

LUIS MÁRQUEZ
Dr. Ing. Agrónomo

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE NEUMÁTICOS



En diferentes ocasiones se han analizado las características de los neumáticos para los tractores agrícolas, la terminología que se utiliza para definirlos, sus características constructivas, las capacidades de carga admisibles y su relación con la presión de

inflado, etc. En esta ocasión se pretende dar unos criterios prácticos que permitan elegir los neumáticos más apropiados para un tractor agrícola, especialmente de doble tracción con ruedas delanteras y traseras de diferente tamaño, en función de la potencia disponible y de la masa necesaria para poder utilizar esta potencia en trabajos de tracción.

No hay que olvidar que los neumáticos condicionan las prestaciones de los vehículos, y en muchas ocasiones la selección de los neumáticos y el lastre adecuado puede producir una mejora sensible de la potencia de tracción, algo que no siempre se pone de manifiesto cuando solamente aumenta la potencia del motor.

■ Condicionantes

Las condiciones de utilización de los tractores y otras máquinas agrícolas son de una gran

variabilidad. Desde un suelo duro y abrasivo, como el pavimento de una carretera, hasta un suelo prácticamente encharcado, son situaciones que, incluso en el mismo día, debe soportar el neumático del tractor.

Se busca que el neumático tenga una larga vida, y esta es la cualidad que puede decidir la compra de una determinada marca o modelo, entre los que el mercado puede ofrecer. Pero esa duración depende mucho de las condiciones en que se utilice. Para un tractor que dedique muchas horas al año al transporte por carretera puede resultar de-

sastroso un neumático de garras diseñadas para un trabajo puro de campo; también un neumático sin apenas garras, que en carretera, o en suelo muy duro, ofrece la máxima adherencia, en un suelo blando apenas tendrá agarre, proporcionará bajo rendimiento y su duración será mucho menor.

La capacidad de tracción de un neumático queda limitada por su adherencia al suelo, sin que se deba sobrepasar un nivel de patinamiento que haga disminuir la eficiencia y aumentar el consumo de combustible y el desgaste. Esto hace aconsejable un

análisis cuidadoso del tipo de neumático y de sus dimensiones para cada caso particular.

En la ficha de homologación de un tractor agrícola se incluyen diferentes juegos de neumáticos. Habitualmente, uno de ellos se ofrece como "base" y el resto opcionales, considerando que los usuarios se pueden encontrar en situaciones muy diferentes que hacen recomendable un neumático distinto.

Cuando el fabricante decide los juegos de neumáticos con los que homologa el tractor, lo primero que tiene en cuenta es el espacio disponible entre los guardabarros, pero también, en los neumáticos del eje delantero, las limitaciones que sus dimensiones imponen en el ángulo de giro de las ruedas y que pueden afectar a la maniobrabilidad.

Por otra parte, a medida que aumenta el diámetro de los neumáticos, también lo hacen las tensiones en las transmisiones, especialmente en las reducciones finales, a la vez que se necesita un sobredimensionamiento

del sistema de frenos. Por estas razones, no se acepta que se utilicen neumáticos demasiado grandes, o, lo que es lo mismo, cuya superficie de apoyo haga aumentar la adherencia por encima de unos límites aceptables para las transmisiones, aunque siempre se recomiendan neumáticos con capacidad para soportar las cargas máximas autorizadas.

Considerando exclusivamente el espacio disponible por las limitaciones que imponen los guardabarros, hay que indicar que, al menos, deben de quedar 10 cm entre cualquier superficie del tractor y la carcasa del neumático para evitar problemas de embozado (parte superior y laterales); si hay que trabajar en suelos más pegajosos, o con abundante residuos vegetales, esta separación mínima hay que aumentarla.

Por otra parte, la anchura máxima de circulación por carretera es de 2.55 m, por lo que la separación entre flancos externos de los neumáticos no pueden superar esta anchura. Además, hay

que considerar que los lastres metálicos pueden sobresalir en ocasiones del plano extremo de los flancos. Esta limitación reduce las posibilidades de utilización de los tractores de gran potencia cuando deben circular por las vías públicas, ya que necesitan ruedas más anchas si se desea utilizar toda la potencia disponible en el motor, especialmente en operaciones a baja velocidad.

