

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE LAS FUERZAS DESARROLLADAS EN EL FRENADO.

1.INTRODUCCIÓN.

Uno de los sistemas fundamentales de todo vehículo automóvil es el que le confiere la capacidad a reducir su velocidad incluso llegando a detenerlo si así lo decide el conductor. Dicho sistema es el sistema de freno.

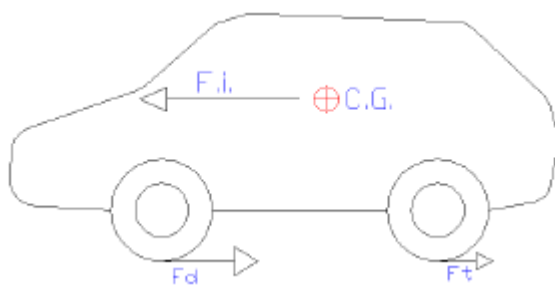
El principio de funcionamiento de un sistema de frenado es la reducción de la energía cinética y/o potencial para transformarla en energía calorífica. Con esta transformación de energía se consigue la reducción de la velocidad del vehículo.

En el presente capítulo se analizarán los conceptos fundamentales relacionados con el frenado de los vehículos y especialmente los relacionados con el reparto óptimo de frenada y con el proceso de deceleración.

Consideramos los vehículos como cuerpos rígidos, no dotados, por tanto, de suspensiones. Así mismo, se considerará que el movimiento se produce en línea recta y sin acciones laterales, por lo que el análisis de los esfuerzos y movimientos asociados al proceso los estudiaremos a lo largo de este capítulo.

El reparto de cargas sobre el eje en un vehículo moderno en parado, es aproximadamente de un solo 55% del peso total en el eje delantero, y del 45% sobre el eje trasero. Evidentemente, este reparto **estático** de cargas se modifican en condiciones **dinámicas** según las aceleraciones o deceleraciones a que se ve sometido el vehículo.

Las principales fuerzas en juego en el proceso de frenado del vehículo son las que se representan en el esquema siguiente:



Esquema de las fuerzas en juego en el proceso de frenado

Como se puede observar en el diagrama, la inercia del vehículo al frenar genera una fuerza (F_i) que actúa sobre el centro de gravedad del vehículo y que

normalmente, al estar este punto situado a mayor altura que el eje de las ruedas, genera un par de cabeceo en el vehículo que modifica el reparto de cargas sobre los ejes. Aunque dicho reparto de cargas dinámicas durante la frenada depende de otros factores tales como el reparto de cargas estáticas, alturas del centro de gravedad y otros, se puede estimar que en un vehículo **tipo** dicho reparto de masas en una situación dinámica es el 75 % sobre el delantero y un 25 % sobre el eje trasero.

Esta situación supone que tanto el dimensionamiento de los frenos delanteros y trasero así, como las características del material de fricción de las pastillas o zapatas, han de tener distintas dimensiones y/o coeficientes para evitar el bloqueo de las ruedas traseras.

De producirse el bloqueo del eje trasero, la estabilidad direccional del vehículo quedaría enormemente comprometida y en dicha situación el coche tendería a girar sobre su eje, como se verá más adelante con mayor detalle.

2. FUERZAS Y MOMENTOS QUE ACTÚAN EN EL PROCESO DE FRENADO.

Veremos a continuación los diferentes esfuerzos que intervienen durante el proceso de frenado, algunos de ellos nos podrían parecer irrelevantes, pero veremos que son de vital importancia dependiendo del tipo de conducción que realicemos.

FUERZA DE FRENADO.

Las principales fuerzas retardadoras del vehículo en el proceso de frenado son las que se desarrollan en la superficie de las ruedas como consecuencia de su contacto con la calzada, al serles aplicados pares que se oponen a su movimiento, es decir, las fuerzas de frenado.

La fuerza de frenado máxima así como la fuerza de tracción máxima tienen dos límites. En ambos casos el impuesto por el "neumático - suelo". En lo relativo a las fuerzas de frenado, existe el otro límite impuesto es el que tiene el sistema de freno y en lo referente a las fuerzas de tracción máxima el que impone la potencia del motor. El límite crítico es el impuesto por la adherencia existente entre el neumático y el suelo. Cuando se rebasa este límite, en el caso del sistema de freno, se produce el bloqueo de las ruedas que deslizan sobre el pavimento, produciéndose efectos nefastos que más adelante comentaremos.

RESISTENCIA A LA RODADURA.

La resistencia a la rodadura así como la resistencia aerodinámica del vehículo intervienen como fuerzas retardadoras en el proceso de frenado. Aunque su influencia es pequeña frente a la fuerza de frenado, pero aún así ayudan durante el proceso de deceleración. La resistencia a la rodadura, fundamentalmente está compuesta por la fricción neumático – suelo y pérdidas mecánicas en el sistema de transmisiones. Su valor es generalmente pequeño en comparación con las otras fuerzas en juego. El valor de la resistencia a la rodadura crece casi proporcionalmente a la velocidad.

ACCIONES AERODINÁMICAS.

Las fuerzas aerodinámicas al avance solo tienen interés como fuerzas retardadoras a altas velocidades. A velocidades moderadas o bajas pueden despreciarse frente al valor de la fuerza de frenado.

Las fuerzas aerodinámicas son importantes a altas velocidades ya que su valor aumenta con el cuadrado de la velocidad que el vehículo lleve. Es decir que cuando doblamos la velocidad de un vehículo, por ejemplo de 80 km/h a 160 km/h la resistencia aerodinámica al avance, por ejemplo 40 Kg. se multiplica por cuatro siendo necesario un empuje de 160 Kg. En la siguiente tabla vemos como crecen las fuerzas aerodinámicas y de rodadura así como la potencia necesaria que debe tener el vehículo para superarlas.

Velocidad (Km/h)	Resistencia Aerodinámica (Kg)	Resistencia a la Rodadura (Kg)	Resistencia Total (Kg)	Potencia necesaria (CV)
40	5,3	10,0	15,3	2,3
80	21,6	14,0	35,6	10,7
120	48,6	19,0	67,6	30,6
160	86,4	26,0	112,4	67,9
200	135,0	32,0	167,0	126,2

Esta tabla ha sido confeccionada con las dimensiones de un vehículo de tamaño medio.

RESISTENCIA DEL MOTOR Y TRANSMISIÓN.

La resistencia que ofrece el motor constituye, en muchos casos, un factor importante en el proceso de frenado. La potencia, como el par resistente, que ofrece el motor en procesos de frenado en los que permanece conectado a las ruedas a través de la transmisión, es importante cuando gira a un gran número de revoluciones y disminuye con la velocidad, hasta hacerse pequeño en el último intervalo de un proceso de frenado.

En bajadas prolongadas, especialmente si se trata de vehículos pesados, la retención efectuada por el motor es de suma importancia para preservar los

elementos de fricción de los frenos del calentamiento y consiguientes desgastes elevados.

Si la deceleración con la que deseamos frenar es lo suficientemente fuerte, y el motor se encuentra embragado, las exigencias requeridas por el sistema de freno son mucho mayores que si desembragásemos el motor para realizar la frenada.

Evidentemente, este efecto de frenado es mayor en los motores diesel con relaciones de compresión del orden de 20:1 que en motores de gasolina en los cuales está establecido en valores de compresión de 9:1.

3. CONDICIONES IMPUESTAS POR LA ADHERENCIA.

El bloqueo de las ruedas de un eje produce efectos negativos, ya que en una situación de bloqueo, el coeficiente de fricción entre el neumático y la calzada adquiere un valor inferior al de máxima adherencia ($\mu=0,75$), lo cual produce el deslizamiento del neumático sobre la calzada. En consecuencia, cuando las ruedas se bloquean, disminuye el valor de la fuerza de frenado respecto a la máxima fuerza potencial que puede obtenerse en condiciones de rodadura previas al bloqueo de las ruedas, ya que el coeficiente de fricción rueda / suelo cae a valores muy bajos del orden de $\mu=0,2$ o inferior en pavimentos mojados.

El efecto anterior, con ser de gran interés, no es el más importante. El bloqueo de las ruedas supone la superación de la adherencia neumático – suelo en la dirección longitudinal, razón por la cual, la interacción entre ambos elementos será incapaz de ofrecer una resistencia que equilibre una posible fuerza lateral, por muy pequeña que sea. Como, por otra parte, resulta en la práctica imposible que se produzca una situación exenta de todo esfuerzo lateral el vehículo podrá experimentar un desplazamiento lateral (viento, reparto de carga, etc.) cuyo efecto es diferente según sea el eje cuyas ruedas se bloquean.

Si el eje que se bloquea es el **trasero** la adherencia de las ruedas de dicho eje con el suelo disminuye fuertemente como se ha visto antes, por lo que cualquier inestabilidad puede provocar el giro del vehículo sobre su eje haciendo perder totalmente la estabilidad direccional. Es decir, si en una situación de conducción normal nosotros tiramos con violencia del freno de mano, hasta llegar a bloquear los neumáticos, el vehículo tenderá a derrapar de la parte trasera hasta situarse a contradi dirección.

Si las ruedas que se bloquean son las del eje **delantero**, las fuerzas de inercia aplicadas al centro de gravedad y las de rozamiento o adherencia en las ruedas, proporcionan un momento de guiñada que disminuye con el valor de la perturbación lateral. Esto provoca que el sistema sea estable, es decir, las fuerzas tienden a hacer que el vehículo recupere su posición longitudinal. En esta situación se origina una cierta pérdida de control direccional, menos grave, en

términos generales, que la inestabilidad provocada por el bloqueo del eje trasero y el vehículo, tiende en principio a seguir una trayectoria recta sin obedecer a la dirección del mismo.

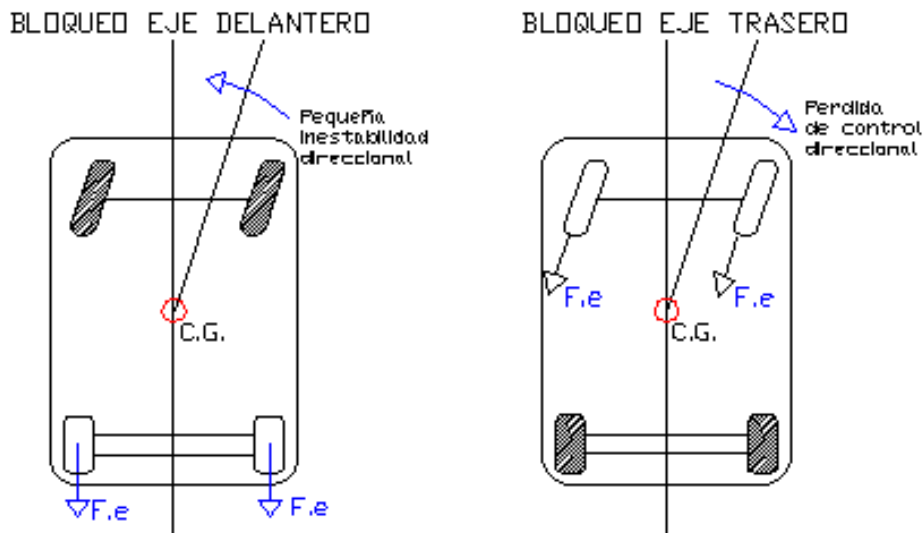


Diagrama de las fuerzas provocadas por el bloqueo de un eje.

De lo anterior se deducen en algunas conclusiones importantes:

1. El bloqueo de las ruedas del eje trasero de un vehículo de dos ejes produce una gran inestabilidad direccional de carácter irreversible.
2. El bloqueo de las ruedas del eje delantero de un vehículo de dos ejes puede producir pérdida de control direccional.
3. De todos lo anterior podemos concluir que tanto en el diseño del sistema de frenos, como en la conducción, debe de actuarse de tal forma que se eviten tanto el bloqueo de las ruedas delanteras como traseras. En frenadas bruscas, especialmente en condiciones de baja adherencia, puede llegarse al bloqueo y será probable que las ruedas de ambos ejes no alcancen al mismo tiempo el bloqueo. En este caso, resulta menos desfavorable que el bloqueo se produzca antes en las ruedas delanteras. Por esto se añaden al sistema elementos que limiten la frenada en el eje trasero para que no se produzca su bloqueo antes que en el eje delantero.
4. El bloqueo hace disminuir el coeficiente normal de adherencia ($\mu=0,7$), pasando al valor de rozamiento en deslizamiento ($\mu=0,2$), lo cual, en el mejor de los casos, si no se produjese alteración grave de la trayectoria, haría aumentar la distancia de frenado respecto a la condición óptima, es decir si se aprovechase al máximo la adherencia.

De esto modo se puede comprender que es fundamental un buen aprovechamiento de la adherencia disponible en cada eje ya que constituye un problema crítico en el frenado. Tal aprovechamiento será máximo si el esfuerzo

transmitido por el sistema de freno a cada rueda es proporcional a la carga dinámica que soporta. Para optimizar la frenada y evitar el bloqueo de las ruedas se estudia el *reparto óptimo de las fuerzas de frenado*.

Adicionalmente, algunos fabricantes especifican el material de fricción del freno del eje trasero con un coeficiente de fricción (μ) inferior al del eje delantero. Otros, aceptan materiales de fricción de un mismo coeficiente, pero **nunca** que el freno trasero tenga un coeficiente de fricción superior al eje delantero en cualquier situación de presión en el circuito, velocidad o temperatura.

En consecuencia, es muy recomendable sustituir las pastillas de freno en los dos ejes por pastillas de un mismo fabricante ya que el montar materiales de diferentes fabricantes puede dar lugar a problemas como los descritos anteriormente.

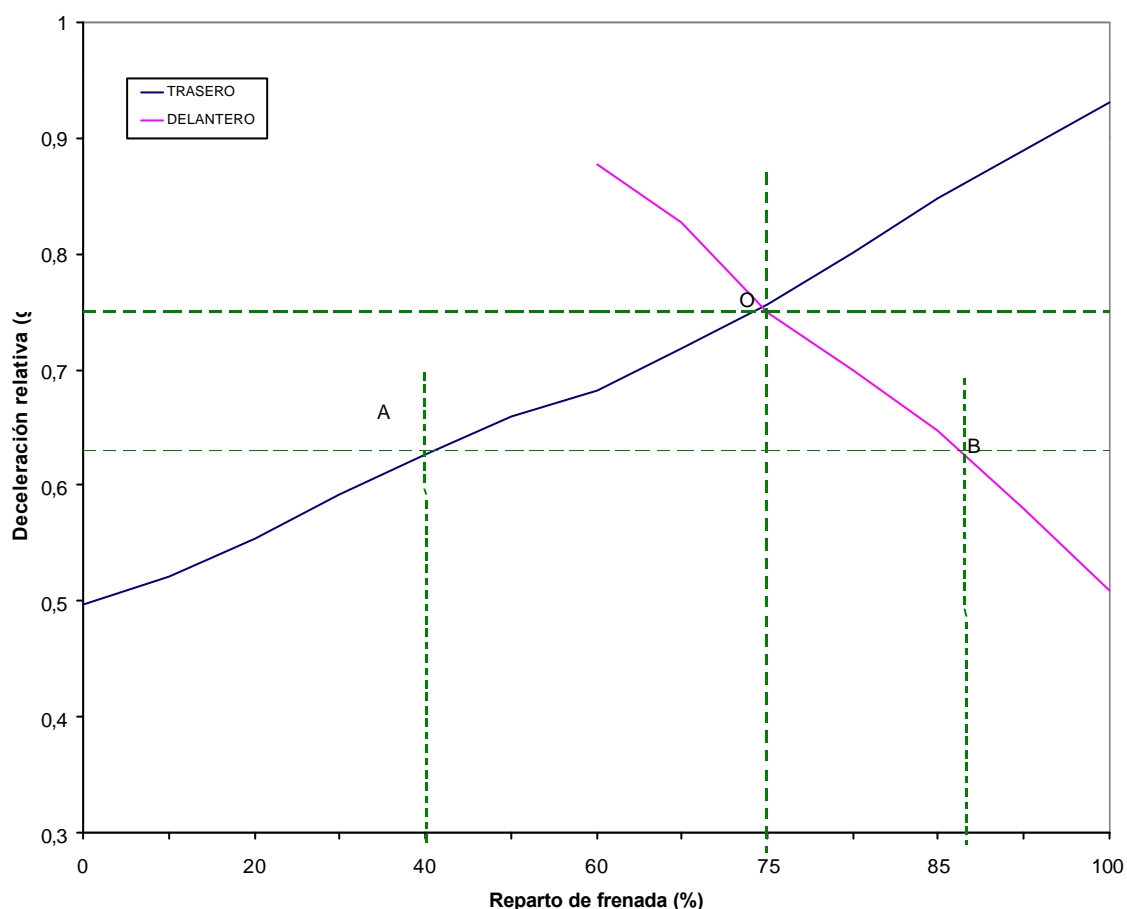
4.- REPARTO ÓPTIMO DE LAS FUERZAS DE FRENADO.

Cuando el vehículo se encuentra estático, la masa del vehículo se reparte entre el eje delantero y el eje trasero, con valores que el diseño del vehículo ha provisto. Casi todos los vehículos comerciales de nuestros días, son ligeramente más pesados en la zona delantera que en la trasera. Ya que, no solo, el motor está ubicado en la parte delantera, sino que además al traccionar en ese mismo eje, caja de cambio, diferencial, las transmisiones, etc. se encuentran en el eje delantero.

El menor peso en el eje trasero implica que el diseño del reparto de fuerzas sea fundamental para no alcanzar el **bloqueo** de las ruedas traseras. Además como ya se ha comentado anteriormente, cuando nosotros frenamos aparece un momento de cabeceo alrededor del centro de gravedad, que genera una transferencia de carga del eje trasero al eje delantero. Esto significa, que no solo el eje trasero es menos pesado que el delantero, sino que además por dinámica vehicular en el eje trasero y siempre que se accione el freno, se va a descargar transfiriendo parte de esa carga al eje delantero.

El valor de la transferencia de carga que se produce al frenar del eje trasero al delantero, depende de la altura del centro de gravedad del vehículo y de la batalla del vehículo, es decir, de su distancia entre ejes.

Debido a todas estas variables, la fuerza frenante que se aplicará al eje delantero no es igual a la del eje trasero. Lo mismo debe decirse para las fuerzas que se aplican durante la aceleración. Si hiciésemos los cálculos para saber que porcentaje de la frenada debe de producirse en el eje delantero y cual en el eje trasero, considerando un coeficiente de fricción neumático – suelo de valor $\mu = 0,8$. El reparto sería de un 0,75 % de la frenada en las ruedas delanteras; y 0,25 % en las ruedas traseras (Punto O).



Gráfica que representa el reparto óptimo de frenada entre ambos ejes.

Para un valor de adherencia entre el neumático y el suelo de valor $\mu = 0,80$. El punto O, de intersección de ambas curvas, corresponde al frenado óptimo y, por tanto, a un reparto de esfuerzos de frenada como se ha descrito anteriormente. Si en el vehículo se estableciese un reparto de frenada con un 86% de frenada en el eje delantero y un 14% en el eje trasero (Punto B), se alcanzaría antes el bloqueo en las ruedas delanteras, consiguiéndose una deceleración máxima 0,62, muy por debajo del valor óptimo. Si por el contrario, el coeficiente de reparto de frenada se establece en un 40% en las ruedas delanteras y un 60% en las traseras, (punto A). Bloquearían antes las ruedas traseras y el límite de la deceleración quedaría establecido, también en un valor de 0,62 muy por debajo del valor óptimo y además con los perjuicios que provoca el bloqueo del eje trasero, visto anteriormente. Como vemos la mejor solución es la representada en el punto O con un reparto de frenada de un 75% en el eje delantero y un 25% en el trasero.

Para que estos valores de reparto de frenada se mantengan dentro de la máxima adherencia consiguiendo así la mayor deceleración, los vehículos van equipados con reguladores de presión que consiguen la variación de la presión del circuito trasero para evitar el bloqueo de los neumáticos y las consecuencias negativas que ya se han comentado.

CAPÍTULO 2

INTRODUCCIÓN A LA TRIBOLOGÍA.

1. ¿QUÉ ES LA TRIBOLOGÍA?

La tribología es la ciencia y técnica que estudia la interacción entre superficies en movimiento y los problemas relacionados con ellos: desgaste, fricción, adhesión y lubricación.

En la interacción entre dos superficies aparecen diversos fenómenos cuyo conocimiento es de vital importancia. Estos tres fenómenos fundamentales que aparecen son:

- **FRICCIÓN:** Efecto que proviene de la existencia de fuerzas tangenciales que aparecen entre dos superficies sólidas en contacto cuando permanecen unidas por la existencia de esfuerzos normales a las mismas.
- **DESGASTE:** Consiste en la desaparición de material de la superficie de un cuerpo como consecuencia de la interacción con otro cuerpo.
- **ADHESIÓN:** Capacidad para generar fuerzas normales entre dos superficies después de que han sido mantenidas juntas. Es decir, la capacidad de mantener dos cuerpos unidos por la generación anterior de fuerzas de unión entre ambos.

El objetivo de la tribología no solo es minorar las desventajas. Dependiendo de la situación el objetivo a alcanzar puede ser distinto.

- Mínimo desgaste y mínima fricción: rodamientos, engranajes, levas... gracias a la lubricación y las capas de recubrimiento.
- Mínimo desgaste y máxima fricción: frenos, embragues, neumáticos... con materiales resistentes al desgaste.
- Máximo desgaste y mínima fricción: lápices, deposición de lubricantes sólidos mediante deslizamiento.
- Máxima fricción y máximo desgaste: borradores.

Para que nos hagamos una idea de lo importante que son las soluciones a problemas tribológicos. Por ejemplo, en los automóviles, en los que existen más de 2000 contactos tribológicos, las mejoras tribológicas pueden suponer un ahorro estimado de energía del 18,6 %. En el campo energético, se estima que en EE.UU. un 11% de la energía total consumida en cuatro grandes sectores: transportes, turbo máquinas, generadores de potencia y procesos industriales, pueden ser ahorrados introduciendo avances tribológicos. Desde el punto de vista económico un informe realizado en Alemania revelaba que las pérdidas como

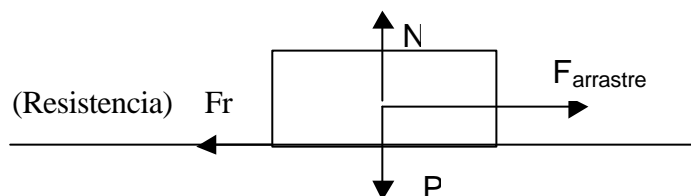
consecuencia de la fricción y el desgaste, equivale a un desperdicio energético anual del orden de 3 billones de pesetas.

