



DESCRIPCIÓN DE LOS FRENOS DE DISCO HIDRÁULICOS

ÍNDICE TEMÁTICO

INTRODUCCIÓN.....	3
LA MANETA DE FRENO.....	3
EL MANGUITO DE FRENO.....	4
LA PINZA.....	4
SISTEMAS ABIERTOS Y CERRADOS.....	5
POTENCIA DE FRENADO.....	6
CALOR Y FATIGA.....	9
MANTENIMIENTO.....	9

INTRODUCCIÓN

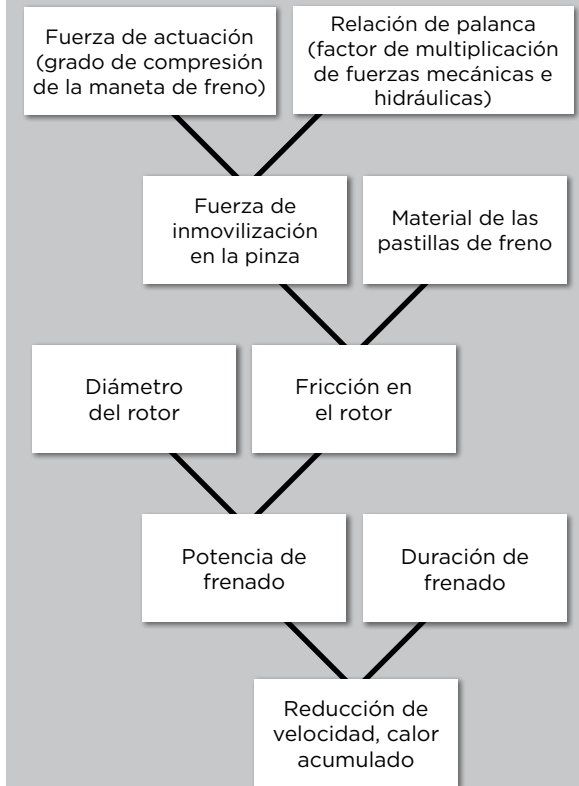
Freno de disco - Un sistema de freno de disco consta de una maneta de freno que va montada en el manillar, una pinza sujeta al cuadro o a la horquilla, y un rotor que va fijado al buje. Cuando se oprime la maneta de freno, una pastilla de freno (material de fricción) hace pinza sobre el rotor, generando una fuerza de rozamiento en la interfaz entre la pinza y la superficie del rotor. Esta fuerza de rozamiento frena la rueda convirtiendo en calor la energía cinética que adquiere la rueda al girar. En otras palabras, *el frenado implica calentamiento*.

Freno de disco hidráulico - Un freno de disco hidráulico incorpora un *pistón maestro* en la maneta de freno, un manguito de frenos hidráulico, dos o más *pistones esclavos* situados en la pinza, y un fluido hidráulico (líquido de frenos DOT o aceite mineral).

En un sistema de frenos hidráulico, el frenado se consigue oprimiendo la maneta de freno, lo cual empuja el pistón maestro dentro del cuerpo de la maneta e impulsa el líquido dentro del manguito de frenos. Con ello el líquido llega al interior de la pinza y presiona contra los pistones esclavos. Las pastillas de freno van fijadas a los pistones esclavos, para que, cuando el líquido de frenos ejerza presión contra los pistones, las pastillas de freno hagan pinza sobre el rotor. Una vez que las pastillas han hecho contacto con el rotor, si se ejerce más fuerza sobre la maneta de freno, aumenta la presión dentro del sistema y, con ello, la fuerza de inmovilización con la que la pinza aprisiona el rotor.

Son varios los factores que intervienen en el funcionamiento de un freno de disco hidráulico. La fuerza con que se comprime la maneta de freno, unida a la relación de palanca (factor de multiplicación de dicha fuerza producido por el sistema hidráulico) da lugar a una fuerza de inmovilización en la pinza. Esa fuerza de inmovilización, unida al efecto del material del que están hechas las pastillas de freno, produce una fricción en el rotor. La cantidad de fricción, en combinación con el diámetro del rotor, es lo que genera la fuerza de frenado. La fuerza de frenado, junto con la duración de la acción de frenado, determina lo rápido que se reducirá la velocidad, así como la cantidad de calor generada en el proceso.