Normalmente el fabricante ya se hace estas consideraciones y diseña los guardabarros del tractor condicionado por las dimensiones máximas de los neumáticos que estima necesarios. Sin embargo, el gemelado de ruedas traseras para reducir la presión sobre el terreno queda limitado, como sucede en las condiciones de la agricultura europea, cuando el tractor tiene que circular por las vías públicas.

La compatibilidad entre ruedas de diferente diámetro en tractores de doble tracción

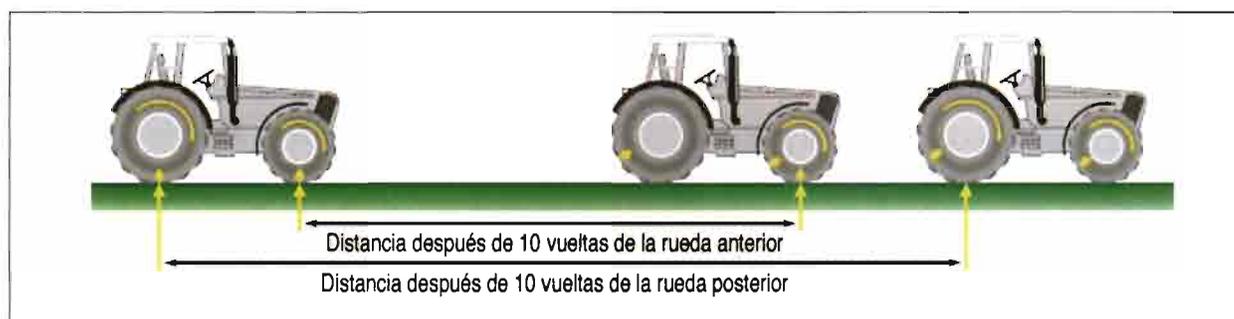
En los tractores de doble tracción con ruedas delanteras de menor tamaño, las dimensiones de los neumáticos delanteros están condicionadas por las de los traseros y por la relación mecánica (RM) de la transmisión del eje delantero.

La RM del tractor se encuentra en su Manual del Operador, pero también se puede calcular haciendo circular el tractor sobre suelo firme con la doble tracción conectada, y midiendo la distancia recorrida en 10 vueltas de una de las ruedas traseras y 10 vueltas de una de las delanteras. El cociente entre estos valores es igual a la RM.

La velocidad periférica de las ruedas del eje delantero suele ser algo superior a las del eje trasero; el 'adelanto' de estas ruedas se calcula multiplicando la relación mecánica (RM) entre ejes por la relación entre los ra-



FIGURA 1
CÁLCULO DE LA RELACIÓN MECÁNICA Y DE LA RELACIÓN DE RADIOS



dios dinámicos de ruedas delanteras / ruedas traseras [$a = RM \times (r_D / r_T)$]; el 'anticipo' es el adelanto expresado en términos de porcentaje [$A = 100 \times (a - 1)$].

Se recomienda que el adelanto tome un valor entre 1 y 5%, con lo que se evita el excesivo desgaste de las ruedas y la tendencia a saltar de los tractores cuando trabajan en suelos duros.

Cálculo del adelanto sobre la base del radio índice de las ruedas

En una primera aproximación se pueden utilizar el radio índice de los neumáticos considerados, para hacer estos cálculos. Así, el radio índice de las ruedas del eje delantero debe de ser igual al de las ruedas traseras dividido por la relación mecánica, incrementado en un porcentaje inferior al 5%, o sea:

$$r_{ind-d} = (1.00 \dots 1.05) \times (r_{ind-t} / RM)$$

Hay que tener en cuenta que el radio índice no se corresponde con el radio dinámico del neumático, sino que es un valor de refe-

rencia utilizado para el cálculo de la velocidad máxima de circulación a efectos reglamentarios. Aparecen diferencias en los radios dinámicos según el origen del neumático (marca, modelo), por lo que al cambiar de marca, incluso si se utiliza las mismas dimensiones, hay que comprobar que los valores son aceptables. Modificando ligeramente las presiones de inflado se consigue un ajuste apropiado de las velocidades periféricas de las ruedas.