2. FRICCIÓN.

Fricción es la resistencia al movimiento que existe cuando un objeto sólido se mueve tangencialmente con respecto a la superficie de otro sólido con el que está en movimiento.

La fricción se expresa en términos relativos de fuerza, como el coeficiente entre la fuerza de fricción y la carga nominal a la superficies de contacto, suele representarse por μ , que es un coeficiente adimensional, es decir, carece de unidades ya que las dos fuerzas se miden en las mismas unidades.

$$\mu = \frac{F}{N} \quad \left(\frac{Kg}{Kg} \right)$$



Hay que distinguir entre dos situaciones:

1. FUERZA DE FRICCIÓN ESTÁTICA: La necesaria para iniciar el movimiento. Si la fuerza tangencial aplicada es menor a este valor, no existe movimiento y la fuerza de fricción es igual o mayor a la tangencial aplicada.
2. FUERZA DE FRICCIÓN CINÉTICA O DINÁMICA: La necesaria para mantener el movimiento. De valor menor a la anterior.

Las leyes fundamentales de la fricción son:

- ◆ *La fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal.*
$$F = \mu \cdot N$$
- ◆ *La fuerza de fricción es independiente del área aparente de contacto (A_a). Por esta razón objetos grandes y pequeños del mismo par de materiales, presentan el mismo coeficiente de fricción.*
- ◆ *La fuerza de fricción teóricamente es independiente de la velocidad de deslizamiento (aunque no es así en la práctica debido a la sensibilidad*

de los materiales de fricción a la presión, a la velocidad y a la temperatura).

Los coeficientes de fricción típicos que presenta el acero cuando se desliza sobre otros materiales son los que aparecen en la siguiente tabla.

Material 1 Vs. Material 2		μ
Acero	Acero	0,62
Bronce	Acero	0,24
Grafito	Acero	0,10

A escala microscópica, las superficies de los sólidos presentan cimas y valles, que podemos evaluar midiendo su rugosidad. Debido a esta rugosidad cuando dos superficies entran en contacto, no lo hacen en todo el área aparente de contacto (A_a), sino que el contacto se verificará solo en algunos puntos de estas rugosidades.

A la suma de las áreas de los puntos en los que se verifica el contacto, la denominaremos área real de contacto (A_r). Esta área es independiente del área aparente de contacto.

Estos puntos de contactos son los encargados de soportar la carga normal y de generar la fuerza de fricción.

Cuando la carga normal aumenta, el número de puntos en contacto aumenta, aumentando el área real de contacto a pesar de mantenerse invariable el área aparente.

La fuerza de fricción es debida a varios efectos que suponen aportación de energía:

- ✓ Adhesión: principal componente de la fricción.
- ✓ Deformación.
- ✓ A la interacción entre asperezas.

La existencia de capas contaminantes entre el disco de freno y el material de fricción reduce considerablemente las fuerzas de fricción.

La existencia de una fuerza de fricción hace aumentar el área real de contacto y aumenta el barrido de la capa intermedia (tercera capa), aumentando la adhesión respecto al simple contacto.

Es importante destacar que a altas velocidades de deslizamiento de una superficie contra la otra, se aumenta la temperatura debido a la fuerza de rozamiento entre ambos materiales que se oponen al movimiento con lo cual se

produce una conversión de la energía cinética en calor (energía térmica) con el consiguiente aumento de la temperatura de ambas superficies.

3. EL FRENADO.

El frenado de un cuerpo en movimiento es uno de los estudios más complejos dentro de la tribología.

Al frenar un vehículo lo que estamos consiguiendo por medio de la fricción entre dos materiales, es la transformación de energía cinética y/o potencial (la que lleva el objeto por moverse o por encontrarse a una determinada altura) en energía calorífica. Esta transformación de energía lo que provoca es un aumento de la temperatura global de todo el sistema.

La transformación de la energía se produce en el contacto entre una parte fija que va anclada a la mangueta del vehículo (el caliper), y una parte móvil que gira solidaria con la rueda a la misma velocidad angular (el disco). Cuando accionamos el pedal del freno se presuriza el circuito y los émbolos de las pinzas empujan a las pastillas (elemento fijo) contra el disco (elemento móvil).

En el contacto entre las pastillas y el disco es donde se produce la transformación de la energía, de ahí que las características de ambos elementos sean muy peculiares, ya que deben de soportar altas temperaturas sin desgastarse en exceso pero con un buen coeficiente de rozamiento para poder conseguir frenar el vehículo.

También, el coeficiente de rozamiento del material de fricción ha de ser lo más estable posible a distintas velocidades y a diferentes presiones en el sistema de freno de forma tal que el conductor pueda prever el resultado cuando trata de decelerar su vehículo.

CAPÍTULO 3 EL SISTEMA DE FRENADO.

El sistema de frenos de un vehículo moderno está compuesto por los siguientes elementos:

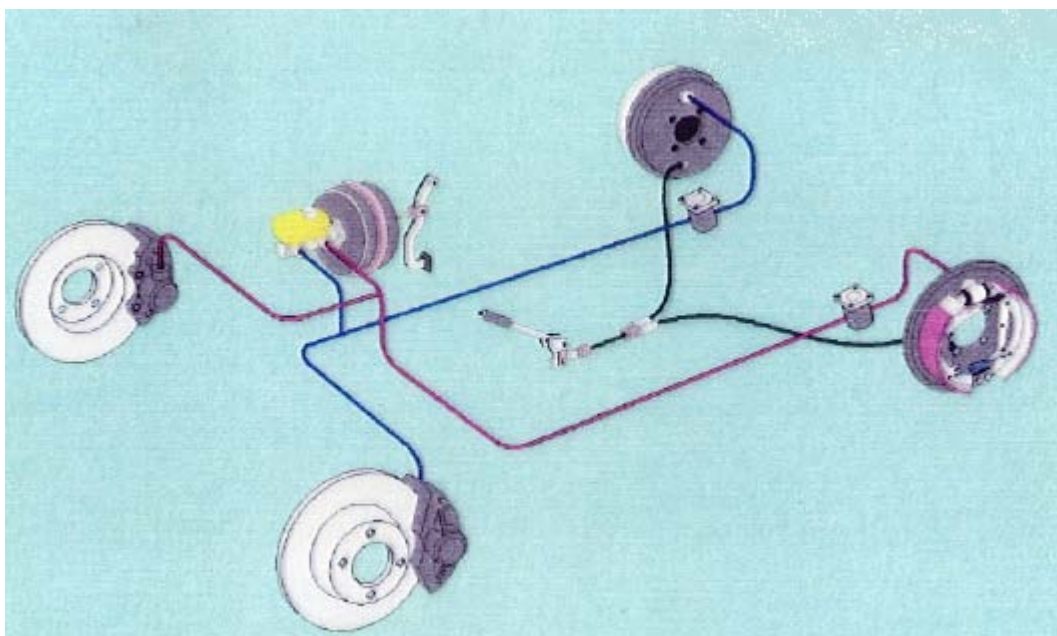


Diagrama de un sistema de frenos configurado de forma diagonal.

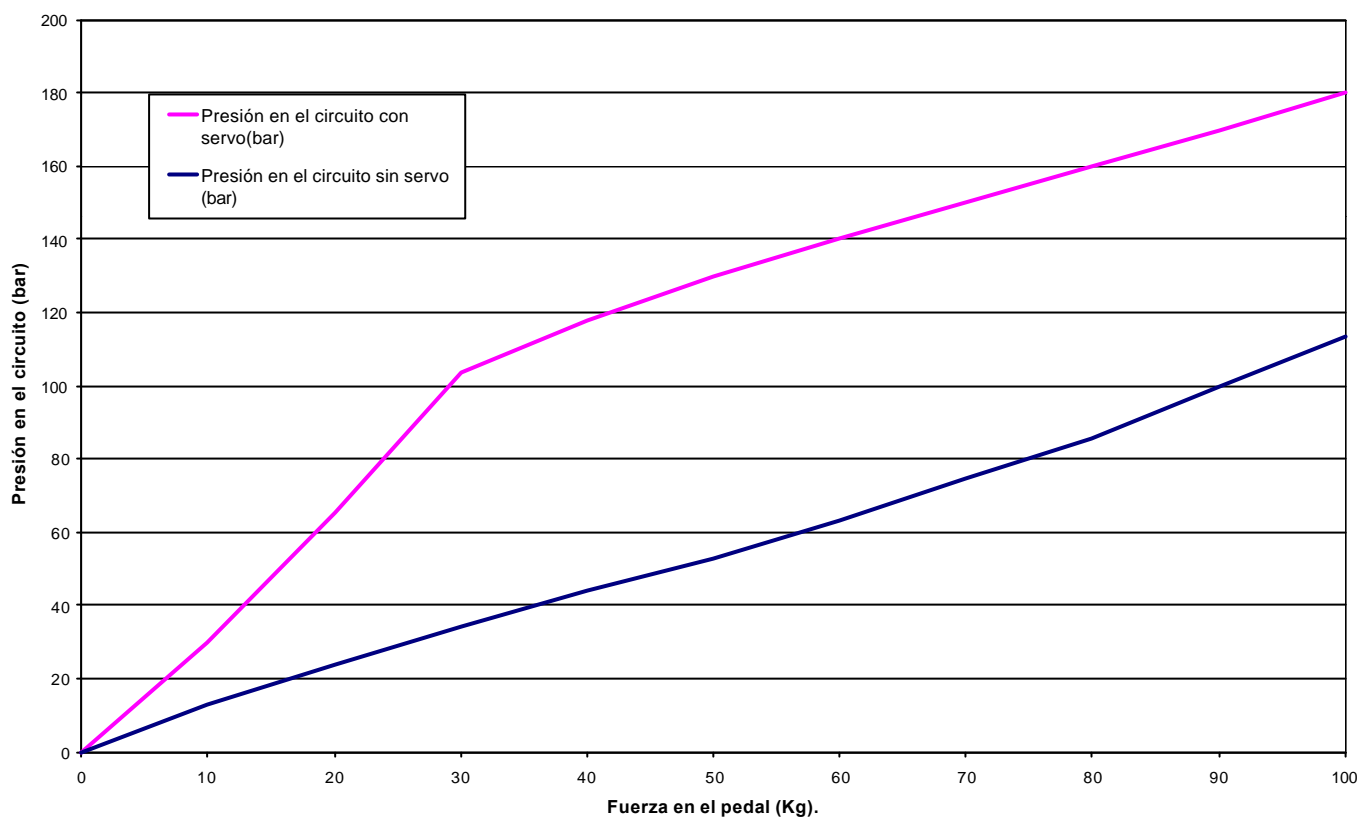
1. SERVOFRENO:

El servofreno es el sistema por el cual la fuerza que hay que ejercer sobre el pedal, para presurizar el circuito a una misma presión, se reduce. Es decir, es un elemento que reduce el esfuerzo que necesita el conductor para presurizar el circuito pisando el pedal.

Las ventajas del servofreno no son exclusivamente las de poder realizar una presión mayor sobre el circuito hidráulico, y por consiguiente, sobre los pistones de las pinzas con un mayor descanso del pie. Si no que lo que se consigue es una mejor dosificación de la frenada.

Los servofrenos actuales más corrientes son aquellos que actúan por vacío. Estos aparatos aprovechan la depresión creada en el colector de admisión cuando se retira el pie del acelerador para aumentar la fuerza que el pie proporciona al pedal del freno.

**Comparativa
CON SERVO / SIN SERVO**



Comparativa de la fuerza de pedal a realizar en un vehículo sin servofreno y otro dotado de servofreno

Los valores típicos de esfuerzo pedal / servo para el sistema tipo representado anteriormente, son los siguientes:

Fuerza sobre el pedal (Kg)	Presión en el circuito con servo (bar)	Presión en el circuito sin servo (bar)
0	0	0
10	30	13
20	65	24
30	104	34
40	118	44
50	130	53
60	140	63
70	150	75
80	160	86
90	170	100
100	180	113

2. BOMBA DE FRENO:

La bomba de freno o cilindro principal, es el encargado de presurizar el líquido por todo el circuito hidráulico. Como la legislación actual obliga a los fabricantes de vehículos a que estos vayan provistos de doble circuito de freno, las bombas de freno son de tipo tándem.



Bomba de freno con depósito para el líquido de frenos

El sistema tandem significa que la bomba dispone de dos pistones, colocados uno a continuación del otro, con los cuales se atiende al suministro del líquido a una presión igual para cada uno de los dos circuitos independientes normalmente distribuciones según una "X". Es decir, un circuito actúa sobre la rueda delantera izquierda y también sobre la trasera derecha mientras que el otro actúa sobre la rueda delantera derecha y la trasera izquierda como elemento de

seguridad en el caso de problemas de pérdida de eficacia en uno de los dos circuitos.

3. CORRECTOR DE FRENADA:

Los limitadores de frenada o correctores de presión tienen la función de reducir la presión que llega al tren trasero con el fin de que no se llegue al bloqueo en esas ruedas.

Existen diferentes modos de funcionamiento de los correctores:



- Con punto de corte fijo: cuando la presión alcanza un valor fijo deja de admitir más presión.
- De gravedad: dependiendo de la carga del vehículo el corrector va dando más presión en el circuito, ya que al bajar la superficie por medio de un accionador de tipo mecánico va abriendo más la válvula. Recordemos que cuanto mayor sea el peso

soportado por el eje mayor es la fuerza necesaria para frenar dicho eje.

- Dependiendo de la deceleración del vehículo.

Corrector de frenada por gravedad

4. PINZA DE FRENO:

La pinza de freno es el elemento encargado de soportar las pastillas además de empujarlas contra el disco cuando se presuriza el sistema.

La pinza es un elemento **crítico** del sistema de freno y está sometida a esfuerzos importantes durante el frenado tales como vibraciones, excesiva temperatura y otros elementos agresivos.

Por lo tanto, la inspección, aunque sea visual, si no se dispone de una cámara ultravioleta para la detección de grietas, es muy importante.

Existen diferentes tipos de caliper (pinzas) de freno según el sistema de freno y el fabricante. Sin embargo todas se basan en el hecho de que después de liberar la presión del circuito, permiten que la pastilla de freno, continúe en contacto con el disco de freno, de forma que en la próxima frenada, el efecto de esta sea inmediato sin necesitar un tiempo de aproximación entre la pastilla y el disco de freno. Este contacto queda garantizado por los retenes del pistón del caliper, por el propio sistema hidráulico y lógicamente genera un efecto permanente de frenado (residual torque) cuyo valor es crítico para el buen funcionamiento del sistema.

Pares residuales (residual torque) de frenado altos pueden provocar el calentamiento del sistema dando lugar a problemas que se describen más adelante.

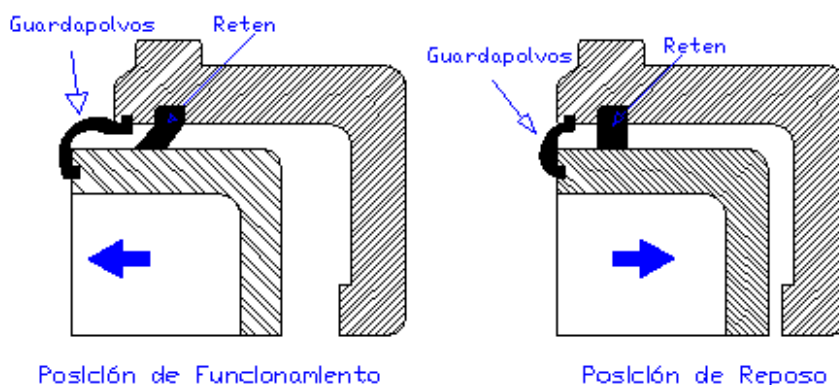


Diagrama de funcionamiento del cilindro del caliper

PINZAS DE PISTÓN OPUESTO:



El freno de disco de pinzas de pistón opuesto se fija en la brida de montaje mediante dos pernos y las pinzas están montadas por encima del disco que gira con el cubo de la rueda. Los cilindros a ambos lados de las pinzas fijas están equipados cada uno con una junta que se mantiene en una ranura angular en alojamiento del cilindro. Los cilindros y pistones están protegidos contra la suciedad y agua con una cubierta antipolvo. Los conjuntos de pastillas están montados entre el pistón y el disco en la ranura de las pinzas y se mantienen en posición con pasadores. Las pinzas para las ruedas traseras pueden llevar incorporados orificios de fijación para unir un freno de mano de tipo pinzas accionado mecánicamente que sirva como freno de estacionamiento.

Pinza de doble pistón

Su principio de funcionamiento es simple, es decir, cuando se pisa el pedal el cilindro principal presuriza el líquido de frenos que empuja por igual a cada uno de los pistones de la pinza, que a su vez empujan a las pastillas contra el disco. La ventaja de este sistema es que ambas pastillas se empujan con la misma fuerza contra el disco. El esfuerzo de pedal aplicado está siempre directamente relacionado con la fuerza de pistón (según una relación determinada por las dimensiones de los componentes), y por lo tanto con el grado de frenado. Cuando se suelta el pedal, la presión hidráulica que hay en el sistema de frenos disminuye, lo que hace que los pistones vuelvan a su posición original ayudado por la junta que existe entre los pistones y el cuerpo de la pinza (también responsable de la estanqueidad del conjunto). Al desgastarse el material de la pastilla, los pistones se deslizan más a través de la junta al frenar, con lo que compensa automáticamente el desgaste.

- PINZAS DESLIZANTES:

Los frenos de disco de pinzas deslizantes se han diseñado para recuperar el espacio perdido por la instalación de las suspensiones tipo McPherson, que han restringido considerablemente el espacio disponible, ya que modifican el ángulo de caída de las ruedas. Este nuevo tipo de pinza está sustituyendo a la pinza de doble pistón por sus mejores ventajas como pueden ser: que el líquido de frenos se encuentra separado de la zona de disipación de calor, gran área y volumen de pastilla de freno con lo que se consigue mayor superficie de fricción para el frenado y al ser más anchas tienen mayor vida útil, peso menor, fuerza constante en las dos pastillas y par residual reducido debido a la retracción controlada de las pastillas. El cuerpo del freno, que no está expuesto a fuerzas centrífugas, se puede fabricar tanto en versión de aluminio de una sola pieza y en versión de dos

piezas con el cuerpo de aluminio y un puente de hierro fundido dúctil. Para disipar mejor el calor la pieza de aluminio puede estar provisto de aletas de disipación, es decir, se aumenta la superficie de contacto entre el medio y la propia pinza.

El principio de funcionamiento es sencillo, al pisar el pedal del freno se actúa sobre el cilindro principal (que puede ir dotado de servo o no) aumentando la presión de todo el sistema. Esta presión al ser aplicada sobre el pistón empuja la pastilla de freno interior contra el disco. Debido que la presión aplicada y el líquido encerrado actúan uniformemente en todas las direcciones, se ejerce simultáneamente una fuerza reactiva en el cuerpo. Esta fuerza desliza el cuerpo sobre los pernos de guía y tira de la pastilla exterior contra el disco. El esfuerzo de frenado por lo tanto es igual a ambos lados. El ajuste de la separación de la pastilla con el disco después de completar el proceso de frenado se consigue de manera similar al de las pinzas fijas, por medio de la deformación controlada de la junta del pistón.



Pinza deslizante

En este tipo de caliper, además de las comprobaciones rutinarias del pistón y sus elementos de estanqueidad, es muy importante verificar el buen deslizamiento de las guías del caliper para garantizar el reparto igual de esfuerzos sobre las dos pastillas de freno del caliper.

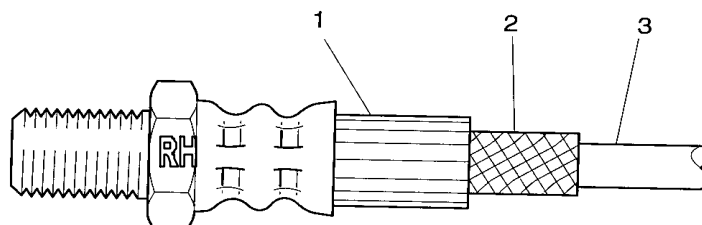
5. TUBERIAS Y LATIGUILLOS:

Las tuberías y los latiguillos son los encargados de conducir el líquido de frenos, soportando la presión interna del líquido, además deben de resistir la agresión medioambiental y otros agentes agresivos del entorno.

Las tuberías de freno normalmente son tubos de acero y muchas veces están recubiertas con polímero para resistir la corrosión; usualmente tienen un ánima nominal de 2,5 mm. y un diámetro externo de 4,5 mm. Cada extremo de la tubería está carenado con carena individual o doble para que coincida con el componente en el que se coloca, y tiene montada una tuerca de tuberías macho o hembra según sea necesario.

Los tubos flexibles están contruidos en capas, de los que el revestimiento, ha de ser resistente al aceite mineral, y el externo a partículas duras y daños producido por piedras, agua, sal y demás contaminantes que puedan existir en la carretera. El producto que se utiliza es un polímero de mezcla de etileno propileno dieno (EPDM).

Se emplea tela de rayón de capas múltiples para las dos capas de refuerzo, que resisten la presión del tubo flexible. Los tubos flexibles de frenos están diseñadas para funcionar a una presión de 100 bares, su presión de rotura es unas 5 veces mayor.



Latiguillo de freno

La membrana interior del tubo flexible ha de ser resistente al líquido de frenos (3). El material empleado es EPDM ya que es muy poco permeable. El material de la capa interior es de rayón por presentar unas muy buenas cualidades de resistencia de presión interna (2). Algunos tubos flexibles tienen fundas de plástico o acero inoxidable enrollados alrededor de los mismos para dar protección adicional contra el doblado del tubo en otros componentes (1).

6. EL LÍQUIDO DE FRENO:

El líquido de freno es el elemento que al ser presurizado por la bomba empuja los cilindros de las pinzas contra las pastillas, produciéndose así la acción de frenado. Para los usuarios de los automóviles es el eterno olvidado, es decir, muy pocos conductores dan la importancia que dicho elemento tiene. Como veremos a continuación sus características son las que aseguran una correcta frenada, pero es un elemento que con el uso y el paso del tiempo se degrada y debe de ser sustituido.

