



EL SISTEMA DE FRENADA Y LOS FRENOS EN LOS TRACTORES AGRÍCOLAS

PARTE 1.- LA ENERGÍA ABSORBIDA Y LOS MECANISMOS PARA LA FRENADA

Durante mucho tiempo, se consideró que los frenos en los tractores agrícolas eran poco importantes, pero según ha aumentado la velocidad máxima limitada por construcción, ha crecido el interés por el diseño de los sistemas de frenada utilizados. Por este motivo, en este número y el siguiente nos ocupamos de este elemento esencial en cualquier vehículo agrícola.

LUIS MÁRQUEZ

Con la frenada se pretende detener el vehículo en movimiento, o impedir que se lance al bajar por una pendiente. Para ello es necesario que las ruedas de alguno de sus ejes aumente su resistencia a la rodadura. Es-

ta dificultad para rodar provoca en la rueda una fuerza en sentido contrario al avance del vehículo, que obligará a reducir su velocidad hasta detenerlo.

En consecuencia, para detener el vehículo se necesita que las ruedas opongan una resistencia a girar y que entre la rueda y el suelo exista suficiente adherencia que permita resistir la fuerza de frenada.

Frenar un vehículo supone aplicar lo que se denomina una deceleración (aceleración negativa, definida como pérdida de velocidad en cada unidad de tiempo) que se puede medir en m/s^2 , o bien en 'g' (1 g = aceleración de la gravedad = $9.8 m/s^2$).

Durante mucho tiempo, se consideró que en los tractores agrícolas los frenos eran poco importantes, ya que bajando la palanca del acelerador la velocidad se reducía considerablemente (por el freno inducido por el motor), especialmente cuando está seleccionada una relación de transmisión de las de trabajo en campo. A medida que ha aumentado la velocidad máxima limitada por construcción, y se ha implicado el tractor en operaciones de transporte, con velocidades que pueden superar los 40 km/h y arrastrando pesados remolques, ha aumentado la importancia en el diseño de los sistemas de frenada que utilizan los tractores agrícolas modernos.

Así, los frenos deberán tener capacidad para aplicar una fuerza que se oponga al movimiento, absorbiendo la energía cinética del vehículo que se disipa en forma de calor.

La energía cinética de los vehículos en movimiento

Cualquier vehículo en movimiento dispone de una energía cinética que depende de su masa y del cuadrado de la velocidad a la que se desplaza. Esto significa que si la velocidad se duplica, la

energía cinética se multiplica por cuatro.

En el desplazamiento del tractor sobre el suelo agrícola con la tracción conectada, o sobre una superficie pavimentada, todos los elementos que forman parte de la transmisión, así como la resistencia que impone el suelo a la rodadura de los neumáticos, tiende a reducir la energía cinética del vehículo en movimiento. Para mantener la velocidad de desplazamiento, el motor debe compensar aportando energía para que la velocidad de avance se mantenga constante, por lo que si se desconecta el motor, el vehículo pierde progresivamente velocidad. Por otra parte, se puede hacer que el motor baje su régimen, con lo cual se frena el movimiento del vehículo; esto se conoce como 'freno motor'.

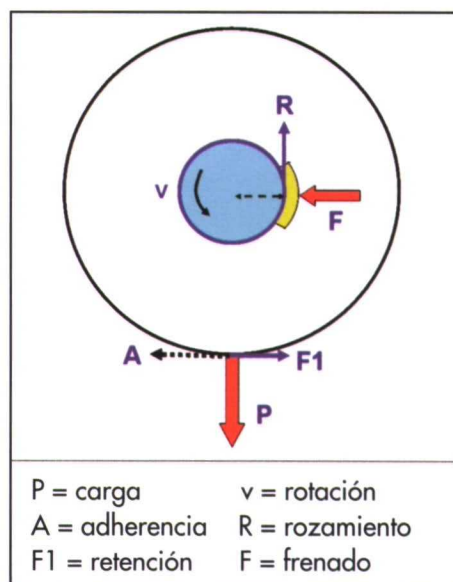
Además, si se quiere que el vehículo pierda velocidad con rapidez, hay que recurrir a los que

ción que forma parte de lo que se conoce como 'forros' de los frenos. La energía cinética que absorbe los elementos en contacto se convierte en calor.

