LUIS MÁRQUEZ
*Dr. Ing. Agrónomo*

# EL PUENTE TRASERO EN LOS TRACTORES

**En la propaganda comercial de los tractores agrícolas, lo que afecta al puente trasero y a los elementos que en el mismo se incluyen, parece que tiene una importancia secundaria. Sin embargo, puede considerarse como un conjunto 'crítico' del que depende la fiabilidad del producto a lo largo de su vida útil.**

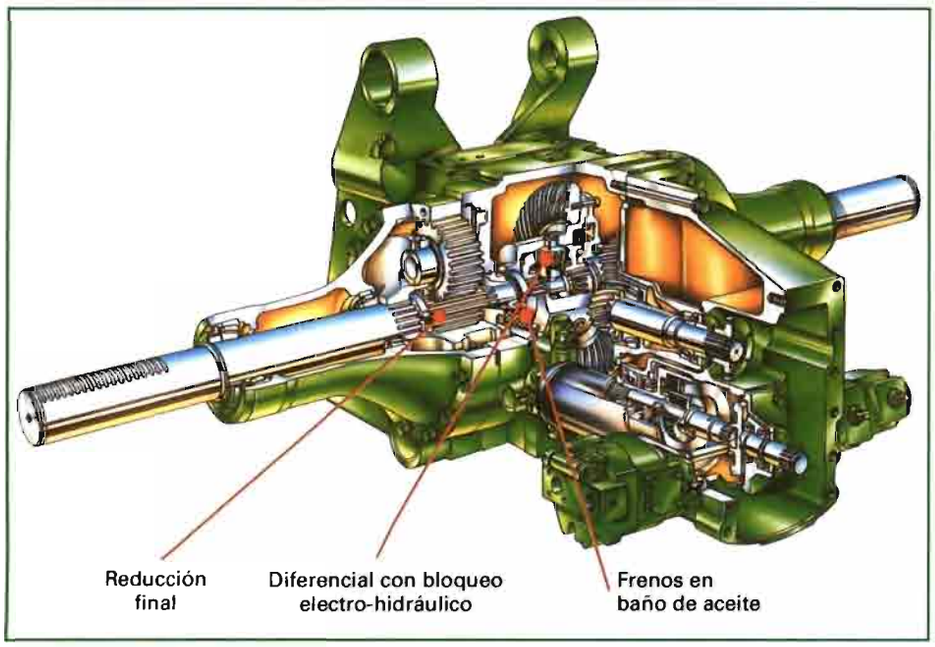



Se da importancia a los motores, a unas cajas de cambio con mejores niveles de escalonamiento de marchas, al sistema hidráulico, al confort, pero al diferencial, a los frenos y a las reducciones finales se les dedican pocas líneas, a pesar de que suelen ser los elementos por los que se inicia la fabricación del tractor en una cadena de montaje, y que sirven para definir los 'escalones' de potencia en una gama de tractores.

La salida de la caja de cambio da paso al diferencial, con entrada directa al piñón de ataque, donde se produce la primera reducción de velocidad importante, con lo que aumentan, en igual proporción, los pares trasmitidos por ejes y engranajes.

Pero, además, el diferencial permite que el tractor pueda seguir una trayectoria curva cuando se necesita, a la vez que incorpora sistemas que hacen posible su bloqueo cuando hay que trabajar en el campo, convirtiendo el eje trasero en un eje rígido. Los semiejes que salen del diferencial, a su vez, deben de incorporar un conjunto de engranajes que hagan posible una nueva reducción, con el aumento de los pares que llegan a las ruedas.

Por si fuera poco, en él se integran los frenos principales del tractor y los componentes que dan salida del movimiento al eje delantero. En consecuencia, los materiales que sirven para fabricar estos elementos son de primera calidad, reciben tratamientos térmicos que les comunican tenacidad interior y dureza en la superficie, y si algo falla, se convierte en la pesadilla del usuario que tiene la desgracia de que le aparezca la avería, ya que esta suele ser más costosa de reparar que si tuviera que cambiar íntegramente el motor del tractor.




