



El tractor agrícola se concibe como unidad polivalente, es decir, con capacidad para realizar diferentes labores en condiciones muy variadas. En determinados modelos, sin embargo, hay una cierta orientación del diseño, para adaptarse al tipo de labor que el tractor tiene que ejecutar. Así, se encuentran en el mercado tractores con menor anchura de vía, o con mayor despeje sobre el suelo, que los correspondientes a los tractores que se puede definir como normales.

Por otra parte, dentro del grupo de tractores normales aparecen diferencias significativas en relación con la distancia entre ejes (batalla), o la masa en vacío y, también, en las características de los neumáticos que el fabricante ofrece en opción. En cualquier caso, para conseguir un buen rendimiento, se hace imprescindible utilizar correctamente las opciones posibles y un conjunto de ac-

cesorios, de acuerdo con los trabajos principales a los que se va a dedicar el tractor.

Las masas de lastre complementario, que permiten aumentar el peso del tractor para cada condición de trabajo, son esenciales, pero tampoco hay que olvidar las posibilidades que ofrecen para variar la anchura de vía, la adaptación del apero al tractor, o el empleo de neumáticos apropiados, in-

flados de acuerdo con lo que especifica el fabricante para las condiciones del trabajo que en ese momento se realiza.

A partir de aquí, la selección del régimen de funcionamiento del motor y de la relación del cambio más apropiada, permiten obtener el máximo rendimiento por cada litro de combustible, o, en circunstancias especiales, aumentar la capacidad de trabajo, alcanzando

Y SU 'VELOCIDAD CRÍTICA'

Luis Márquez
Dr. Ing. Agrónomo

el máximo posible, dentro de unas condiciones de funcionamiento del equipo que sean aceptables desde el punto de vista técnico y económico.

MENOR 'PESO' EN LOS TRACTORES MODERNOS

Hay una tendencia, cada día más marcada, a la disminución del peso –para mayor rigor, el término que se debería de utilizar sería el de masa– de los tractores de ruedas, y ello va en detrimento de sus prestaciones en labores que precisan gran esfuerzo de tracción, si no se procura aumentarlo mediante los lastres apropiados, o se utilizan aperos diseñados para suministrar peso por transferencia.

En esta disminución de peso influyen causas muy diferentes, como:

- Mejor dimensionamiento de chasis y conjuntos, con la eliminación de material innecesario, lo que permite bajar los costes de producción, suministrándose las masas de lastre, cuando son necesarias, como equipo opcional.
- Menor resistencia a la rodadura, con importante disminución de la potencia perdida por este concepto, principalmente cuando se trabaja a gran velocidad, o con bajo nivel de carga.
- Utilización de aperos con enganche en tres puntos, que, por su forma de trabajo, proporcionan carga dinámica sobre las ruedas motrices, sustituyendo ventajosamente al lastre.

Si se considera que, simultáneamente a esta disminución de peso, ha habido un aumento de potencia de los motores, el agricultor que compra un tractor nuevo basándose en la información que le suministran relativa a la potencia del motor, o en la toma de fuerza, en general queda defraudado del nuevo tractor, sobre todo cuando tiene que realizar trabajos pesados y a baja velocidad, si lo compara con lo

“ Con la utilización de masas de lastre se puede ajustar el peso del tractor al tipo de trabajo que se realiza ”

que conseguía con su antiguo tractor ya desechado.

Esto lleva a una conclusión: lo que verdaderamente interesa saber es la potencia a la barra de ese tractor en las condiciones de campo, en la que influyen, junto con la potencia de su motor, las demás características técnicas del vehículo, como su peso, dimensiones, caja de cambios, neumáticos, etc., y que según las circunstan-

cias y el uso que se haga de los mismos permiten conseguir las mejores prestaciones.

LA MASA DEL TRACTOR EN LAS CONDICIONES DE TRABAJO

Si se considera desde el punto de vista de economía del metal y para conseguir un bajo nivel de pérdidas por rodadura, lo mejor será que un tractor pese lo menos posible, siempre que esto no influya en su concepción, seguridad o duración. El diseño de tractores con 'bastidor' independiente ha tenido, como uno de los objetivos prioritarios, reducir el peso en vacío, manteniendo una buena rigidez estructural.

Como los trabajos que se van a realizar son muy diferentes en lo que respecta a las velocidades precisas y a los esfuerzos de tracción necesarios, lo más conveniente será utilizar un sistema de pesos complementarios, fácilmente manejables (lastres), que permitan, para cada labor, dar al tractor el peso más aconsejable.

