de medida 10x100. Estos tornillos estarán situados en la punta del latiguillo que acopla con la pinza de freno.



*Figura 50. Tornillo banjo con sangrador Galfer FK003D030A.*

### 5.3.9. Tornillo banjo.

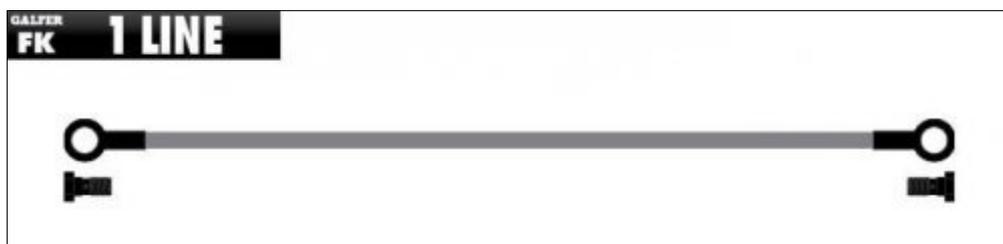
Tornillo banjo convencional modelo Galfer FK002D008B, compuesto de Latón y de medidas 10x125. Este tornillo estará situado en la zona de las bombas de freno.



*Figura 51. Tornillo banjo Galfer FK002D008B.*

### 5.3.10. Latiguillos de Freno.

Los latiguillos serán de la marca Galfer y serán metálicos, para que la compresibilidad del líquido de frenado se aproveche completamente para la frenada. El modelo para el latiguillo delantero es Galfer FK103CE052 y para el latiguillo trasero es Galfer FK103CE052R. Están compuesto por teflón en su interior y de acero trenzado en su exterior.



*Figura 52. Latiguillo de freno Galfer tipo FK.*



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



## **TRABAJO FINAL DE GRADO**

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

---

# **DISEÑO DEL SISTEMA DE FRENADO DE UNA MOTOCICLETA PARA CIRCULACIÓN EN CARRETERA**

---

## **PRESUPUESTO**

**AUTOR: José Antonio Díez Berja**

**DIRECTOR DEL PROYECTO: Francisco José Rubio Montoya**

Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales

Valencia, Septiembre de 2020

Una vez se ha realizado la elección de los componentes más acordes al diseño realizado con anterioridad podemos reseñar el coste que supondría el ensamblaje del sistema de frenos.

- Sistema de frenado delantero.....1330.19 €
  - Disco perforado delantero..... 96.72 €
  - Bomba de freno delantera..... 558.27 €
  - Pinza de freno delantera..... 606.23 €
  - Pastillas delanteras..... 26.51 €
  - Latiguillo de freno delantero ..... 32.06 €
  - Tornillo banjo con purgador ..... 6.15 €
  - Tornillo banjo ..... 3.65 €
  - Arandelas ..... 0.60 €
  
- Sistema de frenado trasero.....1502.15 €
  - Disco perforado trasero..... 51.46 €
  - Bomba de freno trasero..... 815.94 €
  - Pinza de freno trasero ..... 573.44 €
  - Pastillas traseras..... 18.85 €
  - Latiguillo de freno trasero ..... 32.06 €
  - Tornillo banjo con purgador ..... 6.15 €
  - Tornillo banjo ..... 3.65 €
  - Arandelas ..... 0.60 €

DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	UDS	PRECIO (€/UD.)	PRECIO (€)
Disco perforado delantero	Brembo 68B407H7	1	96.72	96.72
Disco perforado trasero	Brembo 68B40749	1	51.46	51.46
Bomba de freno delantera	Brembo XA2.B3.A0	1	558.27	558.27
Bomba de freno trasera	Brembo XA5.21.30	1	815.94	815.94
Pinza de freno delantera	Brembo XQ2.13.61	1	606.23	606.23
Pinza de freno trasera	Brembo XQ2.13.90	1	573.44	573.44
Pastillas delanteras	Galfer FD138 G1396	1	26.51	26.51
Pastillas traseras	Galfer FD291 G1396	1	18.85	18.85
Tornillo banjo con purgador	Galfer FK003D030A	2	6.15	12.30
Tornillo banjo	Galfer FK002D008B	2	3.65	7.30
Latiguillo de freno delantero	Galfer FK103CE052	1	32.06	32.06
Latiguillo de freno trasero	Galfer FK103CE052R	1	32.06	32.06
Arandelas	Goodridge 44516	8	0.15	1.20

TOTAL	2832.34 €
-------	-----------

Cabe decir que todos los precios ya llevan incorporado el IVA.