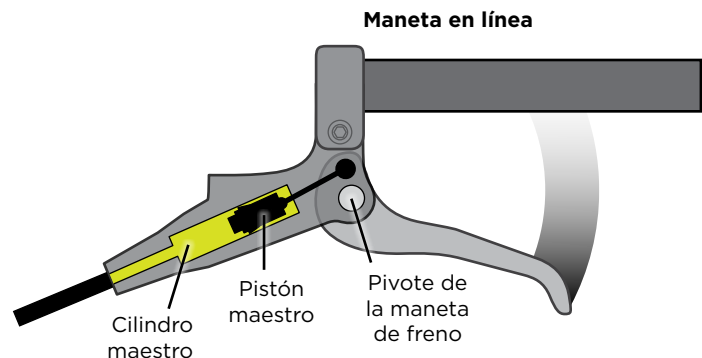
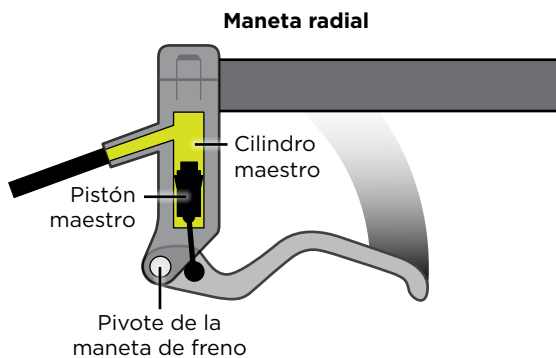
Factores que intervienen en un freno de disco hidráulico



LA MANETA DE FRENO

Las manetas de freno suelen diseñarse con el cilindro maestro en dos posibles configuraciones: *radial* o *en línea*.

En los diseños radiales, el cilindro maestro va colocado perpendicularmente al manillar, mientras que en los diseños en línea el cilindro maestro va aproximadamente paralelo al manillar. La principal diferencia entre estos dos diseños es la posición del pivote de la maneta de freno, que puede tener un enorme impacto sobre la ergonomía de la maneta.



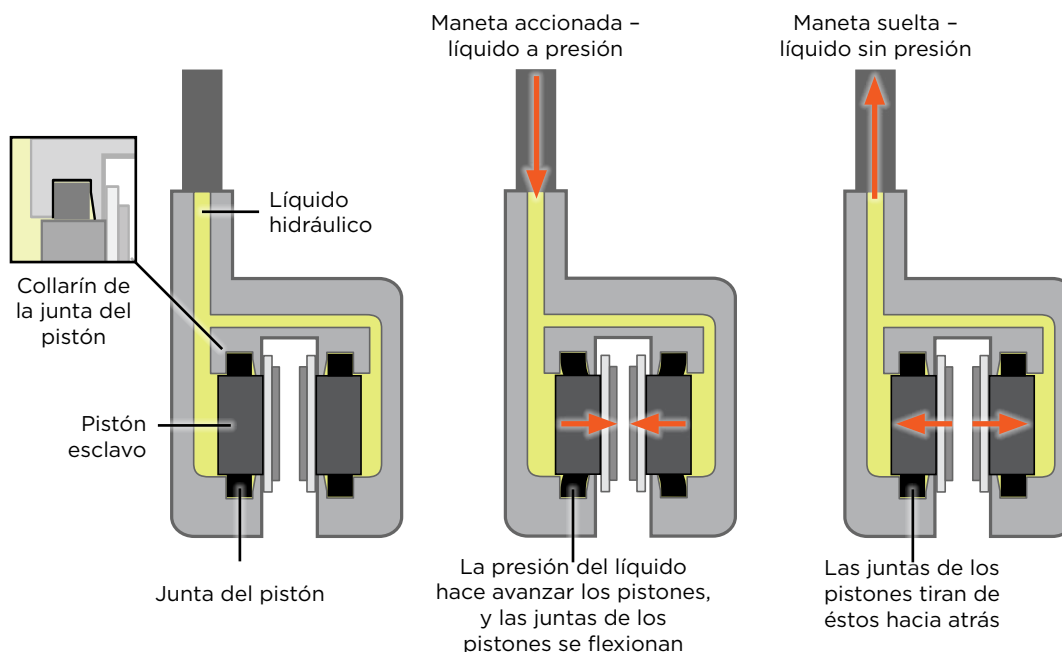
EL MANGUITO DE FRENO

El manguito de freno conecta la maneta con la pinza. Es también un aspecto fundamental para el diseño y el funcionamiento general del freno. Los manguitos de freno están especialmente diseñados para soportar presiones internas de más de 138 bar sin deformarse ni dilatarse significativamente. La pequeña dilatación que experimenta el manguito puede controlarse por diseño para manipular el tacto que presenta el freno a determinadas presiones. Es importante señalar que, aunque esta característica no influye en la potencia total de frenado, sí aporta un mayor grado de control sobre la potencia de frenado disponible.

LA PINZA

Los pistones esclavos de la pinza de freno suelen utilizar juntas especiales que se flexionan o comban ligeramente cuando los pistones y las pastillas se ven empujados hacia el rotor al frenar. Al soltar el freno, las juntas de los pistones se relajan y tiran del conjunto pistón/pastilla alejándolo del rotor. Esto es lo que se conoce como *"retracción de las pastillas"*. El grado de retracción es un factor de gran importancia a la hora de determinar la distancia que deberán recorrer los pistones para que las pastillas hagan contacto con el rotor. Esta distancia determina el espacio entre pastillas y rotor, y también cuánto debe moverse la maneta de frenos para que las pastillas lleguen a tocar el rotor, lo que se conoce como *zona muerta*. Cuanto mayor sea la retracción, mayor será la separación y la zona muerta.