En las labores de siembra y de cultivo, el peso deberá ser bajo, para que



las ruedas compacten lo menos posible el suelo. En trabajos que exigen gran esfuerzo de tracción, como la arada y el subsolado, el peso deberá ser alto, ya que influye de forma importante sobre la adherencia de las ruedas.

“ Cuando el deslizamiento de las ruedas pasa del 7 al 30% la eficiencia disminuye prácticamente a la mitad ”

Considerando el conjunto de tractores que llegan al mercado en la actualidad, la masa en vacío se mantiene entre 50 y 70 kg/kW (37 y 52 kg/CV) de potencia del motor medida en la toma de fuerza, y la masa máxima que estos tractores admiten –para ensayo de tracción en pista de hormigón, según el Código de la OCDE– varía para los diferentes modelos entre el 106 y el 176% de la masa en vacío.

Aunque en las fichas técnicas de los tractores agrícolas (homologación de ‘tipo’), se admiten cargas máximas por eje muy elevadas (trabajos de arrastre en camino pavimentado), se puede considerar que sobre el suelo agrícola el lastre máximo aconsejable no debe superar el 25- 35% de la masa en vacío del tractor. Las limitaciones son una consecuencia de los neumáticos, inflados a la presión de trabajo en campo, y de la capacidad portante del suelo, sobre todo si se encuentra húmedo. No siempre es posible aumentar las dimensiones de los neumáticos debido a factores agronómicos y económicos.

Si se puede fijar el trabajo principal de un tractor, éste debe de ser de-

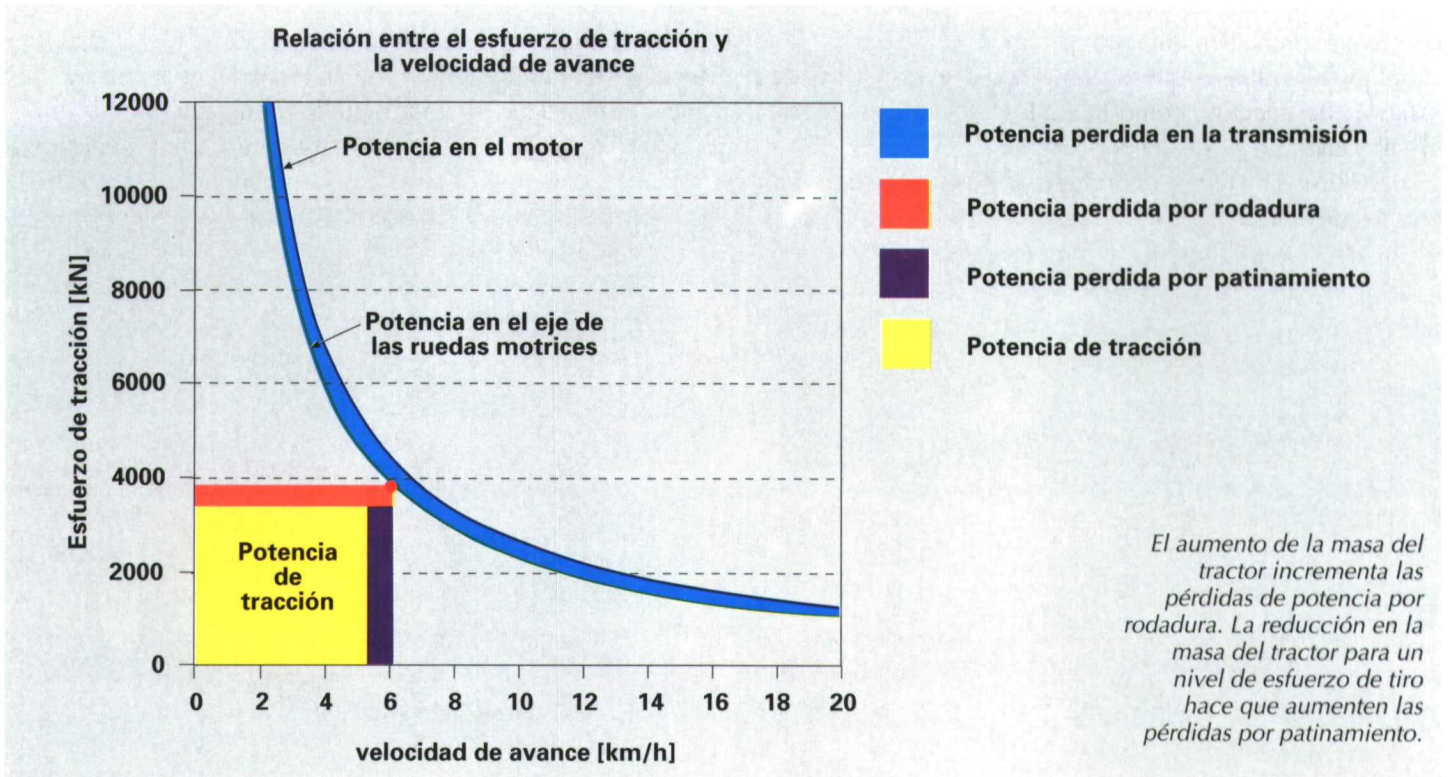
cisivo en el momento de calcular su peso. En un tractor polivalente se hace imprescindible adquirir masas móviles de lastre para ajustar su peso adherente a las condiciones del suelo y del trabajo para limitar el deslizamiento. Hay que tener en cuenta que variaciones del deslizamiento del 7 al 30% hacen disminuir la eficiencia en tracción del 85 al 40%.

