FRANCISCO SANTIAGO CARRILLO
RAFAEL VILLANUEVA MARTÍN
E.T.S.I.A. de Madrid

METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL AVANCE CINEMÁTICO DE LAS RUEDAS DEL EJE DELANTERO EN TRACTORES DE DOBLE TRACCIÓN

Dos alumnos de 5.º Curso en la asignatura "Vehículos todo terreno" que se imparte en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid, han realizado un estudio práctico para verificar el comportamiento en campo de un tractor que habitualmente utilizan en una explotación agraria familiar. El interés que el desarrollo del trabajo puede tener para usuarios de tractores nos ha llevado a difundirlo en las páginas de agrotécnica.

INTRODUCCIÓN

Bajo ciertas condiciones del terreno y cuando se está haciendo gran esfuerzo de tracción, tirando de aperos, los tractores 4WD pueden experimentar un tipo de vibraciones o 'saltitos continuos' definidos en la bibliografía de lengua inglesa como *power hop*.



Esas vibraciones se hacen tanto más patentes cuanto más duro y seco está el terreno sobre el que se labra. Se agravan los efectos del *power hop* cuando se labra a grandes velocidades, con aperos tipo chisel o semichisel que trabajan a poca profundidad respecto al laboreo con vertedera, permitiendo una mayor velocidad.

Si esto llega a suceder, la metodología que seguidamente se aplica puede ayudar a controlarlo.

FUNDAMENTOS DE CÁLCULO

La velocidad angular de las ruedas delanteras ha de ser mayor que las de las ruedas traseras, debido al menor radio de las primeras, pero este aumento de velocidad de las delanteras sobre las traseras no debe salvar sólo la diferencia de radios para que las velocidades lineales sean iguales, sino que la rueda delantera debe ir un poco más rápido que la trasera en velocidad lineal, para que al realizar el tractor esfuerzos de tiro y por tanto producirse transferencias de carga del eje delantero al trasero las ruedas delanteras que tienden a patinar más que las traseras vayan un poco más rápido y la capacidad de tracción del tractor en conjunto sea mayor, patinando un poco más las ruedas delanteras que las traseras.

Cada terreno y cada esfuerzo de tiro genera patinamientos distintos que en unos casos, y en otros no producirían el fenómeno *power hop*.

El *power hop* se produce por tanto cuando las ruedas delanteras quieren avanzar más que las traseras y como el tractor no se puede encoger ni alar-

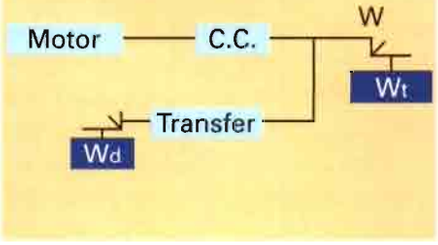




gar la ruedas delanteras dan pequeños saltitos al patinar que van produciendo el *power hop*, si no se para el tractor o se aminora la marcha el eje delantero puede llegar a levantarse del suelo, produciéndose rebotes desagradables.

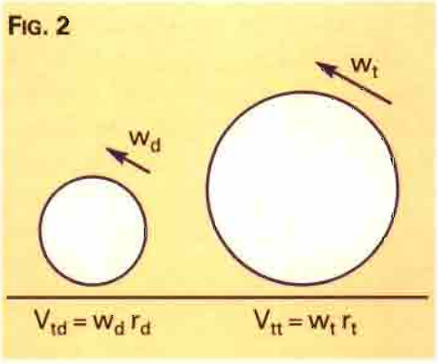
A la diferencia de velocidades lineales entre los dos ejes se le llama adelanto (a) o anticipo (A) si no queremos que se produzca *power hop* y que el tractor se comporte de la manera más eficiente posible el anticipo de la rueda delantera respecto de la trasera debe ser de 1-5% (Fig. 1).

FIG. 1



$i_{trasera} = w/w_t$
relación mecanica (RM) = w_d/w_t
$i_{delantera} = w/w_d$

FIG. 2



V_{tt} = Velocidad lineal teórica trasera
V_{td} = Velocidad lineal teórica delantera

El tractor es rígido por lo que son obligatoriamente iguales las velocidades lineales reales:

$$V_{td} (1 - \delta d) = V_{tt} (1 - \delta_t)$$

Se define adelanto como:

$$a = V_{td} / V_{tt} = (w_d/w_t) \times (r_d/r_t) = RM \times (r_d/r_t) \cong 1{,}03$$

$$\text{Anticipo} = (a - 1) \times 100$$



Así, los tractores 4 WD se diseñan para que el eje delantero avance un poco más deprisa que el trasero, se recomienda pues un anticipo del 1 al 5%.