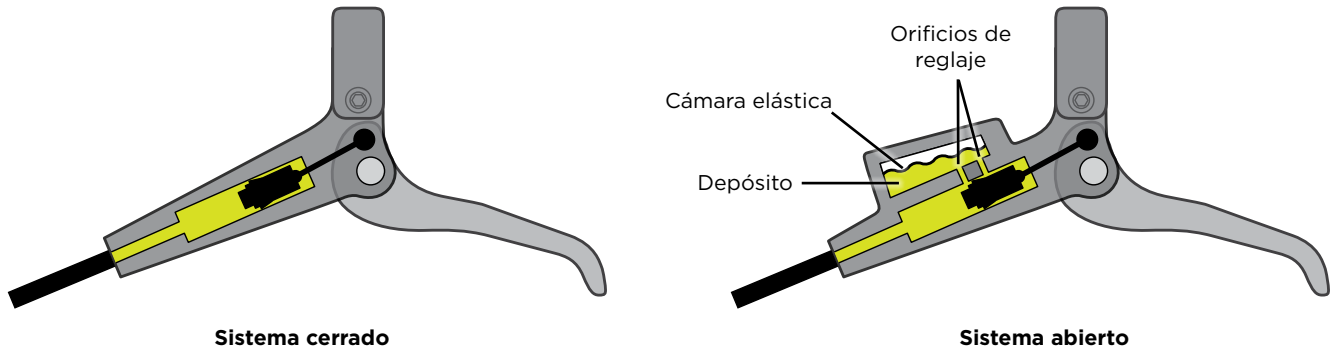
Otra función de estas juntas es permitir que los pistones vayan avanzando por sí solos a medida que se desgastan las pastillas y el rotor. A medida que se desgastan, la distancia entre pastillas y rotor va aumentando, lo cual afecta al recorrido del pistón y a la amplitud de la zona muerta. Si no se utilizasen estas juntas especiales, habría que ajustar constantemente la separación de las pastillas para mantener uniforme la zona muerta. No obstante, el grado en que puede llegar a combarse la junta de un pistón es limitado, por lo que existe un punto a partir del cual el pistón acabará deslizándose a través de la junta. Es decir, más de lo que puede llegar a combarse la junta. Cuando esto sucede, los pistones resbalarán constantemente a través de la junta, hasta que las pastillas hagan contacto con el rotor. Al soltar el freno, los conjuntos pistón/pastilla se retraerán a una nueva posición de reposo, más cercana al rotor. De este modo se evita tener que ajustar constantemente la separación de las pastillas o la zona muerta a medida que se desgastan los componentes.



SISTEMAS ABIERTOS Y CERRADOS

Algunos frenos de disco hidráulicos para bicicletas incorporan un *sistema cerrado*, en el que el volumen de líquido entre los pistones maestro y esclavo permanece constante.

La mayoría de los frenos de disco hidráulicos para bicicletas incorporan un *sistema abierto*, en el que existe un depósito que contiene un volumen adicional de líquido y un pequeño volumen de aire. El líquido y el aire están separados por una cámara flexible que se va expandiendo y contrayendo a medida que varía el volumen de líquido.



Diferencias entre sistemas abiertos y cerrados

Compensación - A medida que el freno se calienta, el líquido de freno se expande. En un sistema cerrado, esta expansión genera una presión que hace avanzar las pastillas hacia el rotor, provocando rozamiento y alterando el tacto de la maneta de freno. En un sistema abierto, el líquido, al dilatarse, puede pasar al depósito una vez que se suelten los frenos. Esto permite que el sistema pueda funcionar de una manera uniforme dentro de un amplio margen de temperaturas.

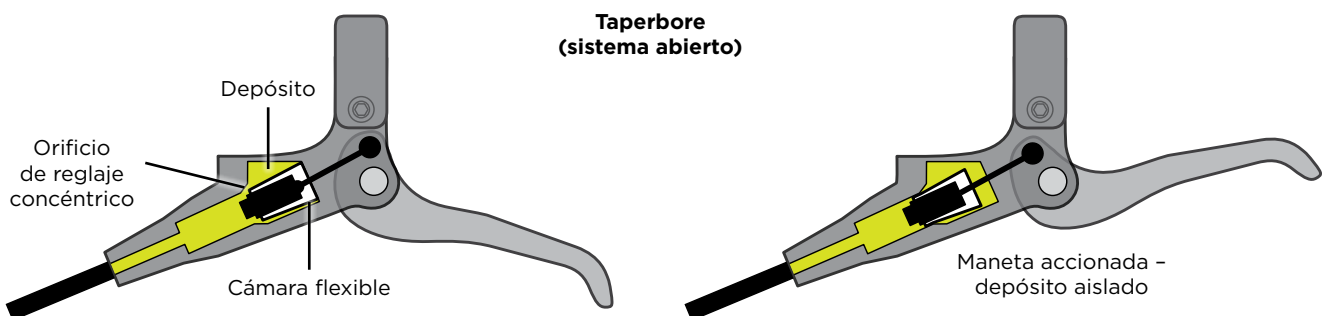
Compensación de desgaste de pastillas y rotor - A medida que se desgastan las pastillas y los rotores, los pistones esclavos deben avanzar más para que las pastillas lleguen a contactar con el rotor. En un sistema cerrado, un recorrido más largo del cilindro esclavo supone más recorrido de la maneta de freno. Por tanto, a medida que vayan desgastándose las pastillas, más distancia tendrá que recorrer la maneta. En un sistema abierto, el efecto combinado del deslizamiento del pistón y el avance de las pastillas consigue mantener controlada la separación entre las pastillas y el rotor. El líquido sobrante del depósito entra en el sistema, garantizando que siempre exista un volumen de líquido adecuado entre los pistones maestro y esclavo. Esto permite que el sistema pueda funcionar de manera uniforme a medida que vayan desgastándose las piezas.

