

# DOBLE TRACCIÓN: LÓGICAMENTE

Coincidiendo con TecnoVid 98 se han presentado en España los tractores New Holland de la serie TNF, con importantes novedades técnicas que han sido ya reconocidas como tales en las ferias de Agritechnica (Alemania), Eima (Italia) y Sitevi (Francia).

Los tractores TNF incorporan como características destacables el ángulo de giro de 76°, la conexión y desconexión automática de la doble tracción, el inversor electrohidráulico en el volante y los motores de baja emisión de gases de escape.

De entre todas ellas, merece la pena detenerse en la descripción y comentario de un sistema que, a partir de una serie de sensores, decide, automáticamente, la gestión de la tracción delantera en base a unos criterios LÓGICOS y a una MENTE electrónica. Ésta utiliza la información registrada por los sensores y calcula los parámetros que sirven para la toma de decisiones, en función de las condiciones en las que trabaja el tractor.

## LOS SENSORES

Los sensores son captadores colocados en los lugares estratégicos y, en general, bien conocidos y difundidos en la actualidad: radar, inclinómetro, medidores de par y captadores de los



pulsos producidos por el paso de los dientes de un engranaje solidario a un eje en rotación, en este caso, los ejes delantero y trasero.

La información que suministran los sensores y que se utiliza en la gestión de la doble tracción es la correspondiente a:

- velocidades de giro de los ejes trasero y delantero
- velocidad de avance del vehículo
- pares transmitidos por los ejes delantero y trasero

- pendiente longitudinal del terreno
- ángulo de giro de las ruedas del eje delantero.

## LOS PARÁMETROS DE DECISIÓN

A partir de los valores medidos por los sensores, la 'mente pensante' electrónica calcula los parámetros que se relacionan en la **tabla 1**:

La pendiente y el ángulo de la di-

**TABLA 1.— PARÁMETROS UTILIZADOS PARA LA GESTIÓN DE LA DOBLE TRACCIÓN DE CONEXIÓN AUTOMÁTICA**

Parámetro	Sigla	Definición
Avance cinemático	<b>a</b>	velocidad de giro eje delantero ÷ velocidad de giro eje trasero
'Diferencia cinemática'	<b>DC</b>	(1 - avance cinemático) × 100
Pendiente longitudinal	$\alpha$	Pendiente ascendente $\alpha > 0$ Horizontal $\alpha = 0$ Pendiente descendente $\alpha < 0$
Ángulo de giro del eje delantero	<b>D</b>	Dirección girada ON Trayectoria recta OFF
Velocidad de avance del tractor	<b>V</b>	velocidad giro ruedas traseras × radio × (1 - deslizamiento trasero)
Transferencia de par a las ruedas delanteras	<b>C<sub>2</sub></b>	par que sale del motor - par transmitido por las ruedas traseras

rección son suficientemente conocidos y no precisan explicación adicional. Veamos el resto.

El **avance cinemático "a"** no es un parámetro "nuevo" para los tractores equipados con doble tracción ... cuando la DT está conectada. Se calcula como la relación de las velocidades de giro de los ejes y de ahí precisamente su nombre, pues todos sabemos que el eje delantero gira más deprisa que el trasero (insisto, con la tracción delantera conectada).

De hecho, el avance cinemático (fijo), definido por la relación de transmisión entre ejes, vale, normalmente, entre 1.3 y 1.5 debido a las diferencias de tamaño de las ruedas delanteras y traseras y a la necesidad de igualar las velocidades de avance de ambos ejes.

Por ejemplo, en un tractor con un avance cinemático de 1.45 (con la tracción delantera conectada), si la relación entre los radios de las ruedas es de 0.72, el eje delantero tendría una velocidad de avance 1.04 veces mayor que el trasero (sin patinamiento).