ENSAYO

Todas la fórmulas matemáticas están muy bien, pero en la realidad aparecen muchas más complicaciones de las esperadas, sobre todo si nos metemos a usar radios de ruedas, ya veremos por qué.

Lo más ilustrativo es el ensayo empírico y lo que hicimos fue seguir la metodología siguiente:

Se marcan convenientemente las ruedas y se hace andar el tractor en línea recta sobre un terreno llano y firme, para ello circulamos por una carretera de asfalto. Este aspecto es importante para poder considerar un patinamiento de referencia que sea próximo a '0' (pues inevitablemente siempre va a existir algo de patinamiento) y poder asumir las hipótesis que se plantean.

$$\delta = 0;$$
$$(w_t \times r_t = V_t) = (w_d \times r_d = V_d)$$

Dos personas van contando las vueltas de los neumáticos delantero y trasero hasta contar 10 vueltas, en ese momento hacen una marca en el suelo. Medimos la distancia entre el punto de arrancada y la marca que hicimos al dar los neumáticos las 10 vueltas. Realizamos este procedimiento dos veces, una en simple tracción y otra con la doble tracción conectada.

CUADRO 1

	Trasera	Delantera
Con D.T.	$L_{t\,DT}$	$L_{d\,DT}$
Con S.T.	$L_{t\,ST}$	$L_{d\,ST}$

Aceptando un patinamiento despreciable:

$$L_{t\,DT} / L_{d\,DT} = R.M.$$
$$R.M. / (r_d/r_d) = a$$
$$L_{t\,ST} / L_{d\,ST} = r_d / r_d$$

DATOS: El ensayo se hizo con un tractor MF 4270 que montaba unas ruedas Firestone nuevas y con las medidas expuestas en las imágenes situadas en la parte inferior de esta página.



Delantera: 380/85 R28 133 A8.



Trasera: 460/85 R38 149 A8.

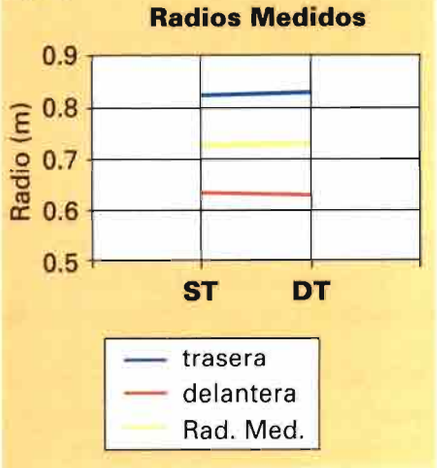
CUADRO 2

	Presión de inflado (Pi)	Radio índice (r_{im})	(b)	Circun. Rod. (CR)	Ø sin carga carga (d)	Radio bajo carga (r_d)
Trasera 460/85 R38 149 A8	1.6 bar	820	500	5280	1768	805
Delantera 380/85 R28 135 A8	1.6 bar	640	400	4050	1362	608

CUADRO 3

	Trasera		Delantera		
	Long. (m)	Radio (m)	Long. (m)	Radio (m)	Radio Medio
DT	52.1	0.8292	39.33	0.6259	0.72755
ST	51.75	0.8236	39.68	0.6315	0.72755

FIG. 3



La presión de inflado era de 1.6 bar y llenas de agua al 75% tanto las delanteras como las traseras, con ello el fabricante da las especificaciones que aparecen en el Cuadro 2.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Si analizamos los datos obtenidos, y calculamos el radio medio podemos observar que es constante: Radio Medio = Long./10 vueltas x 2 x π.

Si representamos en una gráfica los datos de los radios en las dos ruedas con simple y doble tracción, podemos observar que los valores de ST de la rueda delantera y trasera son equidistantes al radio medio y en los valores de DT ocurre lo mismo (Fig. 3).