Control del líquido en un sistema abierto

Al frenar, el acceso del líquido de frenos al depósito debe bloquearse para que la presencia de la cámara flexible no afecte al tacto del freno, y para que no recaiga en dicha cámara la función del sellado a alta presión. Hay dos maneras de controlar el acceso del líquido entre el depósito y el resto del sistema:

Orificios de reglaje - Los orificios de reglaje tradicionales son pequeños agujeros situados en el cilindro maestro, justo enfrente del pistón (cuando el freno está en reposo). Cuando se oprime la maneta de freno, el pistón maestro avanza hasta más allá de esos orificios, cerrando el acceso entre el depósito y el resto del sistema.

Taperbore - El sistema Avid® Taperbore Technology™ incorpora un pistón maestro con una cámara flexible integrada, situada en un cilindro maestro con un diámetro graduado. Cuando el freno está en reposo, el pistón descansa sobre un área del cilindro maestro cuyo diámetro es ligeramente mayor que el del pistón. El hueco existente entre el pistón y la pared del cilindro maestro permite que el líquido pueda acceder a un área situada detrás de la junta del pistón, y alrededor del conjunto pistón/cámara elástica. Con ello se consigue crear un depósito. Al accionar el freno, el pistón se desplaza hasta un área del cilindro maestro cuyo diámetro es menor, lo cual le permite sellar alrededor del pistón, impidiendo que el líquido pueda acceder desde el depósito al resto del sistema.



POTENCIA DE FRENADO

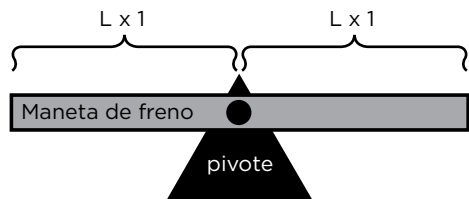
La potencia de frenado total depende de tres características concretas del sistema de frenado:

- Relación de palanca/multiplicación mecánica
- Material de fricción de las pastillas
- Tamaño del rotor

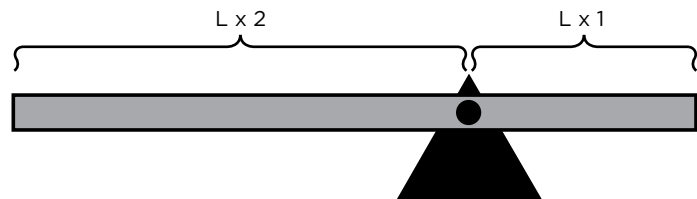
Relación de palanca y modulación

La relación de palanca, o factor de multiplicación de la fuerza ejercida, es el grado en que la fuerza ejercida sobre la maneta de freno se amplifica a lo largo del sistema hasta llegar a las pastillas y el rotor. De este parámetro depende también cuánto habrá que mover la maneta de freno para que las pastillas se desplacen una determinada distancia. La relación total de palanca del sistema puede controlarse mediante un adecuado diseño de la maneta de freno, del pistón maestro y de los pistones esclavos.

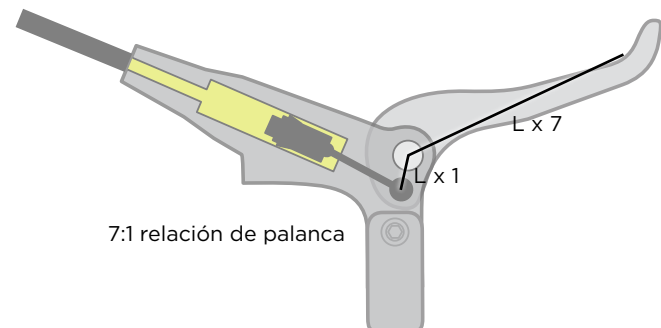
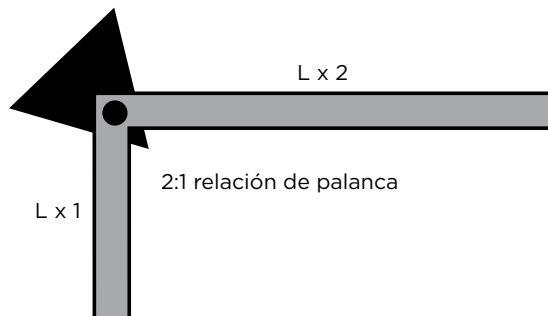
En la maneta de freno, la posición del pivote de la maneta con respecto al punto de aplicación de la fuerza de entrada y la varilla empujadora (el mecanismo que acciona el pistón maestro) es un factor fundamental para determinar la relación de palanca. Esta relación se expresa en forma de cociente, con la distancia entre un extremo de la maneta y el pivote como numerador, y la distancia entre el otro extremo y el pivote como denominador.