Este 4% de incremento es lo que el fabricante establece, por diseño, para que, al desarrollar fuerza de tracción, las inevitables variaciones que se producen en los radios di-

námicos de las ruedas (debidas a la transferencia de peso) y en los patinamientos de ambas ruedas (debidas al diferente terreno que pisan cada una de ellas) lleven a la deseada igualdad de las velocidades reales de avance en cada eje.

Por el contrario, cuando no se espera que se produzca patinamiento, como sucede en terreno firme, de alta adherencia, o al desarrollar poca fuerza de tracción, o



para que, al disminuir su radio, se consiga igualar las velocidades. Esta es la causa por la que se recomienda no llevar la DT conectada en esas condiciones.

La novedad del parámetro propuesto es que los sensores disponibles lo permiten calcular en cada instante, tanto cuando se trabaja con la doble tracción conectada, como cuando el tractor opera en simple tracción.

La **diferencia cinemática "DC"** es un parámetro derivado del anterior, puesto que se calcula a partir del adelanto cinemático, siendo su valor igual a  $(1 - \text{avance cinemático}) \times 100$ .

Este parámetro es el que se utiliza para la toma de decisiones relativas a la conexión de la doble tracción. Expresa la diferencia entre la velocidad de giro de los ejes trasero y delantero, en porcentaje respecto a la velocidad del trasero. Como es natural, al derivar del parámetro "a" (avance cinemático), se calcula también en todo momento, tanto en simple como en doble tracción.

La **transferencia de par a las ruedas delanteras "C<sub>2</sub>"** mide la diferencia entre el par que llega procedente del motor, inicialmente al eje trasero y el que realmente se queda en las ruedas traseras.

Cuando la DT está conectada, parte del par se dirige a las ruedas delanteras, con lo que C<sub>2</sub> sería distinto de cero, mientras que si C<sub>2</sub> fuera nulo querría decir que el eje trasero (o más bien el terreno) es capaz de absorber

## “ El sistema TNF de New Holland no utiliza el conocido patinamiento de las ruedas traseras para decidir la conexión de la DT ”

durante el transporte por carretera, la existencia del adelanto lleva al tractor en DT a "comerse" la rueda delantera



todo el par que manda el motor sin patinar demasiado y, por tanto, no se transfiere par al eje delantero. Como es natural, el parámetro  $C_2$  sólo se calcula cuando la doble tracción está conectada, puesto que en simple tracción siempre será cero.

La **velocidad de avance "V"** depende de la velocidad de giro de las ruedas traseras, de su radio y del patinamiento de las mismas. Parece, por tanto, que, para obtener "V" se requiere conocer el radio (¡ay... el radio!) de las ruedas.

Sin embargo, en los tractores New Holland de la serie TNF, como en todos los tractores equipados con un sensor del tipo radar, no hay que utilizar este dato. La calibración inicial del radar le permite "enterarse" de las ruedas que lleva el tractor en las condiciones de patinamiento cero, que son las que definen el radio teórico de las ruedas y calcular la velocidad de avance.

El sistema TNF de NEW HOLLAND no utiliza el conocido patinamiento de las ruedas traseras para decidir la conexión de la DT, aunque

otra cosa es que el usuario reciba esta información. Por ello se necesita proporcionar al microprocesador que se encarga de gobernar el monitor, o tractometer, un valor de radio de las ruedas traseras para el cálculo del patinamiento, sin que tengan mayor trascendencia las pequeñas diferencias entre los posibles valores que se puedan utilizar para ese fin, ya que no tiene más misión que informar al conductor (¿realmente le interesa?), pues la conexión o no de la DT se decide por otros procedimientos.

## LOS CRITERIOS DE DECISIÓN

Con tanto sensor y tanto parámetro ya se comprende que los criterios de decisión son múltiples y que éstas se toman teniendo en cuenta varios factores, de manera que un parámetro puede producir diferentes acciones según las circunstancias. El sistema TNF de New Holland establece prioridades de unos parámetros sobre otros en función de las condiciones de trabajo.

