

Tractor de 6700 cm<sup>3</sup>, 240 CV, casi 1000 Nm de par. Pesa 7000 kg y puede remolcar varias veces su peso a toda velocidad. ¿Cómo se frena?



## SEGURIDAD EN MAQUINARIA

# ¡Y esto cómo se para! Sistemas de frenos

R. Cabrero Sopena  
*Ingeniero de Telecomunicaciones*

H. Catalán Mogorrón  
*Doctor Ingeniero Agrónomo*

S. González Gromberg  
*Ingeniero Agrónomo*

El freno es un dispositivo transformador de energía, entonces significa, ¿que en realidad, el sistema de frenado es una máquina *per se*? Efectivamente lo es. El freno transforma la energía cinética de un cuerpo en calor o trabajo. El sistema de frenado es un “extractor” de energía.

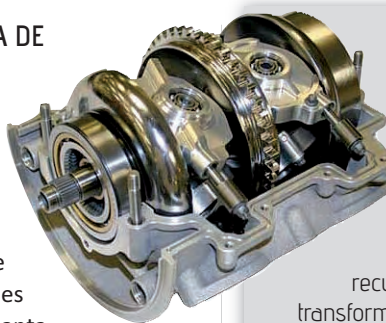
## ¿QUÉ ES UN SISTEMA DE FRENADO Y COMO FUNCIONA?

**S**e puede dar una respuesta convencional y sencilla afirmando que la función de los frenos, es detener el giro de la llanta para así lograr detener un vehículo.

Otra respuesta, más “técnica”, será aquella que involucra el sistema de frenos como máquinas que absorben energía cinética o potencial en el proceso de detener, o reducir la velocidad, de una pieza que se mueve. La energía absorbida se disipa en forma de calor.

Para que se pueda frenar es necesario accionar el/los pedal/es, o manetas, del freno. A través de sistemas de palanca se acciona la bomba de frenos (cilindro maestro) o se envía el fluido desde el depósito hasta las ruedas.

La capacidad de un freno depende de la presión unitaria entre las superficies de contacto y a la postre de la energía que se absorbe en el proceso.



El KERS (Kinetic Energy Recovery System), sistema que se ha hecho famosos tras su popularización en los monoplasas de fórmula 1, es un freno de tipo regenerativo y recupera energía cinética transformándola en eléctrica que la almacena en baterías condensadores o en un volante de inercia. El sistema sí bien se popularizó en 2009 con los F-1 ya se empleaba desde hace tiempo en trenes eléctricos, vehículos híbridos...

## FRENADO EN LOS TRACTORES AGRÍCOLAS

Al igual que en cualquier otro vehículo, el sistema de frenado de los tractores deberá ser capaz de detenerlo (sin olvidar que se trata de un vehículo pesado, capaz de transportar o arrastrar, varias veces su peso). El proceso de frenado en tractores agrícola cuenta con varios *handicap* que dificultan el fenómeno:

- Es habitual que se requiera el frenado so-



bre una superficie no óptima como es la grava suelta de un camino

- Es normal que se frenen, sólo las 2 ruedas traseras
- El proceso de frenado se realiza con unos neumáticos con la superficie de apoyo mal repartida en unos tacos nada recomendados para ayudar a la detención o reducción de la velocidad

Puestos a ser más críticos todavía se podía añadir un cuarto *handicap* y que es que quizá no todos los clientes estén concienciados con la importancia del sistema de frenos en un tractor. Un tractor de 7000 kg con un remolque arrastrado, no siempre en buenas condiciones, de 30000 kg y lanzado por un camino, ¡a 50 km/h! en realidad es un comportamiento temerario.

La sensibilización debe estar acompañada por: una legislación (la actual legislación se recoge en la Directiva CE 76/432 y 96/63), unos fabricantes que tengan la tecnología desarrollada y presta en sus máquinas (suspensión delantera, control de estabilidad, frenado a las 4 ruedas, ABS....) y por último con un cliente que le de tanta importancia al frenado como a la potencia desarrollada.

## SISTEMAS DE FRENADO SEGÚN SU USO

En los tractores existen dos sistemas de frenado, el de servicio, que se accionan con los pedales de freno, y el de estacionamiento, que se acciona manualmente.