$1/1 = 1:1$ relación de palanca



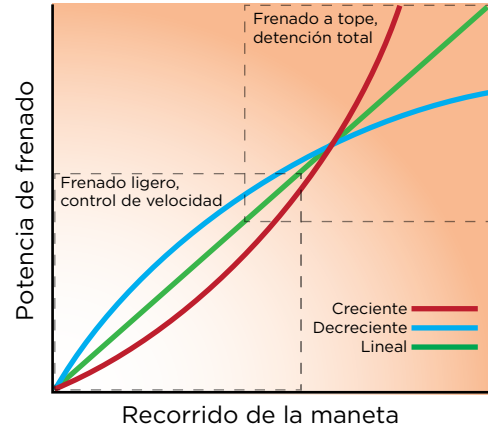
$2/1 = 2:1$ relación de palanca



Las manetas de freno se diseñan con el pivote situado cerca de la varilla empujadora. De este modo se consigue un mayor efecto de palanca, pues el movimiento por el lado de la maneta en el que se ejerce la fuerza de entrada al sistema se traduce en un movimiento menor por el lado de la varilla empujadora, pero la fuerza de entrada se multiplica por un factor igual a la relación de palanca, con lo cual aumenta la fuerza de salida ejercida sobre el pistón maestro.

Asimismo, dependiendo de cómo se desplace la varilla empujadora con respecto al pivote de la maneta de freno, la relación de palanca puede variar a lo largo del frenado. Este cambio en la relación de palanca se conoce como *modulación*. Existen tres tipos de modulación:

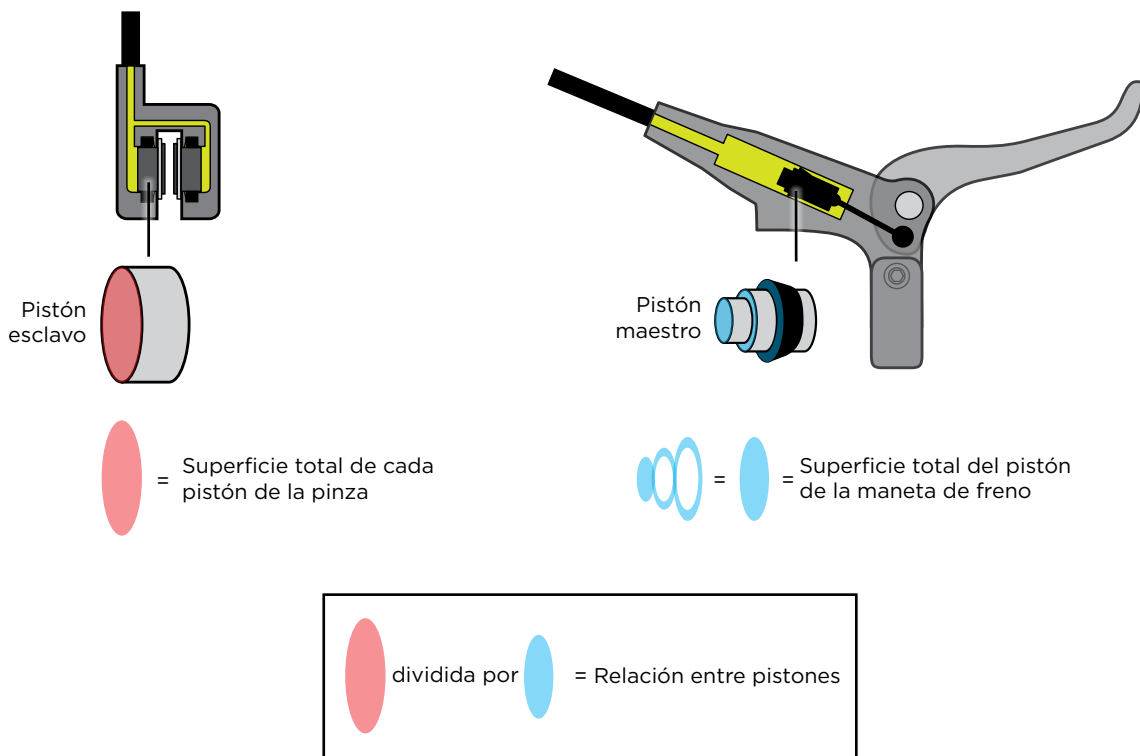
- Creciente - la relación de palanca va aumentando a lo largo del recorrido de la maneta de freno
- Decreciente - la relación de palanca va descendiendo a lo largo del recorrido de la maneta
- Lineal - la relación de palanca se mantiene constante durante todo el recorrido de la maneta



Avid® Deep Stroke Modulation™ es una curva de modulación creciente especialmente diseñada para generar menos potencia de frenado en el momento en que las pastillas tocan por primera vez el rotor, evitando así un posible bloqueo accidental de la rueda y la consiguiente pérdida de control, y aumentar exponencialmente la fuerza a medida que se acciona más a fondo la maneta. De este modo se consigue una gama más amplia de potencias de frenado utilizables, y un mayor control del freno en distintas situaciones de frenado.