Puesto que el sistema no se fabricará, si no que será comprado y ensamblado en la motocicleta, no precisaremos de costes de fabricación. Sin embargo, si que tendremos costes de ensamblaje de los sistemas de frenado en la motocicleta. El ensamblaje será realizado por un técnico de taller especializado en la materia, cuyo coste por hora es de 27€. Puesto que realizar el montaje supone un tiempo de 4h, el coste total de ensamblaje sería de 108€+IVA. Este coste supondría un añadido de 130.68€ a nuestro presupuesto, el cual ascendería a 2963.02 €.

➤ Coste sistema de frenado completo .....2963.02 €

Cabe destacar que existen elementos que se deben de cambiar debido a su uso y, por lo tanto, será un coste para tener en cuenta conforme pase la vida del vehículo. Estos elementos son los siguientes:

- Pastillas de freno: Se deberán reemplazar cuando el espesor del material de fricción se reduzca de forma considerable y/o antes de que este desaparezca.
- Discos de freno: De forma general se sustituye cada dos o tres cambios de pastillas, puesto que el material del disco se desgasta con su uso.
- Líquido de frenos: Se recomienda sustituirlo cada dos años de uso, debido a la alteración de sus propiedades, y debe ser siempre el cual recomiende el fabricante.
- Conductos de freno (goma rígida): Se debe sustituir por uno nuevo tras unos cuatro años de uso, debido a la pérdida de propiedades tras su utilización.

Se ha de decir que, tanto las pastillas como los discos de freno, su desgaste dependerá del uso y trato que le dé el piloto al sistema de frenado de la motocicleta.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



## **TRABAJO FINAL DE GRADO**

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

---

# **DISEÑO DEL SISTEMA DE FRENADO DE UNA MOTOCICLETA PARA CIRCULACIÓN EN CARRETERA**

---

## **PLIEGO DE CONDICIONES**

**AUTOR: José Antonio Díez Berja**

**DIRECTOR DEL PROYECTO: Francisco José Rubio Montoya**

Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales

Valencia, Septiembre de 2020

# ÍNDICE DE CONTENIDO

1. OBJETO .....	1
2. CONDICIONES FACULTATIVAS .....	1
3. MATERIALES DE LOS COMPONENTES .....	1
3.1. BOMBAS DE FRENO .....	1
3.2. CONDUCTOS DE FRENO.....	2
3.2.1. DE GOMA RÍGIDA O SINTÉTICOS.....	2
3.2.2. METÁLICOS .....	2
3.3. PINZAS DE FRENO .....	2
3.4. PASTILLAS DE FRENO .....	2
3.4.1. ORGÁNICAS.....	3
3.4.2. SINTERIZADAS .....	3
3.4.3. SEMIMETÁLICAS.....	3
3.5. DISCOS DE FRENO.....	3
3.6. LÍQUIDO DE FRENOS .....	3
4. CONDICIONES DE MONTAJE .....	4
5. COMPROBACIONES .....	5
6. PAGO DEL SUMINISTRO .....	6

## **1. OBJETO**

El presente Pliego de Condiciones se refiere al proyecto DISEÑO DEL SISTEMA DE FRENADO DE UNA MOTOCICLETA PARA CIRCULACIÓN EN CARRETERA. En el presente documento se especifica los materiales requeridos para los componentes, así como el proceso de ensamblaje requerido y las comprobaciones a realizar antes de la puesta en marcha de la motocicleta.

## **2. CONDICIONES FACULTATIVAS**

Posterior al montaje, el técnico, o técnicos, que han realizado el montaje en la motocicleta deben presentar un documento que certifique que el montaje realizado es correcto y el sistema cumple con su cometido. El contratante debe comprobar, mediante un técnico y maquinaria especializada, que el sistema se corresponde con el especificado, está montado de forma correcta y cumple con el cometido para el que fueron diseñados.

