

Frenos ABS en los automóviles

Albert Martí Parera

EL SISTEMA DE FRENOS

El sistema de frenos de un automóvil tiene por misión detener el vehículo a voluntad del conductor ya sea por necesidades de la circulación o por evitar colisiones y atropellos.

Para conseguir detener el vehículo el sistema de frenos debe transformar la energía cinética que éste ha adquirido, gracias a la potencia desarrollada por el motor, y transferirla a un sistema externo hasta hacerla desaparecer.

El sistema de frenos (figura 1) es un mecanismo basado, en la mayoría de los casos, en un circuito hidráulico que lleva acoplados los mecanismos pertinentes para generar en las ruedas los efectos que permitan detener o aminorar la velocidad del vehículo. En las ruedas el mecanismo de frenos, cuando es activado, aplica con una fuerza, proporcional a la ejercida por el conductor sobre el pedal de freno, un forro de material antideslizante contra un elemento metálico, llamado disco o tambor según sea el tipo de freno, que gira solidario con la rueda; de esta manera, gracias al rozamiento entre forro y metal, se transforma

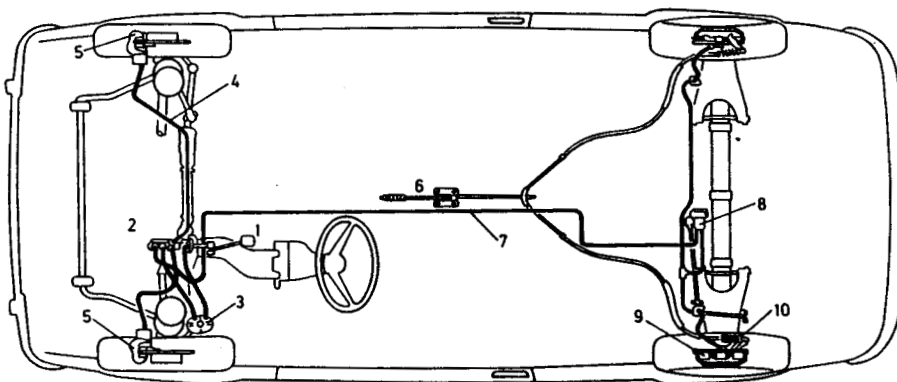


Figura 1. Sistema de frenos con dos circuitos independientes. 1) Pedal del freno. 2) Bomba de freno. 3) Depósito de líquido de frenos. 4) Circuito hidráulico de las ruedas delanteras. 5) Pinza del freno de disco de las ruedas delanteras. 6) Freno de mano. 7) Circuito hidráulico de las ruedas traseras. 8) Corrector de frenado. 9) Freno del tambor de las ruedas traseras. 10) Bombín del freno de tambor.

parte de la energía cinética del vehículo en calor, que es transferido por radiación y convección al medio ambiente, a la vez que se genera una fuerza de retardo, en la banda de rodadura del neumático y sobre el suelo, opuesta a las fuerzas de inercia que siguen empujando el móvil.

EFICACIA DE LOS FRENOS

Para que los frenos funcionen de forma eficaz es necesario evitar que al actuar el mecanismo la rueda deje de girar, pues cuando esto ocurre cesa el rozamiento entre el forro y el metal y sólo se transforma la energía cinética del vehículo en calor por el rozamiento entre la cubierta del neumático y el suelo al ser arrastrada la rueda por el desplazamiento del vehículo.

El rozamiento entre goma y calzada que se produce cuando se bloquea la rueda por la acción de los frenos tiene menos rendimiento en generar calor que cuando ocurre en el mecanismo de frenos entre forro y metal, en consecuencia se tarda más en transformar la energía cinética del vehículo y la frenada dura más; además se deforma la cubierta del neumático que pierde materia cuando deja su rastro en la calzada, rastro que no es más que caucho fundido por el calor desarrollado, por ejemplo, sobre un firme seco de buena adherencia un frenado a 120 km/h. con bloqueo de rueda puede ocasionar un desgaste de 4 mm. en la zona de la banda de rodadura de la cubierta del neumático arrastrada. Estos desgastes, al ser locales, generan desequilibrios que afectan a la estructura de la cubierta del neumático pudiendo llegar a producir vibraciones nocivas para el sistema de dirección y transmisión si la rueda afectada es a la vez motriz y directriz. Pero el mayor inconveniente cuando se bloquean las ruedas, es que se pierde el control de la dirección del vehículo.