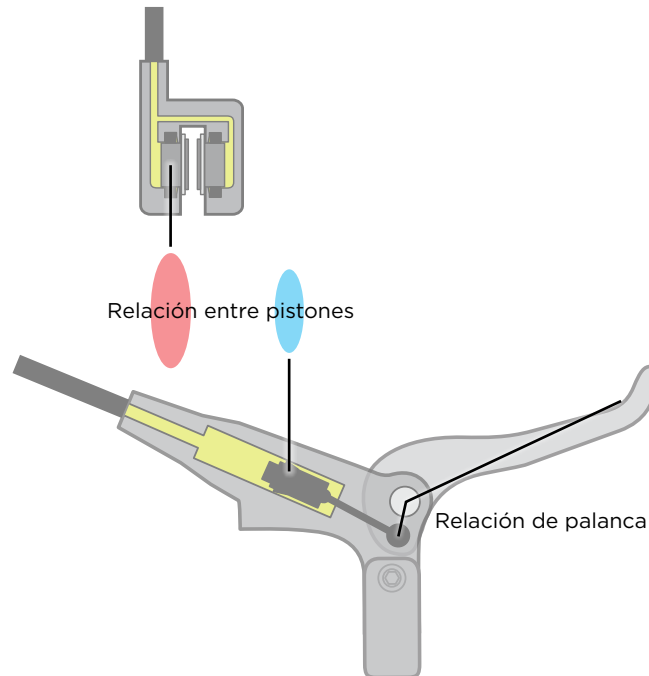
El último de los factores que determinan la relación de palanca total del sistema es la *relación entre pistones*. Del mismo modo que la relación de palanca se controla mediante la maneta de freno, la relación entre las superficies del pistón maestro y de cada uno de los pistones esclavos determina cuánto debe moverse el pistón maestro para conseguir un determinado desplazamiento del pistón esclavo. En los sistemas de frenos hidráulicos, la superficie del pistón maestro es menor que la del pistón esclavo. Con pistones esclavos grandes hace falta más cantidad de fluido para ejercer presión sobre ellos, lo cual requiere más movimiento del pistón maestro pequeño y, por tanto, de la maneta de freno.

Igual que ocurre con la maneta de freno, la fuerza de entrada en el pistón maestro multiplicada por la relación entre pistones es igual a la fuerza de salida en los pistones esclavos.



Al haber dos pistones esclavos, podría parecer intuitivo que las superficies de ambos se sumasen a la hora de calcular la relación entre pistones, con lo cual se duplicaría la fuerza de inmovilización sobre el rotor. Esto sería cierto si las superficies combinadas de los pistones se desplazasen en la misma dirección (como ocurre en uno de los lados de una pinza de cuatro pistones). Sin embargo, si los dos pistones esclavos se mueven en direcciones opuestas, la fuerza de inmovilización total sólo es igual a la fuerza producida por uno de los pistones. Por ejemplo, si se inmovilizase uno de los pistones esclavos, y el otro pistón esclavo generase por sí solo toda la fuerza de inmovilización, la fuerza producida no sería distinta de la que conseguirían ambos pistones funcionando a la vez.

Controlando el diseño de los pistones para regular la relación de palanca, y el diseño de la maneta para graduar el grado de multiplicación de la fuerza y de modulación, se consigue un amplio margen de niveles de control, potencia de frenado y tacto del freno. Controlando otros factores, como el diseño de las pastillas y del rotor, es posible ampliar aún más este margen.



Relación entre pistones multiplicada por la Relación de palanca =
Apalancamiento total del sistema

Pastillas de freno y fricción

El funcionamiento de las pastillas de freno se basa en dos principios: *fricción adhesiva* y *fricción abrasiva*.

La fricción adhesiva comienza con el depósito de una fina capa de transferencia de material de la pastilla al rotor durante un proceso inicial de bruñido o "rodaje" de las pastillas. Una vez depositada esta capa, al aplicar los frenos se crean enlaces moleculares entre las pastillas y la capa de transferencia del rotor, que se establecen instantáneamente y se rompen de inmediato, lo cual da lugar a una fricción. Un adecuado rodaje de las pastillas es absolutamente esencial para que los frenos funcionen bien, ya que la presencia en el rotor de una capa no uniforme de material de las pastillas puede provocar exceso de ruido y un comportamiento irregular del freno. Estos efectos pueden resultar imperceptibles al principio, pero manifestarse con claridad al cabo de un tiempo de uso a medida que la capa de transferencia siga acumulándose de manera irregular. La fricción adhesiva es el factor que más contribuye a la fricción total del freno, y el material del que está hecha la pastilla es clave para producir esa fricción adhesiva. Por eso, las pastillas se desgastan mucho más rápido que los rotores.