Las características fundamentales del líquido de freno son las siguientes:

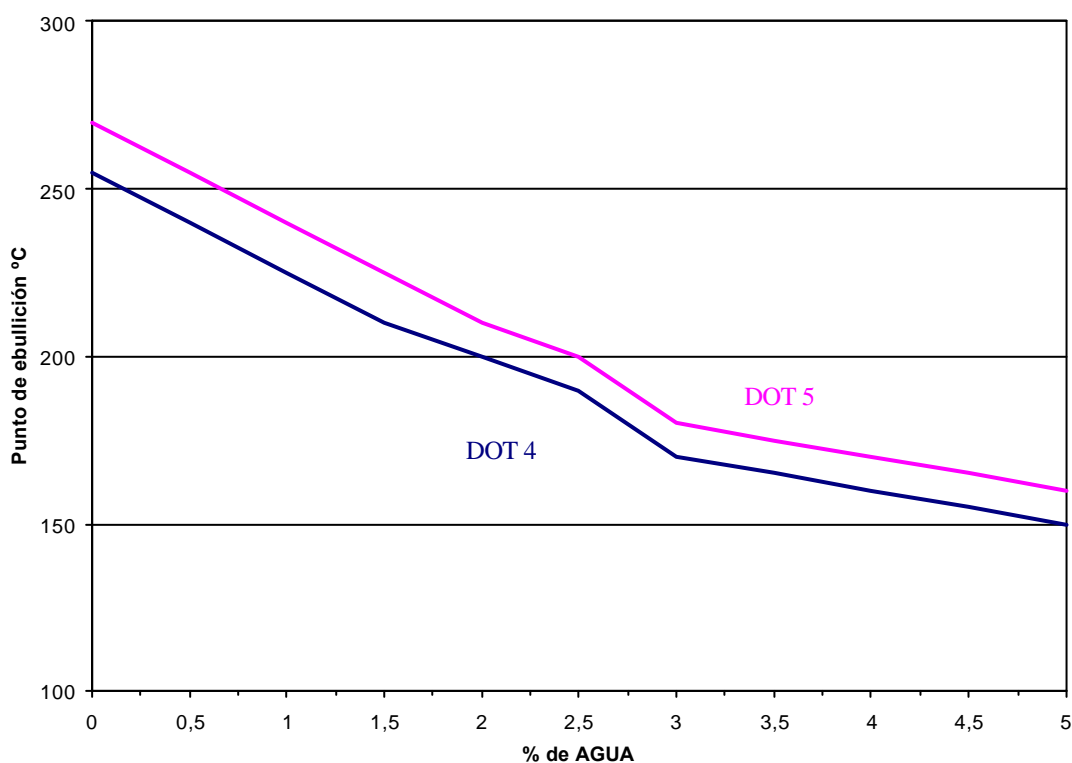
- Es incompresible (como todos los fluidos).
- Su punto de ebullición mínimo debe ser superior a los 230°C. Así conseguirá permanecer en estado líquido, sin entrar en ebullición, cuando las solicitaciones de frenada sean muy exigentes.
- Debe de tener baja viscosidad para desplazarse rápidamente por el circuito.
- Debe de ser lubricante para que los elementos móviles del sistema de freno con los que se encuentra en contacto no se agarroten.

- Debe de ser estable químicamente, para no corroer los elementos del sistema de freno con los que se encuentran en contacto.

En la actualidad, la mayoría de los líquidos de freno cumplen con todos los requisitos que le son demandados, pero como contrapartida y debido a la composición de elementos que tiene, posee una propiedad que obliga a que su sustitución sea necesaria cada 2 años o 70000 km. Esta propiedad es la propiedad higroscópica, es decir, tiene una gran capacidad de absorber agua. En ambientes húmedos, bien pudiera ser necesario el proceder a su cambio antes de los plazos anteriormente indicados.

¿Por qué la capacidad higroscópica del líquido de freno es negativa?

Se podría pensar que cuando existe agua en el sistema de frenos no tendría porque modificar las cualidades del líquido, ya que es un fluido. Pero no es así ya que el agua aunque sea en estado líquido, corroe los elementos del sistema de frenos con los que está en contacto. Aunque el problema principal de la existencia de agua en el sistema de freno es que cuando la temperatura del líquido supera los 100°C el agua se evapora transformándose en vapor de agua, un gas, que si es compresible, con lo cual el pedal ira al fondo, ya que toda la presión que nosotros estemos introduciendo en el sistema servirá para comprimir ese vapor de agua y no para actuar sobre las pastillas de freno. Además la existencia de agua en el sistema como se ve en el gráfico hace disminuir el punto de ebullición del líquido.



Los líquidos de freno dividen en la actualidad en dos grupos dependiendo de las características que presenten. Así en la actualidad se pueden comercializar dos calidades de líquido de freno.



Líquido de freno

- DOT 4: Cuyo punto de ebullición es de 255°C. Empleado en sistemas de disco/tambor o disco/disco sin ABS.

- DOT 5: Cuyo punto de ebullición es de 270°C. Debe ser el utilizado para vehículos de altas

prestaciones y aquellos que vayan dotados de sistemas ABS.

Ambas calidades de líquido son miscibles entre sí, pero no se recomienda el mezclado de ambos. Aunque exista la posibilidad de mezclarlos, es conveniente leer el libro de mantenimiento del vehículo para saber, si necesitamos rellenar, que tipo de líquido emplea nuestro vehículo. Cuando procedamos a sustituir el líquido de freno es conveniente limpiar el circuito con alcohol metílico para conseguir que el líquido nuevo, conserve todas sus propiedades. Además en cualquier

Comparativa de lo que afecta el agua en los diferentes tipos de líquido de freno

manipulación que se haga debe de purgarse después el sistema de freno.

Conviene recordar que los vehículos que disponen de suspensión neumática emplean ese mismo fluido como líquido de freno. Este tipo de líquido se denomina LHM y es muy importante tener en cuenta que no debe ser empleado líquido de freno de tipo DOT mezclado con LHM, ya que estropearía todo el sistema.

CAPÍTULO 4

PASTILLAS DE FRENO

1. BREVE RESEÑA HISTORICA SOBRE LA FRICCIÓN.

Con la aparición de los vehículos autopropulsados a finales del siglo XIX, surgió la necesidad de dotarlos de un sistema que consiguiese detenerlos cuando el conductor decidiera. Las primeras soluciones aportadas fue la adaptación de los frenos de los coches de caballos en estos primeros automóviles. Esto era posible a que las velocidades que los vehículos de tracción mecánica desarrollaban eran relativamente bajas. Estos sistemas consistían en un accionamiento manual de una palanca que movía una zapata, la cual rozaba contra la banda de rodadura de las ruedas produciendo así la fricción necesaria para decelerar o frenar el vehículo de forma efectiva.

En el año 1887 Herbert Froot, implemento el primer forro de fricción basado en la utilización de fibras de algodón, trenzadas en forma de correa. Esto estaba todo ligado mediante soluciones bituminosas y hilos de latón. Este material no solo fue usado en los frenos de los coches de caballos, sino que además fue empleado en algunos de los automóviles de la época consiguiendo unos resultados aceptables. Lógicamente tenía unas limitaciones ya que el uso de una fibra natural como es el algodón significaba que por encima de 150°C perdía las propiedades de fricción y se rompían. Esta desventaja se hizo palpable enseguida, y tan solo diez años después se introdujo en la formulación las fibras de amianto. Sentando las bases de los materiales de fricción durante las décadas siguientes.

Se eligió la fibra de amianto crisótilo para la mayoría de las aplicaciones. Las fibras de amianto eran fáciles de tejer de la misma forma que el algodón con lo cual fue fácil sustituir las fibras de algodón. Su mayor resistencia mecánica, la resistencia a la temperatura, la flexibilidad, sus excelentes propiedades de fricción y la compatibilidad con las resinas y demás sustancias ligantes, hacían de la fibra de amianto el mejor de los componentes para aplicaciones de fricción. La inclusión de latón y otros alambres en el tejido añadieron resistencia física y modificaron las características friccionales de comportamiento del material.

Durante sesenta años los materiales de fricción de este tipo han contribuido enormemente en la seguridad de los automóviles, camiones y toda clase de vehículos que circulaban por todo el mundo.

A principios de la década de los años 20, los químicos comenzaron el estudio de sustituir los trenzados de los forros de freno por piezas moldeadas. Comenzaron usando fibras cortas de crisotila, las cuales eran muy abundantes y de coste reducido. Uno de los primeros creadores de forros de freno no trenzados fue Mr. Blume, en 1926, su formula presenta unas similitudes muy interesantes con la primera formula de amianto desarrollada. La fórmula original se basaba en

alambres de latón y en un refuerzo de tejido de amianto, unidos por un compuesto de aceite o goma de asfalto. La nueva fórmula moldeada utilizaba el mismo amianto, pero las fibras eran más cortas que las que se utilizaban en el tejido de amianto. El alambre de latón se sustituyó por partículas de latón y el asfalto original por aceite de linaza y un carbón bituminoso especial que aportaba un alto grado de volatilidad y un bajo desprendimiento de cenizas. La mayor parte de los avances posteriores fueron únicamente mejoras que se añadieron a este concepto original.

Durante la década de los 30, los químicos comenzaron a investigar en resinas flexibles con mayor resistencia al calor. Estos nuevos materiales, junto con el proceso de mezclado en seco, abrió el camino a nuevos y muchos más sofisticados componentes y con ello a un nuevo mundo de materiales de fricción que todos conocemos hoy en día.

Al mismo tiempo, otros pioneros en el desarrollo del material de fricción provenían de la industria del caucho. Los trenzados de algodón y posteriormente los trenzados de amianto fueron recubiertos con compuestos de caucho que después iban siendo apilados en capas hasta obtener el espesor requerido, todo ello se conseguía gracias a la ayuda de la maquinaria típica de la industria del caucho. Más tarde se introdujeron compuestos de fibra de amianto y caucho, que podían laminarse y plegarse o extrusionarse, también utilizando la maquinaria convencional del caucho.

Durante la década de los 50 se implementó una nueva formulación que contenía nuevas resinas que ligaban virutas metálicas dando paso así, a la aparición de las pastillas en base metálica. Esta formulación procedía del gran éxito que los materiales de fricción metálicos habían conseguido en aplicaciones industriales y aeronáuticas. Estos nuevos materiales metálicos eran una mezcla de resinas con lana de acero y grafito. Este tipo de fórmulas fueron muy usadas durante la década de los 70 en la fabricación de las pastillas.

En los años 60, a medida que se avanzaban en el diseño de los vehículos y era necesario mejorar los sistemas de frenos, muchas empresas de materiales de fricción comenzaron a buscar alternativas al amianto como principal componente de los frenos de disco. El amianto es un material que posee sus propias limitaciones; es un recurso agotable, de calidad variable y su precio subía. Como alternativa, se contempló el uso de fibras de vidrio, fibras de metal y más recientemente, fibras de carbón sintéticas.

Al mismo tiempo, comenzó a cuestionarse el efecto sobre la salud del uso del amianto. Muchos fabricantes dejaron de trabajar con este material debido a los problemas que se asociaron con él. Todo esto hizo que los materiales de fricción semi-metálicos llegaran a ser los más utilizados en los años 70 para la fabricación de frenos de disco.

Los semi-metálicos distan de ser materiales ideales para cualquier aplicación. Los materiales de fricción con alto contenido en metales son mejores conductores del calor que los materiales compuestos de amianto, y esto puede ocasionar problemas como por ejemplo, una excesiva transferencia de calor a la pinza y al líquido de frenos que puede entrar en ebullición.

El desarrollo de los nuevos materiales de fricción continuó durante los 80. La aparición de la tracción delantera, la reducción de tamaño de las ruedas y el perfeccionamiento del diseño aerodinámico son sólo algunos aspectos del desarrollo de la industria automovilística que implicaron nuevas exigencias en el mundo de los materiales de fricción durante los últimos 20 años. El incremento de calor generado durante el frenado plantea problemas adicionales para la ingeniería de fricción y para quienes se dedican a formular materiales de fricción. Por esto, se está desarrollando una nueva generación de productos con **una menor conductividad térmica que los semi-metálicos**, que supongan una reducción de la transferencia de calor al líquido de frenos.

Durante los años 90 hace su aparición una nueva tendencia en los programas de desarrollo de los principales fabricantes de vehículos y materiales de fricción con el fin de sustituir los contenidos de metales pesados del material de fricción (trisulfuro de antimonio, sulfuro de plomo o galena, disulfuro de molibdeno, fibras de cobre y componentes del cobre lo mismo que fibras de silicio) por compuestos no tóxicos, a fin de evitar el impacto negativo de dichos materiales sobre el medio ambiente y los seres humanos. Se trabaja en un material orgánico que no se desintegre a altas temperaturas de frenado y mantenga sus características de fricción en un ancho rango de temperaturas. Un material que admita el desgaste sin dañar las otras superficies. Estamos ante la aparición de una nueva generación de materiales de fricción de superiores prestaciones y más respetuosos con el medio ambiente, así como con las personas que cada día están en contacto con estos materiales.

No obstante, todavía quedan en el mercado productos de fricción que contienen amianto, y se recomienda, dadas sus propiedades cancerígenas, su manipulación siguiendo las normas estrictas de seguridad que están claramente definidas en todos los países para la manipulación de productos tóxicos y peligrosos.

2. COMPOSICIÓN.

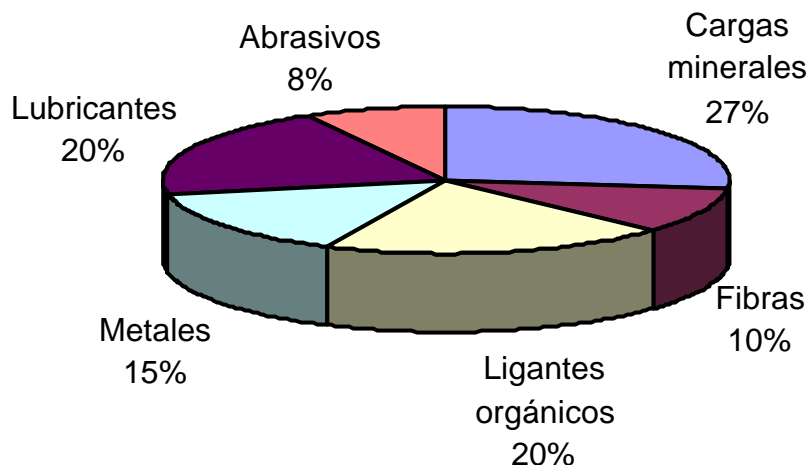
La obligatoriedad de eliminar el amianto supuso un cambio importante dentro de las formulaciones. El amianto era una fibra que constituía la base de cualquier formulación ya que era capaz de aportar las cualidades requeridas a cualquier material de fricción.

No obstante, aunque los primeros materiales “sin amianto” que aparecieron en el mercado eran de prestaciones y duración inferiores a los de “con amianto”,

hoy en día los productos “sin amianto” han superados a aquellos en todos los requisitos exigibles a un material de fricción.

En la actualidad la mayoría de los fabricantes de fricción emplea en mayor o menor medida la base que a continuación se ofrece.

- **LAS FIBRAS:** Las fibras son los elementos encargados de aglutinar y ligar el resto de los elementos. Es decir, las fibras son el “armazón” de las pastillas de freno, a través de sus múltiples ramificaciones van uniendo el resto de los elementos. Existen dos tipos principales de fibras las sintéticas y las minerales. Las más usuales en el campo de la fricción son: fibras de vidrio, fibras de aramida, lana de roca...
- **LAS CARGAS MINERALES:** Las cargas minerales son las encargadas de dar consistencia mecánica al conjunto, es decir, le aportan resistencia a la abrasión, resistencia a cortadura... Están encargadas también, de aportar resistencia a las altas temperaturas. Las más usuales son: barita, magnesita, talco, mica, carbonato, feldespato y otros.
- **COMPONENTES METÁLICOS:** Se añaden en forma de polvo o viruta para conseguir homogeneizar el coeficiente de fricción así como la transferencia de calor de la pastilla al caliper. Los más usuales son, latón, cobre, bronce entre otros.
No obstante una gran parte de los componentes metálicos usados en los materiales de fricción, tienen efectos nocivos sobre la salud por lo que se recomienda seguir estrictamente la legislación referente a los productos que contengan tales metales pesados.
- **LOS LUBRICANTES O MODIFICADORES DE COEFICIENTE:** Son los encargados de hacer variar el coeficiente de fricción normalmente a la baja, dependiendo del rango de temperatura de funcionamiento. Son empleados en forma de polvo suelen ser grafitos, coques, sulfuros, antracitas, etc.
- **LOS MATERIALES ORGÁNICOS:** Son los encargados de aglomerar el resto de los materiales. Cuando alcanzan una determinada temperatura fluyen y ligan el resto de componentes, hasta que se polimerizan. Las más importantes son las resinas fenólicas termoendurecibles, aunque también son empleados diferentes tipos de cauchos, ceras, aceites...
- **LOS ABRASIVOS:** Cumplen principalmente la misión de incrementar el coeficiente de fricción y también renuevan y limpian la superficie del disco permitiendo la formación de la capa intermedia o también conocida como **tercera capa**.



Composición del material de fricción

3. FABRICACIÓN.

La fabricación de material de fricción es un proceso bastante estandarizado. Las variables del proceso son las que cada fabricante define en función del tipo de materiales que emplea, es decir, de la composición que defina. A grandes rasgos los pasos fundamentales que se deben de seguir a la hora de fabricar son:

- ◆ **EL PROCESO DE MEZCLADO:** Es uno de los principales pasos dentro del proceso de fabricación, ya que su misión es la de mezclar todos los componentes de forma homogénea. Para conseguir una buena homogeneización de la mezcla, el mezclador está provisto de un eje central que hace girar los componentes en forma de ochos y en otro eje dos cuchillas batidoras que son las que van homogeneizando la mezcla. En este proceso, uno de los factores críticos es el tiempo que los diferentes materiales pasen en el mezclador, ya que este periodo debe estar definido dependiendo del tipo de fibras que se vayan a mezclar. Cada fibra tiene un tiempo de apertura, es decir, un periodo en el cual su longitud es la mayor posible, a partir de ahí lo que sucede es que las fibras se van acortando con lo cual no realizaran la función anteriormente descrita.
- ◆ **PRENSADO EN CALIENTE:** La misión del prensado en caliente es la de aglutinar los diferentes componentes. Por una parte, con la presión que

se realiza se consiguen una reducción del volumen, pero a su vez con la temperatura lo que se hace es fundir las resinas para que estas fluyan por todo el material ligando los diferentes elementos. Este proceso lleva asociado unos ciclos de prensado, es decir, que la prensa actuará sobre las pastillas durante un determinado tiempo, para a continuación permitir la salida de los gases. En esta etapa es en la que los soportes son pegados al material de fricción. Esto se produce por dos motivos principales, uno de ellos es que el soporte lleva impregnado una resina que consigue la adhesión del material y por otro lado, existen unos huecos pasantes en los soportes cuya función es la de alojar el material de fricción que fluye para conseguir una completa fijación del material de fricción al soporte. El tiempo típico de prensado varía de 10 a 12 minutos según la fórmula empleada para permitir el curado en prensa de las resinas.

- ◆ **CURADO:** El proceso de curado se realiza en hornos, su misión principal es la completa polimerización de las resinas, para conseguir una perfecta compactación del material además de ir perdiendo el contenido todavía existente de volátiles. Este proceso también es función del tiempo y de la temperatura que se va alcanzando en las diferentes etapas. Esto significa que las pastillas van sufriendo un ciclo de diferentes temperaturas, en las cuales van pasando durante un periodo determinado.
- ◆ **SCORCHADO:** En esta última fase, el material de fricción se sube a temperaturas de 500°C o superiores bajo la acción de una placa caliente o bajo el efecto de una llama. En este último proceso se elimina una gran parte de materiales orgánicos aún existentes, el polímero (resina) se grafitiza y la pastilla de freno adquiere sus características definitivas. Este es un proceso caro y delicado por lo que muy pocos fabricantes lo incorporan a sus procesos de fabricación.
- ◆ **OPERACIONES DE MECANIZADO:** En esta etapa las pastillas sufren diferentes procesos de mecanización para adaptarlas a las características dimensionales requeridas por cada aplicación. Es decir, por un lado se rectifican para conseguir el espesor de material de fricción necesario. Otro de los procesos que pueden sufrir es la realización de catas o ranuras, al igual que los chaflanes.
- ◆ **PUESTA DE ACCESORIOS:** Durante esta etapa se le añaden a las pastillas todos los elementos complementarios tales como los muelles, resortes, avisadores...
- ◆ **MARCADO Y ESTUCHADO:** Las pastillas están finalizadas solo queda marcarlas y estucharlas para poderlas servir a los diferentes clientes.

4. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS PASTILLAS DE FRENO.

Los requerimientos básicos del material de fricción son los que establece la propia aplicación del producto. Los más relevantes son:



Pastilla de freno

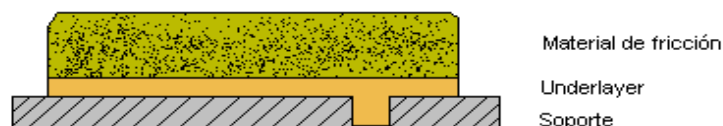
- ✓ **Presentar un coeficiente de fricción adecuado y estable a cualquier rango de temperatura y presión.**
- ✓ **Mantener un equilibrio entre abrasión y resistencia al desgaste.**
- ✓ **Una cierta compresibilidad, tanto en frío como en caliente, que haga que el material absorba vibraciones e irregularidades de la otra superficie con la que entra en contacto.**
- ✓ **Una buena resistencia al choque y al cizallamiento.**

Para conseguir satisfacer todos estos requerimientos, cada fabricante implementa sus propias formulaciones, las cuales ensaya una y otra vez hasta conseguir los resultados que le aportan la calidad que buscaban.

A continuación vamos a ver los diferentes componentes que pueden llevar consigo las pastillas de freno.

UNDERLAYER (Subcapa):

El underlayer es una capa de material cuya función es la de fijar el material de fricción en el soporte además de reducir la temperatura que llega al caliper. Esta capa de material tiene su propia formulación, ya que no tiene los requerimientos que del material de fricción se esperan sino que sus funciones son las de unir la capa de material de fricción al soporte además de variar la conductividad térmica del material de fricción para que el calor no pase a través de ella y no se caliente el líquido de frenos en el caso de materiales de fricción con una alta conductividad térmica.