Seguidamente se analizan algunos de los elementos que forman parte del eje trasero de los tractores agrícolas, como el diferencial y las reducciones finales, dejando el estudio de los frenos para otra ocasión.

## EL DIFERENCIAL Y SU BLOQUEO

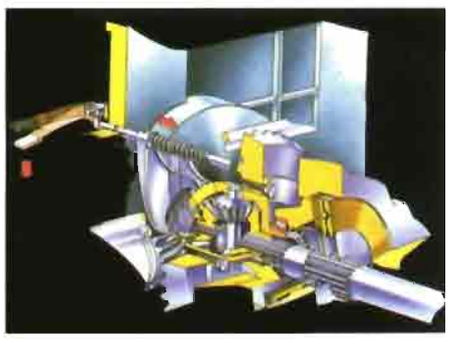
No se concibe un vehículo de ruedas sin un mecanismo diferencial que le permita circular en curva. El tractor agrícola de ruedas no es una excepción, y siempre monta una diferencial en el eje o ejes motores. Pero este elemento, que es imprescindible para poder circular con seguridad, presenta serias objeciones para el trabajo agrícola, de aquí que todos los tractores de ruedas incluyan dispositivos para proceder a su bloqueo, o sea, eliminar su efecto, aunque muchos usuarios prescinden habitualmente de esta opción.

Existe la creencia de que la utilización del bloqueo del diferencial puede producir roturas, y para evitarlas se llega incluso a condenar la palanca o el pedal de bloqueo, mediante calzos que impiden su utilización. Así, un mecanismo costoso llega a no utilizarse jamás, desaprovechando las grandes ventajas, tanto de aumento de la productividad como de disminución de los desgastes, que con el uso juicioso del bloqueo del diferencial se pueden conseguir.

La no utilización de este dispositivo por parte del usuario ha llevado a algunos fabricantes a sustituirlo por sistemas de bloqueo automático, que aunque no son más perfectos que el sistema de bloqueo tradicional, sí se aprovecha su efecto, independientemente de la voluntad del conductor, aunque sea con un coste mayor y algunos inconvenientes según el sistema utilizado para automatizarlo.

### La actuación del diferencial

Cuando un vehículo de ruedas aborda una curva, la rueda exterior debe recorrer mayor distancia que la interior. Para ello es preciso que exista un dispositivo mecánico en el eje de las ruedas que lo permita y este dispositivo es el diferencial. Desde que, en 1927, en Francia se patentó el primer diferencial, todos los vehículos de cierta categoría han incluido uno de estos dispositivos, pero el sistema para permitir el giro en curva no es único: con rueda libre alternativa, como el sistema de trinquetes de la bicicleta, se puede también circular en curva, pero con el inconveniente de perder la función motriz en la rueda exterior y concentrar el esfuerzo en la interior, con aumento además de la velocidad del vehículo (la rueda interior recorre menos camino y a la misma velocidad que en recta, luego el vehículo irá más aprisa), cosa que no sucede en el vehículo dotado de diferencial.



*Bloqueo del diferencial con manguito desplazable.*

El diferencial, situado en cualquier eje motor, divide en dos partes a éste, cada una de las cuales termina en un piñón cónico, que recibe el nombre de planetario. Entre estos planetarios, y engranando con ellos, se montan otros piñones también cónicos, llamados satélites, en número variable (2, 3 ó 4), en una caja (caja del diferencial) unida a la corona, que a su vez recibe el movimiento desde la caja de cambios, a través del piñón de ataque.

Cuando el vehículo marcha en recta, y las ruedas encuentran suficiente adherencia en el suelo, la corona arrastra la caja con los satélites, y éstos, sin moverse alrededor de su eje, arrastran a ambos planetarios a la misma velocidad, con lo cual las ruedas de uno y otro lado recorren distancias iguales. Cada una de ellas aplica en el suelo, siempre que éste sea capaz de resistir, fuerzas aproximadamente iguales a la mitad de la que proporciona el motor a través de la corona. (Par motor en la corona, igual a la suma de pares motores en las ruedas, si no existe reducción final; en el caso de que la tenga, el par en cada rueda vendrá incrementado según la relación de transmisión del reductor).

