

# EL SISTEMA DE FRENADA Y LOS FRENOS EN LOS TRACTORES AGRÍCOLAS



## PARTE 2.- LOS DISPOSITIVOS DE MANDO Y LAS PRESTACIONES DE LOS FRENOS

El segundo artículo técnico dedicado a este elemento esencial en los equipos autopropulsados se centra en el dispositivo de frenado, los sistemas antibloqueo de las ruedas, las prestaciones de los frenos y la frenada de los remolques agrícolas.

**LUIS MÁRQUEZ**

### Los dispositivos de mando

Conforme a lo que especifica la Directiva 76/432/CEE, modificada por las Directivas 82/890/CEE, 96/63/CEE y 97/54/CE, el dispositi-

tivo de frenado se entiende como el conjunto de órganos que tienen como función disminuir o anular progresivamente la velocidad de un tractor en marcha, o mantenerlo inmóvil si se encuentra ya detenido, y se compone del mando, de la transmisión y del freno propiamente dicho. Además, exige que los frenos de los tractores tengan una acción 'moderada', lo que

quiere decir que durante su funcionamiento normal, tanto si se han puesto los frenos como si se han soltado, el conductor puede en todo momento aumentar o disminuir la fuerza de frenado actuando sobre el mando, y la fuerza de frenado actuará en el mismo sentido que la acción sobre el mando (función monótona), siendo posible efectuar fácilmente un ajuste

suficientemente preciso de la fuerza de frenado.

Se entiende por 'mando', la pieza directamente accionada por el conductor para proporcionar a la transmisión la energía necesaria para frenar, o para controlarla. Esta energía podrá ser tanto la energía muscular del conductor, como otra fuente de energía controlada por él, o bien una combinación de estos diferentes tipos de energía. Y por 'transmisión', el conjunto de elementos comprendidos entre el mando y el freno, uniéndolos funcionalmente. La transmisión podrá ser mecánica, hidráulica, neumática, eléctrica o mixta. Cuando el frenado se efectúe, o esté asistido, por una fuente de energía independiente del conductor, pero controlada por él, el depósito de energía comprendido en el dispositivo formará parte también de la transmisión. Por 'freno', se entiende el órgano donde se desarrollan las fuerzas que se oponen al movimiento del tractor.

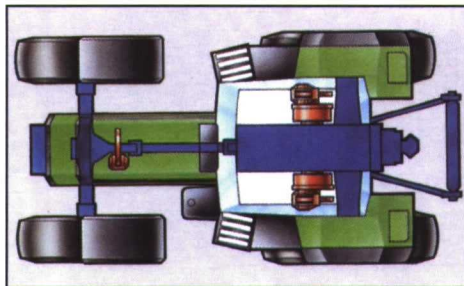
El dispositivo de frenado deberá estar concebido, construido y montado de tal forma que, en condiciones normales de utilización, y a pesar de las vibraciones a que pueda estar sometido el tractor, resista a los fenómenos de corrosión y envejecimiento que se produzcan durante su utilización y que puedan ocasionar una disminución brusca en la eficacia de frenado.

Se distingue entre:

El **frenado de servicio**, que deberá permitir controlar el movimiento del tractor y detenerlo de forma segura, rápida y eficaz, a las velocidades admitidas por construcción, con las cargas autorizadas y en pendiente ascendente o descendente. Su acción deberá ser moderable.

El conductor deberá poder efectuar el frenado desde su asiento conservando el control, con una mano por lo menos, sobre el órgano de dirección del tractor. El freno de servicio del tractor puede constar de un dispositivo

FIGURA 1.- POSICIÓN DE LOS FRENOS EN UN TRACTOR AGRÍCOLA (DOC. DEUTZ)



derecho y otro izquierdo. Ambos deberán poder unirse para ser accionados con una sola maniobra. Esta unión deberá poder deshacerse.

Cada uno de los dispositivos, izquierdo o derecho, deberá llevar un sistema de regulación, manual o automático, que permita un fácil ajuste del sistema de equilibrio de los frenos. Además, el freno de servicio deberá actuar por lo menos sobre las ruedas de un eje, y la frenada repartida entre las ruedas de un mismo eje de forma simétrica con respecto al plano longitudinal medio del tractor.

El **frenado de estacionamiento** deberá permitir mantener el tractor inmóvil en una pendiente ascendente o descendente, incluso en ausencia del conductor, permaneciendo entonces los elementos activos en posición de apretado mediante un dispositivo de acción puramente mecánica.