Dibujo de una pastilla de freno con UNDERLAYER.

En definitiva, es un elemento añadido que puede implicar riesgos adicionales por lo que si puede ser evitado en el proceso, es conveniente evitar el tener que usar este elemento.

EL SOPORTE:



SopORTE metálico

El soporte es el elemento metálico cuya función es la de mantener el material de fricción en el porta pastillas de las pinzas. La característica principal es que debe de ser lo más plano posible para evitar que durante en proceso de prensado en caliente y posterior curado de las pastillas surjan fisuras entre el soporte y el material de fricción.

Los soportes se fabrican por estampación a partir de un fleje del espesor requerido. Dependiendo de la complejidad del soporte se fabrican en varios pasos, aunque es uno de los procesos más automatizados de la fabricación de las pastillas.

Los soportes son pintados con un barniz de alta resistencia para prevenir la corrosión con el paso del tiempo. La impregnación del soporte metálico con una resina de gran adherencia es una fase crítica del proceso de fabricación, ya que se debe de garantizar una correcta adherencia del material de fricción al soporte.

ANTIRRUIDOS.

Las láminas antirruido son accesorios cuya función principal es la de absorber las vibraciones que se producen en el contacto entre la pastilla y el disco, evitando la aparición de ruido. Existen diferentes materiales, como son láminas de fibra de vidrio, láminas metálicas... cada aplicación lleva definida un tipo de lámina diferente dependiendo del tipo de vehículo en el cual va montada la pastilla.

La forma de fijarlas al soporte suele variar dependiendo del tipo de material de la lámina antirruido. Existen láminas que van pegadas por medio de una resina fenólica las cuales tienen que ser comprimidas contra el soporte sometido el conjunto a una temperatura de unos 150°C. Otras láminas van remachadas a los tetones del soporte. Existe otra posibilidad de que la lámina vaya fijada al soporte por medio de patillas y embutida en dos tetones del soporte, para impedir su movimiento.



Láminas antirruido

Dichas láminas permiten aumentar la compresibilidad de la pastilla de freno en frío con el consiguiente efecto positivo sobre los chirridos sin aumentar sensiblemente la compresibilidad de la pastilla de freno en caliente que pudiera dar lugar a carreras del pedal excesivas.

OTROS ACCESORIOS.

Las pastillas para absorber las vibraciones a las que son sometidas en el caliper cuando se frena, llevan una serie de accesorios que se denominan muelles. Estos muelles están fabricados a partir de flejes. Este tipo de elementos depende de la geometría de la pastilla, del sistema de anclaje... Existen otro tipo de muelles que van situados en el propio caliper pero cuya función es la misma que los que van situados en las pastillas. En definitiva, permiten un leve movimiento de las pastillas cuando se encuentran frenando lo que hace que las vibraciones que se producen sean absorbidas.

Otro tipo de accesorios que van incluidas en las pastillas son los avisadores de desgaste. La función de estos elementos es la de alertar al usuario del vehículo de que sus pastillas están al límite de su vida útil y debe de ser sustituidas. Existen varios tipos:

SONOROS: Los avisadores sonoros son pequeños flejes que van alojados en los laterales del soporte, sobresalen unos dos milímetros de la superficie de fricción. Lo que produce que cuando la pastilla se ha desgastado y tan solo quedan 2 mm. de material de fricción este pequeño fleje roce contra el disco y se produzca un chirrido constante que avisa al conductor de que sus pastillas deben de ser sustituidas.

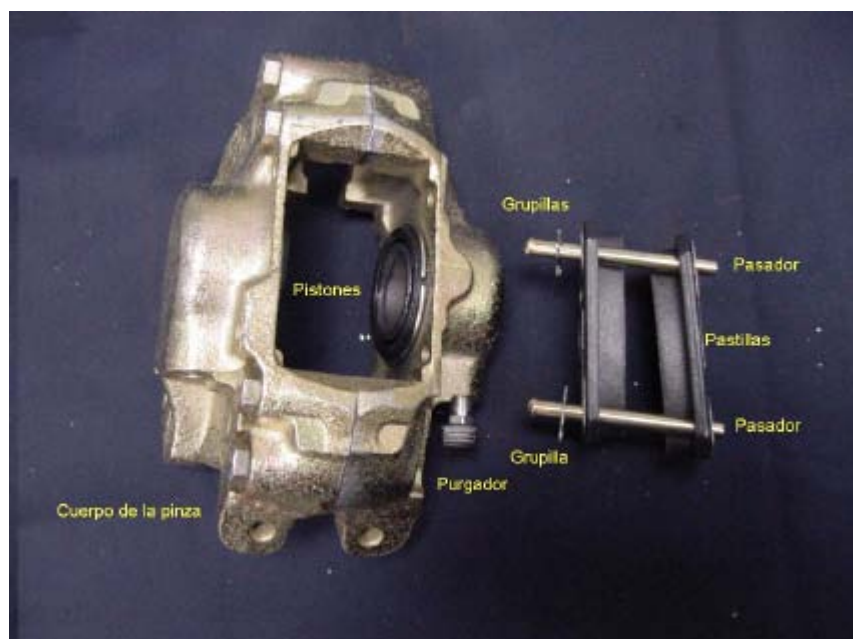


Pastilla con avisador luminoso

LUMINOSO: Los avisadores luminosos se componen de un cable conductor con una cabeza de polímero. Cuando este dispositivo va rozando con el disco, se debe a que a las pastillas solamente les quedan 3 mm. de superficie de fricción. El roce con el disco provoca su desgaste hasta que el cable llega a tener contacto con el disco, con lo cual hace masa, cerrando el circuito. Esto produce que se encienda un testigo en el cuadro que nos indica que debemos de pasar por el taller para cambiar las pastillas.

5. CONJUNTO PINZA – PASTILLA.

En el conjunto que presentamos a continuación veremos más claramente todos los elementos que componen el conjunto pinza – pastillas.



Despiece de pinza de doble pistón

1. *Cuerpo de la pinza. Da rigidez y soporta las pastillas.*
2. *Pistones. Empujan las pastillas contra el disco.*
3. *Purgador. Abre el sistema para permitir la salida del aire del circuito.*
4. *Grupillas. Retienen e impiden que se salgan los pasadores.*
5. *Pasadores. Mantienen las pastillas y les sirven de guías.*
6. *Pastillas. Friccionan contra el disco.*

6. PARAMETROS QUE DEFINEN EL MATERIAL DE FRICCIÓN.

El parámetro básico que define cualquier material de fricción es su coeficiente de fricción (μ). Durante el desarrollo de nuevas formulaciones, el coeficiente de fricción es ensayado en los dinamómetros de inercia, así como en la máquina de presión constante o dinamómetros Krauss. Una vez pasada esta fase se ensayan directamente en vehículos equipados para la adquisición de los datos que el ensayo produzca.

La herramienta fundamental sigue siendo el dinamómetro de inercia. Estos son bancos de ensayos completamente sensorizados, en los cuales se acopla el sistema de freno que se desee ensayar. Los dinamómetros están comandados por potentes sistemas informáticos que son capaces de medir cualquier parámetro durante el ensayo, desde la temperatura del disco, el coeficiente de fricción, la presión del circuito, la velocidad de giro, la deceleración, etc. Los dinamómetros



Dinamómetro de inercia

de inercia en esencia son máquinas capaces de reproducir las fuerzas que se generan en un vehículo durante el proceso de frenado. Esto implica que se consiguen simular fielmente las condiciones de trabajo del sistema de frenos, especialmente del material de fricción durante su vida en servicio.

El fundamento del dinamómetro de inercia es la conversión de la energía cinética del vehículo en energía cinética de rotación. Con lo cual, cuando se producen las frenadas se transforma la misma energía

cinética que llevaría el vehículo en energía calorífica, con lo que se reproducen las condiciones energéticas que el vehículo lleva asociadas.

$$\text{Energía cinética del vehículo} \quad E_c = \frac{1}{2} M \cdot v^2 \quad \text{Unidades [Kg]} \cdot \left[\frac{m}{s} \right]^2$$

$$\text{Energía cinética del dinamómetro} \quad E_c = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \cdot M \cdot R^2 \right] \cdot \omega^2 \quad \text{Unidades [Kg]} \cdot \left[\frac{m}{s} \right]^2$$

Siendo:

M = Masa del vehículo (kg).

v = Velocidad del vehículo (m/s)

I = Momento de inercia de las masas de inercia del dinamómetro (kg · m²).

ω = Velocidad angular del dinamómetro (1/s).

Al poder igualar las dos expresiones de energía (ya que se miden en las mismas unidades) podemos calcular la inercia necesaria en el dinamómetro para simular fielmente cualquier tipo de vehículo, así como cualquier tipo de situación en carretera. Aprovechando así todas las ventajas que reporta el trabajar sobre dinamómetro.

Los dinamómetros de inercia están compuestos por un *motor eléctrico* que es el encargado de dar la velocidad necesaria a las inercias, la potencia del motor necesaria es la que determina la inercia que es capaz de mover. Las *masas de inercia* son discos de diferentes diámetros que determinan las características dimensionales del vehículo a ensayar, es decir, un vehículo con una determinada masa cuando se encuentra en movimiento lleva una energía que es la que hay que disipar al frenar, con lo cual, la masas de inercia son las que acumulan la misma energía que el vehículo que se desea simular. Lógicamente las inercias están unidas al motor eléctrico mediante un eje. En el extremo de dicho eje, se

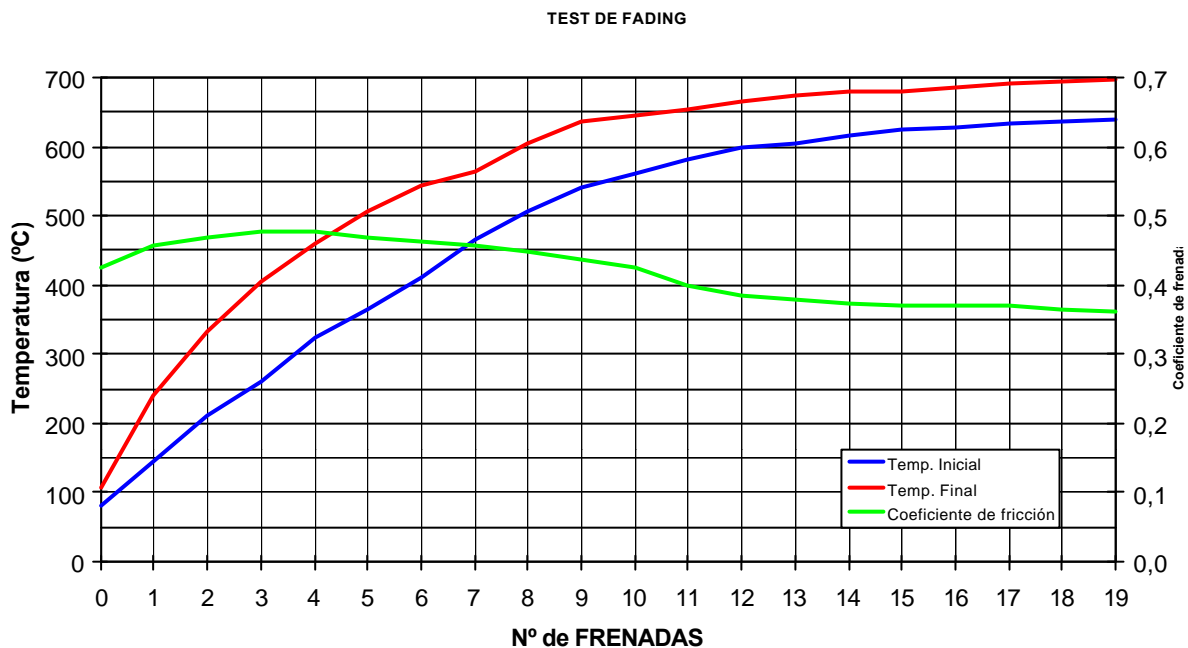
encuentra una brida donde va colocado el disco de freno. En el cabezal fijo se coloca la pinza que se desea ensayar, así como la bomba de freno, y el sistema hidráulico que comanda la bomba.

Los ensayos que se pueden realizar en el dinamómetro son muy variados ya que software que controla el banco, puede ser programado de modo que se realice el ensayo que se desee. Existen una serie de ensayos que están reconocidos a escala internacional y que a las diferentes compañías les sirve como niveles estándar de ensayo.

Los ensayos se encuentran divididos en diferentes etapas, en las cuales se prueba el material de fricción, bajo diferentes condiciones de funcionamiento. Se puede considerar que un ensayo básico está compuesto por las siguientes etapas en un programa estándar de pruebas (AK - Master):

- *Etapas de asentamiento.* La necesidad del asentamiento se hace patente en los ensayos que se realizan, al igual que nosotros debemos de hacer el asentamiento cuando cambiamos las pastillas a nuestros vehículos. El asentamiento se realiza a temperaturas inferiores a 100 °C, la presión varía desde 15 a 45 bar, el rango de velocidades es de 100 a 30 km/h. Durante toda la etapa lo que se mide es el coeficiente de fricción para ver el comportamiento del material durante las primeras frenadas. Esta etapa esta compuesta por 100 frenadas.
- *Etapas de sensibilidad a la presión.* Variando la presión del circuito se van comprobando a diferentes velocidades el coeficiente de fricción que el material es capaz de aportar. En una primera sub-etapa se realizan frenadas a 40 km/h en un rango de presiones que va desde 10 a 80 bares. En las siguientes sub-etapas la velocidad es de 80, 120, 160 y 180 km/h manteniendo el rango de presiones así como el número de frenadas.
- *Etapas de fading.* Esta etapa se suele repetir un par de veces durante el proceso, para comprobar que sucede con el coeficiente si se producen dos fading. El test de fading está compuesto de 20 frenadas en las cuales el requerimiento es alcanzar una deceleración media de 4m/s^2 durante diferentes temperaturas que van desde los 100°C de la primera frenada hasta los 550°C de la última frenada. Cada una de las 20 frenadas se realiza cuando se alcanza la temperatura establecida. Dichas temperaturas van incrementándose de 30°C en 30°C aproximadamente en cada frenada. La presión en el circuito es la necesaria para alcanzar una deceleración media de 4 m/s^2 .
- *Etapas de sensibilidad a la presión a alta temperatura.* Es igual que la etapa de sensibilidad a la presión pero con una temperatura inicial del sistema de 500°C.

- *Etapas de análisis de características.* Estas etapas lo que hacen la medición del coeficiente de fricción en condiciones de frenada normal, es decir, a una presión de 30 bar, a una temperatura inicial de 100°C y en un intervalo de velocidad de 80 a 30 km/h. Se realizan 18 frenadas durante las cuales se mide el coeficiente de fricción. Se realizan después de cada etapa descrita anteriormente.



Gráfica obtenida en la etapa de fading

Lo ideal para un buen material de fricción sería que su coeficiente de fricción se mantuviese constante en $\mu=0,4$ durante cualquier rango de utilización, ya sea en temperatura, de presión o de cualquier otro parámetro. Además debiera de desgastarse poco y no dañar la otra superficie contra la que entra en contacto, pero esto es una utopía ya que el material de fricción está sujeto a muchos cambios como ya hemos visto.

El material de fricción no se caracteriza solo por el coeficiente de fricción sino que además existen otras características intrínsecas al material. Dichas características deben de mantenerse dentro de unos límites para que el material cumpla su función primaria.

DENSIDAD.

La densidad (ρ) del material de las pastillas es la relación entre la masa del material de fricción dividido del volumen que ocupa. Es un dato importante porque

puede darnos idea como estamos prensando durante el proceso de fabricación, y también como pueden ser las expectativas de vida en ser vicio.

POROSIDAD.

La porosidad es entendida como el volumen relativo de la proporción de cavidades en el material. Esto incluye poros, ampollas de aire y cualquier cavidad que presente el material. La proporción de cavidades debe de ser menor al 5% de la superficie de la pastilla y no afectar a su perfil para que así no sea rechazada la pastilla. Una porosidad elevada puede provocar desgastes prematuros y una porosidad reducida puede dar lugar a chirridos.

FUERZA DE CIZALLADURA.

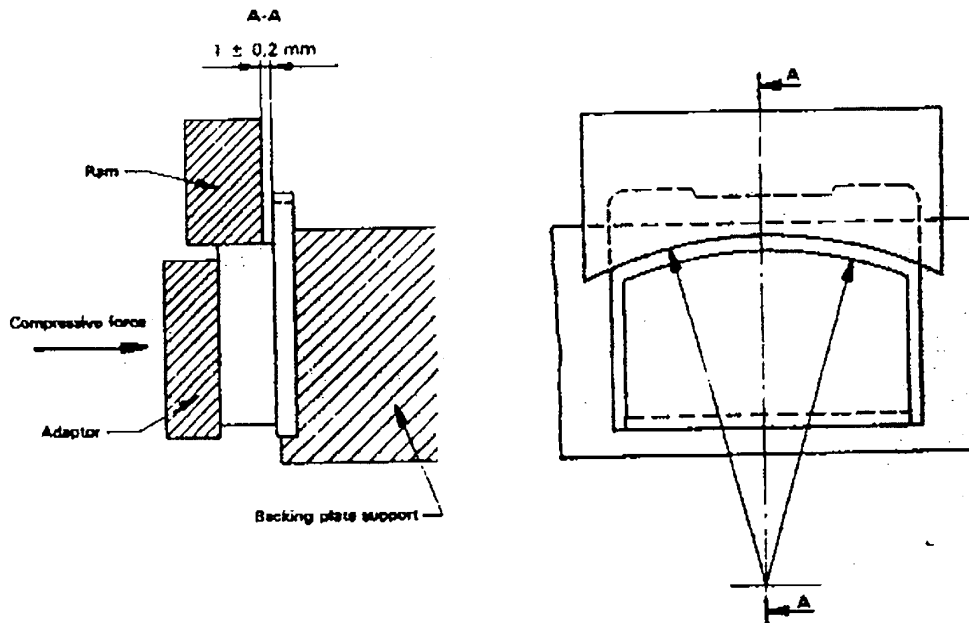
La fuerza de cizalladura es la resistencia que presenta el material de fricción a ser separado del soporte cuando sobre el actúa una fuerza tangencial. Este valor es de los más importantes ya que las pastillas de freno cuando se encuentran frenando están sometidas no solo a las fuerzas normales contra el disco sino también a grandes esfuerzos tangenciales que son los que realiza el disco al intentar arrastrar las pastillas en el sentido de su giro.

El valor mínimo aceptable para un test de cizallamiento es de 250 N/cm², según Reglamento 90, esta presión equivale a desarrollar una fuerza de 1250 kg. en una pastilla de tipo medio, con un área de 50 cm². Si esta característica no se cumple es necesario el tomar medidas correctivas que consigan una mayor adherencia entre el soporte y el material de fricción. Las principales acciones encaminadas a corregir este defecto son el empleo de un adhesivo diferente, incluso variar el material de fricción para que fluya mejor por los huecos del soporte y su adhesión al mismo sea mejor.

Es importante destacar no solo el valor de rotura o presión máxima de cizalladura que soporta el material, sino la adhesión que este presenta sobre el soporte metálico, ya que una vez separado el material de fricción del soporte debe de quedar material adherido al soporte en cantidad superior al 80 % de la superficie del mismo. Si esto no fuese así sería necesario tomar las medidas oportunas, descritas anteriormente.

En la figura se puede ver como se debe aplicar la fuerza de rotura en la máquina, es importante que el radio del útil que empujará a la superficie de fricción tenga el mismo radio que la pastilla para cumplir con lo estipulado según el Reglamento 90.

El ensayo descrito anteriormente, se utiliza como ensayo de control, tanto en el desarrollo de nuevos materiales como en el control normal de Calidad que se realiza durante todo el proceso productivo.



Esquema del ensayo de cizalladura.

COMPRESIBILIDAD.

La compresibilidad es el cambio de espesor en las pastillas por la aplicación de una fuerza normal a la superficie de las pastillas. Este ensayo se realiza en dos condiciones diferentes, en un principio se realiza a temperatura ambiente, lo que se conoce como compresibilidad en frío y en posteriormente se realiza colocando la pastilla por el lado del material de fricción contra una superficie que se encuentra a 400°C durante 10 minutos, es el conocido como test de compresibilidad en caliente.

Cuando el valor de la compresibilidad en frío es mayor a un 2% del espesor de la pastilla, se debería de modificar el material de fricción para que no se produzca una reducción tan grande en el espesor del material. Durante el



Máquina de compresibilidad

ensayo en caliente el valor máximo de compresibilidad debe ser menor al 5%. Si se sobrepasase este valor de nuevo deberían de tomarse medidas correctivas ya que ambos límites máximos tanto para frío como para caliente están definidos según Reglamento 90.

Es importante destacar que la compresibilidad de las pastillas de freno es una de sus características básicas ya que con una cierta compresibilidad se absorben vibraciones entre disco y pastilla reduciendo así los efectos nefastos que las vibraciones presentan en el sistema de freno y que normalmente se traducen en ruido. Por otro lado, una compresibilidad excesivamente alta puede dar lugar a carreras de pedal muy largas.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad térmica de los materiales de fricción es la propiedad física por la cual tienen la capacidad de transmitir el calor hacia su interior. Para el caso de las pastillas de freno es muy importante que la conductividad térmica sea capaz de evacuar el calor hacia el exterior de la pastilla pero se debe controlar ya que si ese calor pasase a través del soporte metálico hasta la pinza, llegaría hasta el líquido de freno. Dicho calor puede provocar que el líquido entre en ebullición con las consecuentes pérdidas de eficacia de frenada. Los síntomas claros de esta ebullición es el aumento de la carrera de pedal, que se iría al fondo, con la consiguiente pérdida de eficacia de frenado.

Los valores de conductividad térmica son muy variables con la formulación de material de fricción, ya que si las pastillas son semi-metálicas (aquellas que tienen alto contenido en lana de acero, de cobre, latón u otros), su conductividad térmica será mayor ya que los metales son mejores conductores de la temperatura. Por ello en formulaciones semi-metálicas es muy importante colocar un underlayer que evite la transferencia de calor al líquido de freno para evitar que el líquido de freno, eventualmente, entre en ebullición. En materiales de fricción de base orgánica la conductividad térmica será menor de forma que no tendrán, en la mayoría de los casos, la necesidad de usar underlayer.