Al circular en curva, la caja del diferencial también recibe el mismo movimiento desde la corona, pero lo reparte de manera diferente entre la rueda interior y la exterior. Esto se consigue por el giro de los satélites sobre sus ejes, de tal manera que su sentido de giro es desde el planetario de menor al de mayor velocidad, y tanto más deprisa cuanto menor sea el

radio de giro que tengan que describir las ruedas.

En el caso de que una de las ruedas quedase frenada, la otra podría alcanzar doble velocidad que la que tiene la corona, impulsada por el piñón de ataque (ejes sin reductor). Esto se puede observar si se levanta una de las ruedas del eje; haciendo funcionar el motor, ésta girará al doble de velocidad que lo haría si se hubieran levantado ambas ruedas.

El diferencial también permite, con la corona frenada (motor parado y marcha conectada), y el eje motor levantado del suelo, que al accionar una de las ruedas la otra gire en sentido contrario. Todo ello se puede resumir diciendo que la suma de las velocidades de los semiejes (en las ruedas en el caso de ejes sin reducción final) divida por dos es igual a la velocidad de la corona.

También, en el caso de las ruedas en curva, el par motor de estas ruedas será aproximadamente igual a la mitad del par motor que llega a la corona, aunque las pérdidas por rozamiento en el diferencial hacen, que sea ligeramente mayor en la rueda interior (que gira más despacio) que en la exterior.

### Inconvenientes del diferencial en el uso del tractor agrícola

El tractor agrícola de ruedas debe circular por carretera y a cierta velocidad, y esto no podría hacerlo si no estuviera dotado de diferencial. Pero cuando realiza su trabajo en el campo, sucede a menudo que las condiciones de adherencia en ambas ruedas motrices no son iguales; el suelo, habitualmente ofrece diferencias, hay partes más húmedas, una rueda puede ir en el surco, etc., lo cual hace que en una rueda se produzca un resbalamiento mayor que en la otra. Esto lo interpreta el diferencial como si el vehículo estuviera circulando en curva, aplicando algo más de fuerza (par) en la rueda interior (la que gira más despacio) y reduciendo algo la fuerza en la exterior, que tendrá resbalamiento mayor.

A pesar de esto, siempre hay disminución de velocidad en el vehículo, y puede llegar un momento en que una de las ruedas pierda casi su adherencia (como al circular sobre zona embarrada) y el fenómeno, anteriormente explicado, se intensificará hasta el punto que la rueda que agarra casi se detiene, y la otra gira rápidamente excavando un pozo que hará que el tractor quede atascado.

El regulador del motor cortará la inyección, con lo que se reduce la potencia de salida a poco más del doble de la que permite la adherencia de la rueda deslizante, que es muy poca y no suficiente para avanzar el tractor. Se están desperdiciando las posibilidades de adherencia de la rueda que se asienta en terreno firme a causa del funcionamiento del diferencial.

Si mediante un mecanismo (bloqueo del diferencial) se logra detener su funcionamiento, el regulador del tractor proporcionará más potencia, suficiente cuando es aplicada en la rueda que sí tiene adherencia, para permitir al tractor superar ese paso difícil.