La fricción abrasiva se debe a la ruptura de la superficie de las pastillas de freno, del rotor, o de ambos elementos. La contribución de este factor a la fricción total es secundaria, pero es la que más influye en el desgaste del rotor.

El material de las pastillas ha sido diseñado expresamente para crear una interfaz con el material del rotor, y proporciona una fuerza de fricción conocida para una determinada fuerza de inmovilización. Esta característica se denomina *coeficiente de fricción*, y varía según el material con el que esté fabricada la pastilla. Avid utiliza pastillas sinterizadas organometálicas. Las pastillas orgánicas se fabrican mediante la adhesión de diversos componentes orgánicos y metálicos con una resina orgánica. Las pastillas de metal sinterizado están compuestas de materiales metálicos adheridos entre sí al someterlos a presiones y temperaturas elevadas. Estos dos tipos de componentes de pastillas presentan distintas características de potencia, desgaste, comportamiento en condiciones húmedas y funcionamiento en entornos secos o polvorientos. Al cambiar de unas pastillas orgánicas a otras metálicas sinterizadas es importante instalar un nuevo rotor para establecer una nueva capa de transferencia.

El desgaste de las pastillas y del rotor es el resultado normal del uso del freno durante un período de tiempo. Sin embargo, la contaminación de las pastillas o del rotor puede acelerar el proceso de desgaste y ocasionar ruidos o vibraciones inusuales.

Rotor

El diámetro del rotor es el último de los factores que contribuyen a la potencia de frenado. Con los rotores de mayor diámetro se consigue un mayor efecto multiplicador en la fuerza que el sistema de frenado ejerce sobre la rueda para oponerse a su rotación, al aplicar dicha fuerza en un punto más alejado del eje. Por tanto, cuanto mayor sea el rotor, más potente será el freno. Además, los rotores de mayor diámetro controlan mejor el calor, al aumentar la superficie y la masa térmica (capacidad para absorber calor) de todo el sistema de frenado. Los rotores más grandes son necesariamente más pesados que los rotores más pequeños, por lo que el ahorro de peso puede ser un factor que incline hacia el uso de rotores pequeños. Sin embargo, esa decisión podría no ser la más conveniente para los ciclistas más pesados o de conducción más agresiva, que necesitan frenos más potentes. Este tipo de ciclistas podría intentar compensar la menor potencia de frenado que ofrece un rotor pequeño simplemente apretando más la maneta al accionar el freno. Eso podría provocar el recalentamiento del freno y empeorar su rendimiento. En general, elegir un rotor del tamaño adecuado es un factor fundamental en la configuración de los frenos, que debería adaptarse a las características particulares del ciclista y a las condiciones de uso de la bicicleta.

CALOR Y FATIGA

Puede ocurrir que la potencia de frenado se reduzca durante bastante rato mientras se utilizan los frenos. Este efecto se conoce como *fatiga*. Existen dos tipos de fatiga asociados a los frenos hidráulicos: *fatiga por fricción* y *fatiga por vaporización*.

Con la fatiga por fricción, el coeficiente de fricción puede variar dependiendo de la temperatura de la interfaz entre pastilla y rotor, así como del tipo de material. Las temperaturas de frenado elevadas pueden provocar un considerable descenso del coeficiente de fricción. Este efecto puede apreciarse en la bicicleta como una reducción de la potencia de frenado, que obliga al ciclista a apretar más al frenar, sin que note que aumenta la fuerza de frenado.

La fatiga por vaporización se produce cuando el líquido de frenos entra en ebullición dentro del manguito y de la pinza de freno. La ebullición se produce cuando una caída de presión del líquido (que ocurre cuando un fluido se calienta) permite que las bolsas microscópicas de aire que permanecen suspendidas dentro del líquido (burbujas) aumenten su tamaño, generando burbujas más grandes. Los fluidos sometidos a una presión considerable requieren temperaturas mucho más elevadas para entrar en ebullición que los fluidos que se mantienen a menor presión. Eso significa que el fluido puede, de hecho, llegar a alcanzar temperaturas superiores a su punto de ebullición durante una frenada a fondo (alta presión). Sin embargo, en cuanto se libera la presión sobre la maneta, la presión desciende inmediatamente, mientras que la temperatura del fluido permanece por encima de su punto de ebullición normal, y esa súbita pérdida de presión hace que el fluido entre en ebullición de manera instantánea, provocando la aparición de grandes burbujas en el sistema de frenos. Debido a la presencia de grandes burbujas dentro del sistema, al accionar la maneta de freno no sólo se comprime el fluido en movimiento, sino también las burbujas, con lo cual la palanca puede acabar llegando al final de su recorrido contra el manillar antes de que se haya llegado a generar en el líquido de frenos una presión suficiente para accionar adecuadamente los pistones esclavos. El resultado es una pérdida de potencia de frenado.