Para comprobar que el adelanto es el adecuado, una vez montados los neumáticos en el tractor, se puede medir las distancias recorridas en 10 vueltas de una de las ruedas delanteras y en 10 vueltas de las ruedas traseras con la doble tracción desconectada.

El adelanto real será:

$$a = RM \times (d_{10D} / d_{10T})$$

En el Cuadro 1 se presenta el cálculo de la relación mecánica (RM) y de adelanto (a) para un tractor de doble tracción con ruedas desiguales, aplicando la metodología indicada. El valor obtenido para la relación mecánica es

de 1.334, para el adelanto 1.046 y para el anticipo 4.6%.

Utilización del RCI

El adelanto de las ruedas del eje delantero respecto a las del eje trasero se determina como:

$$a = RM / RR$$

Siendo:

RM = Relación mecánica

RR = relación de radios (rueda trasera / rueda delantera)

Teniendo en cuenta que el RCI se calcula como:

$$C_i = 500 \times 1.0537^i$$

La relación de radios, en función de los RCI correspondientes a las ruedas delanteras y traseras será:

$$RR = 1.0537^{(RCI_D - RCI_T)}$$

En consecuencia, si la relación mecánica es de 1.23, o ligeramente menor, la diferencia de los RCI de los neumáticos debe ser de 4 ($1.0537^4 = 1.233$), mientras que si es de 1.30, o algo menor, esta diferencia debe de

CUADRO 1
CÁLCULO DEL ADELANTO MIDIENDO EL RECORRIDO DE LAS RUEDAS EN 10 VUELTAS

	Recorrido de 10 vueltas		Cálculos
	Rueda delantera	Rueda trasera	
En doble tracción	39.50 m	52.69 m	$RM = 52.69 / 39.50 = 1.334$
En simple tracción	41.00 m	53.29 m	$a = (53.29 / 41.00) \times 1.334 = 1.046$

CUADRO 2
FAMILIAS DE NEUMÁTICOS RADIALES (GOODYEAR) BANDA TIPO R-1 Y R-1W
AGRUPADAS POR SU RCI

RCI	Diámetro (aprox.)	Anchura pulgadas (mm)									
		11.2 (290)	12.4 (320)	13.6 (340)	14.9 (380)	16.9 (420)	18.4 (480)	20.8 (520)	23.1 (600)	26.0 (710)	30.5 (750)
50	90										
49	86										
48	81		320/105R54		380/90R54		480/80R50	520/85R46	650/85R38 620/70R46	710/70R42	800/70R38
47	77		320/90R54		380/90R50		18.4R46 480/80R46	20.8R42 520/85R42	620/70R42 650/75R38 650/65R42*	710/70R38	900/50R42 900/65R32
46	73	250/95R54	320/90R50		14.9R46 380/85R46 380/90R46	420/80R46	18.4R42 480/80R42	20.8R38 520/85R38	650/75R34 580/70R38		800/65R32 900/60R32
45	70	250/95R50	320/90R46	340/85R46			18.4R38 480/80R38	20.8R34	600/65R38		
44	66		320/90R42			16.9R38	18.4R34 480/85R34	540/65R38	620/75R30		
43	63	290/90R42	320/80R42	13.6R38	380/80R38	420/85R34 16.9R34	480/70R34 18.4R30	540/65R34	620/75R26 600/70R30		750/65R26
42	59	290/90R38	320/85R38		14.9R34 380/85R34 385/85R34	16.9R30 420/90R30	480/70R30		600/65R28		
41	56	250/90R38 290/95R34	320/85R34		14.9R30 380/85R30	16.9R28 420/85R28	480/70R28 18.4R26 440/80R28				
40	53	250/95R34			14.9R28 380/85R28	420/70R28 16.9R26					
39	51			13.6R28	14.9R24 DT710						
38	48			13.6R24	14.9R24 STR	420/70R24					
37	46		12.4R24								
36	43		320/75R24								
35	41										
34	39	11.2R20									
33	37	260/80R20									

ser de 5 ($1.0537^5 = 1.299$), para que el anticipo se mantenga por debajo del 5%. El Cuadro 2 recoge los RCI de diferentes familias de neumáticos.