El sistema hidráulico del mecanismo de frenos es un circuito formado por una bomba de frenos, o cilindro maestro, cuyo émbolo está unido de manera articulada al pedal de frenos, y un cilindro hidráulico en cada rueda situado en un soporte fijo cerca del eje de giro de la rueda, denominado bombín de freno, conectado a la bomba de frenos por la correspondiente tubería.

Cuando el conductor pisa el pedal de frenos (figura 2) genera presión en la bomba que se transmite, de acuerdo con el principio de Pascal, por todo el circuito hidráulico. Dentro de los bombines, esta presión, desplaza a los émbolos del bombín contra el soporte del forro de freno, llamado zapata o pastilla de freno según sea el freno de disco o de tambor, y el forro queda aplicado contra la parte metálica solidaria a la rueda para generar la fuerza de retardo y transformar la energía del vehículo en calor.

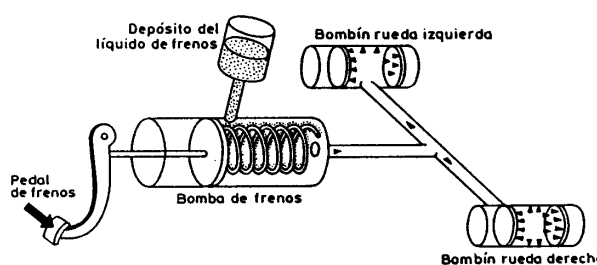


Figura 2. Aplicación práctica de los vasos comunicantes y principio de Pascal al sistema de frenos de un vehículo automóvil.

La necesidad de aumentar la eficacia de los sistemas de frenos y construir vehículos más seguros ha desembocado en el desarrollo de los sistemas de frenos denominados con las siglas ABS.

Las siglas ABS corresponden a la expresión inglesa Anti-lock Bracking System, atendiendo a su traducción en español, deberíamos reemplazarlas por las siglas SFA (Sistema de Frenos Antibloqueo). Estas siglas se utilizan como denominación genérica para los sistemas de freno con control sobre la presión del bombín de freno para evitar el bloqueo de las ruedas.

Este sistema es el resultado de incorporar, mediante microprocesadores, un control electrónico al sistema para modular la presión ejercida desde la bomba de frenos sobre los bombines de las ruedas en función de las condiciones en que se desarrolla cada acción de frenado y evitar de esta forma que éstas lleguen a bloquearse cuando el conductor actúa enérgicamente sobre el pedal de freno o al frenar en un firme de escasa adherencia (bajo coeficiente de rozamiento entre cubierta del neumático y calzada).

FUNDAMENTOS FÍSICOS

Las ruedas de los automóviles son el nexo de unión entre el vehículo y el suelo; gracias a este nexo podemos avanzar, dirigir, acelerar o frenar el coche. Las ruedas para realizar cada una de estas acciones deben ejercer sobre el terreno en que se apoyan una serie de esfuerzos generados a voluntad del conductor al accionar el correspondiente mecanismo del vehículo, esfuerzos que se traducen en la deseada respuesta del automóvil.

Los esfuerzos que las ruedas pueden transmitir al suelo están limitados por las características del neumático y por las del propio suelo y dependen del peso que soporta la rueda. El esfuerzo máximo que una rueda puede ejercer sobre el terreno es la fuerza de adherencia "F". Según las leyes del rozamiento, la fuerza de adherencia vale el producto de la fuerza con que la rueda pisa el suelo (peso que gravita sobre ella "P") por el coeficiente de rozamiento entre firme y cubierta " μ " (μ).

$$F = P\mu; (1)$$

Cuando la rueda gira, " μ " es el coeficiente de rozamiento en rodadura. Cuando la rueda es arrastrada, " μ " es el coeficiente dinámico de rozamiento cuyo valor es menor que el anterior.

El coeficiente de rozamiento, " μ ", depende de la naturaleza de los materiales del neumático y de la calzada, y del estado de las dos superficies en contacto: depende de la rugosidad; de la dureza del caucho que forma el neumático, de si el firme está seco, mojado, o cubierto de barro, de hielo, etc.

El coeficiente 1 describe la condición límite de apoyo de las ruedas en el suelo o el máximo esfuerzo que una rueda puede ejercer.