La lógica de decisión es realmente complicada y para llegar a entenderla, de manera completa, se requiere información precisa, tiempo y ganas. De manera general se puede decir que la "mente pensante" se interesa, en primer lugar, por saber si el tractor trabaja en terreno horizontal o en pendiente.

Si el terreno es horizontal, o con pendiente ascendente, cuando la diferencia cinemática es inferior al 2% no se conecta la DT, pero si es superior, el sistema analiza también el estado de la dirección. Si la dirección no está doblada, se conecta la doble tracción. Sin embargo, aunque el ángulo de giro del eje delantero sea muy pronunciado, si las ruedas traseras patinan mucho, se conecta la DT. La desconexión se gobierna mediante el parámetro de transferencia de par y la dirección.

En pendiente descendente y con velocidad inferior a 15-25 km/h (según los neumáticos utilizados) la DT se puede conectar por dos causas: una, que las ruedas traseras patinen ( $DC > 2\%$ ); la otra razón es que la **'diferencia cinemática'** alcance un valor muy grande y negativo ( $DC < -14.3\%$ ).

### CUADRO 1.- CONEXIÓN DE LA DOBLE TRACCIÓN EN TERRENO HORIZONTAL O PENDIENTE ASCENDENTE

En **simple tracción** la velocidad de avance de la rueda delantera está condicionada por la de la trasera. Al ser ésta de mayor tamaño, la delantera gira más aprisa, con lo que el adelanto "a" será superior a 1 y, por tanto la diferencia cinemática "DC" será negativa:

$$\text{Diferencia cinemática} = (1 - \text{avance cinemático}) \times 100 < 0$$

En esta situación, si la rueda trasera no patinase (adherencia perfecta), el adelanto "a" sólo dependería de los radios de las ruedas y sería un valor próximo al de diseño en DT (aproximadamente entre 1.3 - 1.5), con lo que la diferencia cinemática "DC" tendría un valor negativo y próximo a -40%.

Así, por ejemplo, en el tractor New Holland TNF 90 DT el avance cinemático de diseño valdría 1.496 y, por tanto, la diferencia cinemática será de - 49.6%.

Cuando la rueda trasera empieza a patinar (supuesta constante su velocidad de giro), la velocidad del vehículo disminuye, al igual que la de giro de la rueda delantera. Se cumple entonces:

$$\text{velocidad de giro eje trasero} \times \text{radio rueda trasera} \times (1 - \text{patinamiento rueda trasera}) = \text{velocidad de giro eje delantero} \times \text{radio rueda delantera}$$

La expresión anterior se puede poner también de la siguiente forma :

$$\text{patinamiento rueda trasera} = 1 - \text{avance cinemático} \times (\text{radio rueda delantera} / \text{radio rueda trasera})$$

siendo:

$$\text{avance cinemático} = \text{velocidad de giro del eje delantero} / \text{velocidad de giro eje trasero} = 1 - \text{diferencia cinemática}$$

El sistema establece como límite un valor de la diferencia cinemática DC de un 2%, ya que, entonces, el avance "a" vale 0.98 que, introducido en la fórmula anterior y considerando una relación de radios delantero/trasero de 0.70 - 0.85 proporciona un patinamiento  $\partial_1 = 25 - 20\%$ , máximo valor que se admite en ST. Por tanto, si  $DC > 2\%$  se conecta la doble tracción.

Además de la diferencia cinemática, influye también el ángulo de la dirección.

¿Qué sentido tiene que la diferencia cinemática sea positiva o negativa y cual es el significado de los valores establecidos para la toma de decisiones?. Veamos la respuesta a estas cuestiones.

## LA JUSTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS

No se puede pretender en unas pocas líneas justificar toda la lógica de decisión del sistema que, como se ha dicho es muy compleja. Por ello, vamos a centrarnos en lo que, a mi modo de ver, es lo más novedoso del sistema bajo una perspectiva técnica, como es el criterio basado en la diferencia cinemática y el reparto de pares entre los ejes delantero y trasero.