LASTRAR PARA MEJORAR LA EFICIENCIA

A las ruedas motrices llega la potencia del motor a través del cambio y puente trasero del tractor; y en este recorrido se producen unas pérdidas que suelen oscilar entre el 7 y el 13%, o lo que es lo mismo, que el rendimiento de la transmisión (η_t) está comprendido entre 0.93 y 0.87. Esta potencia, igual a la del motor menos las pérdidas habidas en la transmisión, será la que permita que el vehículo se desplace realizando esfuerzo de tracción.

Un aumento de la masa del tractor





significa mejorar su adherencia, o lo que es lo mismo, reducir su patinamiento para el mismo esfuerzo de tracción realizado, o la posibilidad de aumentar el esfuerzo de tracción manteniendo un nivel de patinamiento conveniente, pero también un incremento de la resistencia a la rodadura, lo que hace que aumente la potencia perdida para hacer avanzar al tractor.

Por tanto, la masa que se debe utilizar será la que minimice la suma de las pérdidas debidas a la rodadura y al deslizamiento, lo que permitirá optimizar la transformación de la potencia del motor en potencia de tracción, que, según las condiciones del suelo, podrá alcanzar eficiencias entre el 90 y el 50% de la que llega al eje de las ruedas motrices. (Ver **agrotécnica** de febrero de 1999).

Para calcular el lastre aconsejable en cada caso, que complete la masa en vacío de que dispone el tractor, se puede utilizar el siguiente razonamiento. La fuerza que llega a las ruedas procedente del motor, y que se convertirá en fuerza de tracción después de superar la resistencia a la rodadura que impone el suelo, vendrá relacionada con la velocidad de avance según la expresión matemática:

$$\text{Fuerza (kg-fuerza)} = \text{potencia del motor (CV)} \times \eta_t \times 270 \div \text{velocidad teórica avance (km/h)}$$

siendo η_t el rendimiento de la transmisión para la relación del cambio utilizada; el factor 270 se emplea para hacer homogénea la expresión para las unidades indicadas.

El producto de la potencia del motor por el rendimiento de la transmisión es lo que se conoce como potencia en el eje de las ruedas motrices.

La representación gráfica, de esta expresión matemática, para la potencia máxima en el eje de las ruedas motrices, sería una curva como la de la figura 1, en la que potencia vendría dada por el área del rectángulo formado por la vertical y la horizontal de cada punto.

El escalonamiento de las marchas no permite que el motor trabaje a potencia máxima para cualquier velocidad de avance y, en rigor, la curva de la figura no sería totalmente cierta, a no ser que se tratara de una caja de cambios de tipo variador continuo, similar al que utilizan las cosechadoras o algunos tractores de diseño muy reciente, o que se utilizara bastante menos potencia de la máxima que puede suministrar el motor.

LASTRADO EN TRACTORES DE SIMPLE TRACCIÓN

Para que la dirección controle el movimiento del tractor, se considera

necesario que, alrededor del 15-20% del peso del mismo, cargue sobre el eje delantero, luego la carga que quedará para el eje trasero, en los tractores de dos ruedas motrices, será el 80-85% restante. Este peso es el que se denomina peso adherente, porque permitiría transmitir la fuerza propulsora de las ruedas sobre el suelo que las soporta.