Cuando la fuerza de frenado excede el valor de "F" la rueda deja de girar, se bloquea, y es arrastrada como una goma de borrar sobre la calzada; el calor que se genera en esta situación, por el rozamiento de la rueda bloqueada sobre el asfalto, hace aumentar la temperatura en la superficie de la cubierta y llega a producir la fusión del caucho, creándose una película fluida y viscosa sobre la que desliza el neumático patinando, que hace disminuir el coeficiente de adherencia " μ " entre firme y calzada en un 20% por término medio.

La disminución del 20% en el valor de μ corresponde a la diferencia entre el coeficiente de rozamiento a la rodadura y el coeficiente de rozamiento dinámico (recordemos que éste último rige cuando una rueda bloqueada es arrastrada por el firme). En consecuencia, el espacio de frenado aumenta en la misma proporción a partir del momento en que se produce el bloqueo de las ruedas.

EFFECTO DE TRANSFERENCIA DE CARGA

El centro de gravedad de un vehículo (c.d.g.), es un punto teórico en el que se puede considerar centrada toda su masa, es como si el peso del vehículo fuera una fuerza colgada de él. El centro de gravedad, es donde se consideran aplicadas las fuerzas que actúan sobre el coche relacionadas con su masa como el peso y la fuerza motriz.

Este punto está situado a una determinada altura respecto al suelo. Esta altura depende de la distribución de las masas y de la altura de la carrocería respecto al suelo. Cuando se actúa con el sistema de frenos, la fuerza propulsora se transforma en fuerza de inercia que, aplicada en el centro de gravedad, sigue empujando al vehículo en el sentido de marcha y crea un momento respecto de los puntos de apoyo del vehículo (el momento de una fuerza es el producto de la intensidad de la fuerza por una distancia). En este caso concreto nos referimos al producto del valor de la fuerza de inercia por la altura del centro de gravedad que es el punto donde está aplicada.

El efecto de este momento es un balanceo (figura 3) de la masa del vehículo alrededor del centro de gravedad. Este balanceo varía el reparto del peso del coche sobre los ejes: sobrecarga el eje delantero y las ruedas del eje trasero son aliviadas de parte del peso que soportan.

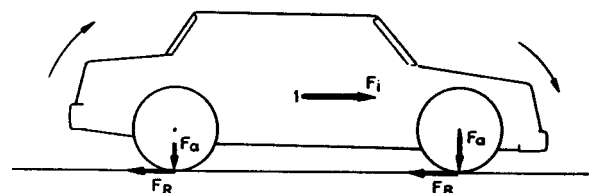


Figura 3. Efecto de transferencia de carga. Las flechas indican el sentido del balanceo alrededor del centro de gravedad. 1 = Centro de gravedad del vehículo. F_i = Fuerza de inercia. F_a = Fuerza de apoyo. F_R = Fuerza de retardo.

Este fenómeno se denomina transferencia de carga; y se produce al actuar sobre el sistema de frenos. Entonces las ruedas delanteras se apoyan con más fuerza sobre el firme, mientras que las ruedas traseras pierden apoyo. Así al aplicar los frenos se pueden realizar mayores esfuerzos sobre el asfalto con las ruedas delanteras y resulta más fácil bloquear las ruedas traseras, que soportan menor peso cuando se produce esta circunstancia.

La condición de equilibrio en un vehículo automóvil, es que todas las fuerzas que actúan sobre él se contrarresten, por ejemplo al tomar una curva la fuerza centrífuga que tiende a sacar el vehículo en dirección del radio de la curva debe estar contrarrestada por la fuerza de adherencia de los neumáticos sobre el firme de la carretera.

Así para determinar la cuantía del efecto de transferencia de carga en el momento de frenar se toman momentos de todas las fuerzas, que actúan en este instante, respecto a un punto, por ejemplo el punto de apoyo de las ruedas traseras, y la condición de equilibrio será que la suma algebraica de todos los momentos sea igual a 0. En caso contrario existiría una fuerza resultante que impulsaría al vehículo en su dirección y sentido, llegando a producir un efecto perceptible y peligroso cuando su intensidad fuese mayor que el esfuerzo máximo de adherencia.