### ► Freno de servicio

Se refiere a los dispositivos diseñados para detener o desacelerar el vehículo.

### ► Freno de mano estacionamiento o emergencia

Se refiere al sistema que inmoviliza el vehículo cuando esta parado. También está disponible para detener el vehículo en caso de fallo del freno de servicio realizando una función de emergencia.

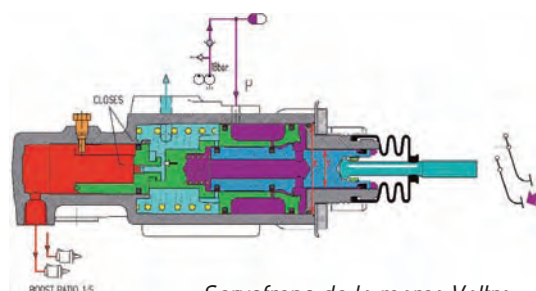
Lo habitual es que el freno de mano sea del tipo mecánico, por medio de palancas o cables. En los tractores suele actuar sobre las ruedas pero también puede hacerlo sobre la transmisión, pero siempre independiente del de servicio.

## SISTEMAS DE FRENADO SEGÚN SU ACCIONAMIENTO

Al presionar el pedal de freno, se transmite una fuerza (desde el pie hasta los frenos). En la actualidad la fuerza requerida para frenar es mucho mayor de la, normalmente, aplicada. Son mecanismos que se diseñan para proporcionar "ventaja" al conductor mediante la combinación de brazos de palanca o bien con la multiplicación proporcionada por la transmisión de un fluido hidráulico.

### ► Servofreno

Se denomina así a un mecanismo que sirve para minimizar el esfuerzo humano que hay que hacer sobre el mando de freno de un vehículo para frenarlo. El más popular es el conocido como "servofreno de vacío", que fue ideado en la época de los frenos mecánicos. Se trata de un sistema que aprovecha la depresión generada en el colector de ad-



Servofreno de la marca Valtra





misión del motor para multiplicar el esfuerzo que hace el conductor con su pie sobre el pedal del freno. El servofreno hace que la fuerza ejercida sobre el pedal sea muy baja. Hay controles *servos* instalados por separado en lugar de los cilindros principales convencionales. Los frenos de dirección se pueden seguir utilizando de la misma forma.

El sistema suele combinarse con los frenos mecánicos, neumáticos o hidráulicos.

## ► Freno mecánico

Se acciona por la aplicación de una fuerza transmitida mecánicamente, por palancas o cables. Sistema muy útil, en pequeñas potencias de frenado, hasta que deja de ser funcional porque el vehículo requiera un sistema más potente (por peso o por velocidad). Suele requerir frecuentes ajustes para igualar su acción sobre las ruedas. El sistema se evoluciona hacia los frenos hidráulicos o neumáticos.

## ► Freno neumático

Inventado, en 1860, por George Westinghouse, se incorpora por primera vez en un tren. El accionamiento se realiza mediante aire comprimido. Muy utilizado además de en trenes, en camiones, autobuses y maquinaria pesada.

## ► Frenos hidráulicos

Se aprovecha la acción multiplicadora del esfuerzo ejercido sobre un líquido oleoso incompresible. La presión se ejerce sobre un pistón que actúa sobre el líquido y se transmite a otros pistones que accionan los frenos. La presión hidráulica se transmite con idéntica

presión a los distintos elementos de fricción, evitando la necesidad de realizar ajustes.

## ► Freno de inercia

Se emplea en remolques pequeños. Consiste en aplicar en la barra de tracción el sistema de frenado del remolque. Al frenar el tractor, la barra actúa sobre el dispositivo de frenado de las ruedas. Al volver a "tirar" el tractor, se deja de actuar sobre el sistema.

## ¿QUÉ ES EL "POPULAR" FRENO MOTOR?

Mucho se habla del freno motor, en realidad el término se refiere a la acción de frenado que ejerce el par resistente del motor. Cuanto más altas son las revoluciones a las que gira el motor, mayor resistencia opone, por esa razón al utilizar el freno motor se instala una marcha corta y obligar al motor a girar a más revoluciones (sin pasarse para no causar daños)

## SISTEMAS POPULARES EN LOS TRACTORES Y MAQUINARIA AGRÍCOLA

En tractores modernos el sistema de frenos consiste, casi en su generalidad, en sistemas de grupos de discos en baño de aceite que actúan sobre los semipalieres de las ruedas traseras. El comportamiento de un freno es análogo al de un embrague, con la diferencia que un embrague conecta una parte móvil con otra parte móvil, mientras que el freno conecta una parte móvil con una estructura fija.