### El bloqueo del diferencial

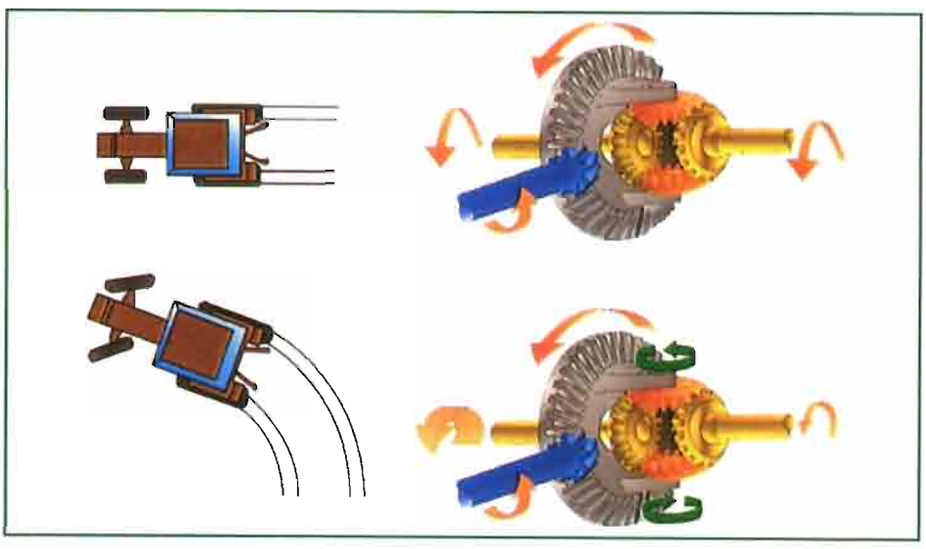
Habitualmente, todos los tractores montan un sistema de bloqueo, accionable de forma voluntaria, en el eje trasero motor, tradicionalmente se ha utilizado un pedal o una palanca ahora cada vez es más frecuente el empleo de pulsadores.

El tradicionalmente más usado de estos sistemas, por ser el más simple y barato, permite enlazar mediante un casquillo deslizante, o collarín acanalado, uno de los semiejes de salida del diferencial con el conjunto caja de satélites-corona, con lo que se bloquea el funcionamiento del diferencial, girando ambas ruedas a la misma velocidad y pudiendo realizar éstas un esfuerzo en función de la adherencia del suelo que se encuentra bajo ellas.

Si una vez realizado el bloqueo, suelto el pedal o palanca, las dos ruedas encuentran terreno suficientemente adherente, automáticamente se produce la liberación del diferencial, ya que el casquillo vuelve a su posición de reposo, arrastrado por un muelle.

Este sistema presenta un inconveniente: no se debe de conectar una vez que existe gran diferencia de velocidades entre ambas ruedas porque pueden producirse roturas. Es preciso detener la marcha antes de conectarlo, o conectarlo mientras ambas ruedas giran a la misma velocidad (circulando en recta y con iguales condiciones de adherencia).

Para evitar inconvenientes, muchos fabricantes, inicialmente en sus modelos de mas categoría y después de forma casi generalizada para los comercializados en los mercados tecnológicamente avanzados, han modificado este dispositivo, sustituyendo el manguito acanalado desplazable por un conjunto de frenos de láminas accionados hidráulicamente, o sistema equivalente, controlado también



*Funcionamiento del diferencial en recta y en curva.*



*Bloqueo del diferencial mediante embrague multidisco.*

mediante un pedal o con un simple pulsador situado en el tablero de mandos del tractor.

Aquí, el bloqueo puede hacerse progresivamente, sin peligro de roturas, cuando existe diferencia de velocidad entre las ruedas, e incluso hay mayor protección en el caso de tomar una curva con el sistema en funcionamiento (bloqueado), ya que su capacidad de frenada permitiría en el límite un cierto deslizamiento, que reduciría las posibilidades de daño en la transmisión, pero el coste del dispositivo resulta mayor.

### El bloqueo automático

Para aumentar las prestaciones en los tractores, cada vez más potentes, es imprescindible utilizar, de manera sistemática, el bloqueo del diferencial, y dada la resistencia del usuario a ello, así como la concentración que requiere su manejo correcto, muchos fabricantes han optado por montar sistemas de bloqueo automático, conocidos desde hace muchos años, pero que hasta hace pocos años no se utilizaron de manera generalizada en el medio agrícola, después de una experimentación amplia, tanto en maquinaria de movimiento de tierras como en automoción.