Ello puede conseguirse mediante un freno que actúe sobre la transmisión. El conductor deberá poder conseguir ese frenado desde su asiento de conducción, admitiéndose la repetición de la acción para alcanzar la eficacia prescrita.

Se admiten que los sistemas de frenado de servicio y de estacionamiento tengan partes comunes, aunque los dispositivos de mando deben ser independientes, y con la condición de que el freno de estacionamiento pueda sustituir al freno de servicio cuando se produzca su fallo (freno de socorro), con una deceleración equivalente a la mitad del valor prescrito para el freno de servicio.

En consecuencia, se exige que los frenos de servicio y estacionamiento tengan mandos diferentes, algo que no siempre se cumplía en tractores de diseños antiguos. El frenado de servicio se controla por dos pedales situados en el lado derecho de la plataforma en la que se encuentra el puesto de conducción, con una traba, o dispositivo similar, que permite bloquearlos para que trabajen juntos, y el freno de estacionamiento, mediante una palanca situada en el puesto de conducción, que pueda ser accionada por el conductor desde su asiento y

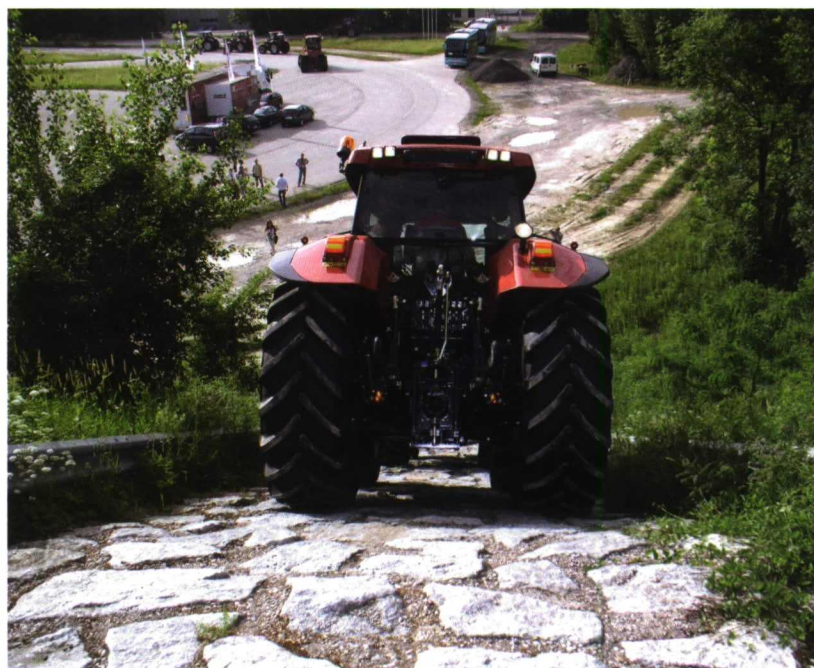
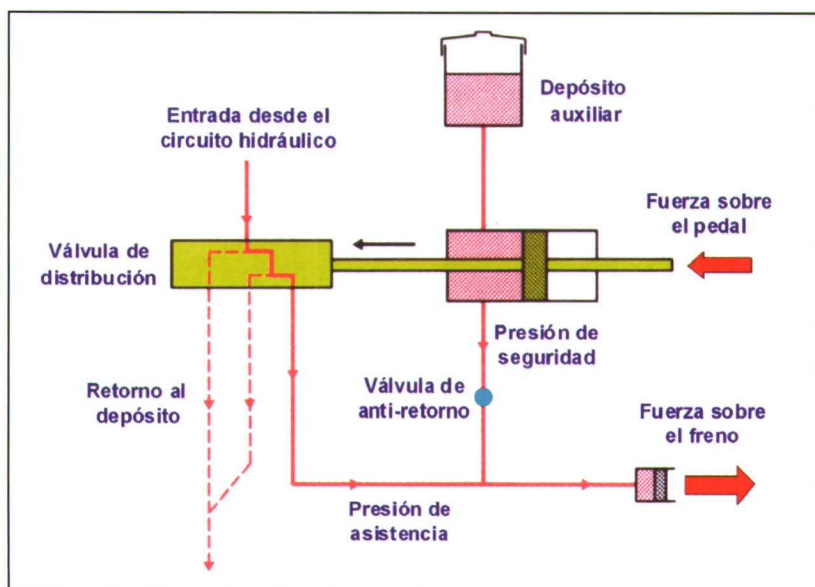


FIGURA 2.- ESQUEMA DEL CIRCUITO HIDRÁULICO EN UN SISTEMA DE FRENOS SERVO-ASISTIDO



con el cinturón de seguridad abrochado. La fuerza máxima admitida sobre los mandos de pedal, en las condiciones de ensayo establecidas por la Directiva no pueden superar lo 60 daN, y en los de palanca los 40 daN.