Es habitual, en tractor grande, que existan frenos en el eje delantero, bien en los cubos de rueda o incluso en el eje de trans-

misión al tren delantero. También los tractores suelen incorporar sistemas, por medio de los servicios hidráulicos externos, para accionar los frenos del remolque conjuntamente al accionar los pedales de frenos.

## MATERIALES EMPLEADOS

Si hace unos años se optaba por los asbestos, tras las denuncias hacia este material como, presuntamente, cancerígeno, se ha optado por materiales de acero u otros más caros como el carbono, u otros aún más caros como son los materiales de aleación como el tungsteno y el vanadio.

## ► Freno de disco en seco

Es el sistema más utilizado en los vehículos automóviles de calle.

El disco se monta sobre el cubo de rueda; en un sector circular, y está envuelto por una carcasa que contiene las pastillas realizadas con algún material de fricción. Unos pistones empujan las pastillas contra el disco.

Sí bien los discos se fabrican, normalmente, en acero, se han popularizado mucho los discos de carbono en aquellos vehículos de competición (rallys y monocascos).

Los discos pueden ser macizos o autoventilados (se enfrían mientras giran). Se pueden complementar con otros sistemas electrónicos como el ABS.

## ► LA CLAVE PRÁCTICAMENTE NO TIENE DESGASTE

## ► Frenos de disco húmedo

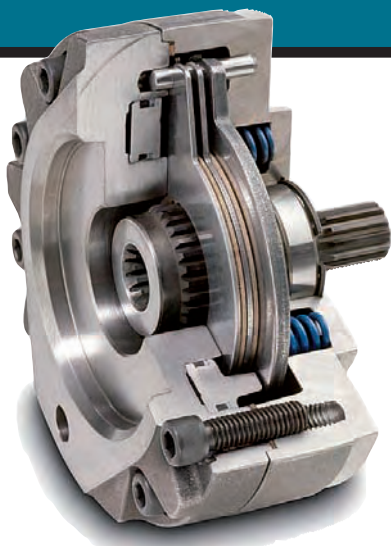
El término "baño de aceite" o "húmedo" da a entender que el sistema está inmerso en aceite. Sin duda es el tipo de disco más usado en el diseño de tractores. Es un sistema muy fiable del cual puede decirse que, prácticamente, no tiene desgaste y, consiguientemente, precisa mínimos ajustes.

Además en el tractor es general encontrar circuitos de mando con frenos independientes. Al pisar los pedales de freno se accionan los cilindros maestros que transmiten la presión. El freno independiente tiene una válvula que permite frenar una sola rueda, derecha o izquierda, con el fin de reducir el radio de giro.

La transmisión de potencia por rozamiento implica la generación de calor,

// LA CAPACIDAD DE UN FRENO DEPENDE DE LA PRESIÓN UNITARIA ENTRE LAS SUPERFICIES DE CONTACTO Y A LA POSTRE DE LA ENERGÍA QUE SE ABSORBE EN EL PROCESO //





Freno multidisco hidráulico

como el disco se encuentra sumergido en aceite, el calor se transmite al fluido oleoso que lo envuelve.

El paquete de frenado puede contener un disco o varios, en cualquier caso el funcionamiento es similar, el disco de freno se une al cubo de rueda a través de un eje, la presión de un pistón mueve el pistón de freno contra un disco de acero que se encuentra solidario con el eje.

→ LA CLAVE  
NO SE USA YA EN  
TRACTORES

#### ► Freno de tambor

El freno de tambor es un tipo de freno en el que la fricción se causa por un par de zapatas o pastillas que presionan contra la superficie interior de un tambor giratorio, el cual está conectado al eje o la rueda. Se trata de un sistema ya antiguo. No se usa ya en tractores y apenas se ve en el tren trasero de algunos coches o motocicletas.