Tal y como muestra la figura 4, cuando se actúa sobre los frenos para detener el vehículo, podemos observar las fuerzas que intervienen; tomando los momentos de estas fuerzas respecto al punto de apoyo de las ruedas traseras y recordando que el momento de las fuerzas que concurren en él es nulo, por ser nula su distancia al punto de momentos, podremos calcular la fuerza máxima de frenado "I" que se puede desarrollar con las ruedas del eje delantero.

$$I = m_1 \delta + \frac{mA\delta^2}{Bg} \quad (2)$$

Y la fuerza "D" que se puede desarrollar en el eje trasero

$$D = m_2 \delta - \frac{MA\delta^2}{Bg} \quad (3)$$

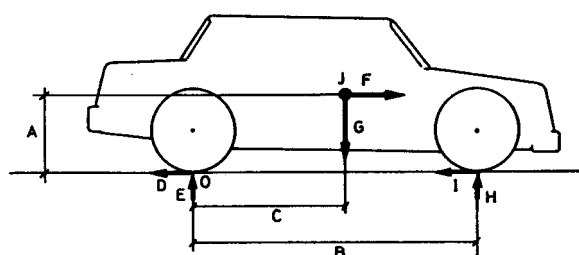


Figura 4. A = Altura del centro de gravedad. B = Batalla del vehículo. C = Distancia del centro de gravedad al punto de momentos. D = Fuerza de retardo en la rueda trasera. E = Fuerza de apoyo de la rueda trasera. F = Fuerza de inercia del vehículo. G = Peso del vehículo. H = Fuerza de apoyo de la rueda delantera. I = Fuerza de retardo de la rueda delantera. J = Centro de gravedad del vehículo. O = Punto de referencia para tomar momentos.

En las ecuaciones 2 y 3 "m" es la masa total del vehículo, "m₁ y m₂" son las masas que soporta cada eje, "d" es la deceleración de frenado. A es la altura del centro de gravedad y "B" es la distancia entre el eje delantero y el eje trasero.

VENTAJAS DE LOS SFA

Los sistemas de frenos antibloqueo adaptan la presión de frenado que se puede desarrollar en cada bombín de freno a las condiciones de transferencia de carga que se producen en cada situación atendiendo además las condiciones de adherencia entre firme y cubierta, para obtener la eficacia máxima al frenar.

Sobre firme mojado es cuando verdaderamente el sistema SFA resulta de una eficacia excelente ya que evita el "acuaplaning" al frenar. El "acuaplaning" o hidropneumático ocurre cuando hay tal cantidad de agua sobre el asfalto y la velocidad de avance del automóvil es tan elevada que las ranuras del dibujo de la banda de rodadura de las ruedas no pueden drenar el agua de abajo de ellas. Cuando se llega a esta situación se crea una cuña de agua que va penetrando debajo del neumático hasta que éste pierde el contacto con el asfalto, en esta situación el vehículo flota sobre un colchón de agua sin control alguno, tal es así que una leve ráfaga de viento puede empujarlo fuera de la carretera.

Cuando se frena sobre mojado, si se bloquean las ruedas, se elimina parte del efecto de drenaje

pues las ranuras del dibujo de la banda de rodadura se han convertido en unos canales inmóviles que intentan evitar que el agua penetre debajo de la rueda y, en estas condiciones, el hidropneumático es factible incluso a bajas velocidades. El SFA al impedir que las ruedas dejen de girar mantiene el efecto de drenaje.

Cuando sobre el firme está depositada una capa de partículas sueltas como arena, grava, nieve fresca o barro, que lo convierten en inestable, los frenos con sistema SFA, al evitar el bloqueo de las ruedas, permiten que el conductor mantenga el control de la dirección del vehículo pero, en este caso de excepción, aumentan la distancia de frenado. Con unos frenos normales, si se produce el bloqueo de las ruedas sobre este tipo de firme, éstas se hunden un poco en el lecho de partículas y se crea delante de ellas una cuña del material situado sobre el firme que ayuda a detener el vehículo ya que el hecho de tener que arrastrar la cuña añade una resistencia extra al deslizamiento de las ruedas. Como con los SFA no se bloquean las ruedas tampoco no se arrastra material ni se forma la cuña en la parte delantera de la banda de rodadura de la cubierta.

ESQUEMA DE UN SISTEMA ANTIBLOQUEO RUEDAS

Para evitar el bloqueo de las ruedas hay que controlar las variaciones de su velocidad de giro y compararlas con la velocidad de desplazamiento del vehículo pues, cuando al frenar se bloquean las ruedas, el vehículo continúa deslizándose; en otros términos, la deceleración de las ruedas - cuando éstas van a sufrir un bloqueo- es mucho mayor que la del vehículo.