Un tractor más un remolque con una masa total de 10 toneladas, cuando circula a una velocidad de 25 km/h (6.95 m/s) dispone de una energía cinética de:

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \text{ [kg]} \times v^2 \text{ [m/s]} = 10\,000 \times 6.95^2 = 241\,126 \text{ julios}$$

FIGURA 1.- CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL FRENADO



Estos 240 mil julios equivalen a 67 Wh, o sea la energía que consumiría una bombilla de algo más de 60 vatios encendida durante una hora, que le ha suministrado el motor al tractor consumiendo combustible.

La utilización de los frenos en los tractores es imprescindible para detener el tractor en los desplazamientos por carreteras y caminos, pero también para aumentar la maniobrabilidad en los trabajos de campo ayudando a la dirección. Es por ello, por lo que los elementos de frenado en las ruedas de uno y otro lado se pueden accionar de forma independiente (pedales separados), aunque haya que enclavarlos para el transporte, por el riesgo de que el vehículo se atraviese en la frenada.

En la frenada intervienen, por una parte, los elementos en con-

UN TRACTOR CON REMOLQUE Y MASA TOTAL DE 10 t A 25 km/h DISPONE DE UNA ENERGÍA EQUIVALENTE A LA QUE CONSUMIRÍA UNA BOMBILLA DE ALGO MÁS DE 60 VARIOS ENCENDIDA DURANTE UNA HORA

se denominan 'frenos', que utilizan el contacto de una parte fija del vehículo con otra móvil vinculada a las ruedas, entre las cuales se encuentran un material de fric-



tacto del mecanismo del freno, y por otra, el contacto del neumático con el suelo, siendo la rueda el elemento que transmite el esfuerzo de frenado al suelo. En consecuencia, son los límites de adherencia entre los elementos del mecanismo de frenado que entran en contacto y entre la rueda y el suelo los que condicionan la acción de frenado.

La rueda frenada

La rueda frenada se comporta en el suelo como una rueda conducida en la que aumenta el par resistente como consecuencia de la intervención de los elementos de frenado. El aumento del par resistente incrementa el patinamiento de forma que cuando se supera un límite la rueda se bloquea y el vehículo desliza durante un cierto tiempo hasta detenerse.

Cuando se efectúa un esfuerzo retardador, el neumático desliza sobre el suelo; un deslizamiento en frenada del 5% (negativo comparado con el que se produce en tracción) indica que cuando el vehículo recorre en estas condiciones 100 m, la longitud recorrida por las ruedas es solo de 95 m.

El deslizamiento es necesario para que aparezca un coeficiente de adherencia; éste crece cuando el deslizamiento aumenta hasta aproximadamente el 12% (circulando por un pavimento), momento en el que el coeficiente de adherencia toma su valor máximo. Si continúa aumentando el deslizamiento, el coeficiente de adherencia se reduce progresivamente para llegar a un valor del 75% del máximo.

Los valores máximos del coeficiente de adherencia en frenada dependen de las características de los neumáticos y del tipo de pavimento, que varían ampliamente en función de que se encuentre seco o húmedo. Los tacos de las ruedas en los tractores agrícolas hacen que la adherencia sea

menor que la que se consigue con las de los vehículos automóviles cuando se desplazan sobre pavimento. Por ello, en las condiciones más favorables, el coeficiente de adherencia hay que considerar que será inferior a 0.6, y que se puede reducir a menos de la mitad en pavimentos húmedos.