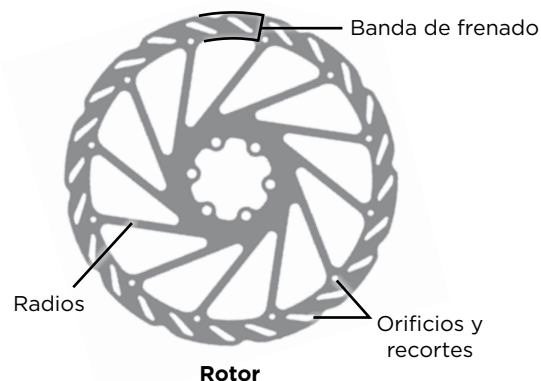
Los sistemas de frenos se diseñan y prueban para funcionar a temperaturas extremas; pero todo sistema tiene sus limitaciones. Dado que los materiales de los que están hechos las pastillas suelen manifestar el efecto de fatiga por fricción antes de que llegue a producirse la fatiga por vaporización, una reducción en la potencia de frenado como resultado de la fatiga por fricción es un claro indicio de que el sistema se está acercando a su límite térmico, por lo que debería dejarse que se enfriara antes de que llegara a producirse una pérdida peligrosa de potencia de frenado por efecto de la fatiga por vaporización. Un sistema de frenos que haya sufrido fatiga por vaporización deberá purgarse completamente antes de montar de nuevo. La ebullición del líquido de freno provocará su descomposición, por lo que el punto de ebullición podría descender aún más en las siguientes veces en que se accione el freno.

Control del calentamiento

La mayoría de los sistemas de frenado están diseñados para controlar el calentamiento manteniendo aislado el calor en las pastillas y el rotor. Estos dos componentes tienen un acceso más directo al aire en circulación, por lo que pueden tolerar temperaturas mucho más elevadas que otros componentes del sistema (como el líquido de frenos). Esto se consigue utilizando pistones fabricados en materiales que no conduzcan el calor, con objeto de limitar la transferencia de calor desde la interfaz pastilla/rotor a la pinza del freno.

Puesto que la mayor parte del calor queda aislada en el rotor, los rotores se diseñan para que absorban y disipen adecuadamente el calor. La masa térmica total del rotor determina la cantidad de calor que éste puede absorber. Los rotores más pesados y con mayor masa térmica pueden absorber más calor que los diseños de rotor más ligeros y de menor tamaño. Dado que la mayoría de las veces que se acciona el freno suele ser por un tiempo muy corto, la temperatura media de funcionamiento de un rotor más pesado será más baja, ya que tarda más en calentarse. Además, se utilizan recortes y orificios en el rotor para aumentar la superficie total con objeto de facilitar la disipación al aire de este calor por convección, así como para limpiar la suciedad y el polvo de frenado procedente de las superficies de las pastillas.

A la hora de diseñar rotores con un adecuado control de temperatura, también hay que tener en cuenta la resistencia y estabilidad de los radios del rotor y de la banda de frenado. Los cambios de temperatura drásticos afectan al comportamiento del material del rotor, y los rotores pueden pasar de temperaturas bajas a otras extremadamente altas en una misma sesión cuesta abajo.



MANTENIMIENTO

Mezcla de líquidos

Los frenos de disco hidráulicos modernos son sistemas de altísimo rendimiento diseñados y probados en conjunto para garantizar un funcionamiento seguro y uniforme en una amplia gama de condiciones de funcionamiento. Utilizar componentes ajenos al sistema, recambios no originales, o piezas fabricadas a medida, puede comprometer el rendimiento del sistema y afectar a su seguridad. Es importante utilizar herrajes, rotores, pastillas, pinzas, manguitos, líquido de frenos, manetas y palas de maneta que se hayan diseñado para funcionar con su respectivo sistema de frenado.

AVISO

Los sistemas de frenos hidráulicos contienen muchas juntas expresamente compatibles con el tipo de fluido hidráulico empleado en el sistema. Mezclar con algún otro tipo de fluido, incluso en las más pequeñas proporciones, puede deteriorar esas juntas, lo cual afectaría grave e irreversiblemente al funcionamiento y rendimiento del freno. **No utilice ningún líquido de freno distinto del especificado para el sistema.**

Mantenimiento

Para preservar la integridad del sistema de frenos y garantizar la seguridad del ciclista, es preciso seguir el procedimiento descrito a continuación. El purgado de los frenos es un procedimiento consistente en vaciar de la pinza, del manguito y de la maneta el líquido usado y el gas que haya podido acumularse en el sistema. Para mantener el sistema de frenos en perfecto estado de funcionamiento, conviene purgar a fondo todo el sistema cada 6 meses. También conviene revisar periódicamente que el par de apriete de las distintas fijaciones sea el adecuado. Asimismo, antes de montar es conveniente inspeccionar las pastillas y los rotores en busca de desgaste o contaminación y, si es necesario, cambiarlos.

SRAM® y Avid® son marcas registradas de SRAM, LLC.
Taperbore Technology™ y Deep Stroke Modulation™ son marcas comerciales de SRAM, LLC.

www.sram.com