Capacidad de carga del neumático

La capacidad de carga de los neumáticos debe de ser suficiente para soportar la que se deriva de la masa del tractor y de las cargas dinámicas que aparecen con el trabajo (masas y reacciones de los aperos). Hay que tener en cuenta que las cargas máximas de referencia, indicadas en los neumáticos, son muy superiores a las que se pueden aplicar en el suelo agrícola, dado que reflejan la resistencia del neumático a una elevada presión de inflado, sólo admisible cuando se circula sobre pavimento.

En una primera aproximación se puede establecer que las cargas máximas que recibirán las ruedas de cada eje durante la uti-

lización, en función del tipo de tractor considerado, como se indica en el Cuadro 3. Esto indica que la capacidad total de carga del conjunto de los neumáticos debe de ser un 30% mayor que la de referencia del tractor, como consecuencia de que durante el trabajo hay unas transferencias de carga variables que deben de soportar los neumáticos de cada eje.

Por otra parte, la masa de referencia se puede obtener añadiendo lastres en función del tipo de trabajo que se realiza para aprovechar eficientemente la potencia disponible (minimizando pérdidas por rodadura y patinamiento).

La masa necesaria de un tractor para trabajos de tracción en función de su potencia se puede calcular con la siguiente expresión matemática:

$$P = N \times 0.75 \times \eta_t \times 270 / (v_t \times \mu \times C_{TR})$$

Siendo:

P = masa necesaria (incluido lastre) en kg

N = potencia del motor utilizada en CV (se considera que se utiliza el 75% de la máxima)

η_t = Eficiencia en la transmisión (90%; equivalente a 10% de pérdidas)

v_t = velocidad teórica de avance en km/h (sin descontar resbalamiento)

μ = coeficiente de adherencia (tipo de suelo: 0.5 a 0.9)

C_{TR} = coeficiente de tipo de tractor (1.00 en tractores del tipo 4RM y 2+2 RM; 0.85 en tractores 2 RM)

Aplicando esta expresión matemática a diferentes tractores con potencias crecientes, las

CUADRO 3
MASA EN CADA EJE EN PORCENTAJE SOBRE LA MASA DE REFERENCIA DEL TRACTOR (SIN APEROS)

Tipo	Delanteras	Traseras
Simple tracción	30%	100%
Doble tracción (ruedas desiguales)	50%	80%
Doble tracción (ruedas iguales)	70%	60%

CUADRO 4.
MASA TOTAL NECESARIA EN EL TRACTOR (kg) EN FUNCIÓN
DE LA POTENCIA DEL MOTOR QUE SE VA A UTILIZAR EN TRABAJOS DE TRACCIÓN,
PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE TRABAJO SOBRE RASTROJO ($\mu = 0.6$)

Velocidad	4.5 km/h		6.5 km/h		8.5 km/h	
Tractor	2 RM	2+2 RM	2 RM	2+2 RM	2 RM	2+2 RM
Pot. (CV):	0.85	1.00	0.85	1.00	0.85	1.00
50	3 971	3 375	2 749	2 337	2 102	1 787
60	4 765	4 050	3 299	2 804	2 522	2 144
70	5 559	4 725	3 848	3 271	2 943	2 501
80	6 353	5 400	4 398	3 738	3 363	2 859
90	7 147	6 075	4 948	4 206	3 784	3 216
100	7 941	6 750	5 498	4 673	4 204	3 574
110		7 425	6 048	5 140	4 625	3 931
120		8 100	6 597	5 608	5 045	4 288
130		8 775	7 147	6 075	5 465	4 646
140		9 450	7 697	6 542	5 886	5 003
150		10 125		7 010	6 306	5 360
160		10 800		7 477	6 727	5 718
170		11 475		7 944	7 147	6 075
180		12 150		8 412	7 567	6 432
190		12 825		8 879	7 988	6 790
200		13 500		9 346		7 147

Notas:

La masa puede ser del propio tractor o inducida por los aperos utilizados, pero en ambos casos sirve de referencia para el dimensionamiento de los neumáticos.

Las velocidades utilizadas son teóricas, y no tienen en cuenta el resbalamiento.

Se considera que la potencia utilizada es el 75% de la potencia máxima disponible en el motor.

masas de referencia necesarias para cada caso aparecen calculadas en el Cuadro 4.