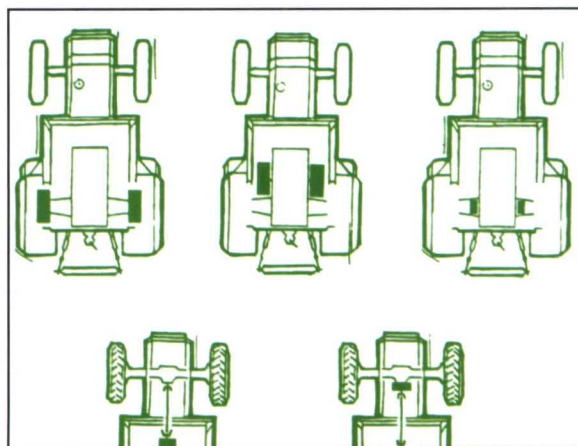
Para vehículos lentos, como son los tractores agrícolas, se consideraba que el coeficiente de adherencia en la frenada no resulta afectado por la velocidad de marcha, pero con el incremento de la velocidad máxima admitida en los tractores rápidos, hay que contar con una reducción que puede ser de más del 15% cuando se circula a 50 km/h. El coeficiente de adherencia también está influenciado por la temperatura del neumático, reduciéndose a medida que esta aumenta.

Por otra parte, la carga dinámica de las ruedas se modifica durante el proceso de frenado, por lo cual la fuerza de frenada de las ruedas delanteras podría ser mayor. En el caso de los tractores agrícolas, con un reparto de masas de 30/70 en los del simple tracción, que puede llegar hasta la relación 50/50 en los de doble tracción con ruedas desiguales, las ruedas del eje delantero son de menor tamaño, y hasta hace poco tiempo no estaban dotadas de elementos de frenado, lo que repercutía en la eficiencia de los sistemas de frenado.

Sin embargo, la circunstancia de ser las ruedas traseras las frenadas le da estabilidad al proceso, ya que si los frenos de ambos lados están equilibrados, el tractor mantiene la trayectoria en frenadas bruscas, lo que no sucedería si las ruedas frenadas fueran las del eje delantero.

Con el aumento de la velocidad máxima limitada por construcción en los tractores agrícolas, la reglamentación que se apli-

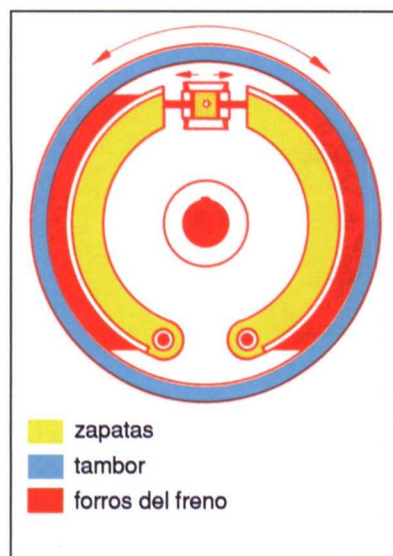
FIGURA 2.- POSICIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE FRENADO EN LOS TRACTORES AGRÍCOLAS (DOC. DEUTZ-FAHR)



ca a los sistemas de frenado se ha hecho más estricta, por lo que los fabricantes han incorporado dispositivos de frenada en las ruedas del eje delantero, o bien incluyen un sistema electrónico para la conexión automática de la transmisión del eje delantero cuando se produce la frenada.

En la Figura 2 se presentan los esquemas con la situación más frecuente de los dispositivos de frenado en los tractores agrícolas. Con frenos solamente en las ruedas traseras, los costes se reducen, pero las prestaciones en la frenada son bajas; por el contrario, con frenos en las ruedas de ambos ejes, las prestaciones son altas, pero los costes aumentan, por lo que esta opción no se utiliza, sustituyéndola por el frenado sobre el eje de la transmisión entre el eje trasero y el delantero, o el acoplamiento de la doble tracción en el momento de la frenada, para que el eje delantero colabore aumentando la adherencia del tractor. Con el acoplamiento del eje delantero durante la frenada, los costes de la instalación se reduce, pero los frenos pierden prestaciones al frenar en curva. Esto hace, en la actualidad, que para tractores cuya velocidad máxima por construcción sea de más de 40 km/h, se elija la opción de frenos en el eje trasero y sobre el árbol de la transmisión.

FIGURA 3.- FRENO DE TAMBOR



LOS FABRICANTES HAN INCORPORADO DISPOSITIVOS DE FRENADA EN LAS RUEDAS DEL EJE DELANTERO

Los mecanismos de freno

Los elementos necesarios para el frenado incluyen el freno, en el que se desarrollan las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo, el dispositivo de mando sobre el que actúa el conductor, y el sistema de transmisión que enlaza estos elementos.