Las SFA efectúan el control del giro de la rueda mediante unas coronas dentadas solidarias a la rueda o al palier según los casos y modelos. Sobre esta corona dentada se ubica un detector magnético (figura 5). El detector magnético está formado por una bobina devanada sobre un núcleo de ferrita y alimentada con corriente eléctrica por el módulo electrónico controlador del sistema. Gracias a esta disposición, el paso sucesivo de los dientes y huecos, de la corona dentada, frente al

núcleo de la bobina crea una variación del flujo magnético generado por la bobina que autoinduce en ella una corriente pulsatoria. La frecuencia de esta corriente pulsatoria proporciona al módulo información de la velocidad de giro de la rueda. En el esquema de la figura 6 se puede observar la gráfica de la corriente pulsatoria y permite comparar los periodos de la señal para dos velocidades diferentes de la rueda. Los periodos de la señal son la base de medición para el módulo electrónico de control.

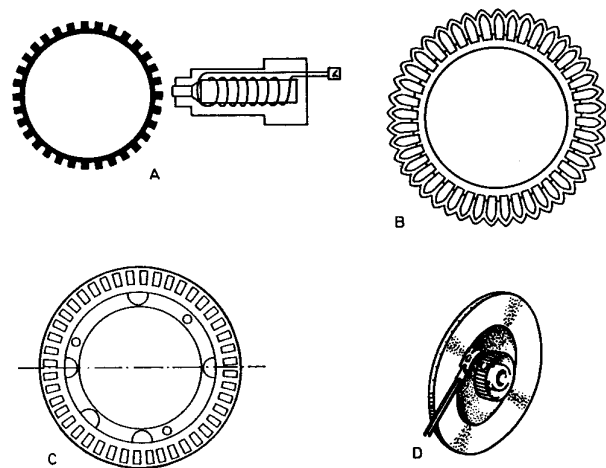


Figura 5. A) Esquema de rueda fónica con captador. B) Rueda fónica con dientes radiales. C) Rueda fónica con dientes frontales. D) Disco de freno con rueda fónica y captador.

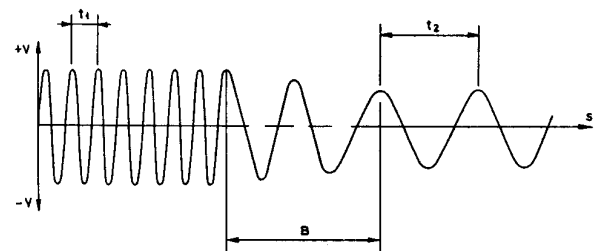


Figura 6. + V y -V: Tensión de la señal del captador. t1: Período de la señal a velocidad elevada. B: Intervalo de variación de la señal por actuar sobre el sistema de frenos. t2: Período de la señal a menor velocidad.

El módulo electrónico o microprocesador del sistema SFA tiene almacenados en su memoria todos los datos correspondientes a las posibles deceleraciones relacionadas con las capacidades de frenado según el fenómeno de transferencia de carga y la adherencia entre firme y cubierta. Estos datos, obtenidos sobre el vehículo cuando se

están probando los primeros prototipos, se basan en calcular, en forma de variación del período de la señal del captador, la deceleración de frenado; es decir el límite que se pueda alcanzar al frenar sobre diferentes tipos de calzada circulando a distintas velocidades sin bloquear las ruedas y en relacionar la deceleración con la velocidad real de giro de las ruedas.

Cuando una rueda gira se considera que está funcionando con una rodadura del 100% y un deslizamiento 0. Su relación con el firme la establece el coeficiente de rodadura " μ ". Al aplicar los frenos las fuerzas de retardo originan pequeños deslizamientos (pequeños resbalones) y, en consecuencia, disminuye la rodadura. En el momento en que esta disminución se sitúa entre el 20 y el 30% es cuando la fuerza de frenado sobre el firme resulta máxima y éste es el margen de actuación del SFA.

Cuando se pisa el pedal de freno si la velocidad de giro de las ruedas se corresponde a una deceleración mayor que la estimada en la memoria del sistema, se activa el sistema SFA para corregir la presión en los bombines de los frenos de las ruedas y aminorar los esfuerzos de frenado. Con velocidades de giro las ruedas que correspondan a una velocidad del vehículo inferior a 3 km/h, el sistema SFA deja de actuar para poder llegar a detener totalmente el vehículo.