Con independencia de las transmisiones mecánicas, que se mantiene en muchos modelos para el freno de estacionamiento, en los frenos de servicio de los tractores agrícolas modernos se utilizan sistemas hidráulicos, en la mayoría de los casos servo-asistidos por el aceite que llega del circuito principal del tractor, en el que se establece una válvula de prioridad, o con otro circuito hidráulico diferente, con su propia bomba, que a veces comparte con la dirección.

En la Figura 2 se presenta el esquema de un circuito hidráulico para la transmisión entre el mando y el freno.

### Sistemas antibloqueo de las ruedas en los tractores agrícolas

En el momento en que las ruedas se bloquean, lo que sucede cuando la fuerza de frenada supera el límite de adherencia del suelo por el que circula el tractor, la distancia de frenada aumenta considerablemente. Para conse-

guir la máxima eficacia se necesita que los frenos limiten su acción a la adherencia del tipo de suelo sobre el que se realiza la frenada. Dado que una limitación por construcción de la fuerza de frenada, limitaría las prestaciones de los frenos en suelos de alta adherencia, o cuando el tractor circula con la masa máxima autorizada, es el conductor el que tiene que reducir la presión sobre el pedal para evitar que las ruedas se bloqueen.

Al igual que en los vehículos de carretera se han incorporado sistemas electrónicos que impiden el bloqueo de las ruedas por

los frenos cuando se supera el límite de adherencia del pavimento, utilizando la electrónica asociada a un captador de velocidad de giro de la rueda (sistema ABS), para los tractores agrícolas empiezan a comercializarse sistemas equivalentes, aunque mucho más complejos, dado que en los tractores agrícolas necesitan frenada independiente de las ruedas de cada lado, y esto suele combinarse con el sistema de dirección.

Así, en el sistema de frenado ABS SuperSteer para tractores New Holland de las series T7000 y T8000 se ha sustituido el pedal del freno doble por un pedal simple con dos extensiones de color naranja a cada lado, que actúan electrónicamente para accionar los frenos de cada lado del tractor.

Dispone de funciones adicionales a un ABS convencional, como giro electrónico asistido mediante frenado con pedal simple, desactivado cuando se superan los 20 km/h, y giro automático asistido con control de deslizamiento regulado entre un valor máximo y otro mínimo, con lo que la rueda no se bloquea por completo, y permite reducir considerablemente el radio de giro.

Como complemento, incluye el sistema *Hill Holder* que conec-

FIGURA 3.- TRACTOR CON SISTEMA DE FRENADO CON ABS (DOC. NEW HOLLAND)



ta automáticamente los frenos para evitar el movimiento del tractor en pendiente, que se activa con el tractor parado, al pisar el pedal del freno, en pendiente superior al 2% o con el pedal del embrague pisado. Al soltar el pedal del freno el sistema mantiene frenado el tractor durante 1.5 segundos para dar tiempo a pasar el pie del freno al acelerador. Este sistema *Hill Holder* se desconecta en condiciones de baja adherencia (superficies heladas o deslizantes) para evitar el bloqueo de las ruedas del eje trasero. Esto es particularmente interesante cuando se arrastran pesados remolques, con las cubas de purín, que disponen su propio sistema de frenos combinado con los del tractor.

## Prestaciones del sistema de frenado para los tractores agrícolas

Durante mucho tiempo, los reglamentos que se aplicaban a los tractores agrícolas para permitir su circulación vial establecen que su sistema de freno de servicio pudiera conseguir una deceleración superior a 2.4 m/s<sup>2</sup>, para tractores con velocidad máxima por construcción de 30 km/h. Con el aumento de la velocidad máxima, la normativa se ha modificado, cambiando el límite mínimo de deceleración media durante la frenada por un límite basado en la distancia de parada, como ya se venía aplicando en otros vehículos viarios.