Esto significa que en un tractor de doble tracción con 100 CV de potencia, los neumáticos deberían de soportar, en su conjunto, una masa de 6 750 kg, que, según lo indicado en el apartado anterior, hace aconsejable elegir neumáticos delanteros y traseros con las siguientes capacidades de carga:

Neumáticos	Total (kg)	Por rueda (kg)
Delanteros	$6\ 750 \times 50 / 100 = 3\ 375$	$3\ 375 / 2 = 1\ 688$
Traseros	$6\ 750 \times 80 / 100 = 5\ 400$	$5\ 400 / 2 = 2\ 700$

A partir de estos valores se puede elegir el índice de carga del neumático, pero hay que establecer previamente las presiones de inflado aconsejables para el trabajo de campo, ya que los valores de carga admisible a los



que se refiere el índice de carga del neumático son para presiones de inflado de 160 kPa (1.6 bar, equivalentes aproximadamente a 1.6 kg/cm²).

Presión de inflado

El diseño de cualquier neumático se realiza de manera que su estructura alcance una forma

determinada cuando la carga que gravita sobre él se equilibra con la presión de inflado. Si se reduce la carga sobre la rueda hay que bajar la presión de inflado para que la superficie de apoyo se mantenga constante, ya que en caso contrario se reduce la capacidad de tracción del neumático, a la vez que se incrementa su desgaste.

Por el mismo criterio, un aumento de la carga resulta posible incrementando la presión de inflado, aunque esto puede afectar la resistencia del neumático y reducir su vida útil, salvo que esta sobrecarga se produzca con una velocidad de desplazamiento inferior al código de velocidad del neumático. Esto se aplica a la elección de los neumáticos del eje delantero cuando se utilizan palas frontales, o máquinas que producen un efecto similar.