7. RESUMEN.

Los factores descritos anteriormente pueden ser incluso contradictorios entre ellos mismos y en definitiva, el éxito para desarrollar una pastilla de freno de calidad, depende del criterio del fabricante en cuanto a como valorar y ponderar los efectos de dichos factores para poder ofrecer al usuario el mejor producto posible según las expectativas de los usuarios.

CAPÍTULO 5: LOS DISCOS DE FRENO

1. LOS DISCOS DE FRENO:



Disco de freno

Los discos de freno son la superficie contra la cual interactúan las pastillas para frenar el vehículo, debido a que el disco gira solidario con las ruedas. Ese rozamiento entre discos y pastillas produce la transformación de energía cinética en energía calorífica, provocando una reducción de la velocidad.

Los discos de freno no solo deben producir la transformación de energía sino que además deben conseguir que el calor producido sea transmitido a la atmósfera lo más rápidamente posible, ya que sino, las temperaturas a las que operaría el sistema serían muy elevadas llegando incluso al colapso del sistema.

El material escogido para fabricar los discos de freno es la fundición gris nodular de grafito laminar, ya que garantiza una estabilidad de las prestaciones durante el periodo de vida de los discos. Existen también, discos de materiales compuestos en matriz de carbono, usados en la alta competición y en los frenos de los aviones, aunque debido al alto coste que tienen son inviables para los vehículos comunes. En la actualidad se están desarrollando discos de freno en aluminio con una base de carburo de silicio, ya que su menor peso los hacen muy atractivos, pero la mala disipación de calor que tienen los hacen inviables de momento, ya que necesitan un sobredimensionamiento importante que hacen que pierdan las ventajas del reducido peso.

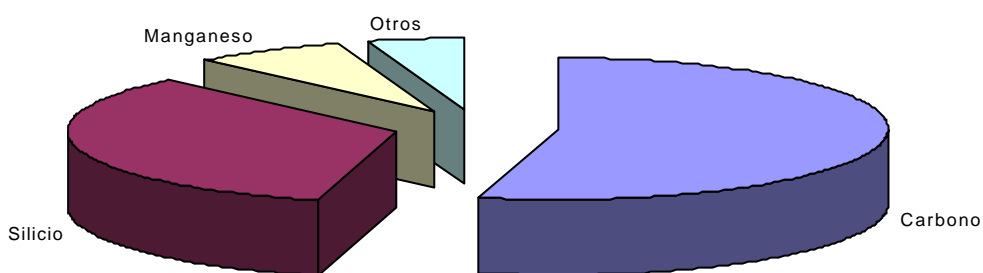
Las características básicas de la fundición de los discos la podemos ver la siguiente tabla.

Propiedades físicas	Valores
Resistencia a tracción	240 N / mm ²
Dureza	170 – 250 HB

La composición básica del material de los discos es una fundición gris nodular de grafito laminar, que contiene entre un 92% y un 93% de hierro. Además

del hierro otros componentes básicos tales como el silicio, manganeso y otros garantizan la calidad de un elemento crítico en el frenado como es el disco. En el gráfico siguiente podemos ver el porcentaje de los diferentes materiales que junto con el hierro, que supone el 93% del total, el resto de materiales suponen entre el 7% y el 8% que resta de la composición total del disco.

Composición de los discos

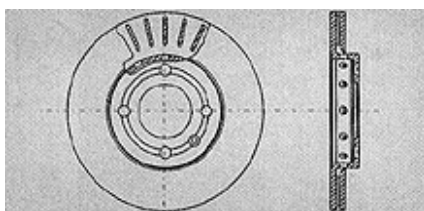


Composición de los discos (Resto de componentes excluyendo el 92% de hierro)

2. LA GEOMETRÍA DEL DISCO DE FRENO.

La geometría de los discos de frenos siempre es la misma, es decir, una superficie circular perfectamente plana. Vamos a ver a continuación, las soluciones que se han ido aportando para mejorar la disipación del calor que almacena el disco.

En primer lugar vamos a ir comentando las diferentes partes de las que está compuesto un disco.



- ❖ LA PISTA: es la superficie en la cual tiene lugar la acción de fricción entre las pastillas y el disco. Está dimensionada de forma que su potencia de disipación se acerque al valor de 250 W/cm^2 , pero dicho valor puede variar dependiendo de la geometría del disco, ya que si

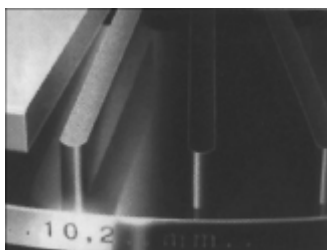
este es ventilado el valor de la potencia de disipación puede alcanzar un valor de 750 W/cm^2 . Por encima de dichos valores, pueden aparecer daños en el disco, tales como deformaciones geométricas, grietas, depósitos de material de fricción u otros que dañarían el disco de forma irreversible.

- ❖ **FIJACIÓN:** La fijación de los discos está situada en la parte central del mismo. Existe un taladro donde se aloja el buje, así como por la parte trasera un chaflán que debe de apoyarse perfectamente en la mangueta para que el ajuste del disco sea perfecto. Alrededor del taladro donde se aloja el buje, la fijación tiene un cierto número de taladros que permiten el paso de los pernos de anclaje de la rueda. En la mayoría de los discos la fijación del disco se garantiza por unos taladros de menor diámetro que fijan el disco.
- ❖ **LA CAMPANA:** La campana es el cilindro que une la banda, con el plano de fijación. En algunos casos en el interior de la campana sé esta aprovechando para montar un pequeño sistema de freno de tambor de accionamiento mecánico, con la finalidad de que sirva de freno de estacionamiento (Peugeot 406 u otros).
- ❖ **EL FILTRO TÉRMICO:** El filtro térmico es un canal mecanizado, que separa la pista de la fijación, para reducir el calor que pasa de la pista hacia la campana. Con este tipo de canales se evita el calentamiento excesivo de la llanta y por consiguiente del neumático que ya sufre los efectos de la temperatura por su propio uso.

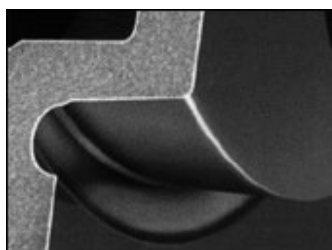
El principio de funcionamiento de los frenos como ya hemos visto anteriormente se basa en que la energía cinética que lleva el vehículo debe de disiparse en forma de calor. Este calor se acumula principalmente en los discos. Pero lógicamente los discos no pueden almacenarlo infinitamente, sino que debe ser disipado a la atmósfera de una forma eficiente. La forma más sencilla es realizar una circulación de aire que, en contacto con el disco, se caliente y mantenga la temperatura del disco en valores razonables a efectos de su integridad mecánica.

Los discos deben de desempeñar dos funciones principales: mover el aire a su alrededor como lo haría un ventilador, y transmitir su energía a la atmósfera como lo hace un radiador.

Para cumplir la primera de sus funciones, la propia geometría del disco hace que sea posible la circulación del aire desde la campana hacia el exterior de la pista. Además la velocidad de dicho aire es mayor cuanto mayor sea la temperatura que va adquiriendo. Este proceso se da en los discos macizos, que cumple con su función cuando la energía que han de disiparse es reducida o media. Cuando la energía térmica disipada aumenta, las superficies de un disco macizo ya no son suficientes. Si se intentase aumentar su tamaño tendríamos la limitación impuesta por el tamaño de la rueda por lo cual la solución adoptada por unanimidad es el disco ventilado que permite una mayor disipación térmica en el mismo espacio.



El disco ventilado es la composición de dos pistas separadas por aletas en su interior. Estas aletas garantizan la cohesión del disco permitiendo el paso de aire por su interior. Gracias a estas aletas, el enfriamiento del disco no solo se produce en la superficie exterior del disco sino que además se produce su enfriamiento por el interior. Este intercambio de energía depende en gran medida de la forma y la orientación de las aletas, ya que en algunos casos las aletas se oponen al movimiento del aire en su interior con lo cual su utilidad es negativa. Por ello debe existir un compromiso entre la eficacia y la orientación - forma de las mismas. Generalmente son radiales y por lo tanto la colocación de los discos en la rueda izquierda o derecha, no afecta a las propiedades autoventilantes. Sin embargo existe alguna aplicación en el mercado en la cual las aletas están orientadas de tal forma que obligan a que esos discos sean montados en una rueda o en la otra, ya que no sería eficaz su ventilación si se intercambiara su ubicación.



Una de las mejoras más significativas encaminada a la reducción de la temperatura que alcanza la campana del disco, se consigue mediante una ranura en forma de canal en la zona situada entre la campana y la banda frenante del disco, lo que antes hemos denominado filtro térmico. La sección de paso de calor se reduce, el gradiente térmico aumenta, es decir, la diferencia de temperatura entre un lado del canal y el otro se hace mayor, lo cual hace que la temperatura de la campana sea menor. Esto es muy importante ya que el calor que se transfiere a la llanta y por consiguiente a la goma del neumático es menor, consiguiendo así que no sufra en exceso la carcasa del neumático. También se consigue una reducción en la deformación del disco al reducirse la temperatura de la campana y sus consiguientes tensiones térmicas.

En los discos ventilados la fabricación de un espesor diferente entre las bandas reduce la deformación del mismo. Esto se consigue aumentando el espesor de la pista que va unida a la campana exclusivamente, ya que de

aumentar el espesor de las dos pistas, el grueso total del disco aumentaría excesivamente con la necesaria reducción del grueso del material de fricción.

Existen discos fabricados en dos piezas independientes, nacidos para la competición. Estos discos constan de una corona de hierro fundido a modo de pistas frenantes y un buje de aleación de aluminio. Las dos partes son solidarias gracias a unos casquillos de fijación. Durante la frenada el disco presenta dos partes diferenciadas: las bandas frenantes (parte caliente) y la campana (parte fría). Este tipo de disco soluciona los problemas de deformación, ya que las bandas frenantes pueden dilatarse sin provocar tensiones que creen grietas. Este tipo de discos permite la deformación radial de las pistas evitando las deformaciones permanentes y las tensiones. Además supone una reducción importante del peso del conjunto. Sin embargo, dado su elevado coste, normalmente solo se utiliza este tipo de disco en competición pero son la solución más extendida en las motocicletas.

3. EL BUEN MANTENIMIENTO DE LOS DISCOS DE FRENO.

Una gran mayoría de los conductores, piensan que los discos de freno no se deben de sustituir nunca, ya que son piezas metálicas lo suficientemente duras como para no requerir su sustitución o una revisión. Lógicamente están equivocados y desde aquí vamos a intentar dar una visión de porqué el mantenimiento de **todo** el sistema de frenos de un vehículo es fundamental.

En primer lugar hay que tener presente que los discos de freno no son infinitamente rígidos sino que como cualquier pieza de un vehículo se deforma. Para evitar lo máximo posible esta deformación, hay que tener en cuenta muchos parámetros, ya que incluso el valor de apriete de las ruedas es uno de los factores que afectan a la deformación del disco. Es necesario que en el montaje de los neumáticos se lleve a cabo bajo el par de apriete que recomienda el fabricante. Usando una llave dinamométrica tarada a 10 kg· m si la llanta es de chapa y a unos 11 kg· m si la llanta es de aleación. Procediendo al apriete de forma equidistante. Las llaves de apriete neumáticas pueden deformar los discos, dando lugar a problemas de vibraciones, ruidos, e incluso roturas de la propia llanta, principalmente si esta es de aleación.

Para un buen mantenimiento de los discos de freno conviene revisarlos cada 20000 km. como norma general. Este control no debe de ser solo visual, ya que existe una cota mínima tras la cual el disco debe de ser sustituido. Esta medida llamada MINIMUM THICKNESS (mínimo espesor) viene grabada en los cantos de los discos. Más adelante veremos que sucede cuando este espesor no es respetado. Los controles que se



Comprobación del alabeo de los discos.

deben realizar, no son solo la medida del espesor con ayuda de un micrómetro de exteriores, sino que además debe de comprobar el alabeo del disco con ayuda de una base magnética y un reloj comparador unido a ella. El proceso de verificación del alabeo se lleva a cabo, pegando la base magnética en la mangueta del vehículo y la punta del reloj comparador debe estar en contacto con la pista frenante del disco. En esta posición se debe poner a cero el reloj. Una vez colocado todo el sistema debemos de hacer girar el disco fijándonos en la desviación que el reloj comparador nos va a ir dando. Si esta variación es mayor a 0,125 mm. debe de ser sustituido el disco por estar alabeado. Esto se hará patente en el freno ya que al frenar nos producirá vibraciones en el volante, incluso si el alabeo es muy grave se producirán pulsaciones en el pedal.

La planitud del disco es una característica crítica para una frenada progresiva y libre de vibraciones no solo en frío sino en caliente. Si esta planitud no se encuentra dentro de los valores requeridos, pueden aparecer puntos calientes “judder” que producen vibraciones muy desagradables al frenar. Como se verá más adelante el “judder” puede aparecer como vibraciones acústicas, vibraciones estructurales en la dirección del vehículo o como pulsaciones en el pedal del freno.

Resolver este tipo de problemas es complejo y desde luego, pasa por la instalación de discos de freno de primerísima calidad y pastillas de freno con la compresibilidad y el coeficiente de fricción adecuado.

En algunos casos, también podemos observar óxido en las pistas frenantes de los discos, formado al estar el vehículo en un entorno muy húmedo. Esto no implica un problema serio ya que en unas cuantas frenadas ese óxido debe ser eliminado por el contacto entre las pastillas y el disco. Si una vez realizadas estas frenadas existe alguna zona donde ese óxido no se haya eliminado, significa que puede existir algún problema en la pinza, debido a que la pastilla no hace un perfecto contacto en el disco.

Si se observan rayas circulares profundas o grietas radiales numerosas deberán de cambiar los discos obligatoriamente.

LOS DISCOS HAN DE SUSTITUIRSE POR PAREJAS Y A SU VEZ SE DEBEN DE CAMBIAR LAS PASTILLAS AUNQUE NO SE HAYA AGOTADO LA VIDA ÚTIL DE ESTAS.

4. PROBLEMAS PRINCIPALES ASOCIADOS A LOS DISCOS.

El estudio de los diferentes problemas de los discos demuestra que la mayoría de los mismos podrían evitarse si se prestara más atención al montaje. Esto no solo concierne a ciertos controles cuantificables mediante mediciones, sino que además debemos realizar un atento examen visual de los componentes.

LA SOLUCIÓN A TODOS LOS PROBLEMAS, QUE EN ESTE APARTADO SE DESCRIBEN, ES LA SUSTITUCIÓN DE AMBOS DISCOS ASÍ COMO LAS PASTILLAS.

APRIETE INCORRECTO

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

El apriete excesivo de los discos crea grietas en la superficie de la campana que apoya sobre el buje. Estas grietas puede no ser visibles, o ser simplemente un principio de deformación que con el paso del tiempo y los continuos cambios de temperatura, producen, en casos extremos, que se acabe desprendiendo la campana de la banda frenante. Este problema también se produce por no respetar ni el orden de apriete ni las presiones de apriete, determinadas en este capítulo, para los neumáticos.

Esta deformación es perceptible desde el principio del montaje y se detecta por vibraciones tanto en el pedal como en el volante con independencia de la velocidad, de la presión o de la temperatura del sistema de freno, con lo que resulta fácil atribuir este problema a un apriete incorrecto del disco o al montaje de un disco de freno defectuoso o mal mecanizado.

MONTAJE INCORRECTO DE LA PINZA

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:



Disco defectuoso por mal montaje de la pinza.

Si la pinza no ha sido colocada correctamente en su posición apreciaremos un desgaste irregular de las pastillas en forma cónica y antisimétrica.

Se puede apreciar el defecto desde el principio del montaje ya que escucharemos ruidos muy fuertes al frenar, así como el golpeo de las pastillas y una fuerte reducción de la eficacia del sistema de freno.

EXCESIVA HOLGURA DE LOS RODAMIENTOS DEL BUJE

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

Una excesiva holgura de los rodamientos del buje provoca un desgaste irregular de las bandas frenante de los discos. Se observa un recalentamiento del disco localizado en la zona donde rozaban las pastillas al girar el disco, debido a la holgura en los rodamientos del buje. Además se aprecia un desgaste excesivo en la zona en la que el contacto era permanente.



Disco defectuoso por holguras en los rodamientos.

Se notaran vibraciones frecuentes desde el principio que cada vez se irán haciendo más graves.

LIMPIEZA INCORRECTA DEL BUJE

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

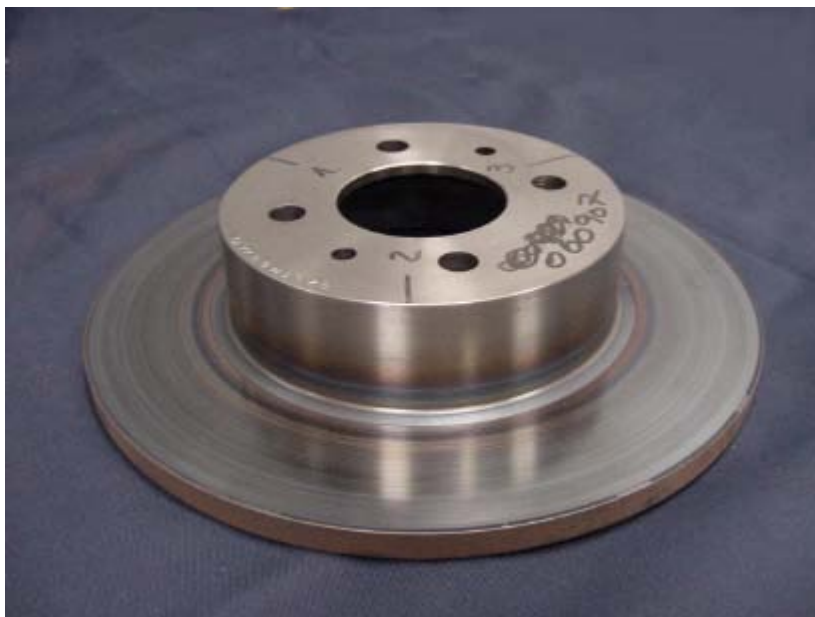
Cuando durante el montaje de un disco nuevo no se limpia correctamente la superficie de apoyo del disco en el buje, se puede producir un asentamiento inestable del disco en el buje. Esto provoca que al girar el disco se produzca una oscilación del mismo, y en cada giro, roce contra las pastillas provocando no solo el desgaste excesivo de las pastillas sino el deterioro del disco.

Esto provoca vibraciones que irán creciendo con el paso de tiempo. Además aparecerá un desgaste irregular debido a las vibraciones que se provocan en el disco. Para prevenir este efecto es fundamental limpiar perfectamente la superficie del buje. Siempre, para evitar este problema, medir con el comparador que las desviaciones máximas están dentro de las permitidas.

TEMPERATURA EXCESIVA:

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

Los discos presentan vivos colores en la gama de los azules, que principalmente son visibles en la zona del filtro térmico donde se une las pistas frenantes con la campana. Esta zona cambia de color al sufrir un calentamiento brusco que transforma la estructura del material.



Disco defectuoso por ser sometido a temperaturas excesivas.

El aumento de la temperatura hace variar la estructura del material de los discos que incluso puede formar zonas de cementita (Fe_3C), cuya estructura es nefasta para el sistema de frenos. Ya que la cementita es una estructura del hierro muy dura que provoca la aparición de vibraciones en el sistema de freno y un comportamiento del material de fricción diferente cuando entra en contacto con esa parte del disco. En comparación con el resto de la superficie del disco, en la zona donde se ha formado cementita, el coeficiente de fricción (μ) es diferente, lo tiene como resultado la diferencia de comportamiento del material de fricción en afectada por la transformación de la estructura. Además en esta zona se acumulan tensiones térmicas que favorecen la aparición y propagación de grietas.

Para que este problema no aparezca es necesario el rodar las pastillas y los discos nuevos durante unos 250 o 300 km. Periodo durante el cual las frenadas deben de ser suaves y progresivas. Y luego durante la vida de los discos evitar el calentamiento excesivo de los mismos.

Dicho calentamiento excesivo, suele tener los orígenes claramente diferenciados: una conducción en condiciones límite, o la costumbre de algunos

conductores de mantener el pie sobre el pedal, ejerciendo poca presión, en descensos prolongados para retener el vehículo.

Este problema provoca vibraciones en los discos debido a las transformaciones estructurales del disco sufridas por los excesos de temperatura. Además estas vibraciones se harán cada vez más pronunciadas con el paso de los kilómetros.

DESGASTE POR ENCIMA DEL LÍMITE MÁXIMO.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Cuando el disco ha sido usado más allá de su vida útil, es decir, cuando se han sobrepasado el espesor mínimo expresado por el fabricante, aparece un escalón en las pistas del disco que provoca una reducción de la masa del disco. Esto produce la mala disipación del calor debida a la pérdida de masa comentada anteriormente. Lo que llevará a un calentamiento excesivo, provocando la aparición de grietas, así como manchas de color más oscuro debido al sobrecalentamiento de dichas zonas.



Disco defectuoso por un excesivo superior a su límite máximo.

Es importante recordar que la pérdida de masa del disco provoca que disminuya la conductividad térmica del mismo con lo cual se produce un aumento de la temperatura mucho mayor y más rápida. Debido a ese exceso de temperatura los discos se deforman con la consiguiente aparición de ruido y vibraciones.

*Es recomendable la verificación periódica del espesor del disco, así como sustituir los discos cada dos juegos de pastillas. **Es imprescindible siempre que se sustituyan los discos, sustituir las pastillas.***

DISCOS AGRIETADOS

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los discos han sido sometidos a temperaturas de funcionamiento muy altas. En la parte exterior del disco se ven claros síntomas de sobrecalentamiento. Las altas temperaturas favorecen la aparición de las grietas, las cuales se forman al existir pequeños poros en el material, los cuales debido a las altas temperaturas, crecerán hasta forman la grieta. Las grietas hacen que el disco sea



Disco defectuoso por un la aparición de grietas.

frágil, lo cual en definitiva, favorece el crecimiento de la grieta hasta romper en los partes el disco.

Las grietas se producen debido a las deformaciones a las que son sometidos los discos y los impactos que las pastillas producen sobre los mismos. Se provocan vibraciones y existe la posibilidad de que una de las grietas crezca tanto que rompa el disco, con el consiguiente riesgo que ello conlleva.