Entre las diferentes alternativas que permiten reducir la velocidad de giro de un eje en rotación, para los frenos de los tractores agrícolas se utilizan los dispositivos mecánicos por fricción, en los que se produce rozamiento entre dos piezas solidarias, una de ellas unida al vehículo y otra unida a la rueda o al conjunto de ruedas, entre los que se encuentran los de tambor, los de cinta y los de discos con pinza o con plato de apoyo.

Frenos de tambor

Se fabrican diferentes variantes constructivas basadas en el mismo principio: la expansión de dos piezas situadas en el interior de un tambor fijado a la rueda, o a un eje en rotación formando parte de la transmisión del tractor. En algunos casos cada una de las zapatas están articuladas en un punto, y en el otro extremo se incorpora un dispositivo que tiende a separarlas para que entre en contacto con la parte interna del tambor. Para mantenerlas separadas

de los tambores se puede utilizar un resorte que tiende a juntar las zapatas hacia la zona central.

Para que las zapatas se acerquen al tambor, y el freno actúe, se utiliza una leva o un bombín hidráulico que recibe aceite desde el sistema hidráulico del tractor

Al estar articuladas las zapatas sobre puntos fijos, están sometidas a fuerzas iguales y de sentido contrario a las fuerzas de frenado, que tienden a arrastrarlas en el sentido de rotación del tambor. La que recibe el esfuerzo en el sentido del punto fijo al móvil tiende a separarse del tambor, con lo que disminuye la fuerza de frenado, mientras que en la otra zapata la

FIGURA 4.- FRENOS DE ZAPATA CON DIFERENTES SISTEMAS DE ACCIONAMIENTO Y FIJACIÓN



fuerza aumenta. Si los forros tienen igual coeficiente de rozamiento, y son del mismo material, los desgastes de las zapatas no son uniformes, por lo que para mejorar el sistema se han introducido modificaciones en los dispositivos de fijación de las zapatas.

Los forros de los frenos pueden ofrecer un coeficiente de rozamiento de 0.4, aunque para el cálculo de la capacidad de frenada conviene admitir un valor máximo de 0.3 para temperaturas entre 0 y 250°, con una fuerza aplicada sobre ellos de unos 15 bar, con el tambor girando con una velocidad periférica de menos de 12 m/s.

Este sistema de frenado, que ha sido habitual en muchos vehículos automóviles para las ruedas del eje trasero, como consecuencia, entre otras razones, que se adapta muy bien al cubo de la rueda; en los tractores agrícolas mo-

FIGURA 5.- FRENO DE POLEA Y CINTA

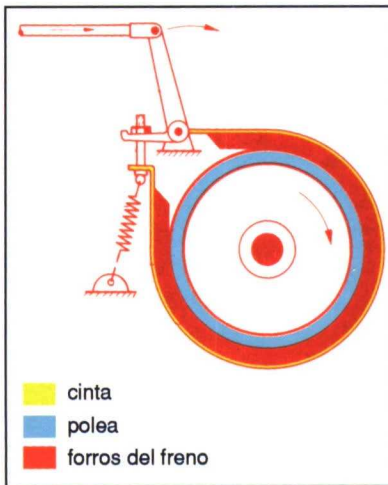
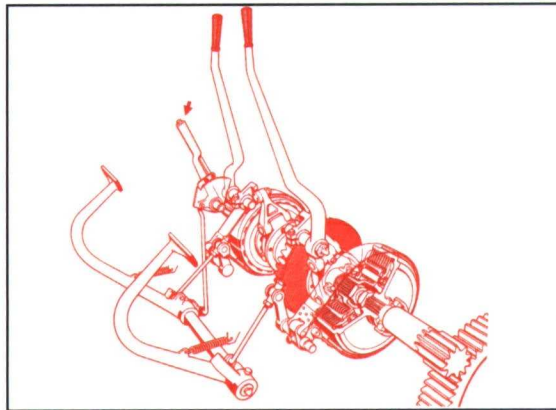


FIGURA 6.- FRENOS DE CINTA EN LA DIRECCIÓN DE UN TRACTOR DE CADENAS, QUE TAMBIÉN SIRVEN COMO FRENO DE ESTACIONAMIENTO (DOC. FIAT)



dernos ha dejado de utilizarse, porque el diseño de las ruedas con sus reducciones finales son diferentes. Sin embargo, es uno de los sistemas de frenado que más utilizan los remolques agrícolas, a pesar de las limitaciones que aparecen cuando se calientan.