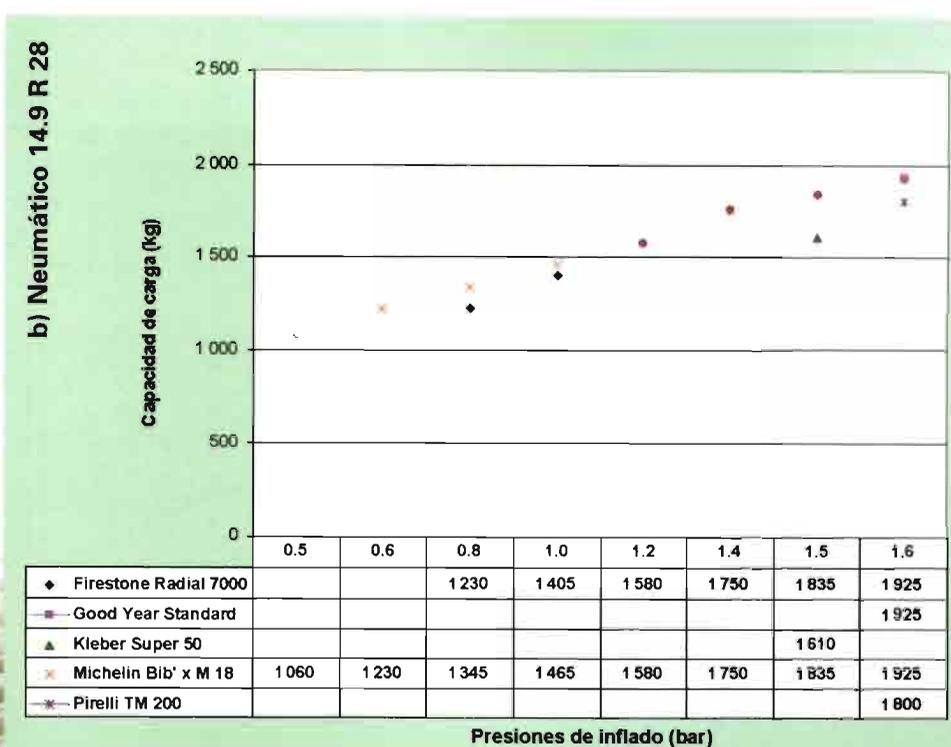
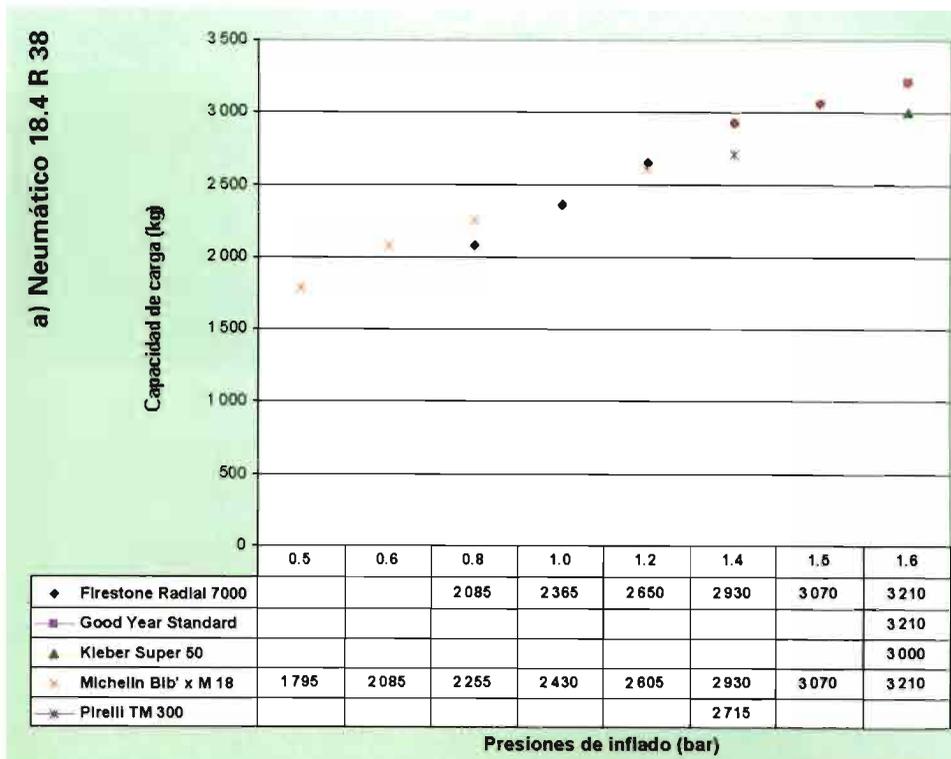
En los catálogos de los fabricantes de neumáticos en ocasiones se encuentran tablas que relacionan la presión de inflado con la capacidad de carga del neumático. En otros casos sólo se indica la capacidad de carga máxima (para la velocidad admitida como referencia) y la presión de inflado correspondiente, por lo que habrá que calcular la presión de inflado más apropiada cuando la carga real sobre la rueda esté por debajo de la carga de referencia.

A este respecto, se puede observar (Figura 2) que la relación entre la capacidad de carga y la presión de inflado se mantiene lineal, por lo que resulta sencillo el cálculo de la presión de inflado a partir de la referencia de carga nominal del neumático.

Este comportamiento de la rueda neumática se explica sobre la base de indicar que su respuesta es la de un muelle combinado con un cilindro neumático, que permite el comportamiento lineal en el intervalo de cargas para el que está diseñado.

En consecuencia, si partimos de un neumático con una capacidad de carga de 3 000 kg a

FIGURA 2.
VARIACIÓN DE LA CARGA EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN DE INFLADO



1.6 bar, la capacidad de carga para la presión de inflado de 1.1 bar será:

$$C_{1.1} = 3\,000 \times (1.1 + 1.0) / (1.6 + 1.0) = 2\,423 \text{ kg}$$

Lo que se puede expresar de manera genérica como:

$$C_{p_i} = C_{\text{max}} \times (p_i + 1) / (p_{\text{max}} + 1)$$

En el Cuadro 5 se indican las capacidades de carga de un neumático, por cada 1 000 kg de carga nominal a 1.6 bar de presión de inflado, a medida que se reduce la presión de inflado.

Así, un neumático de 3 000 kg de carga admitida a 1.6 bar, soportaría $769 \times 3 = 2\,307$ kg cuando se infla a 1 bar, sin que

cambie su sección, y, por tanto, la superficie de huella del mismo.