COMPONENTES DE LOS SISTEMAS SFA

Cuando se habla de los sistemas de freno anti-bloqueo de ruedas (SFA) se hace mención a sistemas de tres y de cuatro vías; entendiéndose por vía cada circuito hidráulico de control independiente. También llamamos vías en las válvulas hidráulicas a cada conexión de éstas al circuito hidráulico.

Los SFA de tres vías (figura 7) controlan de manera independiente las dos ruedas delanteras del vehículo con circuitos de freno independientes mientras que las dos ruedas del eje trasero se controlan mediante el tercer circuito. En los SFA de cuatro vías, cada rueda es controlada por un circuito hidráulico independiente. El control se efectúa a partir del módulo hidráulico del sistema. Esta circunstancia permite que se pueda acoplar un SFA de 3 o 4 vías a una bomba de freno convencional con doble circuito de frenos.

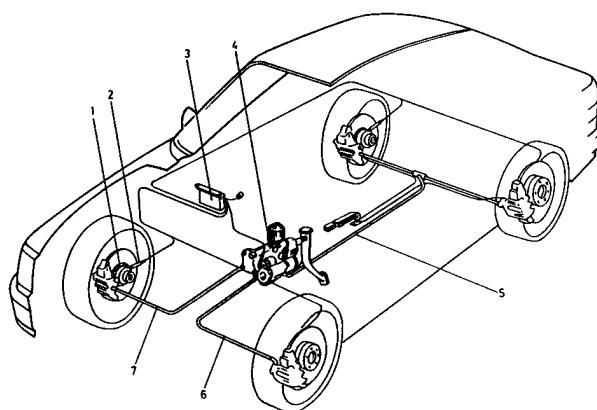


Figura 7. SFA de tres vías con servofreno hidráulico. 1) Rueda fónica. 2) Captador. 3) Módulo electrónico. 4) Módulo hidráulico con bomba y servofreno incorporado. 5) Vía de las ruedas traseras. 6) Vía de la rueda delantera izquierda. 7) Vía de la rueda delantera derecha.

Existe gran variedad de sistemas de freno anti-bloqueo, dado que los diferentes fabricantes de accesorios para el automóvil han desarrollado una extensa gama de sistemas, que si bien cada uno posee sus peculiaridades todos se basan en idénticos fundamentos y resulta similar su manera de actuar en el circuito hidráulico de frenos.

Tal como se ha apuntado antes, en un sistema de frenos con SFA además de los componentes habituales del circuito hidráulico encontraremos los siguientes componentes: un módulo hidráulico, que es el encargado de regular la presión de los bombines de las ruedas, formado por una o dos electroválvulas por cada vía de control, una bomba eléctrica y un acumulador de presión. Los sensores de las ruedas y en algunos casos un interruptor en el pedal de freno que genera la señal de "pedal pisado". Un módulo electrónico, que por razones de seguridad, suele tener dos microprocesadores que actúan en paralelo; uno de ellos es el que acciona el sistema mientras que el segundo hace las veces de un verificador de funcionamiento, compara los datos de entrada y de salida del primero con los suyos propios y, en caso de producirse una diferencia entre ambos, coloca el sistema fuera de servicio y avisa al conductor, de que sólo puede disponer del sistema de frenos convencional, activando un testigo luminoso en el panel de indicadores.

La función de control del módulo sobre el sistema consiste en excitar los solenoides de las elec-

troválvula o activar el motor de la bomba del módulo hidráulico.

FORMA DE ACTUAR DE UN SFA

Analicemos ahora la manera de actuar de uno de los SFA de cuatro vías más difundido. El sistema formado por una bomba de frenos de doble circuito con un servofreno de vacío acoplado sobre el eje de su émbolo. Cada uno de los dos circuitos hidráulicos de la bomba de frenos se bifurca en otros dos, dentro del módulo hidráulico, para crear las cuatro vías de control.

Por cada vía controlada, el sistema dispone de una electroválvula de tres vías-tres posiciones que junto con una bomba eléctrica y un acumulador de presión forman el módulo hidráulico del sistema. El sistema lo completan las ruedas fónicas, los captadores, y el módulo electrónico.

La misión, en este tipo de SFA, de la bomba eléctrica y el acumulador de presión es descargar de líquido de frenos los bombines de las ruedas para disminuir la presión de frenado.