Además, se deberá aportar un certificado de garantía por parte del taller, el cual ha realizado el ensamblaje de los elementos en la motocicleta, por el tiempo mínimo de 1 año, salvo de elementos consumibles.

## **3. MATERIALES DE LOS COMPONENTES**

### **3.1. BOMBAS DE FRENO**

Las bombas de freno deben estar compuestas por fundición de aleaciones de aluminio, puesto que se trata de un material liviano, fuerte y que resiste las altas temperaturas que se pueden llegar a alcanzar en el líquido de freno ante situaciones de frenadas bruscas (entre 230 y 240 °C). Las bombas además deben presentar un recubrimiento en su superficie para proteger el material a la abrasión y la corrosión. Este recubrimiento se debe realizar mediante anodización.

Los pistones de accionamiento de la bomba deberán estar compuestos por acero inoxidable. Y los depósitos de líquido de frenado deben presentar una junta tórica que asegure que no se desparrama el líquido de frenado.

## **3.2. CONDUCTOS DE FRENO**

### **3.2.1. DE GOMA RÍGIDA O SINTÉTICOS**

Los conductos de freno deben ser de material sintético, generalmente suelen ser de kevlar, puesto que ofrece buena resistencia mecánica, pero es un material que se ve afectado considerablemente ante los rayos ultravioleta del sol, es por ello por lo que se deben remplazar cada cierto tiempo. Este material también destaca por su casi inextensibilidad, cuando está en unas condiciones correctas.

### **3.2.2. METÁLICOS**

Los conductos de freno metálicos deben estar compuestos por un tubo de polímero, PTFE, recubierto de una malla trenzada de metal la cual impedirá que el polímero se expanda al ejercer presión el líquido de frenado.

## **3.3. PINZAS DE FRENO**

Las pinzas de freno estarán fabricadas a partir de fundición o mecanizado de aleaciones de aluminio. Este material presenta un peso muy liviano, es fuerte y resistente a las altas temperaturas que se alcanzan durante una frenada brusca.

Los émbolos de las pinzas estarán mecanizados en acero inoxidable, puesto que es un material duro, resistente a altas temperaturas y a la corrosión, y que no se deforma ante las grandes presiones a las que se someten los émbolos

## **3.4. PASTILLAS DE FRENO**

Las pastillas de freno deben reunir las siguientes características, sea cual sea su composición:

- Resistencia a la abrasión.
- Mantenimiento del coeficiente de rozamiento ante las variaciones de temperatura.
- Buena conductividad térmica
- No presentar deformaciones al alcanzar altas temperaturas.

### **3.4.1. ORGÁNICAS**

Este tipo de pastilla debe estar compuesto por mezclas de fibras orgánicas e inorgánicas unidas entre sí mediante resinas fenólicas. Se recomienda escoger pastillas con fibras de kevlar o cerámicas puesto que mejoran su comportamiento.

### **3.4.2. SINTERIZADAS**

Estas pastillas están compuestas completamente por metales, como el cobre, bronce o hierro, que estarán unidos mediante un proceso de sinterización, es decir, polvo compactado mediante procesos de presión a muy alta temperatura.

### **3.4.3. SEMIMETÁLICAS**

Se componen de una combinación de fibras orgánicas, inorgánicas y metálicas unidas entre sí mediante resinas fenólicas. Las propiedades y el desempeño de estas pastillas dependen, en mayor medida, del porcentaje que se integre de material metálico.

## **3.5. DISCOS DE FRENO**

La composición de los discos de freno debe ser de acero inoxidable, puesto que es un material que presenta buena resistencia ante el estrés termomecánico que se produce durante frenadas bruscas y/o reiteradas. Además, este material presenta una rápida dispersión del calor generado por la frenada debido a que se trata de un buen conductor térmico.