Hay que tener en cuenta que si la presión de inflado es inferior a un determinado valor, dependiente del tipo de neumático y de las características de la llanta utilizada, el neumático tiende a girar en la llanta, por lo que los fabricantes aconsejan limitar la presión mínima de inflado.



Aplicación

Considerando diferentes modelos de tractor con unos 100 CV (aprox. 75 kW) de potencia de motor, se encuentra como neumáticos de uso frecuente los designados como 18.4 R38 en el eje trasero y los 14.9 R28 en el eje delantero.

Sobre la base de una masa de referencia de 6 750 kg, los neumáticos traseros debe de ser capaces de soportar 2 700 kg y los delanteros 1 680 kg.

Utilizando las capacidades de carga incluidas en la Figura

2.a) se observa que los neumáticos 18.4 R38, de las marcas consideradas, pueden soportar sin problemas esta carga de 2 700 kg inflados a una presión de 1.3-1.4 bar, que puede ser aceptable en un suelo relativamente duro como es el de rastrojo.

Si interesa reducir la compactación del suelo, en el caso de que éste estuviera más blando, este neumático sería insuficiente y habría que buscar otro con mayor capacidad de carga, lo que se puede conseguir con los que, con el mismo radio índice, dispongan

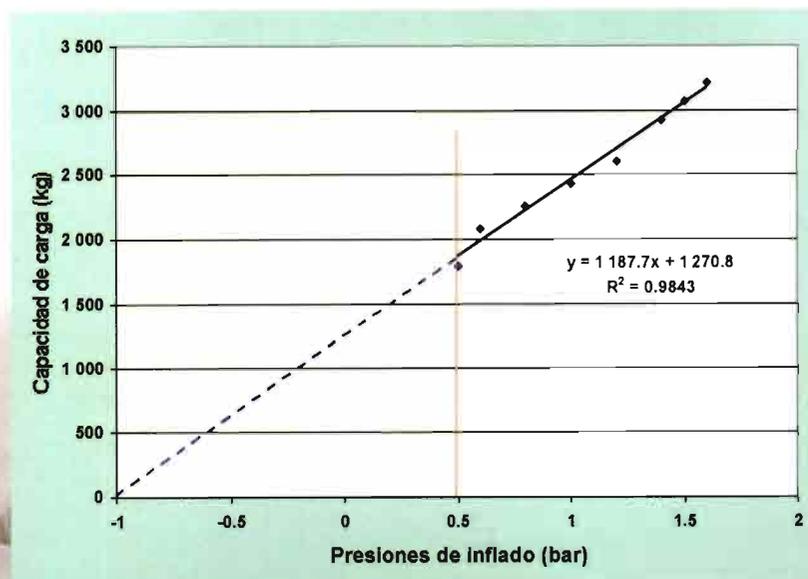
de una mayor anchura de balón, modificando la presión de inflado en consecuencia.

Para el eje delantero se observa que el neumático seleccionado (14.9 R28) admite los 1 688 kg, siempre que vaya inflado a una presión de 1.3-1.4 bar, lo cual resulta aceptable, ya que es frecuente que en las ruedas del eje delantero se utilicen presiones de inflado ligeramente superiores a las del trasero. Sin embargo, si se cambian los neumáticos traseros por otros de mayor capacidad de carga a baja presión también vendría hacerlo con los delanteros.

Si las condiciones de utilización del tractor son menos severas (potencia de tracción requerida a mayor velocidad de avance), la masa del tractor con lastre se reduce proporcionalmente, lo que haría que estos neumáticos fueran más que suficientes. En cualquier caso conviene elegir los neumáticos para la condición más exigente si ésta se produce con una cierta frecuencia.

En consecuencia, el procedimiento descrito permite, en una primera fase, seleccionar los neumáticos para un determinado tractor en función de su potencia, aunque hay otros aspectos complementarios que conviene conocer para optimizar el proceso.

FIGURA 3.
VARIACIÓN DE LA CARGA EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN DE INFLADO



CUADRO 5.
VARIACIÓN DE LA CARGA ADMITIDA EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN DE INFLADO

Presión de inflado	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Carga por cada 1 000 kg	577	615	654	692	731	769	808	846	885	923	962	1000