Entre la fuerza tangencial transmitida por el conjunto de las ruedas motrices y el peso adherente, hay una relación de la forma:

$$\text{Fuerza horizontal} = \text{peso adherente} \times \text{coeficiente adherencia}$$

que depende, entre otros factores, del tipo de suelo, de las características de las ruedas y del patinamiento máximo deseado.

Como valores medios, suficientemente precisos para el cálculo que se pretende realizar, se pueden tomar para dicho coeficiente, contando con limitar el patinamiento máximo al 15-20%, los siguientes valores:

- Rastrojo seco: 0.60
- Tierra labrada seca: 0.57
- Tierra labrada húmeda: 0.52

La relación entre la fuerza máxima de propulsión que puede transmitir el conjunto de las ruedas motrices al suelo, para un determinado patinamiento, se puede poner en función del peso total del tractor, de la forma:



“ **Un tractor de doble tracción necesita menos lastre que uno de simple tracción con potencia equivalente** ”

Fuerza = coeficiente de adherencia $\times 0.85 \times$ peso del tractor

ya que sólo el 85% del peso del tractor, que carga sobre el eje trasero, puede utilizarse como peso adherente. Con esta igualdad y con la que relaciona potencia, fuerza y velocidad se obtiene:

$$\mu \times 0.85 \times P = N \times \eta_t \times 270 \div v_t$$

siendo:

P = peso máximo recomendado (kg-fuerza)

N = potencia motor (CV)

η_t = rendimiento transmisión para la relación del cambio utilizada

v_t = velocidad teórica de avance (km/h)

μ = Coeficiente de adherencia para el tipo de suelo considerado

El factor 270, incluido en la fórmula, permite utilizar las unidades indicadas

Esto proporciona una relación entre el peso del tractor y la potencia de su motor para cada velocidad de trabajo.

Por tanto, el peso de un tractor de simple tracción, para poder desa-

TABLA 1.- Peso total necesario para el tractor, en función de la potencia del motor utilizada en trabajos de tracción, para diferentes velocidades de trabajo

Potencia del motor (CV)	Peso total necesario (kg)			
	(a 8.5 km/h, sobre rastrojo)		(a 6.5 km/h, sobre rastrojo)	
	2RM	4RM	2RM	4RM
50	2032	1727	2657	2259
70	2845	2418	3720	3162
90	3658	3109	4783	4066
110	4470	3800	5846	4969
130	5283	4491	6909	5873
150	6096	5182	7972	6776
170	6909	5873	9035	7679
190	7722	6563	10098	8583

Nota: las velocidades indicadas son teóricas y no tienen en cuenta el patinamiento; la potencia utilizada se considera que es el 75% de la indicada en la columna correspondiente.

UN CASO PRÁCTICO

Se puede aplicar esta expresión en el cálculo de masa necesaria en un tractor de 80 CV de potencia de motor, con un masa en vacío de 3 000 kg y 0.87 de rendimiento de la transmisión, en una relación del cambio que proporciona 5 km/h de velocidad teórica de avance, cuando trabaja en rastrojo, con un coeficiente de adherencia de 0.60.

La masa recomendada en estas condiciones, sobre la base de utilizar toda la potencia disponible en el motor, sería:

$$P = 80 \text{ [CV]} \times 0.87 \times 270 \div (5 \text{ [km/h]} \times 0.6 \times 0.85) = 7\,369 \text{ kg}$$

Masa muy elevada para este tamaño de tractor, por lo que tendría que limitarse el esfuerzo de tracción, utilizando un apero más pequeño, que exigiera solo una parte de la potencia disponible en el motor.

Sin embargo, trabajando a 7 km/h de velocidad teórica, el peso necesario sería:

$$P = 80 \times 0.87 \times 270 \div (7 \times 0.6 \times 0.85) = 5\,264 \text{ kg}$$

que en el caso de utilizar solamente el 75% de la potencia disponible en el motor, la masa necesaria quedaría reducida a 4 096 kg, lo que significa aumentar la masa del tractor considerado en 1 096 kg, lo cual puede conseguirse con lastres de diferentes tipos (metálicos, agua en las ruedas, etc.), o bien utilizando la transferencia de carga que proporcionan algunos aperos.

En el caso de que se tratara de un tractor de doble tracción, al considerar que toda su masa proporciona peso adherente, la masa total necesaria para trabajar en unas condiciones similares, sería:

$$P = 80 \times 0.87 \times 270 \div (7 \times 0.6 \times 1.00) = 4\,474 \text{ kg}$$

y sólo 3 356 kg, si se considera que se va a utilizar únicamente el 75% de la potencia disponible en el motor, lo que, en consecuencia, exigiría un lastre de 356 kg, suponiendo que la masa en vacío fuera la misma que en el tractor de simple tracción.