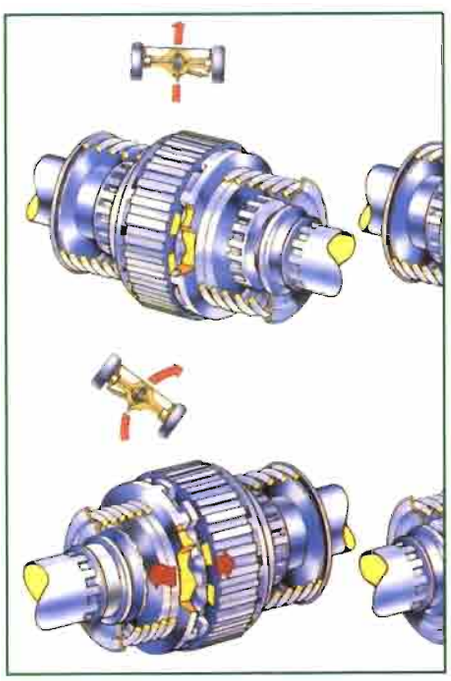
No se puede decir que realicen su trabajo mejor que un bloqueo manual juiciosamente utilizado, porque cada sistema automático tiene sus inconvenientes, pero es una solución de compromiso ante el poco uso del bloqueo manual, necesario para los puentes delanteros motrices y para todos los ejes, en tractores de los considerados como grandes, aunque ahora la electrónica combinada con avanzados programas de gestión, garantiza una eficiente utilización del bloqueo del diferencial en cualquier situación, sin que el conductor tenga que preocuparse de ello.

Dos han sido los sistemas mecánicos de bloqueo automático que se han utilizado generalmente en el tractor agrícola:

### Autoblocante por garras

Este mecanismo, más que un blocante del diferencial, es una alternativa al diferencial que se comercializa preparado para sustituir a satélites y planetarios en la misma caja del diferencial que monta el tractor de serie. No es un sistema moderno, aparece descrito en 1951 y lo fabrica *Detroit Automotive Products* (sistema *no spin*), que lo suministra para numerosos vehículos en el campo de la maquinaria de movimiento de tierras, así como para algunos tractores agrícolas. Así, Deutz (*Optitrac*), Versatile, John Deere, etc., han equipado con este sistema sus tractores de más potencia, aunque en muchas ocasiones se ofreciera como opción.

El sistema no es un verdadero diferencial; se basa en dos embragues de garras que encastran sobre un plato, que recibe el accionamiento de la corona (caja de satélites). Estos embragues de garras obligan a ambas ruedas a girar a la misma velocidad, siempre que el vehículo avance en línea recta y con suficiente adherencia en sus apoyos.



*Autoblocante por garras 'no spin'.*

Si por cualquier circunstancia varía la resistencia en las ruedas (zona de baja adherencia, tomar una curva, etc.), la garra que acciona la rueda exterior se libera, y esta rueda se comporta como 'rueda libre' no transmitiendo ningún esfuerzo. El 100% del esfuerzo que viene del motor puede utilizarlo la rueda que mantiene su adherencia (o la rueda interior para el movimiento en curva) sin que aparezcan diferencias de velocidad entre eje y corona, por lo que el vehículo en curva circulará más deprisa de lo deseado, ya que el camino recorrido por la rueda interior será menor que el del plano medio del vehículo, que define la velocidad de avance de éste.

Para lograr este comportamiento, además de las garras indicadas, en el interior del mecanismo y no visible desde fuera, existe otra pieza, concéntrica con el plano, con garras de paredes inclinadas, a diferencia de las exteriores visibles que son perpendiculares al eje del mecanismo. Cuando aparece alguna diferencia de esfuerzos entre ambas ruedas, a esta pieza llegan fuerzas contrarias en cada cara, produciéndose el deslizamiento entre las garras inclinadas, lo que hace que el embrague de garras rectas que acciona la rueda, que aplica un esfuerzo menor, se libere del plato, quedando su rueda loca. En cuanto se produce el cambio de sentido entre los esfuerzos de las ruedas, el mecanismo se recupera, y los muelles, que tienden a empujar las garras contra el plato motor, logran que de nuevo se conecte el mecanismo de tracción total.