#### ► Frenos de cinta o banda

Sistema bastante utilizado en algunos sectores (es muy común en ascensores). En el diseño de tractores no se usa para detener el vehículo pero sí se puede ver para inmovilizar algunas partes móviles, como por ejemplo el eje de toma de fuerza.

→ LA CLAVE  
EN TRACTORES  
PARA INMOVILIZAR  
EL EJE DE TOMA DE  
FUERZA

→ LA CLAVE  
FORMA PARTE DE  
LOS MODELOS MÁS  
ANTIGUOS

#### ► Freno de llanta

Utilizan como cuerpo móvil la llanta de una rueda. Sí bien en tractores sólo puede citarse como parte del romanticismo de los viejos "cacharros" es, en contra, el más

habitual, prácticamente en monopolio, en las bicicletas.

### DISPOSITIVOS ESPECIALES

Existen algunos sistemas que no utilizan la fricción para detener el vehículo, sino otros principios físicos.

#### ► Frenos eléctrico o de Foucault

Sí bien no se usan en tractores si se usan mucho en camiones y algunas máquinas industriales. La principal ventaja es que al no tener rozamiento entre partes mecánicas, el desgaste y el mantenimiento son mínimos, y permite frenar vehículos muy pesados sin apenas consumo de energía.



El más utilizado es el freno eléctrico "ralentizador" que se emplea en los camiones y vehículos pesados para el descenso de pendientes largas sin fatigar los frenos principales del vehículo.

El sistema se basa en crear corrientes parásitas (Foucault) que a su vez crean esfuerzos de frenado. El principio físico se fundamenta en la creación de corrientes eléctricas, en forma de torbellino, que nacen en una masa metálica cuando esta se sitúa en un campo magnético variable.

#### ► Frenos Electrodinámicos

Su fundamento consiste en hacer que el motor trabaje como generador. Sólo se aplican a ejes motores. Se utiliza habitualmente en trenes eléctricos.

#### ► "Brake by wire" o frenado por cable eléctrico

Algunas marcas montan en sus "buques insignia" algunos sistemas de frenado por mando totalmente eléctrico ("Brake by wire" o frenado por cable eléctrico). El sistema no incorpora acción directa, mecánica o hidráulica, sobre las ruedas.

El conductor al pisar el pedal dice cuando y cuánto quiere frenar, pero cómo hay que hacerlo es cosa del programa que gobierna el sistema. Al accionar el pedal del freno se acciona un sensor de presión, que transmite directamente la información a un computador, que a su vez, recoge lecturas de velocidades de giro de las ruedas y de un acelerómetro instalado en el centro del vehículo. Con estos datos calcula la cantidad de frenada necesaria para cumplir las ordenes del pedal de freno.

Los detractores del sistema argumentan que si existiese un fallo con pérdida completa de la alimentación eléctrica del sistema las consecuencias serían fatales.

La gran ventaja del sistema es el ahorro de peso en el vehículo y la ausencia total de unión mecánica o hidráulica entre el pedal y las pastillas y menor mantenimiento.

#### ► ABS. Antiblockiersystem o sistema de antibloqueo

Bosch, patentó el sistema ABS en 1936 pero no es hasta 1978 con la aparición de la electrónica digital cuando inicia, en serio, su andadura. Se desarrolla, inicialmente, para los aviones, de los mil componentes que tenía el ABS de la primera generación se pasó a los 140 de la segunda. El dispositivo evita que los neumáticos pierdan la adherencia con el suelo durante la frenada.





Un procesador recibe la señal del pedal de freno y los sensores en las ruedas. Al accionar el pedal de freno, la centralita electrónica revisa, constantemente (unas 100 veces por segundo), los sensores de las ruedas verificando que no estén bloqueadas. Si una de las ruedas bloquease, la centralita libera presión del freno de esa rueda.

El problema adicional de la aplicación del sistema en tractores es debido a las condiciones cambiantes del terreno que afectan a la capacidad de tracción y, por supuesto, a la adherencia del neumático. Tras el desarrollo técnico y la superación de los problemas enunciados se puede afirmar que se ha logrado una tecnología más avanzada que en el sector automovilístico.

La mayor capacidad de frenada de un sistema ABS se basa en que el coeficiente de rozamiento estático es mayor que el dinámico.