Conectar la doble tracción cuando el patinamiento de las ruedas traseras es elevado es un criterio ampliamente extendido. Para ello, muchos tractores disponen de los sensores adecuados para calcular este parámetro y también para actuar automáticamente cuando alcanza un determinado valor (patinamiento alrededor del 20%).

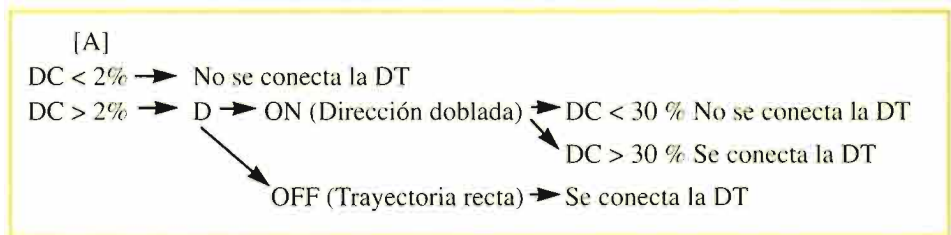
Sin embargo, la medida del patinamiento precisa "informar" al microprocesador del radio de las ruedas motrices que corresponde a la velocidad teórica sin deslizamiento. Simultáneamente el radar calcula la velocidad real y, a partir de estos valores, se calcula el patinamiento. Ahora bien, ¿qué valor se introduce como radio teórico?. Los radios (¡ay!... seguimos con los radios) pueden ser tantos...: el radio estático bajo carga, el radio índice, el de la circunferencia de rodadura (que corresponde a la presión y carga nominal)... y los radios dinámicos que, a su vez, varían con el peso del tractor, la presión de inflado y, por supuesto, el suelo. Sin embargo, lo normal es que en el valor del radio que se introduce en el microprocesador (sea el que sea) no se modifique.

Como ya se ha dicho, el sistema TNF no depende de los radios de las ruedas. El parámetro "a" (avance cinemático) se refiere a velocidades de giro, no de avance. ¿Como valora en-



tonces que la rueda patina?. Siga el razonamiento incluido en el Cuadro 1.

Como resumen del contenido del Cuadro 1 se deduce [A]:



Conviene insistir en que cuando la diferencia cinemática es igual al 2%, el adelanto "a" vale 0.98, es decir, que prácticamente los ejes de las ruedas giran a igual velocidad (incluso ni siquiera hay adelanto, porque las ruedas delanteras giran algo más despacio).

Sin embargo, al conectar la DT el adelanto será el de diseño (a = 1.49). Esto se explica porque, en el instante de la conexión, al eje delantero le llega más velocidad y patinará instantáneamente mucho, pero como empieza a recibir par motor, el eje trasero recibe menos par que antes, con lo que, a su vez, patinará menos y la velocidad del vehículo aumentará, reduciendo, a

su vez, la necesidad de patinar de la rueda delantera.

Esto se experimenta fácilmente en el campo con tractores de doble trac-

ción gestionada convencionalmente: cuando se trabaja con mucho patinamiento en ST y se conecta la DT, en ese momento el tractor suele dar un brinco hacia adelante, debido al importante aumento de la velocidad.

Sin embargo, en la documentación disponible del tractor New Holland TNF se destaca la suavidad en la conexión de la doble tracción, lo que induce a pensar en una modulación de la conexión de la DT.

Una vez conectada la DT, con el par motor repartido entre los ejes y ambas ruedas patinando, se llega a una situación de equilibrio, en la que se cumple [B]:

[B]

$$\text{velocidad de giro eje trasero} \times \text{radio rueda trasera} \times (1 - \text{patinamiento rueda trasera}) = \text{velocidad de giro eje delantero} \times (\text{radio rueda delantera} \times (1 - \text{patinamiento rueda delantera}))$$

La expresión anterior se puede poner de la siguiente manera [C]:

[C]

$$1 - \text{patinamiento rueda trasera} / 1 - \text{patinamiento rueda delantera} =$$

Si se admite que la relación entre los radios sea constante, como ahora "a" es fijo, resulta que la relación entre los patinamientos de las ruedas también es constante, pero eso no sirve ni para conocer el patinamiento ni para decidir cuando quitar la DT.