Así, en el Anexo II de la Directiva 76/432/CEE, con las modificaciones actuales, se establece que la distancia de frenada (frenos en frío), expresada en metros, para el tractor con el peso máximo autorizado y las ruedas del eje frenado con los neumáticos de mayores dimensiones admitidos por el fabricante, debe de ser:

$$S_{\max} \leq 0.15 v + v^2 / 116 \quad [1]$$

CUADRO 1.- DECELERACIONES EQUIVALENTES EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD

Velocidad máx.	20	25	30	35	40	km/h
	5.56	6.94	8.33	9.72	11.11	m/s
S <sub>máx.</sub>	6.45	9.14	12.26	15.81	19.79	m
Deceleración equiv.	2.39	2.64	2.83	2.99	3.12	m/s <sup>2</sup>

para la velocidad máxima admitida por construcción, expresada en km/h.

La deceleración media, desde el momento en que se inicia la frenada (con el motor desembragado) se puede calcular por la expresión:


$$d \text{ (m/s}^2\text{)} = 0.5 \times v^2 / S_{\max}$$

para la velocidad expresada en m/s.

en menos de 19.79 m cuando circulan a 40 km/h (sin remolque).

Para la homologación de tipo CE de los tractores agrícolas se exigen dos pruebas: la del tipo O, en la que se valora la eficacia de los frenos en frío, y que se realiza a la velocidad máxima del tractor por construcción, con el peso máximo autorizado y la transmisión desembragada, con una fuerza en los pedales que no supere los 60 daN, para conseguir la detección del vehículo en una distancia inferior a calculada por el ecuación [1], y la de tipo I, o de pérdida de eficacia, realizada después de calentar los frenos con una energía equivalente a la de bajar una pendiente del 10% a una velocidad del 80% de la máxima por construcción con una longitud de un kilómetro; en estas condiciones de temperatura de los frenos, la eficacia no debe ser inferior al 75% de la prescrita, y al 60% de la obtenida en el ensayo de tipo O.

Para el freno de estacionamiento, se exige que pueda mantener detenido el tractor con carga en pendientes ascendente y descendente del 18%; para el caso de que se autorice el enganche de remolques el freno de estacionamiento debe poder mantener sostenido un tractor en vacío junto con un remolque no frenado de peso no superior a las 3 toneladas

 **LOS TRACTORES DE GAMA MEDIA Y ALTA, COMO SU VELOCIDAD MÁXIMA POR CONSTRUCCIÓN SON 40 km/h, DEBEN GARANTIZAR UNA DECELERACIÓN DE 3.12**

m/s<sup>2</sup> 

En consecuencia, las distancias de frenada establecidas como mínimo para diferentes velocidades máximas y las deceleraciones equivalentes serían las del Cuadro 1.

Se puede asumir que los tractores de gama media y alta, al tener como velocidad máxima por construcción los 40 km/h, garantizan una deceleración de 3.12 m/s<sup>2</sup> que les permite detenerse

## La frenada de los remolques con los tractores agrícolas

Al enganchar un remolque sin frenos al tractor, en el momento de la frenada, los frenos del tractor se sobrecargan, ya que deben

CUADRO 2.- VARIACIÓN DE LA DECELERACIÓN Y DE LA DISTANCIA DE FRENADA A MEDIDA QUE AUMENTA LA MASA DEL REMOLQUE SIN FRENOS

Tractor + Remolque	K	km/h m/s	25	30	35	40
			6.94	8.33	9.72	11.11
		deceleración	Distancia de frenada			
	0.0	3.12	7.73	11.13	15.15	19.78
	0.1	2.84	8.50	12.24	16.66	21.76
	0.2	2.60	9.27	13.35	18.18	23.74
	0.3	2.40	10.05	14.47	19.69	25.72
	0.4	2.23	10.82	15.58	21.21	27.70
	0.5	2.08	11.59	16.69	22.72	29.68
	0.6	1.95	12.37	17.81	24.24	31.66
	0.7	1.84	13.14	18.92	25.75	33.63
	0.8	1.73	13.91	20.03	27.27	35.61
	0.9	1.64	14.68	21.14	28.78	37.59
	1.0	1.56	15.46	22.26	30.30	39.57
	1.1	1.49	16.23	23.37	31.81	41.55
	1.2	1.42	17.00	24.48	33.32	43.53
	1.3	1.36	17.78	25.60	34.84	45.50
	1.4	1.30	18.55	26.71	36.35	47.48
	1.5	1.25	19.32	27.82	37.87	49.46
	1.6	1.20	20.09	28.94	39.38	51.44
	1.7	1.16	20.87	30.05	40.90	53.42
	1.8	1.11	21.64	31.16	42.41	55.40
	1.9	1.08	22.41	32.27	43.93	57.38
	2.0	1.04	23.19	33.39	45.44	59.35

de ser capaces de vencer las fuerzas de inercia del tractor y el empuje del remolque sobre el enganche.