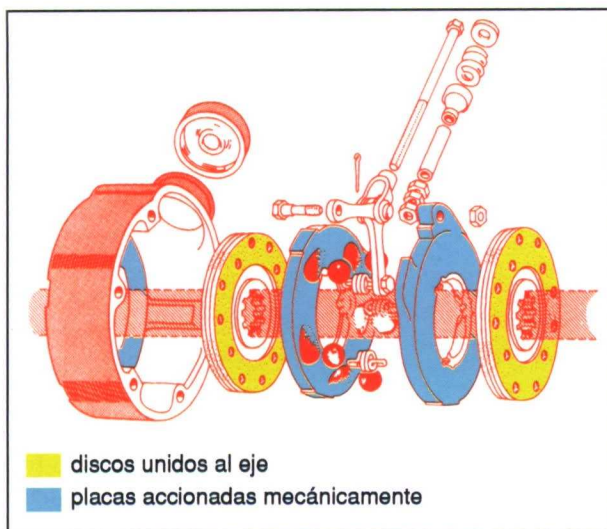
Frenos de polea y cinta

Muy utilizados en los antiguos tractores de cadenas para el sistema de dirección, y en algunos casos para el freno de estacionamiento de los tractores agrícolas de ruedas, han perdido interés por sus menores prestaciones con respecto a otras alternativas, aunque se siguen utilizando en algunas máquinas agrícolas por su simplicidad constructiva.

LA ESTRUCTURA DE LOS FRENOS DE DISCOS ES SIMILAR A LA DE LOS EMBRAGUES DE DISCOS MÚLTIPLES

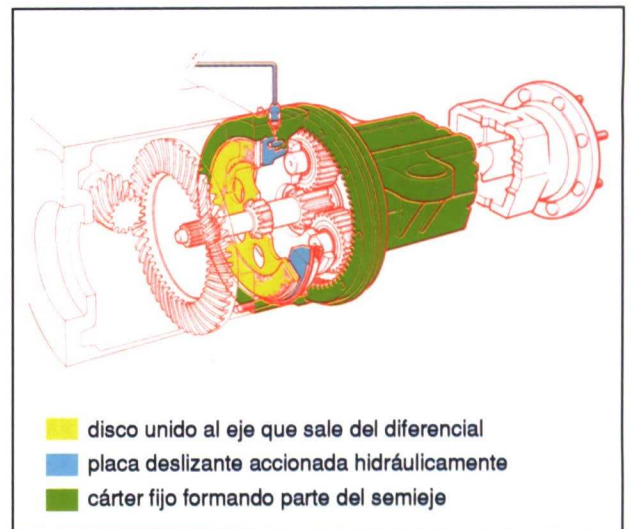


FIGURA 7.- COMPONENTES DE UN FRENO DE DISCOS CON MANDO MECÁNICO POR EXPANSIÓN



■ discos unidos al eje
■ placas accionadas mecánicamente

FIGURA 8.- COMPONENTES DE UN FRENO DE DISCOS CON ANILLO DE ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO



■ disco unido al eje que sale del diferencial
■ placa deslizante accionada hidráulicamente
■ cárter fijo formando parte del semieje

Está constituido por una polea alrededor de la cual se enrolla una cinta de acero provista de un forro en el interior. Por uno de los extremos la cinta va unida a un soporte fijo, mientras que por el otro a un soporte móvil unido al mando.

A diferencia de lo que sucede en los frenos de tambor, la presión sobre la polea se realiza en sentido contrario a las dilataciones. En el caso de que la velocidad de la polea sea alta se produce una disminución del coeficiente de rozamiento, pero ofrecen una buena potencia de frenada. Por las características del sistema no se recomiendan para una frenada continuada, pero si para inmovilizar estacionados los vehículos pesados.