En la tabla 1 se dan las masas de referencia necesarias para trabajar en función de la potencia disponible en el motor, utilizándola al 75%, tanto con tractores de simple como de doble tracción.

rollar toda la potencia de su motor, deberá ser:

$$P = N \times \eta_t \times 270 \div (v_t \times \mu \times 0.85)$$

Si sólo se quiere utilizar parte de la potencia de dicho motor, por ejemplo el 75% que se recomienda para un empleo continuado, bastaría multiplicar por 0.75 la potencia del motor en la expresión anterior, con

lo que el peso disminuiría en la misma cantidad.

LASTRADO EN TRACTORES DE DOBLE TRACCIÓN

La utilización de tractores con doble tracción, tanto si son de cuatro ruedas motrices iguales (4RM)

como con tracción delantera auxiliar (2RM+TDA), permite modificar el cálculo anterior, ya que toda la masa del tractor se comporta como peso adherente. Por ello la masa total necesaria en el tractor, en las condiciones anteriormente establecidas, sería:

$$P = N \times \eta_t \times 270 \div (v_t \times \mu)$$





TABLA 2.- Velocidad crítica del tractor, por debajo de la cual se necesita utilizar lastre adicional

Relación masa/potencia		Velocidad crítica (km/h) (sobre rastrojo)	
(kg/CV)	(kg/kW)	2RM	4RM
35	47.6	9.87	8.39
36	48.9	9.60	8.16
37	50.3	9.34	7.94
39	53.0	8.86	7.53
41	55.7	8.43	7.16
43	58.4	8.03	6.83
45	61.1	7.68	6.53
47	63.9	7.35	6.25
49	66.6	7.05	5.99
51	69.3	6.77	5.76
53	72.0	6.52	5.54

Nota: se ha considerado para el cálculo que sólo se utiliza el 75% de la potencia del motor, así como que en el suelo el coeficiente de adherencia es de 0.6, y la velocidad indicada no incluye patinamiento

siendo, al igual que para los tractores de simple tracción:

P = peso máximo recomendado (kg-fuerza)

N = potencia motor (CV)

η_t = rendimiento transmisión para la relación del cambio utilizada

v_t = velocidad teórica de avance (km/h)

μ = Coeficiente de adherencia para el tipo de suelo considerado

Como en el caso de los tractores de simple tracción, si se utiliza solamente el 75% de la potencia del motor, la masa total necesaria quedará reducida en la misma proporción.

Para ambos casos (simple y doble tracción) se pone de manifiesto que,

manteniendo constante la potencia disponible en el motor, las necesidades de lastre en el tractor aumentan a medida que disminuye la velocidad de trabajo. Esto se expresa matemáticamente de la forma:

$$\frac{\text{masa necesaria}}{\text{potencia}} = \frac{\text{valor constante}}{\text{velocidad de avance}}$$

lo que significa que los tractores para trabajos lentos deben ser pesados, o sea con alta relación masa/potencia, mientras que para trabajos rápidos pueden ser ligeros, minimizándose de esta manera las pérdidas de potencia que se necesitan para desplazar el tractor durante el trabajo.

EL CONCEPTO DE 'VELOCIDAD CRÍTICA'

Simultáneamente con el cálculo del peso aconsejable para un tractor de simple o de doble tracción, aparece el concepto de velocidad crítica, que se define como la velocidad mínima a la que puede trabajar un tractor desarrollando toda la potencia de la que es capaz su motor, o mejor el 75% de la misma, sin aumentar el masa de fabricación (peso mínimo sin lastre).

La velocidad crítica teórica, en km/h, sería:

$$v_{ct} = N \times 0.75 \times \eta_t \times 270 \div (P_0 \times \mu \times 0.85)$$

siendo:

P_0 = peso del tractor en vacío, sin lastre (kg-fuerza)

N = potencia motor (CV)

η_t = rendimiento transmisión para la relación del cambio utilizada

μ = Coeficiente de adherencia para el tipo de suelo considerado

La velocidad crítica teórica, en el caso de considerar un tractor de simple tracción, para dicho peso sería:

$$v_{ct} = 80 \times 0.75 \times 0.87 \times 270 \div (3\ 000 \times 0.6 \times 0.85) = 9.21 \text{ km/h}$$

de la que descontando el 15% de pérdida de velocidad por deslizamiento, daría una velocidad real de avance de 7.83 km/h.