Antes de llegar a la rotura del disco, las características friccionales del conjunto pastilla / disco se ven fuertemente alteradas como consecuencias de la ruptura de la tercera capa. Con resultados imprevisibles sobre el frenado del vehículo y en cualquier caso mostrando un desgaste prematuro de las pastillas de freno. En la imagen vemos como el desgaste prematuro de las pastillas ha hecho muescas en el disco. Se aprecia claramente el surco que el soporte de la pastilla ha dejado sobre el borde exterior del disco.

Este tipo de problema se reconoce por las fuertes vibraciones que vamos a tener sobre el pedal y dirección, así como el ruido que provoca en cualquier situación de marcha.

DESGASTE EXCESIVO DE LOS DISCOS DEBIDO AL DESGASTE TOTAL DE LAS PASTILLAS

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Si las pastillas se han desgastado tanto que ha llegado haber un contacto metal – metal entre el disco y el soporte de la pastilla, se aprecia un desgaste muy abrasivo que deja unos surcos muy pronunciados, también se observa transformación de material entre el disco ya que aparecen zonas oscuras.



Disco defectuoso por el desgaste total de las pastillas.

Se puede reconocer este problema por la disminución de la eficacia del freno así como por el ruido que produce al frenar, con el consiguiente incremento de la temperatura que se produce en el contacto metal – metal. Para evitarlo se debe de verificar el desgaste de las pastillas cada 10.000 km. así como debe de verificarse el estado del circuito eléctrico del testigo del desgaste para que un fallo de este no produzca el problema descrito.

DISCO DAÑADO PORQUE EL MATERIAL DE FRICCIÓN ESTABA VITRIFICADO

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Este problema está causado por materiales de fricción de baja calidad y en vehículos muy exigentes con el freno; debido a sus altas prestaciones, a ser vehículos dedicados al reparto u otras condiciones extremas impuestas por el conductor.

Los principales síntomas de este problema son frenadas muy largas, ya que hay una pérdida importante de propiedades de frenado. El pedal además de sentirse muy duro, se pierde toda la sensación de frenado.



Disco defectuoso por la mala calidad del material de fricción.

Este problema es frecuente cuando se emplean pastillas de freno con un alto contenido de resinas para facilitar su producción o cuando las pastillas no “scorchadas” no han sido suficientemente curadas en prensa o en el horno. Normalmente este problema va asociado también a un alto nivel de chirridos.

Es importante destacar que las pastillas de freno no se recuperan después de haber sufrido este problema. Con lo cual, deben ser sustituidas por unas nuevas pastillas de freno de calidad contrastada.

SURCOS Y RAYAS PROFUNDAS

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA



Discos defectuosos por la generación de surcos y grietas profundas.

La formación de rayas o surcos profundos pueden haber sido causados por la interposición de diferentes materiales extraños entre la pastilla y el disco. Estos materiales se pueden haber introducido entre la pastilla y el disco durante la conducción. También puede estar provocado por una acumulación del material duro de la pastilla al tener un mal proceso de mezclado o elementos extraños durante el proceso de fabricación.

Los síntomas que podemos detectar son la aparición de ruidos muy desagradables tanto durante el proceso de frenado, como sin frenar. Se aprecia una reducción de la eficacia de frenado debido a la reducción de la superficie útil de contacto entre el disco y la pastilla.

DEPÓSITOS DE MATERIAL DE FRICCIÓN EN LOS DISCOS

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se forman depósitos del material de fricción sobre el disco que se han quedado adheridos sobre el mismo debido a una alta temperatura.

Se aprecian vibraciones muy leves en un principio y dependiendo de la presión de frenado, pero al ir transcurriendo el tiempo las vibraciones se hacen mayores así como aparecen ruidos.



Disco defectuoso debido a los depósitos de material dejado por las pastillas.

Este tipo de problemas es típico de materiales de fricción de baja calidad en los que a partir de una cierta temperatura se produce la transferencia del material de fricción al disco con la consiguiente pérdida de la planitud de éste, así como la modificación de las características funcionales del conjunto pastilla / disco.

5. RESUMEN.

- μ Inspeccionar periódicamente (cada 20000km. el estado de los discos).
- μ **Siempre cambiar los discos por eje (pareja)** ya que el coeficiente de fricción(μ) correspondiente al disco de freno, no sólo varía ligeramente de un fabricante a otro, sino que evoluciona con el desgaste del disco. Un mayor coeficiente de fricción(μ) en una rueda supone necesariamente, el no poder frenar el vehículo sobre una trayectoria recta.
- μ Es imprescindible el **limpiar** correctamente **el asiento del disco en el buje**, ya que de no asentar bien el disco en el buje, se puede producir la deformación del disco, produciéndose un frenado irregular que haría vibrar el volante.
- μ Proceder al apriete de los tornillos de sujeción alternativamente y de forma gradual antes de realizar el apriete final con la **llave dinamométrica** y según los valores del par recomendados por el fabricante del vehículo.
- μ **Limpiar** correctamente **el aceite anti-corrosión** de los discos, ya que de otra forma, los restos de dicho aceite podría contaminar el material de fricción modificando sus características friccionales.
- μ **Medir el alabeo** de los discos mediante un reloj comparador. Si la diferencia, entre el valor máximo y mínimo, fuese mayor de 0,125 mm. proceder a desmontar el disco para inspeccionar la superficie de asiento de éste y del buje de rueda y volver a montar en una posición diferente a la anterior para comprobar que el alabeo está dentro del valor máximo admisible.
- μ Es imprescindible **frenar suavemente durante los primeros 250 km.** a fin de realizar un buen asentamiento entre las pastillas y los discos. Este asentamiento prolongará la vida de los discos así como el de las pastillas, además de mejorar la eficiencia del frenado.
- μ Inspeccionar periódicamente el espesor de los discos, en la superficie de trabajo. Si el espesor medido está por debajo del mínimo espesor especificado por el fabricante, deberá de ser sustituido el juego de discos. Para saber cual es el mínimo espesor del disco suele venir grabado sobre el canto del disco, con las letras MIN-TH-XX (MINimum THickness XX). En el catalogo del fabricante también aparece la medida del mínimo espesor. Es importante sustituir los discos cuando se encuentran por debajo de esta medida, debido a que la rampa de calentamiento es mucho más acusada produciendo fading,

desgaste prematuro en las pastillas y otros tipos de problemas no deseados en el sistema de frenos, como consecuencia del incremento de temperatura.

- μ Nunca se deben rectificar los discos a menos que el torno con el que se cuente tenga la precisión necesaria para ello, y la pasada sea una pasada a limpiar, no a desbastar. Esto significa que para rectificar discos se deben dar una serie de consideraciones, ya que nunca debemos de sobrepasar el mínimo espesor recomendado por el fabricante. Al igual que no se debe de rectificar discos en tornos, cuya precisión, rigidez de bancada, etc. no sea la requerida para dejar un acabado superficial bueno. Recordaremos que los discos cuando son fabricados, como todo elemento rotante del vehículo y para que no introduzca vibraciones en el automóvil, deben de ser equilibrado tanto estática como dinámicamente. En ningún caso cuando nos rectifican un disco nos comprueban si el disco sigue estando equilibrado, con lo cual será muy probable, y sobre todo si el rectificado ha sido muy profundo que los discos nos produzcan vibraciones, pero no solo al frenar sino que incluso por el mero hecho de girar.

- μ Cambiar siempre las pastillas con el cambio de discos ya que mantener las pastillas usadas, se reducirán de forma importante tanto la vida de los discos como de las pastillas y disminuirá la eficacia del sistema de freno.

CAPÍTULO 6

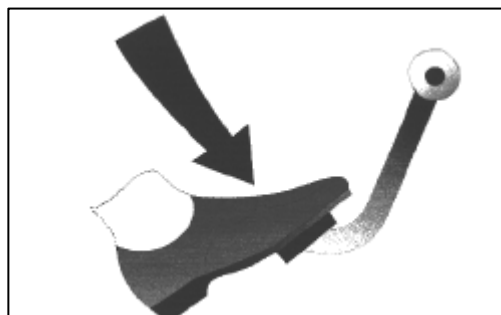
DIAGNOSIS Y AVERÍAS MÁS FRECUENTES EN EL SISTEMA DE FRENO

1. INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS.

Lo primero que debemos de realizar antes de comenzar a trabajar en el sistema de freno de cualquier vehículo es el hacer una inspección previa la cual debe de incluir una breve charla con el conductor del vehículo ya que él quien mejor nos puede decir lo que le sucede al coche y a partir de ahí comenzar a trabajar.

PRUEBAS DE PEDAL

Presione y suelte el pedal varias veces (con el motor en marcha si se trata de sistemas con servofreno) y compruebe si hay fricción o ruidos. El movimiento del pedal debe ser suave y volver a situarse rápidamente, sin chirridos, ni del pedal ni de los frenos.



Pruebas en el pedal

Presione fuertemente el pedal y compruebe que el tacto es flexible, calcule la resistencia del pedal. El tacto del pedal así como la carrera del mismo ha de ser firme, no debe de existir un comportamiento esponjoso.

Revise las fugas del líquido de frenos. Mantenga una ligera presión sobre el pedal durante 15 segundos y compruebe que no hay movimiento del pedal. Repita la prueba presionando fuertemente sobre el pedal.

Presione ligeramente el pedal y suéltelo para comprobar que se encienden y se apagan las luces de frenado.

INSPECCIÓN DEL CILINDRO MAESTRO Y LIQUIDO DE FRENOS:

Revise que estén abiertos y limpios los orificios de ventilación en la tapa de depósito del cilindro maestro.

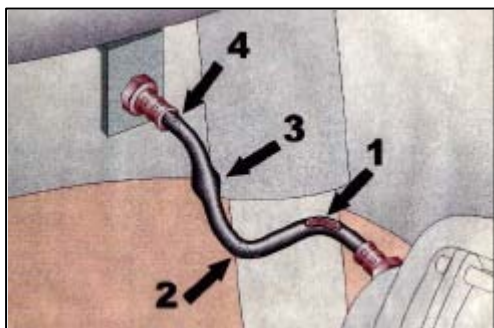
Compruebe que el nivel del líquido está próximo a la parte superior del depósito (ambos lados si son frenos dobles), y que esté limpio. Añada líquido en caso necesario pero cerciorándose de que el líquido a añadir es de la misma calidad que el que el vehículo lleva.

Revise si hay fugas externas de líquido. Vea si hay humedad alrededor del cuerpo, conexiones y tuerca de sujeción. Compruebe a su vez el interruptor hidráulico de la luz de frenado (sí lo hubiera).

INSPECCIÓN DE LATIGUILLOS Y TUBERÍAS:

Levantando el capó, revise las mangueras, tubería y conexiones y compruebe que no hay fugas. Revise los platos de anclaje y las ruedas para ver si hay señales de fugas de líquido o de grasa.

Compruebe que la tubería no está abollada ni tiene daños similares. Revise el estado de la manguera (que sea flexible, no tenga grietas, cortes o protuberancias).



Inspección de los latiguillos de freno.

Se debe de sustituir los manguitos cuando se presente cualquiera de los siguientes defectos.

1. Rasgaduras en la superficie del manguito.
2. Cuarteado de la superficie.
3. Inflamamiento del manguito.
4. Rozaduras en la proximidad de los racores o terminales.

INSPECCIÓN DESGASTE DE LAS PASTILLAS

Cada 10.000 km. o cada vez que revise el vehículo, quite la rueda delantera derecha y observe el estado de desgaste de las pastillas. Si sólo quedan 3 mm. de pastilla utilizable, hay que cambiar de pastillas. Si no está seguro, desmonte el resto las ruedas y examine las pastillas.

Si existe un sistema de aviso de desgaste de las pastillas revise todo el cableado del mismo para ver que sigue cumpliendo su función.

INSPECCIÓN DE LOS MECANISMOS DE FRENO:

Revise las pastillas y observe que el material de fricción está correctamente pegado al soporte, si existen grietas, desgaste anormal o si tienen partículas extrañas incrustadas ó el material está deformado.

Compruebe que las piezas de sujeción de las pastillas (pernos, resortes, grapas, etc.) están correctamente instaladas y que no están dañadas.

2. AVERÍAS MÁS COMUNES Y POSIBLES SOLUCIONES.

Lo que ha continuación se presenta es un resumen de las averías más frecuentes, la posible causa que las ha producido y cual sería la solución más recomendable. Pero como se puede entender pueden existir averías aquí reflejadas que puedan estar producidas por diferentes causas, e incluso que existan soluciones más apropiadas que las que a continuación se analizan. En definitiva, sirva este apartado simplemente como guía para la posible localización y solución de las averías.

EXCESIVA CARRERA DE PEDAL

<i>CAUSAS PROBABLES</i>	<i>SOLUCIONES</i>
1.-Fugas en el circuito 2.-Aire en el sistema 3.-Líquido de freno inadecuado o contaminado. 4.-Bajo nivel de líquido de frenos 5.-Pastillas muy desgastadas.	1.-Revisar todo el circuito y reemplazar la parte dañada. 2.-Purgue el sistema y rellénelo. 3.-Lave el sistema con alcohol metílico y luego llénelo con líquido adecuado. 4.-Llene el deposito de líquido de frenos y purgue el sistema. 5.-Sustituya las pastillas

PEDAL ESPONJOSO

<i>CAUSAS PROBABLES</i>	<i>SOLUCIONES</i>
1.-Aire en el sistema hidráulico 2.-Líquido inadecuado o contaminado con agua. 3.-El pistón del caliper agarrotado. 4.-Latiguillo debilitado 5.-Pinza gripada	1.-Elimine el aire purgando el sistema. 2.-Lave con alcohol metílico y use el líquido adecuado. 3.-Limpie el alojamiento del pistón y reemplace el reten y el guardapolvo 4.-Instale latiguillos nuevos. 5.-Sustituya la pinza.

HAY QUE PISAR MUY FUERTE EL PEDAL PARA FRENAR

<i>CAUSAS PROBABLES</i>	<i>SOLUCIONES</i>
<p>1.-Las pastillas están impregnadas de grasa o líquido de frenos.</p> <p>2.-Desplazamiento del pistón del caliper gripado.</p> <p>3.-Líquido inadecuado o poca cantidad del mismo.</p> <p>4.-Cilindro maestro o de rueda pegados.</p> <p>5.-El pedal de freno se atora en su eje.</p> <p>6.-Pastillas cristalizadas.</p> <p>7.-Discos dañados.</p> <p>8.-Mal funcionamiento del servofreno.</p>	<p>1.-Revise por donde se produce la perdida y sustituya las pastillas.</p> <p>2.-Limpie la cámara del pistón y reemplace el retén y guardapolvos.</p> <p>3.-Lave el sistema con alcohol metílico, llénelo con líquido adecuado y púrguelo.</p> <p>4.-Revise todos los elementos hidráulicos y sustituya el agarrotado.</p> <p>5.-Lubríquelo y compruebe el casquillo.</p> <p>6.-Instale pastillas nuevas.</p> <p>7.-Reemplace los discos.</p> <p>8.-Verificar su funcionamiento y reparar las partes dañadas.</p>

DISMINUYE LA CARRERA DE PEDAL

<i>CAUSAS PROBABLES</i>	<i>SOLUCIONES</i>
<p>1.-Goma del cilindro maestro hinchada.</p> <p>2.-El pistón del cilindro principal no vuelve a su lugar.</p> <p>3.-Resortes retractores débiles.</p> <p>4.-Pistón del caliper pegado</p>	<p>1.-Reemplace retenes y guardapolvos y lave el sistema. Llénelo con líquido nuevo.</p> <p>2.-Repare el cilindro principal o sustitúyalo.</p> <p>3.-Reemplace los resortes.</p> <p>4.-Limpie la cámara del pistón, lubrique y cambie el retén.</p>

SE BLOQUEA UNA RUEDA

<i>CAUSAS PROBABLES</i>	<i>SOLUCIONES</i>
1.-Rodamientos de rueda sueltos. 2.-Se han hinchado las gomas de los cilindros de rueda o el retén del pistón del caliper. 3.-Se agarrotan los pistones en el cilindro de rueda. 4.-Obstrucción de alguna conducción. 5.-Pastilla defectuosa. 6.-El cable del freno de mano se engancha.	1.-Ajuste o sustituya los rodamientos. 2.-Reconstruya los cilindros / caliper. Utilice nuevos juegos de reparación. 3.-Reemplace los pistones. 4.-Reemplace la conducción obstruida. 5.-Reemplácela por la pastilla especificada. 6.-Lubríquelo y verifique el correcto funcionamiento del sistema.

PULSACIONES DE PEDAL DE FRENO

<i>CAUSAS PROBABLES</i>	<i>SOLUCIONES</i>
1.-Discos alabeados. 2.-Rodamientos de rueda gastados o sueltos. 3.-Vibraciones en el pedal (JUDDER)	1.-Cambie los discos. 2.-Reemplácelos. 3.-Reemplace las pastillas y los discos, ya que este problema no se puede corregir de otra forma.

LOS FRENS PIERDEN EFICACIA EN CALIENTE

<i>CAUSAS PROBABLES</i>	<i>SOLUCIONES</i>
1.-Pastilla de baja calidad. 2.-La pastilla hace mal contacto. 3.-Disco muy delgado.	1.-Reemplacela por unas de calidad contrastada. 2.-Verifique la causa e instale pastillas nuevas. 3.-Reemplace los discos.

EL COCHE OSCILA HACIA UN LADO

<i>CAUSAS PROBABLES</i>	<i>SOLUCIONES</i>
<p>1.-Pastillas de un lado impregnadas de grasa o líquido.</p> <p>2.-Los neumáticos no tienen la presión adecuada o presentan un desgaste desigual o un dibujo de diseño distinto.</p> <p>3.-Pastillas cristalizadas.</p> <p>4.-Cilindro de la rueda bloqueado.</p> <p>5.-Resortes de retorno sueltos o debilitados.</p> <p>6.-Una rueda se arrastra.</p> <p>7.-Dirección con holguras.</p> <p>8.-Cotas de la dirección.</p> <p>9.-Tubería hidráulica tapada o doblada.</p> <p>10.-Rótulas de dirección con holguras.</p> <p>11.-Discos en malas condiciones</p> <p>12.-Amortiguadores en mal estado.</p>	<p>1.-Cambie las pastillas del eje completo. Verifique posibles pérdidas de líquido.</p> <p>2.-Hinche los neumáticos a la presión recomendada. Ponga neumáticos del mismo modelo en el eje delantero y el otro par con dibujo idéntico en el eje trasero.</p> <p>3.-Sustituya las pastillas.</p> <p>4.-Cambie el cilindro de rueda.</p> <p>5.-Revise los resortes y reemplácelos.</p> <p>6.-Compruebe si hay una pastilla suelta y la causa.</p> <p>7.-Repárela y ajústela.</p> <p>8.-Haga una alineación de dirección.</p> <p>9.-Repare o reemplace la tubería.</p> <p>10.-Reemplace las rótulas de dirección.</p> <p>11.-Sustitúyalos siempre por pareja.</p> <p>12.-Sustitúyalos.</p>

LOS FRENOS VIBRAN

<i>CAUSAS PROBABLES</i>	<i>SOLUCIONES</i>
<p>1.-Pastillas con grasa, líquido o polvo.</p> <p>2.-Resorte de retroceso roto o debilitado.</p> <p>3.-Rodamientos de rueda sueltos.</p> <p>4.-Discos alabeados.</p> <p>5.-Ruedas desequilibradas.</p> <p>6.-Rotulas en mal estado.</p>	<p>1.-Sustituir pastillas del eje completo.</p> <p>2.-Reemplácelo.</p> <p>3.-Reajústelos o reemplácelos.</p> <p>4.-Cambie los discos, siempre por el eje.</p> <p>5.-Equilibre las ruedas.</p> <p>6.-Sustitúyalas.</p>

LOS FRENSOS CHIRRIAN

CAUSAS PROBABLES	SOLUCIONES
1.-Lamina antirruido doblada, rota o fuera de su sitio. 2.-Partículas metálicas o polvo incrustado en las pastillas. 3.-Pastillas de baja calidad. 4.-Las pastillas rozan contra el caliper. 5.-Resortes de sujeción débiles o rotos. 6.-Rodamientos de las ruedas sueltos. 7.-El pistón del caliper no retrocede correctamente. 8.-Discos en mal estado. 9.-Pastillas muy desgastadas *.	1.-Sustituir las pastillas del eje completo. 2.- Sustituir las pastillas del eje completo. 3.-Reemplace las pastillas por unas de calidad contrastada. 4.-Aplique lubricante en los apoyos de las pastillas con el caliper. 5.-Reemplace las piezas defectuosas. 6.-Verificar y sustituir en caso necesario. 7.-Repáre el caliper. 8.-Sustituya los discos del eje completo. 9.-Instale pastillas nuevas de calidad contrastada.

* Aunque la compresibilidad de un material de fricción depende de su propia composición y estructura, dicha compresibilidad es totalmente proporcional al espesor de la pastilla de freno. En consecuencia, aunque la compresibilidad relativa se mantiene, la compresibilidad total disminuye con la vida (espesor) de la pastilla y frecuentemente se puede situar en una zona crítica para producir chirridos. La instalación de pastillas nuevas, suele resolver este problema.