Frenos de discos

Su estructura es similar a la de los embragues de discos múltiples, aunque están diseñados para aplicar una fuerza progresiva que reduzca la velocidad del eje sobre el que se sitúan.

Pueden utilizar uno o varios discos y el dispositivo de mando suele ser un mecanismo articulado, que aprovecha el desplazamiento lateral de los elementos fijos, al hacerlos girar ligeramente en sentidos contrarios entre sí por el efecto de unas bolas colocadas sobre unos orificios asimétricos (Figura 7).

Ofrecen como ventaja la posibilidad de situarlos en los semi-palieres de las ruedas del eje trasero, por lo que trabajan humedecidos con aceite, lo que, aunque reduce el coeficiente de rozamiento, permite disipar el calor que se produce durante la frenada.

Con la generalización de la utilización de los sistemas hidráulicos en los tractores, el diseño de estos frenos de disco se ha modificado, y los dos platos centrales que se desplazan lateralmente han sido sustituidos por un plato único, que se desplaza lateralmente en un espacio cilíndrico por el efecto del aceite que llega a la cámara contraria a la que se encuentran los discos de fricción (Figura 8).

Las elevadas presiones que se pueden conseguir en los sistemas hidráulicos de los tractores agrícolas modernos, permiten alcanzar una gran eficacia con este sistema de frenos, aunque se utilice un solo disco vinculado al eje de salida por delante de la reducción final de las ruedas traseras.

Frenos de pinza

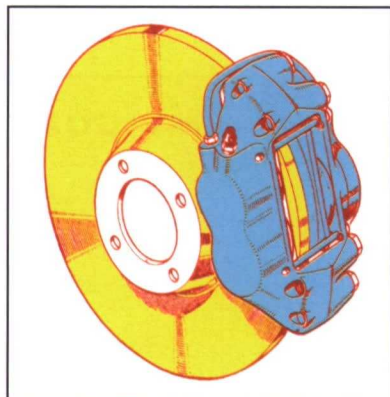
Muy utilizados en el sector del automóvil, se incorporan a las transmisiones de los tractores agrícolas por su simplicidad constructiva y elevada eficacia, especialmente en ejes que giran a mayor velocidad.

El disco, unido a un eje en movimiento, es frenado aplicándole fuerzas axiales (no radiales como en los frenos de tambor), que se ejercen en sentido inverso a las dilataciones. Los forros pueden fi-



jarse a la pinza que ejerce la fuerza sobre el disco, o en el propio disco. Generalmente las fuerzas de frenado son ejercidas apretan-

FIGURA 9.- FRENO DE PINZA Y DISCO



do del disco con dos patines simétricos que incluyen los forros colocados en el interior de una pinza. Es esencial que la presión de los patines sea igual entre las dos caras del disco.

El contacto entre el disco y el forro se efectúa sobre una superficie plana, lo que hace que la superficie del forro se utilice completamente a efectos de obtener ele-

vada fricción, aunque el tamaño de la misma sea pequeño para el conjunto del disco (ángulo entre radios de unos 60°). La parte libre del disco favorece la disipación del calor generado en la frenada. También, por su diseño, admiten presiones mayores, siempre que la pinza no se deforme. Las velocidades de deslizamiento son diferentes y aumentan desde la parte central hasta la periferia, lo que ocasiona diferencias de desgaste. Los forros de los frenos, habitualmente conocidos como pastillas, toman forma de corona, y los patines que los contienen se montan flotantes en el interior de las abrazaderas.

Los frenos de pinza son habitualmente utilizados sobre el eje delantero de los tractores de doble tracción, a la salida de la caja de cambio, o al entrada del diferencial delantero, y también en semiejes intermedios entre el diferencial y el que da salida a las ruedas en la propia caja de cambio, con una situación externa a la propia caja (Figura 10). ■

FIGURA 10.- FRENOS DE PINZA EN EL EJE INTERMEDIO ENTRE EL DIFERENCIAL Y LA REDUCCIÓN FINAL (DOC. DEUTZ)