En el trabajo en simple tracción el parámetro de decisión era la diferencia cinemática "DC", pero ahora este valor es constante, puesto que "a" se mantiene fija por construcción.

Parecería que no queda más remedio que calcular el patinamiento, pero ya queda dicho que en este sistema no se calcula para tomar decisiones. ¿Cuál es, pues, el procedimiento que se emplea?

El criterio para la desconexión de la DT es el reparto de pares entre los ejes, expresado mediante el parámetro  $C_2$  (transferencia de par). Cuando no vaya par al eje delantero ( $C_2 = 0$ ) es porque la rueda trasera no tiene un patinamiento superior al límite establecido en ST. La DT, por tanto, sobra y se desconecta.

O sea, la desconexión se produce cuando :

- No hay transferencia de par
- Giro dirección  $> 45^\circ$

## GESTIÓN DE LA DOBLE TRACCIÓN EN PENDIENTE DESCENDENTE

Con pendiente descendente hay dos criterios. La conexión de la DT cuando la diferencia cinemática se ha-



ce positiva (en realidad mayor del 2%), que ya se ha comentado.

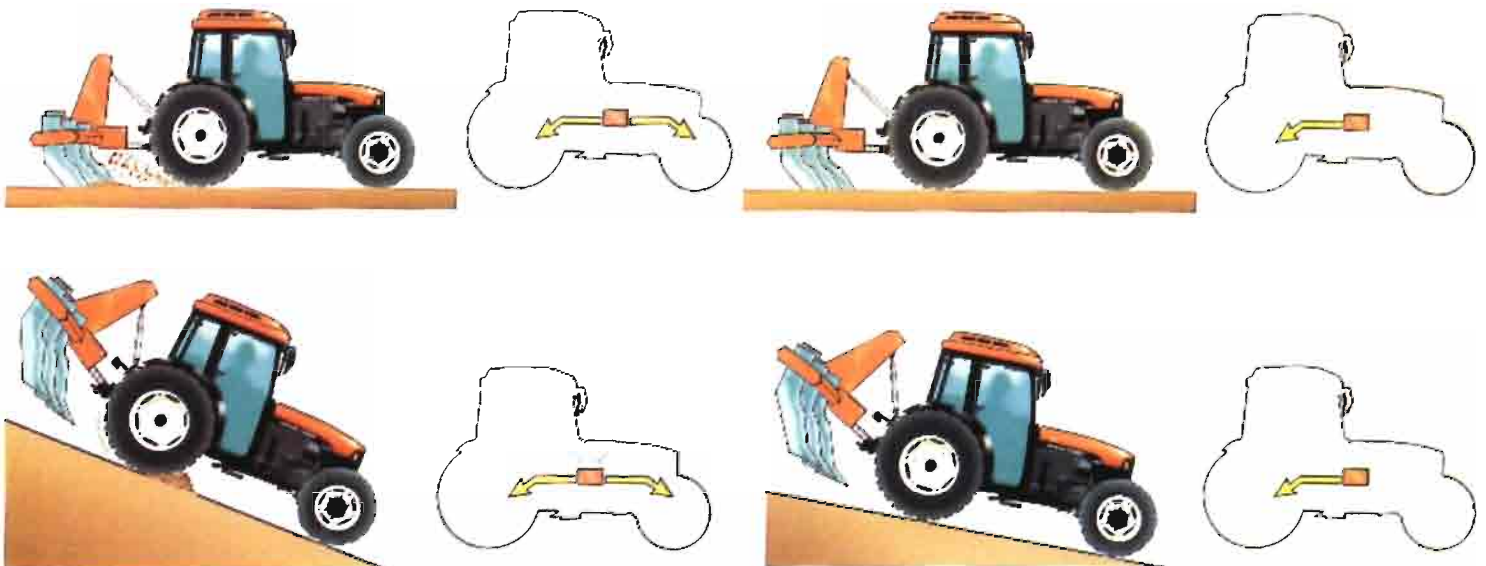
Queda la conexión cuando se hace muy negativa. La situación que el sistema pretende controlar es la de un tractor cuesta abajo empujado por un remolque o con un apero suspendido de gran peso.