Se puede decir que este sistema, más que un autoblocante, es un dispositivo de eje rígido con rueda libre automática cuando el funcionamiento de este eje queda comprometido (baja adherencia de una rueda o toma de una curva).

Los inconvenientes que se le pueden poner a este método de bloqueo son fundamentalmente dos:

- Peligro en las curvas por aumentar la velocidad del vehículo, que se intensifica si éste es pequeño (corta distancia entre ejes) y su radio de giro reducido.
- Desaprovechan en parte la capacidad de adherencia de la rueda desconectada, al quedar como rueda libre, aunque con las sucesivas conexiones-desconexiones permitan algún aprovechamiento de ésta.

Se puede decir que es un sistema adecuado para grandes tractores o para montajes en el eje delantero motor, aunque, en los últimos años, con la incorporación de la gestión electrónica del bloqueo del diferencial ha perdido parte de su mercado potencial

### Autoblocante por fricción

El sistema, desarrollado inicialmente por Timken, es un diferencial clásico al que se acopla un freno multidisco entre el semieje y la corona (caja portasatélites) similar a uno de los dispositivos voluntarios de bloqueo ya descritos, pero con la variante de que el sistema de freno opone cierta resistencia al movimiento ya que está comprimido por resortes que le comunican un esfuerzo que aumenta a medida que lo hace la potencia transmitida. Para que el diferencial actúe como tal se debe vencer esta resistencia; mientras no sea así, se comporta como un eje rígido.

Este principio lo han utilizado desde hace tiempo International Harvester para su *Autoblocant*, Fendt en su *Lokomatik,* y John Deere en los modelos de menos potencia para los diferenciales de los ejes delanteros de sus tractores. Con este dispositivo se tiene la seguridad que si una rueda (la de menor adherencia) es capaz de aplicar en el terreno cierto par motor, la otra, con adherencia suficiente, podrá transmitir el mismo par motor que la rueda no adherente más el par resistente del freno de discos, lo que supone un incremento del par motor en las ruedas, igual al par resistente del sistema de frenado del diferencial comparado con el obtenido con el mismo diferencial sin frenado automático.

El sistema también tiene sus inconvenientes:

- Se producen mayores pérdidas internas en el mecanismo cuando trabaja en curvas.
- Está sujeto a desgastes fundamentalmente en las láminas que componen el freno.

Se puede decir que es una solución de compromiso entre el diferencial y el eje rígido, con lo que comparte las ventajas e inconvenientes de ambos sistemas, siendo fundamental el adecuado tarado del sistema de frenado, según las características del vehículo, para que las ventajas superen ampliamente a los inconvenientes.

Hay otros sistemas de bloqueo del diferencial como el *Torsen*, frecuentemente utilizado en vehículos todoterreno de gama alta, pero que hasta ahora no se ha utilizado en vehículos agrícolas. Constructivamente es similar a un diferencial, pero los planetarios y satélites no son engranajes cónicos sino conjuntos de tornillo sin fin con su corona. La irreversibilidad de la transmisión del movimiento de la corona al tornillo sin fin hace que, en el caso de que una rueda pierda adherencia, se le deje de suministrar potencia (par motor), comportándose el diferencial como un eje rígido.

### Bloqueo electrónico del diferencial

Con la puesta en el mercado del denominado *Alltronic* de Fendt, se inicia la incorporación de la electrónica para controlar cualquier sistema de bloqueo convencional. De esta manera, se permite bloquear el diferencial cuando se aprecia que las velocidades de los semiejes se hacen diferentes (estableciendo el nivel de esta diferencia), o desbloquearlo cuando se produce el giro de las ruedas (ángulo de giro) para abordar una curva, o incluso cuando se dan circunstancias de trabajo que así lo aconseja, como levantar el apero antes de dar la vuelta en el cabecero de la parcela.