El sistema regula de manera independiente la presión de frenado en los bombines de los frenos según la tendencia al bloqueo de su rueda.

PRIMERA FASE: FRENADO NORMAL

Cuando se pisa el pedal de freno, (figura 8) la presión generada en la bomba de frenos llega a todos los bombines de freno de las ruedas pues las válvulas de tres vías-tres posiciones (5) del SFA están en posición de reposo comunicando la bomba de frenos con los bombines. Si ninguna de las ruedas tiende a bloquearse, el SFA no actúa y se realiza un frenado normal. Tal como se aprecia en la figura el módulo electrónico (1) recibe información del captador (7) de la rueda fónica (8) solidaria al eje de la rueda del vehículo y la vía que comunica con el acumulador (2) y la bomba (4) queda bloqueada en la válvula (5). También está bloqueada por la válvula de bola la comunicación superior de la bomba eléctrica con el circuito de frenos.

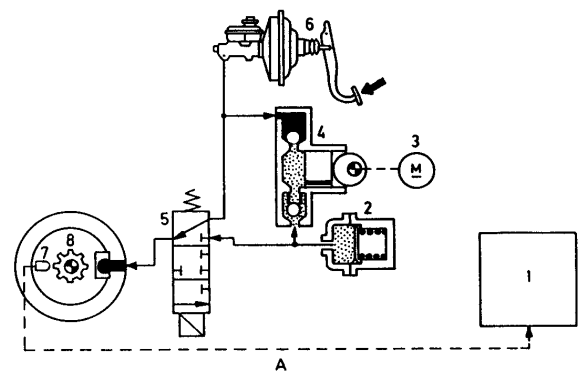


Figura 8. Esquema de acción de un SFA con servo de vacío. 1) Módulo electrónico. 2) Acumulador de presión. 3) Motor eléctrico. 4) Bomba de módulo hidráulico. 5) Válvula de tres vías-tres posiciones. 6) Bomba de freno con servo de vacío. 7) Captador de velocidad de giro de la rueda. 8) Rueda dentada. A) Frenado normal.

SEGUNDA FASE: MANTENER PRESIÓN

Si al frenar una de las ruedas del vehículo tiende a bloquearse, (figura 9) la variación del período de la señal generada en su captador sobrepasará el margen de los valores que el módulo electrónico (1) almacena en su memoria y, de la comparación de ambos datos, surgirá la señal de salida en forma de un impulso eléctrico que activará la bobina del electroimán de la válvula de tres vías-tres posiciones (5), la cual se colocará en la posición central de bloqueo de las tres vías. En esta situación, la presión de la bomba de frenos que genera el conductor al pisar el pedal del freno, no pasará al bombín de freno de la rueda que iba a bloquearse, manteniéndose en éste la presión que había recibido hasta el momento de actuación del módulo electrónico. En esta fase la válvula (5) deja aislados todos los componentes del circuito hidráulico al bloquear todas las vías.

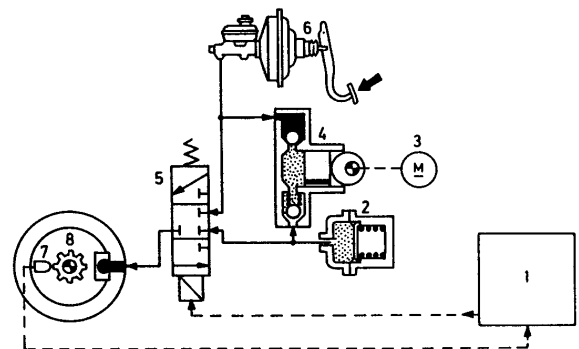


Figura 9. SFA en fase de mantener la presión.

TERCERA FASE: DISMINUIR LA PRESIÓN

Si, a pesar de la actuación del módulo en la segunda fase, la rueda continúa con su tendencia a bloquearse, (figura 10) la señal del captador continuará fuera de la amplitud registrada en la memoria del módulo electrónico (1). Entonces, éste actuará generando dos nuevos impulsos: uno, a la válvula de tres vías-tres posiciones (5) cuyo electroimán la situará en la tercera posición.