Con el sistema ABS sería incluso posible girar mientras se frena. Además el ABS es la base para todos los sistemas electrónicos como los controles de tracción, estabilidad reparto electrónico de frenada, etc.

## AUTOMATISMOS EN EL SISTEMA DE FRENADO

En el **freno de servicio**, con la aparición de la electrónica se han popularizado y se han podido implementar ideas que ya estaban en las mentes de los diseñadores. En estos momentos, los automatismos en este tipo de freno están ligados a los sistemas de seguridad activa: control de tracción, antibloqueo, reparto electrónico de frenada (EBV o EBD que reparte la fuerza de frenado entre los ejes), servofreno de emergencia, control de frenada en curva y control de estabilidad.

Por otro lado, en el **freno de emergencia**, algunos de los existentes en el mercado son: desactivación automática al iniciar la marcha, arranque en pendiente, activación al quitar el contacto o desabrochar el cinturón del piloto y freno de estacionamiento sobre las cuatro ruedas



## LO QUE OPINA EL FABRICANTE

A continuación se resumen las opiniones que amablemente los fabricantes han decidido enviar a la redacción de Agricultura. Aparecen en el orden de llegada a esta redacción.

### ► New Holland



Ofrece el sistema ABS (series T7000 y T8000) que controla la frenada y evita el bloqueo de los frenos independientemente de las condiciones del terreno. Con el ABS se puede evitar el "efecto tijera" puesto que realiza una frenada progresiva. El sistema ABS New Holland está diseñado para permitir circular no a 50 ¡sino a 60 km/h! Además incorpora el giro SuperSteer™ que permite reducir el radio de giro frenando más la rueda interior del giro (como el freno independiente de toda la vida, pero sin arrastre y con menor compactación). Este sistema utiliza la gestión de frenos ABS individualmente en cada rueda. Algunas cosas que se destacan:

- Se ha sustituido el pedal de freno doble por un pedal simple de freno.



- No hay modificaciones en la concepción del sistema de frenos, siendo posible instalarlo en tractores que no lo incorporaban en origen.
- Sistema robusto y fiable contra posibles variaciones de carga.

Las Funciones adicionales gracias al sistema ABS son:

- Giro electrónico asistido mediante frenado con pedal simple (e-SBF): la misma función que el sistema convencional (giros más cerrados), pero con mayor seguridad (a más de 20 km/h el sistema se desactiva y se elimina la posibilidad de frenar el tractor solamente con una de las dos ruedas)
- Giro automático asistido mediante frenado con control de deslizamiento (a-SBF): se frena, automáticamente, la rueda del lado interior al realizar un giro (se diferencia del sistema convencional que, además de ser automática, la rueda no se bloquea por completo, evitando el arrastre)
- A baja velocidad, al pisar un pedal se bloquea la rueda trasera del lado correspondiente, realizando el giro como en un sistema convencional de dos pedales
- *Hill Holder*: conexión automática de los frenos para evitar la puesta en movimiento del tractor en pendientes
- Conexión automática de la doble tracción dentro del "paquete" de la lógica "terralock" que se instala de serie en tractores por encima de 100 CV y en algunos fruteros.

### ► Valtra **VALTRA**

Incorpora servofrenos para multiplicar el esfuerzo del conductor. Se utiliza un sistema de baja presión (18 bares) con una relación de

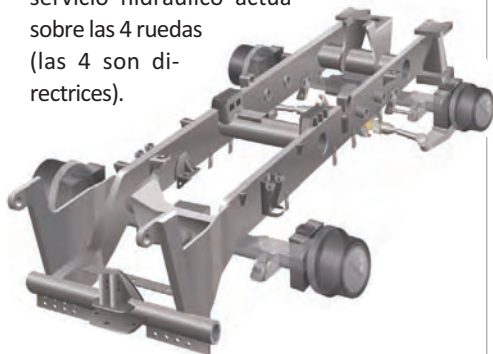
sobrealimentación de 1:5 (1 kg de peso en el pedal del servo compensan los 5 kg necesarios sin el servofreno). Para aportar seguridad, hay un acumulador de presión adicional en el sistema de frenado por si se produce una pérdida repentina de presión.