3. ANÁLISIS DE PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

FADING

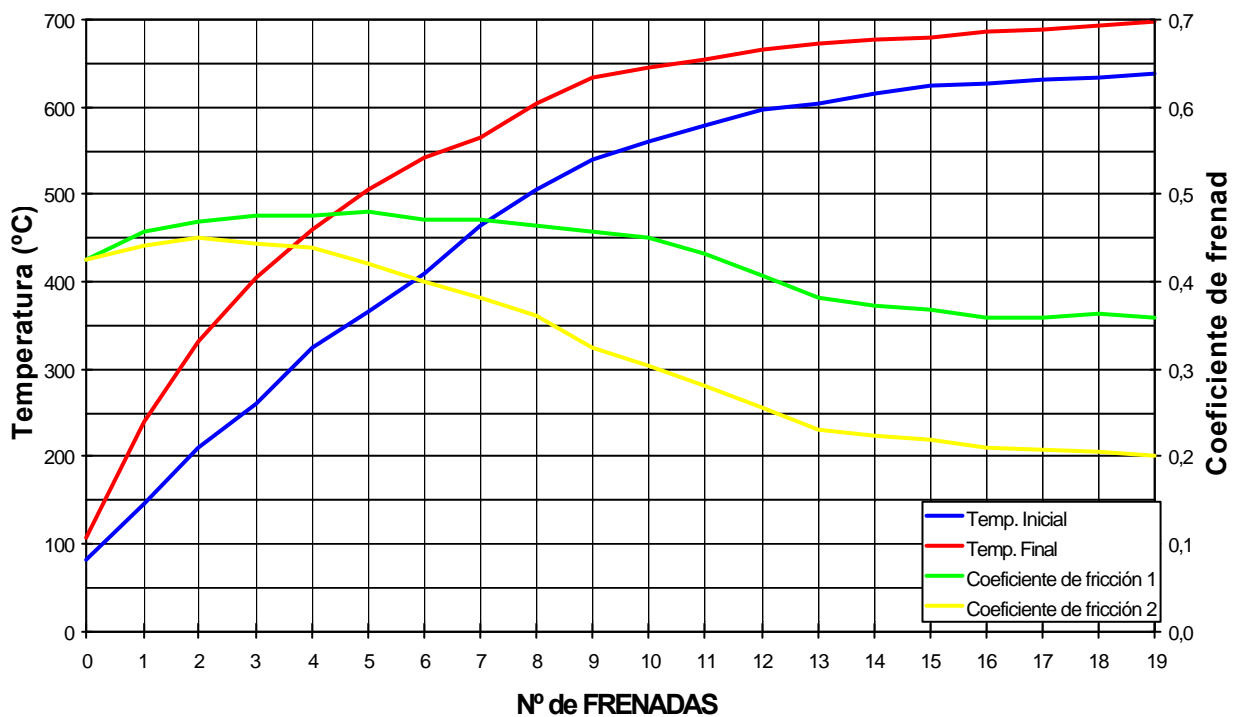
El fading es uno de los fenómenos más peligrosos que se pueden dar en un sistema de freno, ya que, el fading es la pérdida de eficacia de frenada en caliente.

El material de fricción presenta distintos valores de coeficiente a diferentes temperaturas, si este coeficiente de fricción comienza a bajar demasiado rápido y a una temperatura relativamente baja; se producirá el fenómeno del fading cuando la temperatura del sistema sea superior a ese límite que presenta el material de fricción, con lo cual el coeficiente caerá y la eficacia de frenado se verá reducida.

En la gráfica podemos ver la comparación de dos materiales de fricción distintos, en lo que se denomina un test de fading. El test de fading se realiza en un dinamómetro de inercia, esto es una máquina que es capaz de simular las condiciones impuestas en un vehículo, con la particularidad de que todo su equipo de sensores son capaces de medir todos los parámetros de la frenadas.

El test de fading está compuesto por 20 frenadas consecutivas en las cuales se mide tanto la temperatura de inicio de la frenada, así como la temperatura final que se alcanza. Además del coeficiente de fricción que mide la capacidad que tiene el material de fricción de frenar el vehículo. Todas las frenadas se realizan desde 100 km/h hasta 0 km./h, el parámetro que siempre se debe de cumplir es que la deceleración media obtenida siempre sea de 4 m/s^2 . Para lo cual las presiones aplicadas en el circuito son las que consiguen la deceleración media antes comentada.

TEST DE FADING



Comparativa de dos materiales en un ensayo de fading.

En la gráfica se observa como el **material 1** tiene un comportamiento bastante bueno con la temperatura, ya que aunque cae su coeficiente con el aumento de la temperatura siempre se mantiene en valores que podemos considerar aceptables para un material de fricción. Vemos como cuando la temperatura ya es de 640°C se mantiene aún en un valor de $\mu = 0,46$. Si consideramos que 640°C es una temperatura muy alta para una conducción normal, es decir, en circunstancias normales de conducción descendiendo un

puerto, nuestros frenos podrán alcanzar esa temperatura aunque no abusemos de ellos. A partir de este punto su descenso es más pronunciado pero siempre manteniendo el valor del coeficiente por encima de $\mu = 0,35$ lo cual permite mantener el control del vehículo. Coeficientes de fading inferiores a $\mu = 0,25$ puede resultar peligroso, en determinadas circunstancias.

Sin embargo vemos como el **material 2**, presentará problemas de fading ya que en el mismo punto descrito anteriormente su coeficiente está más bajo, llegando a un valor de $\mu = 0,33$. Desde este punto sigue bajando hasta alcanzar valores de $\mu = 0,20$ que lógicamente notaremos que la pérdida de eficacia es muy considerable.

El fading es fácilmente perceptible en el vehículo, ya que a medida que intentemos frenar vamos a notar como el pedal cada vez se va más al fondo para obtener la misma deceleración y en consecuencia hay que aplicar mayor presión sobre el pedal de freno. En esta situación la sensación de frenado es reducida. Intentaremos parar el vehículo pero este no se detendrá. El aumento de la carrera de pedal es debido no solo a la compresibilidad de las pastillas, si dicha compresibilidad es demasiado alta en caliente, sino también a la caída del coeficiente de fricción por el efecto de la temperatura.

Es importante saber que una vez sufrido un fading, si se deja enfriar el sistema, el material de fricción se recuperará en parte volviéndose a comportar casi como antes de haber sufrido el problema. Lógicamente si volvemos a someter al material a condiciones extremas se puede volver a producir el mismo fenómeno. Conviene diferenciar en estas situaciones si el fading que ha aparecido es de carácter inicial, es decir, debido a la fase de rodaje de las pastillas, en cuyo caso dicho problema desaparecerá con el uso, o si por el contrario es de carácter estructural en cuyo caso no desaparecerá nunca durante la vida en servicio de las pastillas de freno. En este último caso es necesario reemplazar las pastillas de freno por otras de otra marca de calidad contrastada.

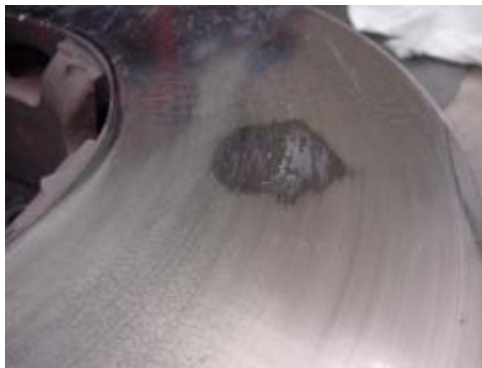
Conviene diferenciar el problema del fading, del problema producido cuando el circuito de freno contiene agua que presenta prácticamente los mismos síntomas. También, discos de freno muy desgastados pueden producir un incremento anormal de la temperatura que sitúa al material de fricción en zona de fading.

JUDDER

El judder es un fenómeno debido a las vibraciones del sistema. Es decir, las vibraciones se hacen, más o menos palpables para el conductor, dependiendo en gran medida, del conocimiento de su propio vehículo. El judder puede ir acompañado por ruido aunque siempre de baja frecuencia, ya que recordemos que el ruido está producido por las vibraciones que alcanzan las frecuencias audibles.

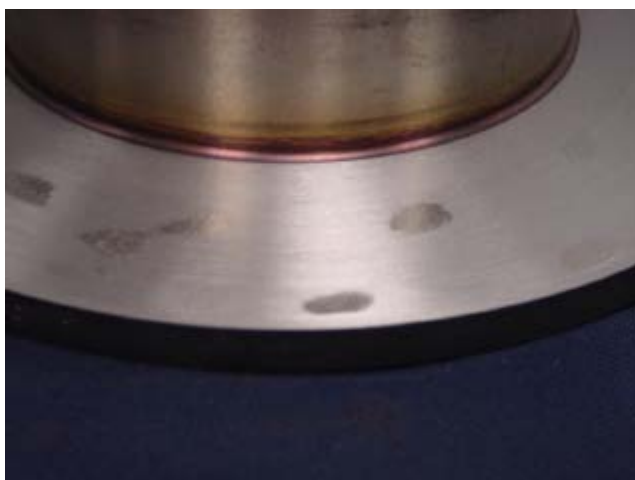
El judder está clasificado en dos grupos:

El primero es el *judder* “frío” (cold judder) estas vibraciones son provocadas por imperfecciones de los discos tales como defectos de mecanizado en origen, o por defectos de montaje, holguras excesivas. Esto significa, todas aquellas causas que provoquen un aumento de la deformación del disco. Este **cold judder** se suele ocasionar a baja presión y baja deceleración. El paso de las pastillas por estas imperfecciones provoca las vibraciones al ser repelidas contra el pistón. El cold judder puede ser notado tanto en el pedal, como en el volante, si este judder es muy acentuado se notará como vibraciones, como ruidos o ambos. Obviamente la calidad de las pastillas de freno puede aumentar o reducir el problema.



Mancha de “cold judder”.

El segundo grupo es el *judder* “caliente” (hot judder). Son vibraciones que aparecen a alta temperatura durante procesos de frenado a presiones medias y velocidades altas ya que las frenadas en estas condiciones se alargan mucho en el tiempo, y la temperatura aumenta bastante hasta valores de 400°C a 500°C. Se produce **hot judder** cuando la fricción entre las pastillas – discos es más elevada en alguna de las zonas del disco.



Manchas de “hot judder”.

En esa zona, la energía que se disipará será mayor con lo cual la temperatura será más alta aumentando rápidamente. Las vibraciones aparecen en los puntos calientes, que suelen estar distribuidos regularmente por el área del disco. Cuando estos puntos calientes se enfrían crean manchas oscuras o zonas de

distinta coloración siendo más o menos visibles. Estas manchas son el resultado de la transformación de la estructura del material del disco. La estructura pasa de estar compuesta por un grafito laminar a ser de cementita. Esta estructura se caracteriza por su elevada dureza. Este cambio de estructura suele estar ocasionado por el propio material de fricción, el cual tenga alguna zona donde su coeficiente varíe, ya que puede deberse a incrustaciones de materias primas mal

mezcladas o simples variaciones de coeficiente por efecto de la temperatura en las distintas zonas de la pastilla de freno.



Transformación del material del disco. El disco de la imagen está rectificado y aún así las manchas provocadas por el "hot judder" no se eliminan.

La estructura del material del disco que se ha transformado ha pasado a ser cementita (Fe_3C), estructura que se caracteriza por su elevada dureza, con lo que si se sigue frenando en estas circunstancias, estas zonas se desgastarán menos, contribuyendo a acrecentar las vibraciones. El rectificado de los discos no solucionará este problema. Por ello, el efecto del **hot judder** es uno de los defectos más estudiados, que intentan ser eliminados con la investigación de nuevas calidades de materiales de fricción que puedan ofrecer una relación de compresibilidad en caliente y conductividad térmica adecuada para evitar en lo posible dicho problema, que va en aumento en las últimas generaciones de vehículos con masas no suspendidas más ligeras. Es decir, las ruedas, las suspensiones, las pinzas de freno, etc. cada vez se fabrican en materiales más ligeros como el aluminio que reducen el peso del conjunto y hacen más fácil su excitación.

RUIDO

Los ruidos que se producen el sistema de freno vienen derivados de las vibraciones a las que son sometidas tanto las pastillas, como los discos, los portapastillas, las pinzas, etc. debido al hecho de estar sometidos a un contacto entre varios elementos donde existe fricción entre ambos elementos. Aunque pueda parecer que durante el frenado las pastillas y el disco se encuentran en un contacto *perfecto* no es así, ya que las pastillas están siendo sometidas, al igual que el resto del sistema, a constantes microgolpes, que producen las vibraciones. Recordemos que cualquier material cuando es sometido a una percusión tiende a vibrar de una forma característica, es decir, sus modos de vibración dependerán de su masa, su densidad, su módulo de elasticidad, etc.

Los ruidos se producen cuando esa vibración coincide con una frecuencia propia de algún elemento de los que compone el sistema, bien puede ser el portapastillas, la pinza, la mangueta... esto quiere decir que los ruidos si bien están causados por la fricción entre discos y pastillas, estos son simplemente los excitadores del sistema.

Recordemos que para que se produzca un ruido necesitamos 3 elementos fundamentales, estos son: el excitador, el resonador y el propagador. Al igual que cuando cualquiera de nosotros habla, el excitador son nuestras cuerdas vocales que vibran produciendo ondas en el aire, que es el propagador, teniendo como resonador nuestra laringe. En el caso del sistema de freno el excitador son las pastillas que produce las vibraciones sobre el disco, que suele ser el resonador y lo que no varía es el propagador que sigue siendo el aire.

El ruido es una de los principales problemas del sistema de frenos, ya que, puede llegar a ser impredecible. En muchos casos el ruido se produce en una determinada serie de un modelo mientras que en la siguiente serie de n° de chasis del mismo modelo no se produce. Existe la posibilidad que pequeños cambios en los hábitos de conducción, estado de carga o condiciones medio ambientales dan lugar a la aparición de chirridos.

¿Cómo evitar que se produzca el ruido? Los desarrollos iniciales de las formulaciones, están encaminados a que este y otros efectos indeseables no aparezcan. Pero el rango de factores que afectan a este efecto, obliga a tomar otro tipo de medidas, ya que aunque en su inicio el material no produzca ruido, puede que el estado de los discos, de las suspensiones, de las rotulas, etc. haga que este aparezca. Para evitar esto, los fabricantes introducen láminas anti – ruido. Estos elementos evitan que las vibraciones se propaguen a través del portapastillas. En muchos casos éstos elementos cumplen su función pero no son suficientes ya que la aleatoriedad del suceso hace que aún con estos elementos preventivos continúe dándose este problema en algunos casos. En otras ocasiones se intenta modificar el comportamiento de la pastilla frente a las vibraciones por medio de la variación de la superficie de contacto con el disco, es

decir, lo que se realizan son canales, ranuras o chaflanes, que además de servir para la eliminación de partículas y refrigeración, consiguen que varíe el modo de vibración con lo cual puede conseguir que no surja el ruido.

La amplitud de un sonido tendría que medirse como una variación de presión en el aire, pero el oído humano tiene respuesta casi logarítmica, con lo cual no podríamos hablar en términos de variación de presión totales. Por eso se crearon las unidades de presión denominadas decibelios, que representan variaciones de presión de aire en escala logarítmica. El oído humano puede percibir desde 30 dB hasta 140 dB, empezando en 120 dB el umbral del dolor.

El hecho de que la respuesta fisiológica del oído humano sea logarítmica supone que amortiguadores de ruido del orden del 50 % al nivel mecánico, sobre un nivel de referencia de 100 dB solo represente un descenso en la percepción del ruido de 3 dB o de un 3 %. Dicho ejemplo ilustra claramente lo difícil que resulta la atenuación de ruidos no solo en el campo específico del freno sino en cualquier otro área en la que se pretendan atenuar los ruidos.

En la siguiente tabla vemos como va creciendo la potencia requerida para escuchar un sonido a unos determinados decibelios, a un metro de distancia y si la onda tiene una frecuencia de 1000 ciclos por segundo. Si partimos de un altavoz estándar que con 1 W de potencia consigue que escuchemos la música a 90 dB, estando situados nosotros a 1 m del altavoz, obtenemos la siguiente tabla.

Decibelios	Potencia necesaria
90 dB	1 W
93 dB	2 W
96 dB	4 W
99 dB	5 W
102 dB	16 W
105 dB	32 W
108 dB	64 W
111 dB	128 W
114 dB	256 W

Nivel de referencia

Como se puede observar en la tabla anterior, para aumentar la sensación fisiológica del nivel acústico, por ejemplo, de 102 dB a 108 dB, supone únicamente un aumento en la sensación acústica de un 5% (6 dB). Sin embargo, esto requiere incrementar la potencia de 16 W a 64 W, o lo que es lo mismo, un incremento de la potencia del 200 % (48 W).

En el caso de necesitar reducir la sensación acústica, es decir si lo que necesitamos es amortiguar el ruido, el comportamiento es exactamente el mismo que el descrito anteriormente para hacerlo crecer. De ahí, lo difícil que resulta atenuar los ruidos, ya sea de tipo general o específicamente del sistema de freno.

El porqué de dicho comportamiento del oído humano reside en que su respuesta biológica es logarítmica y por lo tanto, importantes variaciones de presión (SPL) se traducen en pequeñas variaciones en la sensación acústica.

A continuación se describen los diferentes tipos de ruido que se pueden producir en un sistema de freno.

GROAN: Denominado “*gruñido*” se produce a baja frecuencia, cuando el vehículo se desplaza a muy baja/media velocidad y accionamos los frenos con baja presión. Es un tipo de ruido grave muy fácil de detectar en entradas en los garajes o en circunstancias de tráfico lento. Suele ser un ruido no detectado por los usuarios y muy frecuente en vehículos dotados de cambios automáticos.

JUDDER: Como ya vimos en el capítulo que dedicamos a las vibraciones, el *judder* es una vibración que puede convertirse en ruido audible. Al igual que el groan es un tipo de ruido grave que no suele ser detectado por el usuario al no ser que sea un judder muy grave que introduzca vibraciones en el volante, en el pedal del freno o en la carrocería.

SQUEAL: Este tipo de ruido es el más conocido por todos los usuarios de los vehículos. Vulgarmente se le conoce como “*chirridos*”, se producen cuando la frecuencia de vibración de la pastilla contra el disco es lo suficientemente alto. Este tipo de ruido es agudo, muy molesto para el oído humano. Existe una variedad de squeal denominado HF Squeal (High Frequency Squeal) o “*chirrido de alta frecuencia*” que se produce a mayor frecuencia y es un ruido muy agudo muy alto en decibelios, en torno a 100 dB A, con lo cual bastante molesto para el conductor.

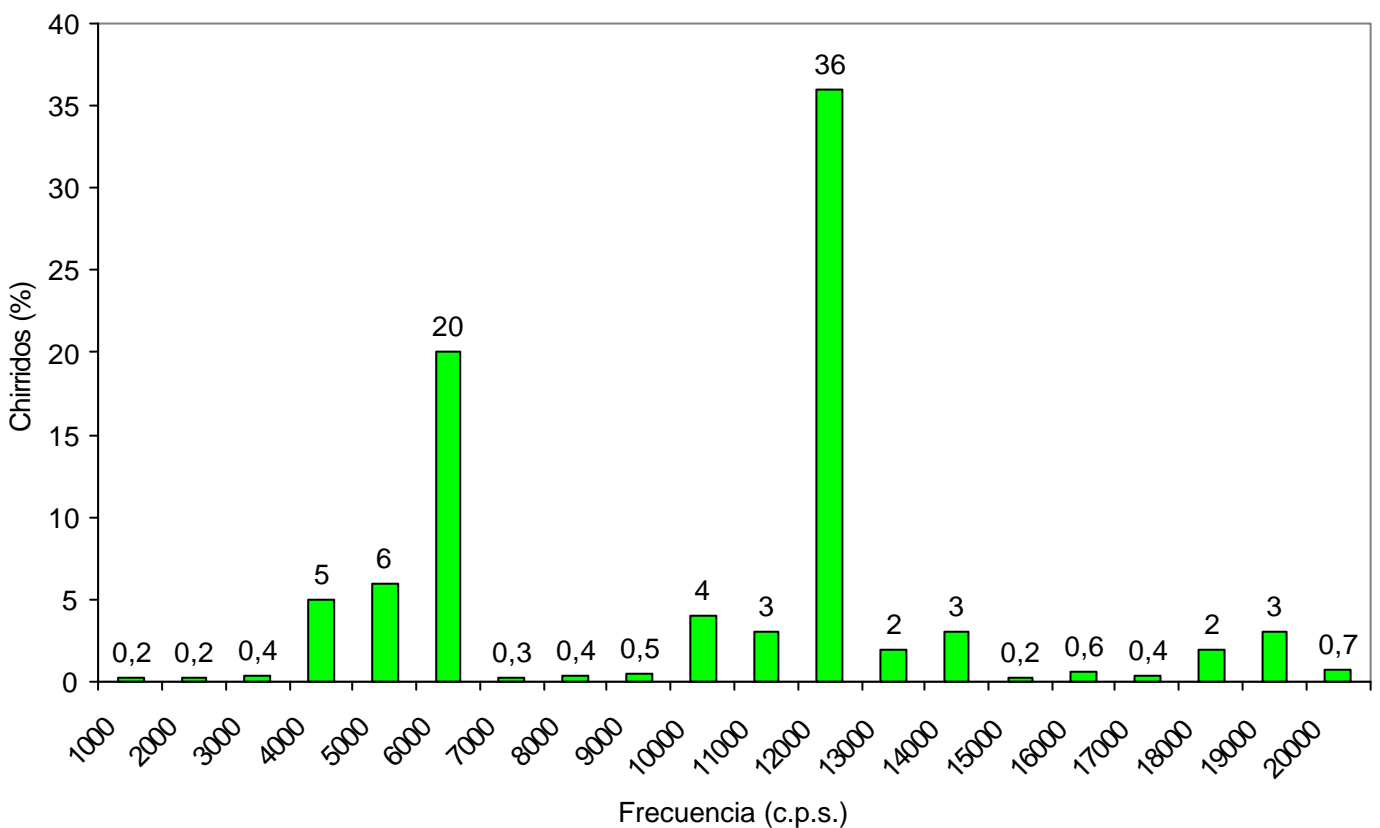
Toda la investigación sobre ruidos, parte de unas bases empíricas que relacionan la compresibilidad, la dureza y el coeficiente de fricción de un material de fricción determinado. Sin embargo, después de una primera aproximación de tipo teórico es necesario un extenso trabajo en el laboratorio sobre la pastilla de freno a fin de optimizar su comportamiento en el banco de ruidos previamente a las pruebas que se realizarán en el propio vehículo.

Los ensayos típicos a realizar sobre varias muestras de un mismo material de fricción, consisten en unas 3000 frenadas por juego, tanto marcha delante como marcha atrás. A presiones, velocidades y temperaturas variables. En el gráfico de la página siguiente podemos ver un histograma sacado de un ensayo del banco de ruidos, en el cual se ve la frecuencia a la que se produce el ruido y el porcentaje de veces que se ha producido ruido a esa frecuencia.

Obviamente dichos ensayos son muy lentos y por lo tanto costosos, pero permiten optimizar el material de fricción de forma tal que reducen sensiblemente los ensayos sobre vehículo.

Existen sin embargo tipos de vehículos o sistemas de freno en los cuales la optimización solo es posible parcialmente y por lo tanto es necesario recurrir a la instalación de juntas anti - ruido en la pastilla de freno lo cual no solo mejora dicho problema, sino que reduce la transferencia de calor al caliper y al circuito hidráulico. De hecho, una gran mayoría de vehículos de última generación incorpora dichas juntas anti – ruido como la única garantía posible de resolver o al menos mejorar dicho problema.