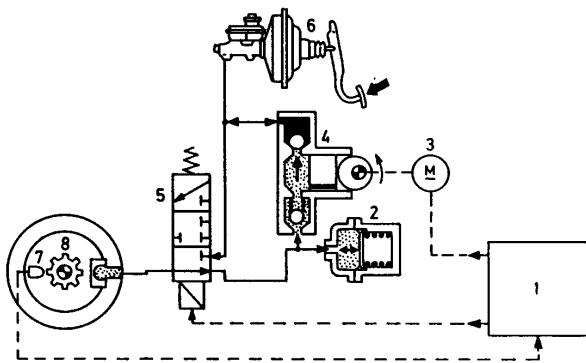


Figura 10. SFA en fase de disminuir la presión.

En esta posición, la válvula mantiene el bloqueo de la entrada de presión de la bomba de frenos y pone en comunicación el bombín de freno de la rueda con la vía del acumulador (2) y de la bomba (4). El segundo impulso es para el motor (3) de la bomba que se pone en funcionamiento al recibir la señal para disminuir la presión del bombín, quitándole el líquido de frenos y enviándolo hacia el cilindro de la bomba de frenos. Esta acción hace que se note el ruido clásico del funcionamiento del SFA a la vez que se notan unas vibraciones en el pedal de freno.

El acumulador de presión atenúa los golpes de ariete que originan las contrapresiones del circuito de salida y mantiene la presión en el bombín de freno cuando retrocede el émbolo de la bomba eléctrica en su carrera de aspiración, de esta manera evita que la rueda controlada aumente en exceso su velocidad de giro.

Un sistema de frenos antibloqueo es capaz de realizar en un segundo de 20 a 40 ciclos, considerando un ciclo pasar sucesivamente por las tres fases.

CONCLUSIONES

Tal como se ha expresado al inicio para detener un automóvil es necesario transformar su energía cinética, lo cual no podemos hacer de golpe, por lo tanto es necesario un espacio para pararlo. Comparando la energía cinética del vehículo con el trabajo realizado por la fuerza de frenado o retardo que desarrollan las ruedas podremos averiguar el espacio que necesita un vehículo para detenerse al frenar y mediante las leyes del movimiento el tiempo que invertirá.

$$E_c = F_f \cdot e_f \text{ ó } \frac{1}{2}mv^2 = mg\mu e_f \quad (4)$$

y despejando e_f de la última igualdad

$$e_f = v^2/2g\mu \quad (5)$$

Los valores teóricos para el espacio de frenado, que obtengamos con el cálculo propuesto, no dependen de la masa del vehículo, únicamente del cuadrado de su velocidad expresada en m/s y de la adherencia entre firme y cubierta.

Además habrá que añadirles a ambos el valor correspondiente al tiempo de respuesta. Que es el tiempo que invierte el conductor en decidir que debe accionar los frenos del vehículo más el tiempo que tarda en actuar el mecanismo.

En realizar el proceso mental de toma de decisiones, si bien se realiza de forma poco consciente y a pesar de la rapidez de los reflejos en nuestro sistema nervioso, se tarda unas décimas de segundo. En cualquier mecanismo, por su elasticidad, por su resistencia, por su grado de complejidad, por los movimientos que se deban realizar para iniciar la acción, tarda un cierto tiempo (tiempo de reacción) en responder cuando solicitamos su servicio.

Por término medio el tiempo de respuesta se estima en unos 0,75 segundos que, sumados al tiempo de frenado, darán el tiempo real de frenado para detener un vehículo y se debe considerar que durante este tiempo de respuesta el vehículo continúa circulando con la velocidad que traía, esto indica que también aumentará el espacio de frenado durante estos instantes.

En resumen los sistemas de freno antibloqueo de ruedas aportan a los vehículos, que los incor-



poran en su sistema de frenos, un incremento importante de su seguridad activa. Pero no se debe olvidar lo siguiente:

Cualquier vehículo, dotado de SFA o sin él, necesita un cierto espacio para detener su marcha y resulta imprudente no respetar la distancia de seguridad con el vehículo precedente tal como aconseja el código de circulación.

Los SFA no tienen ninguna influencia sobre la fuerza centrífuga que adquieren los vehículos al describir una trayectoria curvilínea, en consecuencia, frenar en una curva es tan peligroso con SFA

o sin él, aunque no perdamos la capacidad de maniobrar gracias al SFA.

Albert Martí Parera
Barcelona, marzo de 1998.

BIBLIOGRAFÍA

Frenos ABS. Albert Martí Parera. MARCOMBO. Barcelona, 1993.

Limitaciones del conductor y del vehículo. Albert Martí Parera. MARCOMBO. Barcelona, 1992.