Valtra también ofrece un eje delantero reforzado que puede llegar a soportar una carga de hasta 5500 kg a 40 km/h sobre este eje, con sensor de dirección y bloqueo diferencial electrohidráulico, que incorpora dos discos de freno dentro de los cubos de las ruedas.

Valtra resalta su sistema automático de parada activa. Se incluye en todos sus modelos de transmisión continua (Direct y S). El automatismo consiste en *potenciar* el par resistente del motor para reducir la velocidad del tractor cuando se levanta el pie del pedal de avance (además Valtra ofrece la posibilidad de regular la agresividad de esta parada, modificando la relación de transmisión).

## ► Claas CLAAS

Todos los tractores de Claas incorporan frenos de servicio de accionamiento hidráulico que actúan sobre las ruedas traseras. Solamente en el Xerion, el freno de servicio hidráulico actúa sobre las 4 ruedas (las 4 son directrices).



Como automatismo de serie se incluye la activación automática de la doble tracción.

## ► John Deere



El fabricante quiere inculcar a sus usuarios que el sistema de frenado, tanto del tractor, como de asistencia a la frenada del remolque, están diseñados para frenar, en condiciones



de uso normal del tractor y del conjunto tractor-máquina-arrastrada: es decir, un máximo de 40 km/h con el tractor circulando sólo y hasta 25 km/h cuando el tractor circula con máquina arrastrada en transporte.

## ► Massey Ferguson



Massey confía en sus sistemas de discos, uno por palier, inmersos en aceite. El pedal tiene actuación hidráulica y se dispone de la opción de asistencia.

El freno de emergencia se confía a unos multidiscos húmedos accionados mecánicamente.

Para ayudar a la frenada se dispone de conexión automática de la doble tracción al accionar los frenos. Para el frenado de remolques se puede optar por mando hidráulico o neumático.

## ► Grégoire GREGOIRE

Las vendimiadoras Grégoire incorporan una transmisión de tipo hidrostático con cuatro ruedas motrices (un motor en cada una de las cuatro ruedas). El equipo de frenado se incluye en el mismo sistema de tal forma que el 100% de la potencia de tracción se usa también para la fase de frenado.

El funcionamiento se basa en la modificación del ángulo del "plato" de la bomba consiguiéndose controlar el flujo de aceite y así escoger potencia de tracción o de frenado.



El motor hidráulico, acoplado directamente a las ruedas, tiene un gran momento de rotación, consiguiéndose una máxima capacidad de tracción apta para condiciones difíciles de montaña. De igual forma el sistema garantiza máxima capacidad de frenado.

También se incluye un freno de aparcamiento o de seguridad. El sistema usa un sistema de disco que está diseñado para que en posición neutra el freno de aparcamiento esté de forma automática cerrado. En caso de romperse una manguera, racor, o cualquier caída de presión de aceite la máquina de forma automática se sitúa en posición de parada.

## BIBLIOGRAFÍA

- Manual de automóviles ARIAS-PAZ, 52ª Edición 1996-1997, Editorial CIE DOSSAT 2000
- Tractores y motores agrícolas. P. V. Arnal y A. Laguna

## ALGUNAS RESEÑAS HISTÓRICAS

- En 1783, un herrero escocés, Macmillan, inventa el freno de cuchara que consistía en una palanca que presionaba un bloque de madera contra la llanta
- Louis Renault inventa los frenos de tambor de expansión interna, constituyen una mejora enorme, incrementando la potencia de frenado
- En 1961 aparece el servofreno, como ayuda al esfuerzo que ejerce el conductor sobre el pedal
- En 1963, Mercedes comienza a instalar los sistemas de frenos con 3 circuitos
- En 1966 Porsche lanza el disco autoventilado
- En 1978 se inician las pruebas en serio del ABS y ya en 1985 se comienza a ofre-

cer. Son los inicios de la aplicación de la electrónica a los sistemas de frenado

- 1986 es el año que llega el control de tracción (ASD y ASR) que funciona en conexión con el ABS
- En 1994, aparece el control de patinamiento ESP
- 2007 ¿lo último en frenada? podría citarse el sistema que comercializa BMW denominado Efficient Dynamics. Se aprovecha la energía de frenado "Brake Energy Regeneration" para recargar la batería