Histograma de chirridos



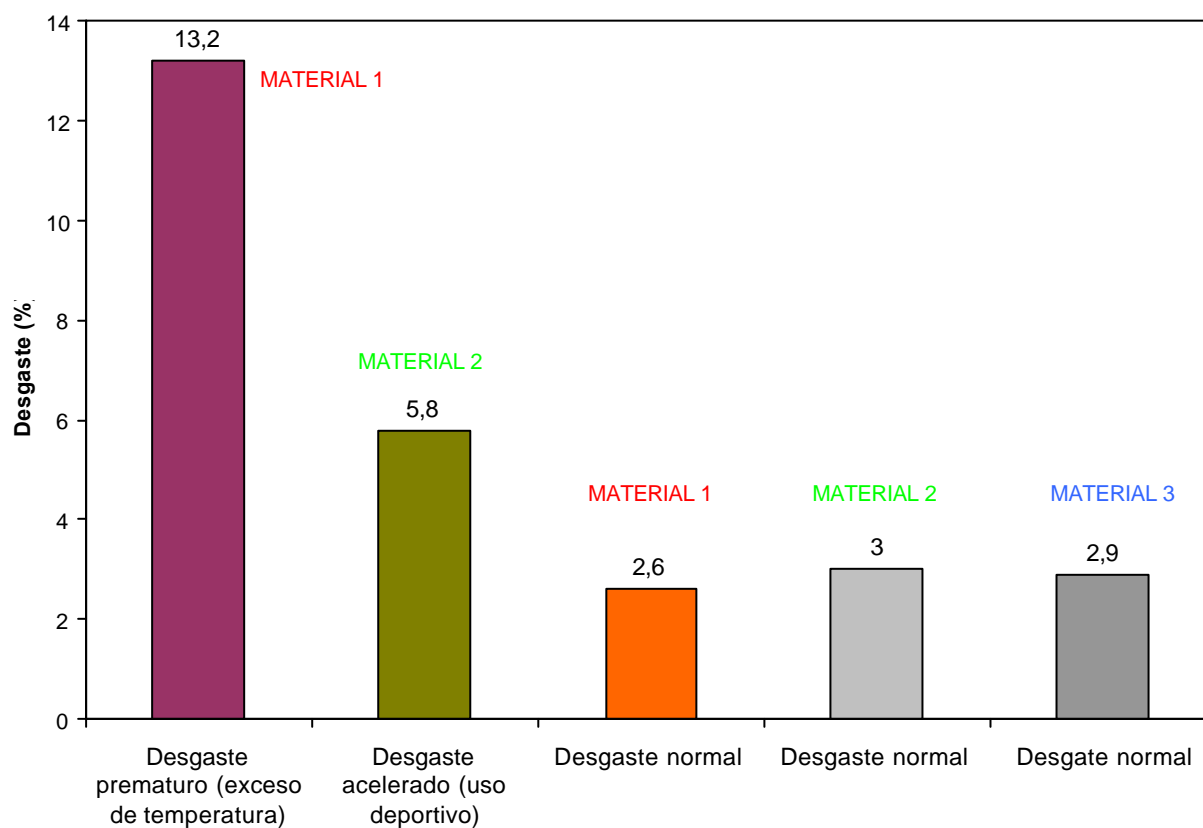
Histograma de la máquina de ruido. Representa la ocurrencia del chirrido y las veces que se produce.

Se puede observar que el material de fricción bajo ensayo de ruidos, presenta en este caso dos frecuencias, a 6000 c.p.s. y 12000 c.p.s., en las que los porcentajes de ocurrencia de chirridos, presentan picos del 20% y 36% respectivamente mientras que en otras zonas del espectro acústico, los porcentajes son mucho menores o incluso inexistentes.

DESGASTES PREMATUROS

El problema del desgaste prematuro está muy relacionado con problemas de recalentamiento y alta temperatura en el sistema de freno o también por el uso de pastillas de freno de baja calidad. En la mayoría de los casos cuando se abusa excesivamente de los frenos y estos trabajan durante mucho tiempo en temperaturas superiores a 450°C, hace que el material de fricción se adhiera al disco (en casos de pastillas de freno de baja calidad) provocándose desgaste irregulares. Comienzan a aparecer grietas en el material de fricción que con el paso del tiempo podrán ser el inicio de pérdida de masa del material. Otra de las causas que pueden provocar un desgaste prematuro de las pastillas se produce cuando durante el proceso de fabricación la distribución de la mezcla, durante el prensado, no ha sido todo lo homogénea que hubiese sido necesario.

En el apartado de desgastes prematuros, y dejando al margen aquellas pastillas de freno de calidad insuficiente, la clave es el correcto funcionamiento del caliper, pues presiones residuales (después de liberar la presión del circuito) superiores a las necesarias para mantener el contacto pastilla / disco (par residual) suponen un calentamiento progresivo del sistema con los efectos consiguientes de incremento del desgaste con la temperatura.



Comparativa de desgaste de diferentes materiales.

Dada la importancia del fenómeno descrito, resulta imprescindible el comprobar dicho par residual girando la rueda libremente y observando que no existe resistencia a la rodadura. En caso contrario, se debe proceder a una revisión total del caliper.

Pueden, también, aparecer desgastes prematuros en aquellos vehículos cuyo conductor tiene el hábito de conducir con el pie sobre el pedal de freno en descensos largos aunque sea con baja presión, con la intención de simplemente ir reteniendo el vehículo.

En la gráfica anterior se comparan valores de desgaste medio de diferentes materiales. Se representa el desgaste en porcentaje para el mismo número de kilómetros realizados, con el mismo vehículo y diferentes materiales. La vida de un material de fricción es un valor muy relativo, ya que depende mucho del estado del sistema, así como del tipo de conducción que se haga.

Como se puede observar, según las cifras del cuadro, los desgastes por efecto de la temperatura pueden suponer reducciones en la vida útil de las pastillas de freno superiores al 300 %. Mientras que para un usuario normal dicho efecto tiene un impacto moderado, para ciertos vehículos o conductores profesionales es recomendable montar exclusivamente calidades contrastadas.

En la gráfica anterior podemos observar como para un mismo material (material 1), dependiendo del tipo de conducción el desgaste es diferente. En el primero de los casos el material fue testado en una furgoneta de reparto que realizaba una ruta, en la cual debía de hacer frente a un terreno escarpado, con muchos puertos de montaña y además el conductor abusaba en exceso del freno. En el segundo ensayo con el material 1, con la misma furgoneta y haciendo la misma ruta, pero con un conductor el cual retiene el vehículo con el motor, además su velocidad era bastante más lenta. En el segundo ensayo con el material 2 realizando una conducción deportiva, es decir, apurando las frenadas de forma que la presión en el circuito siempre sea muy alta, para conseguir deceleraciones muy elevadas, con lo cual la temperatura de funcionamiento es muy elevada y de ahí la pérdida de material. Sin embargo con el mismo vehículo pero una conducción normal el porcentaje de desgaste de las pastillas ha sido menor llegando a diferencias en el desgaste del orden del 100%. En el tercer material el comportamiento del conductor es normal, con lo cual los desgastes se encuentran dentro de los valores aceptables.

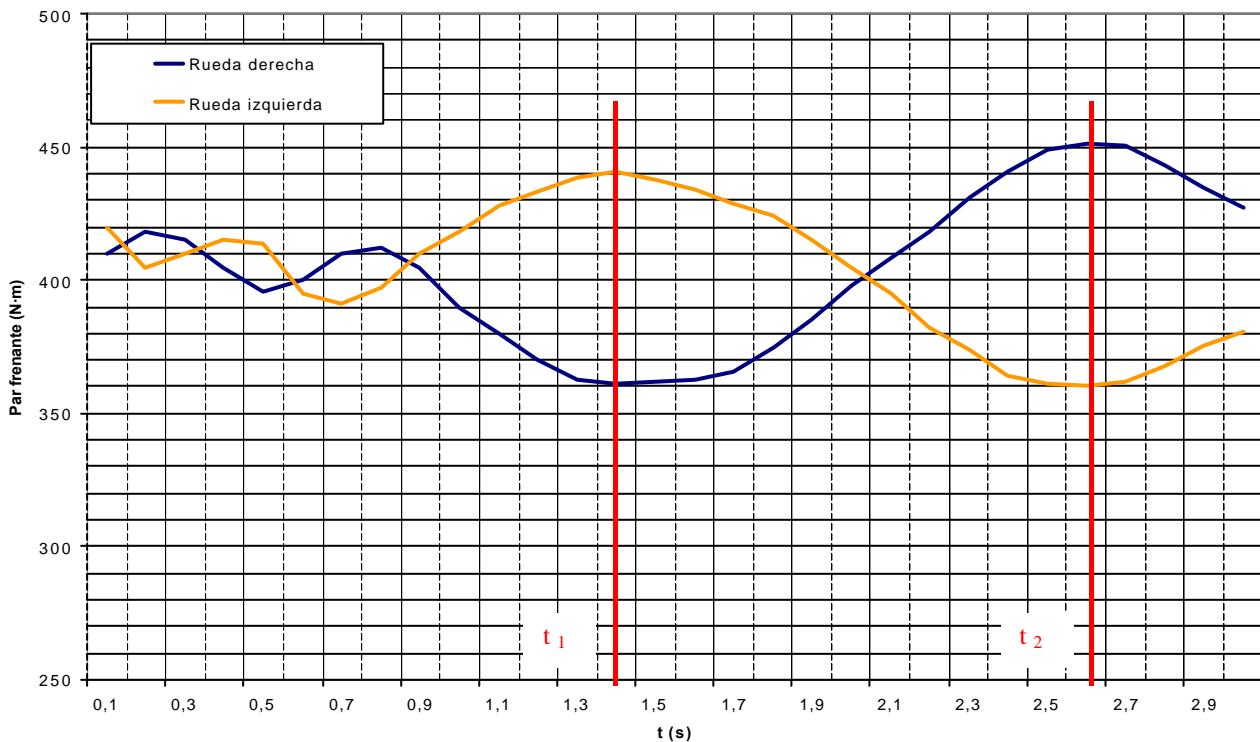
PULLING

El efecto “pulling” indica el fenómeno de oscilación de coche durante una frenada o deceleración media / fuerte hacia un lado y después al otro. Este fenómeno no se debe a una avería en el sistema de freno sino a unas malas prestaciones del material de fricción.

La oscilación del vehículo se debe a que los pares frenantes de las pastillas no son constantes durante una revolución de la rueda, sino que van variando por un mal desarrollo del material de fricción.

Como obviamente dicho defecto no está sincronizado en las dos ruedas, se produce un efecto de frenado diferente en cada rueda que da lugar a fuerzas laterales sobre el vehículo que obviamente modifican la trayectoria del mismo apartándola de la línea recta en forma de ondulación.

En la siguiente gráfica podemos comprobar como van variando los pares frenantes de las ruedas. Se ve como en el comienzo de la frenada existe una zona transitoria hasta que se alcanza un buen contacto entre el disco y la pastilla y la presión alcanza un valor constante. Una vez alcanzado el “equilibrio” vemos como los pares de ambas ruedas son diferentes, es decir, en t_1 el par frenante de la rueda derecha es de 360 N m, mientras el par en la rueda izquierda es de 440 N m, con lo cual el vehículo presentará una inestabilidad direccional que hará que se vaya hacia la izquierda. Se puede observar en la gráfica que esto sigue variando con el paso de la frenada, vemos que en t_2 , el par frenante de la rueda izquierda a caído hasta un valor de 360 N· m mientras que la rueda derecha el par frenante a crecido hasta un valor de 450 N m, con lo cual el vehículo se irá hacia la derecha. Este efecto indeseable se conoce como PULLING.



Gráfica del efecto pulling tomada de ensayos en vehículo.

Hay que entender que el coeficiente de fricción (μ) varía incluso a lo largo de una vuelta de rueda y que normalmente no puede ir sincronizado con las

variaciones del coeficiente (μ) de la otra rueda dando así lugar al problema señalado en la gráfica anterior.

PASTILLAS CRISTALIZADAS

La cristalización de la superficie de las pastillas ocurre durante frenadas a altas temperaturas (450°C – 700°C), como sucede durante descensos de puertos de montañas o durante una conducción muy deportiva con altas deceleraciones. Este problema se presenta principalmente en pastillas de freno con exceso de resina y tecnología de fabricación antigua.

¿Qué ocurre con las pastillas? Cuando el material de fricción se encuentra caliente en contacto con los discos, a temperaturas superiores a 350°C, los contenidos orgánicos del compuesto se queman, llegando en primer lugar al estado líquido hasta producirse la carbonización completa, generando gases y humos.

Durante este proceso de transformación se puede formar en la superficie de la pastilla una película superficial muy fina y brillante, que hace disminuir el coeficiente. Esto hace que las prestaciones del material de fricción sean menores y que la carrera del pedal se haga más larga al disminuir el coeficiente de fricción como consecuencia de dicha película.

Si el material de fricción está bien diseñado, una vez que se enfríen las pastillas, recuperará en unas 50 o 100 frenadas el nivel de prestaciones que tenía en un principio. Es decir, una vez que la capa cristalizada “se limpie” de la superficie de las pastillas, las prestaciones serán parecidas a las iniciales.

En materiales mal diseñados, cuando el coeficiente de fricción baja a niveles de aproximadamente $\mu=0,10$, estas prestaciones no se recuperaran. Esto lo comprobaremos porque el pedal estará muy duro, con una sensación de falta de frenado aunque nos apliquemos con mucha fuerza sobre el pedal. Cuando desmontamos las pastillas veremos la película con aspecto cristalizado en la superficie. Normalmente este problema suele ir acompañado de un nivel importante de chirridos.

El material de fricción en estas condiciones es totalmente irrecuperable por lo que resulta imprescindible el cambio de pastillas de freno.

CAPÍTULO 7

REGLAMENTO 90: LA LEGISLACIÓN ACTUAL

1. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad los fabricantes de pastillas de freno de reposición no están obligados al cumplimiento de ninguna norma que obligue a mantener unos determinados estándares de prestaciones. Pero existe una normativa de carácter europeo que será aplicable en España a partir del 31 de Marzo del 2001 por la cual toda las pastillas que se vendan en el mercado de reposición, para las cuales sea aplicable dicha legislación, deben de haber pasado una homologación que a continuación se describe.

3. REGLAMENTO 90.



El crecimiento del mercado libre de los componentes de automoción y la proliferación de marcas en el sector del frenado ha generado por parte de la administración europea la necesidad de introducir una normativa que regula las prestaciones de algunas piezas de seguridad. Esta normativa define las características del producto de frenado en sí, con independencia de otras homologaciones que puedan tener las empresas en cuanto a proceso de fabricación y evaluación de su gestión tales como las normas ISO9000 o la QS14000.

La pastilla de freno es hoy el centro de toda la atención, ya que los organismos legislativos europeos han elaborado unas directivas que definen rigurosamente los criterios de seguridad y de eficacia que tiene que cumplir este importante componente del automóvil.

Uno de los aspectos más restrictivos de la normativa son los ensayos que se deben realizar sobre el vehículo con el material de repuesto para más tarde compararlo con los ensayos a realizar con el material de origen. Los resultados no deben de diferir en un $\pm 15\%$ de las prestaciones del repuesto a las de origen.

La ECE R90 está integrada en la directiva 98/12/EC y es efectiva para todos los estados miembros de la Comunidad Económico Europea desde el 11 de Octubre de 1.999. No obstante, se ha otorgado un período de transición hasta el 31 de Marzo de 2.001.

A partir de esa fecha, las pastillas que no cumplan los requisitos de la normativa no se podrán vender en el mercado de la unión europea.

Los controles y pruebas debe ser realizados por organismos homologadores oficialmente autorizado por cada estado de la Unión Europea. Así mismo cada referencia que se desee vender a partir de la fecha de entrada en vigor de la normativa, debe pasar su propio proceso de homologación si éste es exigible para dicha referencia en cuestión. Esto implica no homologar un material de fricción sino homologar todas y cada una de las referencias, de forma individual, que se deseen vender y a las cuales aplique dicha homologación.

La normativa ECE R-90 es un gran paso adelante en la búsqueda del mejor producto y del mejor servicio al consumidor. Define unos estándares de calidad a los cuales los fabricantes deben atenerse para poder operar en el mercado independiente y supone una garantía de confianza en los productos de seguridad que su empresa comercializa.

Es, por fin, una garantía para el consumidor final, el cual podrá exigir en cualquier momento la homologación del producto, y proceder en consecuencia si el producto que le han instalado en el vehículo no está homologado bajo el R-90.

A partir del 31 de Marzo del 2.001, vender, instalar, o circular con una pastilla no homologada, para aquellos vehículos que lo requieran, será considerado ilegal, y su propietario deberá atenerse a las consecuencias tanto de carácter civil como penal que la legislación imponga.

4. HOMOLOGACIONES ECE R-90.



La homologación de una referencia de pastilla para pasar el Reglamento 90, se debe de realizar tanto con pruebas en el laboratorio como con el propio vehículo. Cada referencia de pastilla debe de ser homologada en el vehículo en el que se han de montar, con el vehículo sensorizado, es decir, debemos de saber a

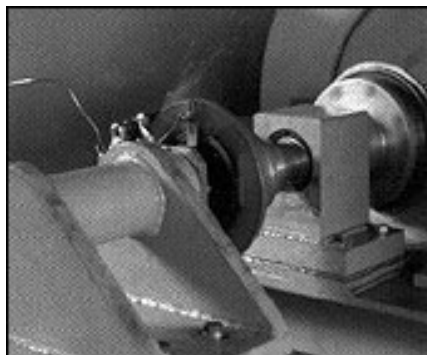
que temperatura se encuentran los frenos, que presión se está ejerciendo en el circuito, conque fuerza estamos pisando el pedal y que deceleración sufre el vehículo cuando frenamos.

ENSAYOS SOBRE EL VEHÍCULO:

- *Una serie de test de homologación tipo 0:*

Una secuencia de frenadas en diferentes condiciones de velocidad y carga. Se trata de comprobar el correcto funcionamiento en diferentes condiciones de servicio, así como en condiciones de emergencia y de estacionamiento. Este ensayo es una repetición de las pruebas realizadas por el fabricante del vehículo para la homologación del mismo bajo el Reglamento 13 (Reglamento de homologación de frenos).

- *Un test de pérdida de eficiencia en caliente:*



Primeramente se realiza una secuencia de 15 frenadas a alta velocidad con objeto de situar el freno en condiciones extremas de temperatura y posteriormente se comprueba su correcto funcionamiento, comparándolo con los resultados en frío. Los resultados obtenidos no deben encontrarse por debajo del 80% de las deceleraciones obtenidas en el ensayo de rendimiento en frío.

- *Un test de equivalencia del rendimiento en frío:*

Con el vehículo a plena carga, una temperatura inicial igual o inferior a 100°C y a una velocidad de 80 km/h se ejercen una serie de seis frenadas consecutivas con diferentes presiones en los ejes delanteros y traseros, llegando hasta la presión de bloqueo. Se trata de comprobar que las prestaciones del freno de recambio están situadas en torno al $\pm 15\%$ de las prestaciones del equipo original, que previamente ha sido testado en el mismo vehículo.

- *Un test de sensibilidad a la velocidad:*

El test de sensibilidad a la velocidad es quizás uno de los más relevantes y difíciles de pasar en las homologaciones R-90. Se trata de comparar el comportamiento de las pastillas es muy similar en cualquier rango de velocidad. Ya que se trata de realizar 3 frenadas a 65 km/h, 3 frenadas a 90 km/h y 3 frenadas a 135km/h, con la presión en el circuito que haya hecho, en el test de rendimiento en frío, que da una deceleración de 5 m/s². La media de la deceleración obtenida a las diferentes velocidades no debe de diferir en un $\pm 15\%$ el valor de deceleración obtenido en la frenada de referencia, es decir, en aquella

que se ha conseguido la deceleración de 5 m/s². El inconveniente principal del ensayo, es que las frenadas se alargan mucho ya que la presión del circuito se debe mantener constante, lo cual provoca que la temperatura instantánea en el contacto de las pastillas con el disco, se incrementa. Independientemente de ese incremento de temperatura el material debe ser capaz de mantener las mismas propiedades independientemente de la velocidad a la que circule el vehículo. Es decir, que el vehículo frene "igual" a 180 km/h que a 40 km/h si que el efecto de la velocidad influya en sus características de frenado.



Dinamómetro de inercia.

ENSAYOS EN LABORATORIO:

Este tipo de ensayos lo que pretenden es que las características mecánicas del material se encuentren dentro de unos determinados valores predeterminados, en cuanto a la compresibilidad del material de fricción (carrera de pedal) y sus características de resistencia mecánica.

- *Un test de compresibilidad:*



Usando una máquina de compresibilidad se comprueba el valor que presenta la pastilla tanto en caliente como en frío. La compresibilidad de la pastilla es una característica importante del material de fricción ya que el material debe de ser compresible para conseguir una buena adaptación en el disco, es decir, que

con esa compresibilidad sea capaz de absorber vibraciones.

Maquina de compresibilidad.

Sin embargo, una muy alta compresibilidad en caliente puede dar lugar a graves desplazamientos del fluido de freno que podría resultar en un agotamiento de la carrera del pedal de freno y la consecuente perdida del control del vehículo al quedar este sin freno.

Los límites de compresibilidad según el R-90 son de un 2% del espesor de la pastilla para la compresibilidad en frío, y un 5% del espesor de la pastilla para el test en caliente.

- *Un test de resistencia al cizallamiento:*

Usando una máquina de cizalladura se mide la resistencia del material de fricción a ser despegado del soporte metálico, por medio de una fuerza tangencial a ambas superficies. Este valor es muy importante ya que recordemos que el material de fricción estará sometido a fuerzas de cizalladura mientras trabaje friccionando contra el disco.



Máquina de cizallamiento.

Los valores mínimos aceptables para un 100% de adherencia del material de fricción sobre el soporte metálico son de 25 kg/cm², equivalentes a 1250 kg. de resistencia para una pastilla de freno para un vehículo de tipo medio, que tenga un área de 50 cm².

Obviamente, las exigencias impuestas en los distintos apartados del Reglamento 90, no son todas las que podrían ser exigibles para unas pastillas de freno, pero al menos representan unos mínimos que excluirán a priori algunos fabricantes o productos de calidad dudosa.