TABLA 3.- Patinamiento recomendado para conseguir la máxima eficacia posible sobre diferentes tipos de suelo

Tipo de suelo	Patinamiento óptimo (%)	Eficiencia en tracción
Firme	4 - 8	0.93
	8 - 10	0.78
	11 - 13	0.64
Blando	14 - 16	0.52

Nota: estos valores de patinamiento son los más apropiados para tractores de simple tracción. En los de doble tracción la máxima eficiencia se consigue con patinamiento, medido en las ruedas traseras, algo menores.

Como esta velocidad es muy rápida para algunas labores de las que precisan elevada potencia de tracción, es imprescindible realizar el lastrado de dicho tractor, como se calculó con anterioridad.

Para tractores de doble tracción, el cálculo se realiza de manera análoga, cambiando el factor 0.85 del denominador por 1, ya que toda la masa del tractor se puede utilizar como peso adherente. En la tabla 2 se dan las velocidades críticas para tractores con relación masa sin lastre/potencia de motor, tanto en simple como en doble tracción.

El reparto de ese lastre deberá hacerse de manera que se mantengan las cargas dinámicas sobre los ejes de acuerdo con el diseño del tractor. En el caso de tractores de simple tracción, el 15% debe de quedar, cuando se desplaza trabajando, sobre el eje delantero, ya que de esta manera se asegura el control direccional. En los tractores con doble tracción esta carga dinámica sobre el eje delantero debe de aumentar para que la tracción delantera 'ayude' a impulsar el tractor; a este respecto conviene seguir las orientaciones del fabricante, que se incluyen en el manual del operador.

CONSEGUIR LA MAYOR EFICIENCIA

Hasta ahora se ha venido considerando que un valor genérico del coeficiente de adherencia, en cada condición de suelo, para que el deslizamiento no sobrepase un determinado

nivel. Los mejores rendimientos se consiguen estudiando el balance de potencias de tracción, que tiene en cuenta, de manera conjunta, las pérdidas producidas como consecuencia de la rodadura y del patinamiento.

En función de la naturaleza del suelo el nivel de patinamiento que permite conseguir la máxima eficiencia de tracción se ha reflejado en la tabla 3.

Esto hace aconsejable el control habitual del patinamiento para verifi-



car que el lastre utilizado es el necesario. Para ello se puede recurrir a una verificación visual de la huella que dejan las ruedas motrices, o a medir directamente el patinamiento de las ruedas motrices.

La huella dejada por las ruedas no debe ser muy marcada, ya que esto significa que el patinamiento es muy bajo, por lo que hay exceso de peso para el esfuerzo de tracción que se realiza; si apenas queden visibles las marcas de los tacos, el patinamiento resulta excesivo.

Mayor precisión se consigue midiendo el recorrido del tractor, para un número de vueltas de las ruedas motrices (por ejemplo 10 vueltas), con el tractor en trabajo, y comparándolo con el recorrido, para el mismo número de vueltas de las ruedas motrices, cuando el tractor se desplaza sin carga. El patinamiento será:

$$\text{Patinamiento} = (L_0 - L_1) \times 100 \div L_0$$

donde:

L_0 = recorrido para el número de vueltas, sin carga

L_1 = recorrido para el número de vueltas, con carga

Así, para un tractor que haya recorrido 43.50 m (L_1), trabajando en carga, para 10 vueltas de las ruedas motrices, y en vacío 50.24 (L_0), el patinamiento será:

$$\text{Patinamiento} = (50.24 - 43.50) \times 100 \div 50.24 = 13.4\%$$

Con el empleo de 'monitores' de tractor, el patinamiento instantáneo se puede leer directamente en el panel de instrumentos del tractor y actuar en consecuencia.

Si el patinamiento medido es inferior al recomendado para el tipo de suelo en el que se trabaja (tabla 2), esto es indicativo de que el lastre del tractor resulta excesivo para la potencia de tracción que demanda el apero que se arrastra. Lo razonable sería reducir el lastre, o trabajar con un apero de mayor tamaño.

Para finalizar, hay que destacar que el empleo de neumáticos apropiados para el tipo de suelo en el que se trabaja permite aumentar considerablemente la eficiencia. Esto no quiere decir que los neumáticos más anchos vayan a ser siempre los mejores; a veces resulta preferible utilizarlos más estrechos y con un diámetro ligeramente mayor, compatible con la resistencia mecánica de las reducciones finales, pero siempre será el neumático radial, con una presión de inflado ajustada, el que proporcione la mayor eficiencia. ♠