En estas condiciones el tractor puede aumentar su velocidad respecto a la que teóricamente impone el motor y la transmisión. Si va en simple tracción, las ruedas delanteras, cuya velocidad sólo depende de la del vehículo, aumentarán su velocidad de giro y arrastrarán a las del eje trasero. Las ruedas traseras resbalan, pero no patinan (empujan la tierra hacia adelante, mientras que cuando patinan la escupen hacia atrás).

El avance cinemático "a" es superior a 1 y la diferencia cinemática "DC" será negativa y tendrá un valor elevado. Según lo dicho en terreno horizontal, con una diferencia cinemática negativa el sistema interpretaría que el patinamiento es pequeño y no debería conectar la DT.

Sin embargo, el sistema ahora funciona de manera que cuando  $DC < -14.3\%$ , la DT se conecta, con lo que las ruedas delanteras tienen limitada su velocidad de giro a la que le impone el giro del motor y el diseño de la DT.

Por eso se dice en la información comercial que el eje anterior contribuye a frenar el vehículo. Una vez conectada, actuará el sensor del par para la desconexión.



**RESUMEN EN PENDIENTE DESCENDENTE**

La **conexión** se produce:

DC < -14,3 % → D → ON (dirección doblada) → No se conecta la DT

OFF (trayectoria recta)

V > 15-25 km/h

no conecta DT

V < 15-25 km/h

se conecta DT

Y la **desconexión** cuando:

- Velocidad > 15-25 km/h
- $\alpha \neq 0$
- Giro de la dirección



**“ El sistema TNF se extenderá a otra gama de tractores, aparte de los fruteros ”**

**CONCLUSIONES**

¿Qué se puede decir a modo de resumen acerca del sistema de gestión de la DT de los tractores New Holland de la serie TNF?

- Es un sistema complejo que muestra el grado de sofisticación a que están llegando los tractores agrícolas.
- Se enmarca en la línea de las herramientas lógicas de ayuda a la decisión, que tienen como objetivo la realización de un trabajo eficiente.
- Su novedad es la gestión de la doble tracción sin medir el patinamiento de las ruedas.
- Simplifica la preparación del sistema para la toma automática de decisiones

Estos son los comentarios ‘técnicos’ que el análisis de la documentación disponible sugiere. Queda pendiente probar el tractor en campo, verlo trabajar y comprobar su funcionamiento en condiciones reales, tras lo cual se podrán añadir, sin



Estamos, pues, ante un sistema que, seguramente, se extenderá a otra gama de tractores, aparte de los fruteros de la serie TNF. Como siempre, asusta un poco pensar cuanto dependemos de la electrónica, y lo vulnerables que nos sentimos ante ella, pero ya pasó la época de mirarla con desconfianza. En las puertas del siglo XXI nadie se acuerda casi del querido carburador en el que todos metíamos las manos y consideramos plenamente fiable el encendido electrónico, el regulador electrónico y el resto de los mecanismos automáticos que nos inundan, no sólo en los tractores sino en nuestra vida cotidiana.

En la Agricultura de la era de Internet, esperamos, eso sí, que la buena organización del sector garantice el suministro regular de recambios y la asistencia técnica oportuna, así como que se realice la necesaria labor de formación para sacar provecho de los adelantos que la técnica proporciona día a día. ♠