## **3.6. LÍQUIDO DE FRENOS**

Se trata de un líquido basado en éteres de glicol, pero contienen además borato de éteres, lo que le hace aumentar los puntos de ebullición, húmedo y seco. Deben presentar un alto punto de ebullición, capacidad de lubricación, estabilidad química elevada y propiedades anticorrosivas (garantizadas por los aditivos añadidos). Para nuestros sistemas el líquido debe ser de la calidad DOT 4.

## 4. CONDICIONES DE MONTAJE

El montaje a realizar debe presentar las siguientes características:

- Uso de fijador de tornillos de resistencia media, para garantizar que todas las uniones atornilladas no sufren alteraciones debido a vibraciones, posibles golpes o cualquier otra causa que pueda modificar las uniones entre los tornillos y sus roscas. Un ejemplo de estos podría ser el uso de LOCTITE 243.
- Utilización de grasa para los pasadores de las pinzas axiales flotantes, para que las pinzas no se bloqueen y cumplan con su cometido. De lo contrario, la pinza no podría desplazarse, atascándose e impidiendo que la pastilla haga contacto con el disco.
- Las juntas de los depósitos de líquido de frenado deben estar correctamente posicionadas en sus alojamientos, de lo contrario podría derramarse el líquido, quedándose sin suficiente líquido la bomba y proporcionando una frenada deficiente. También el líquido podría absorber humedad afectando notablemente a sus propiedades, y podría afectar a la eficacia del sistema de frenado.
- Engrase de los tornillos sobre los cuales rotan los comandos de accionamiento, tales como la maneta y el pedal de freno, para un accionamiento correcto y sin esfuerzo.
- Limpieza de todos aquellos componentes que alojen el líquido de frenos, puesto que, si este líquido se contamina sus cualidades se verían altamente afectadas y se reduciría el poder de frenado del sistema.
- Se deben respetar todos los pares de apriete tal como indican los fabricantes, tanto de la motocicleta como de los proveedores de los componentes. Si estos pares no se respetan las roscas se pueden debilitar ante un apriete excesivo, lo cual supone un riesgo para la seguridad del sistema de frenado y, por tanto, de los ocupantes de la motocicleta.
- Se debe respetar la calidad del líquido de frenado, siendo este DOT 4, de lo contrario, otro tipo de líquido podría dañar los componentes, sobre todo los

conductos de frenado, degradándolos en exceso y, por tanto, no se conseguiría la presión que se requiere para llevar a cabo una frenada.

- Los conductos de frenado deben estar amarrados a la motocicleta, puesto que, si estos están sueltos sin ningún tipo de fijación, podría producirse la cortadura de estos y, por tanto, el sistema de frenado sería inservible para la detención o deceleración de la motocicleta.
- Se debe realizar un purgado del líquido de frenado, debido a que si queda alguna burbuja de aire dentro del sistema, como se trata de un fluido compresible, reduciría la capacidad de la bomba de generar presión y, a causa de esta falta de presión, se reduciría el poder de frenado de los sistemas.
- Posicionar el material de fricción de la pastilla de forma que haga contacto con el disco de freno, y no del lado contrario, puesto que supondría un gran riesgo que podría destrozar por completo el sistema de frenado.

## **5. COMPROBACIONES**

Posteriormente al montaje se deben realizar varias pruebas en un frenómetro, para verificar el estado y la eficacia de los sistemas de frenado. El técnico encargado de realizar dichas pruebas debe redactar y proporcionar un informe en el cual se refleje que los resultados obtenidos de las pruebas son correctos y que, vistas las prestaciones que nos proporcionan el frenómetro, los sistemas instalados cumplen con los cometidos para los que fueron diseñados.

En dicho informe debe aparecer la conformidad del técnico con las prestaciones que proporcionan los sistemas de frenado y el cumplimiento de la normativa correspondiente, aprobada en el Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos, concretamente debe cumplir el Anexo VIII de Frenado.

## **6. PAGO DEL SUMINISTRO**

El pago de los componentes, y de la mano de obra para su montaje, se realizará una vez se hayan realizado las comprobaciones pertinentes, para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas instalados, y se haya entregado la motocicleta al contratante.

El precio total que constará incluirá todos los gastos pertinentes, tales como los impuestos (IVA), reciclaje de consumibles, gastos de exportación y entrega, etc.