La seguridad de la frenada exige:

- Que los frenos tengan potencia suficiente para absorber la energía del vehículo con un nivel de adherencia en el suelo.
- Que la trayectoria se mantenga, lo que se consigue en situación más favorable cuando las ruedas del eje trasero del tractor disponen de mayor capacidad de frenada que las del eje delantero.

Esto último obliga 'perder' capacidad de frenada, ya que el eje trasero es el que se descarga al frenar, para asegurar la trayectoria.

En el caso de frenar un conjunto de tractor con remolque, lo más aconsejable sería que la lanza del remolque trabajara siempre en tracción, por lo que resulta preferible, para mantener la trayectoria estable, que el remolque ten-

ga sus propios frenos y que éstos empiecen a actuar lo antes posible, provocando una deceleración superior que los del tractor.

Como límite práctico se suele admitir que el empuje del remolque sobre el tractor no supere el 16% de la masa del tractor, o sea:

$$ER < 0.16 P$$

Por otra parte, la dinámica de la frenada en trenes de vehículos es compleja, aunque se pueden establecer algunas simplificaciones que permitan establecer recomendaciones prácticas para limitar el empleo de remolques sin frenos.

Sobre la base de circular a 40 km/h, cumpliendo lo que exige la Directiva de 'frenado', la distancia de parada mínima del tractor sin remolque deberá de ser inferior a 19.8 m, lo que equivale a una deceleración media en el intervalo de frenada de 3.12 m/s<sup>2</sup>.

Considerando que el tractor con remolque tiene limitada la ve-

locidad de circulación a 25 km/h la deceleración que se puede conseguir para el conjunto puede calcularse de manera aproximada por la expresión:

$$d_{T+R} = d_T / (1 + K)$$

siendo, K la relación entre la masa del remolque y la del tractor (para K = 0;  $d_{T+R} = d_T$ )

Se puede elaborar una tabla (cuadro 2) para establecer las equivalencias entre las distancias de frenada a 25 km/h circulando con remolque sin frenos y a 40 km/h con el tractor solo, para determinar las condiciones en las que las distancias de parada en ambos casos son equivalentes.

De esta tabla se deduce que se puede conseguir igual distancia de frenada con un remolque de 1.5 veces la masa del tractor circulando a 25 km/h que con el mismo tractor circulando sin remolque a 40 km/h.

A medida que aumenta la velocidad del conjunto tractor + remolque para mantener la distancia de frenada hay que bajar la relación K (relación: masa remolque / masa tractor) pasando a 0.7 con 30 km/h y a 0.3 para 35 km/h.

Se podría admitir un remolque sin freno de servicio cuya masa total en carga no supera a la ma-