Para calcular el adelanto y el anticipo del tractor podemos hacerlo tomando como datos de origen: las medidas ensayadas, los radios de rodadura, radios bajo carga y radios índice. De este modo podemos obtener datos de 'anticipo' muy dispares, el que a nosotros nos interesa es el 'anticipo' calculado a partir de nuestras medidas ensayadas, es el más real y es en el que nosotros nos basaremos para decir si éste se encuentra dentro de unos valores lógicos (1-5%), para que no se produzca el *power hop*, o se produzca lo menor posible, ya que para cada esfuerzo de tiro y cada tipo de terreno que pisa el tractor, hay valores óptimos de 'anticipo' para reducir al mínimo este fenómeno.

CUADRO 4

Radios	adelanto	anticipo
Ensayados	1.0157	1.57 %
Rad. Rodadura	1.06	1.6 %
Rad. Bajo carga	1.0005	0.05 %
Rad. índice	1.0339	3.4 %

$$a = RM / (r_t/r_d);\ A = (a-1) \times 100$$

Siendo: $RM = L_{t\,DT} / L_{d\,DT}$

$r_t = L_{t\,ST}$; $r_d = L_{d\,ST}$

Como podemos observar, las diferencias en los anticipos calculados por los distintos métodos son notables, y eso que lo hemos hecho con los datos a la presión de marcado de 1.6 bar.

Indiscutiblemente, el que vale es el del ensayo realizado directamente. En el caso del tractor utilizado, el adelanto era del 1.57%, por lo que claramente se pone de manifiesto que en él no debía producirse el *power hop*, incluso en las condiciones más desfavorables de trabajo, y esto lo habíamos comprobado cuando utilizamos el tractor en el campo.

Cuando se calcula el anticipo utilizando las tablas que ofrecen los fabricantes de neumáticos, los valores que se obtienen ofrecen alguna disparidad, por lo que la mejor alternativa es la medida directa siguiendo el procedimiento indicado.

Posiblemente, a medida que se generalice el conocido como RCI (Índice de Circunferencia de Rodadura) en el marcado de los neumáticos (ver agrotécnica Marzo '04) las cosas serán más sencillas, pero mientras tanto habrá que medir, especialmente en aquellos tractores en los que los saltos se produzcan.

> ***"Con un adelanto del 1.57%, como el obtenido en el tractor de prueba, es prácticamente imposible que aparezca el 'power hop'"***

RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE DE NEUMÁTICOS PARA EVITAR EL 'POWER HOP'

Tras consultar con varias marcas de neumáticos, todas parecen coincidir en la metodología a seguir para resolver el *power hop*. Los sucesivos pasos a seguir para eliminar este fenómeno si persiste son:



- ***Paso 1:*** Comprobar el ajuste del apero y la presión recomendada por el fabricante según las especificaciones técnicas del tractor. La información sobre el correcto enganche de los aperos se buscará en sus respectivos catálogos. Una vez confirmado el correcto enganche y la presión recomendada del neumático pasamos a la siguiente operación.
- ***Paso 2:*** Comprobar que el reparto de pesos es el adecuado. Si se detecta que el tractor no está correctamente lastrado, habrá que proceder a lastrarlo de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del tractor para el tamaño de rueda que tenga y el peso total de trabajo. Generalmente el reparto de pesos adecuado, con el tractor parado, es del 40% delante y el 60% detrás (tractores de doble tracción).
- ***Paso 3:*** Ajustar la presión de inflado delantera y trasera en ambas ruedas subiendo hasta el valor máximo admitido por el neumático (normalmente, hasta 1.6 bar). Las ruedas deben estar secas, es decir, sin lastrarlas con agua. Comprobaremos si tras realizar esta operación el *power hop* ha desaparecido y no es necesario realizar más ajustes.
- ***Paso 4:*** Si el *power hop* no desaparece procederemos a lastrar con agua solamente las ruedas delanteras usando el equipo apropiado. Se llenarán hasta el 75% de su capacidad, esto se logra colocando la válvula de inflado en la posición de las 12 en punto. Las ruedas traseras permanecerán siempre vacías. Comprobaremos si el fenómeno desaparece.
- ***Paso 5:*** Seguiremos lastrando las ruedas delanteras hasta llenarlas al 90% de agua. Mantendremos la presión máxima delante y detrás. Vuelva a comprobar que el reparto de pesos sigue siendo del 40-60% añadiendo pesas en las ruedas traseras, pero manteniendo éstas aún secas. Comprobar si el fenómeno desaparece.

Si el *power hop* aún persiste necesita hablar con la 'casa' de neumáticos.■

(**NOTA**: *Recuerde que para optimizar el trabajo del tractor, puede ser necesario revisar estos pasos cuando se cambia de lastrado para realizar otras labores*).