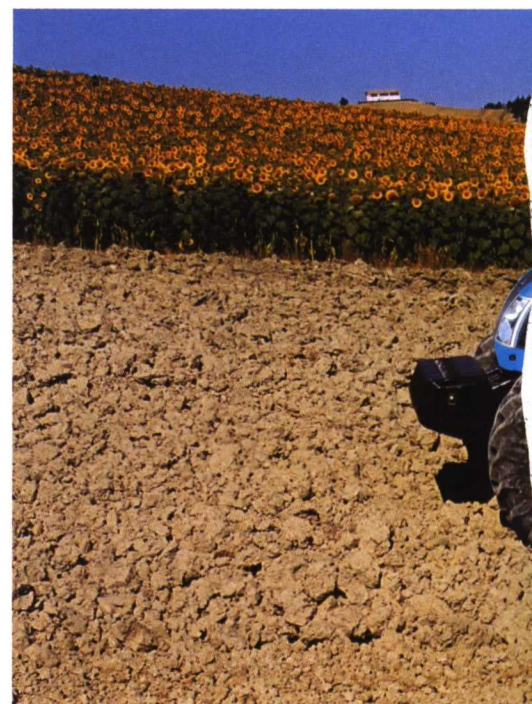
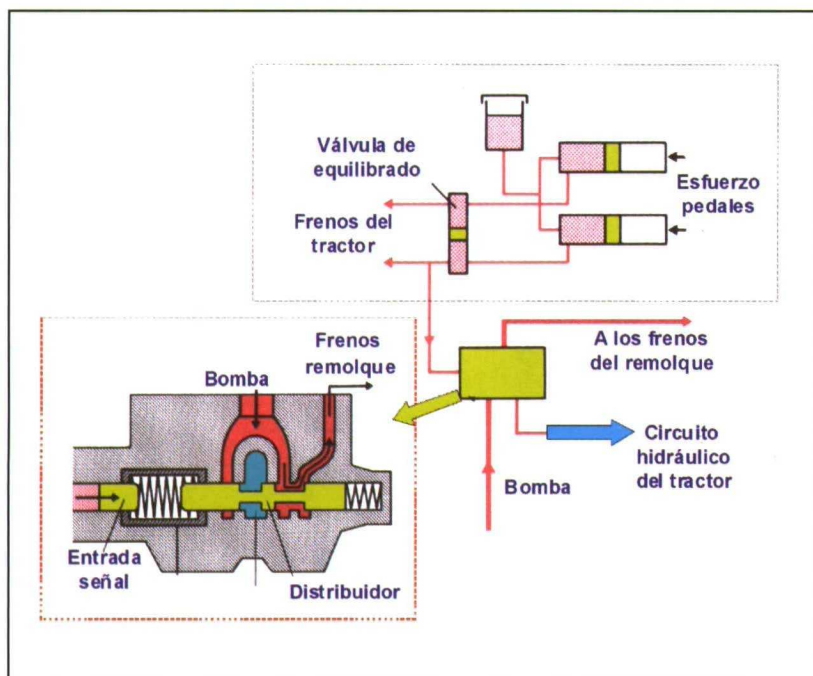


FIGURA 4.- MANDO HIDRÁULICO COMBINADO CON EL SISTEMA DE FRENOS DEL TRACTOR PARA LA FRENADA DE REMOLQUES



sa del tractor que lo arrastra, siempre que la velocidad de circulación no pase de 25 km/h, límite que actualmente está establecido para los tractores con remolque.

Hay que advertir de la peligrosidad que esto conlleva si el conjunto tractor+remolque supera los 25 km/h, algo que puede hacerse con facilidad ya que el tractor dispone de potencia suficiente para ello.

En consecuencia, parece admisible que los tractores agrícola-

las puedan arrastrar remolques sin frenos con un peso máximo en carga igual al del tractor, sin que se superen los 25 km/h de velocidad máxima de circulación, aunque hay otros factores de estabilidad longitudinal que hacen recomendable dotar los remolque con su propio sistema de frenos que actúen sincronizados con los propios del tractor, sentido en el que se orienta la normativa actual para conjuntos tractor+remolque.

Así, en la citada Directiva se incluyen otras definiciones que afectan al sistema de frenos de los tractores agrícolas, junto con los de los remolques y máquinas que arrastran, entre ellas el concepto de frenado continuo de un conjunto de vehículos, obtenido por medio de una instalación que tenga órgano de mando único, accionado progresivamente por el conductor con una sola maniobra desde su asiento de conducción, y con una fuente de energía común, que puede ser la fuerza muscular del conductor, y que asegura de forma simultánea, o convenientemente desfasada la frenada del conjunto

En la frenada de remolques acoplada a los tractores agrícolas se recurre a dos tipos de instalaciones: las neumáticas y las hidráulicas. Las neumáticas pueden ofrecer mayor velocidad de respuesta, pero solo algunos países centroeuropeos, que equipan los tractores con compresor, las utilizan. Más frecuentemente se aprovecha el sistema hidráulico del tractor para accionar los frenos del remolque simultáneamente con los del tractor.

El esquema del sistema hidráulico utilizado es el de la Figura 4. La corredera de la válvula de distribución se desplaza por efecto de la presión que recibe desde el circuito de frenos del tractor, dejando pasar aceite a presión al circuito de frenos del remolque.

La conexión de las conducciones que alimentan el sistema de frenos del remolque se realiza con una conexión rápida diferente, para no confundirla con los acoplamientos externos del sistema hidráulico del tractor, definida por la norma ISO 5676, en la que se establece, además de sus dimensiones, 150 bar como presión límite, y límites a la pérdida de aceite en las conexiones y desconexiones (menos de 5 ml en el conjunto de 100 conexiones-desconexiones) y menos de 2 bar de pérdida de carga (para 150 bar y 20 L/min de caudal, a temperatura de  $20 \pm 5^\circ$ ). ■