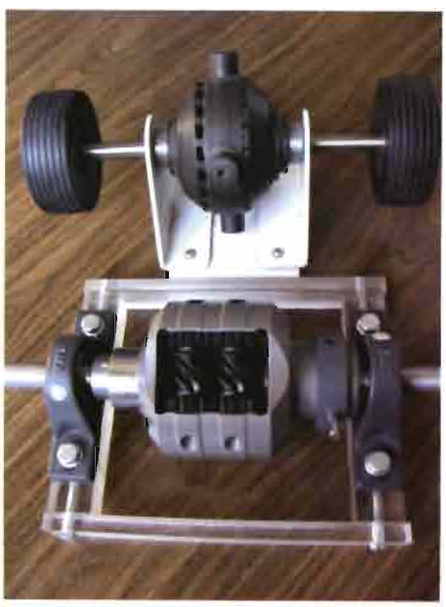
Normalmente, la gestión electrónica del diferencial se combina con la de la conexión/desconexión de la tracción delantera, e incluso en función del patinamiento y de la selección de las velocidades del cambio, todos ellos sistemas integrados en una central electrónica, verdadero ordenador, que descarga el trabajo del operador de una manera considerable. Es frecuente la opción de gestión de operaciones secuenciales, de manera similar a los 'macro' que se utilizan en la programación con ordenadores personales.

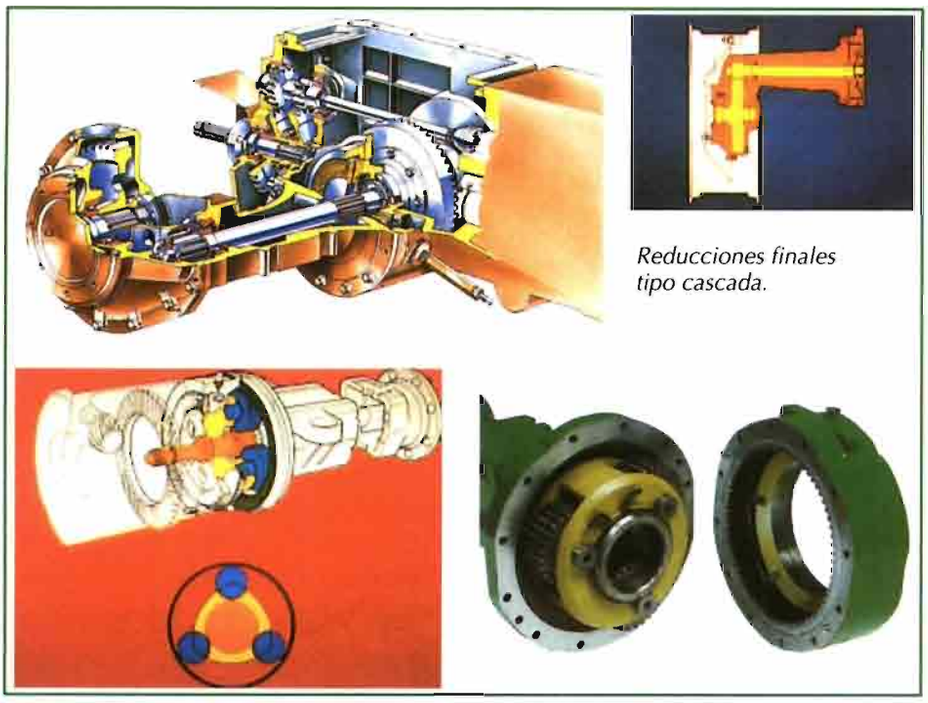
Se puede decir que la hidráulica combinada con la electrónica es la base del control de operaciones en los tractores agrícolas modernos de gama alta, de la que forman parte los sistemas de comunicación *bus-cam*, aunque exige una preparación de las personas que se encargan del mantenimiento algo diferente de lo que se

*Derecha: dispositivos 'no spin' y 'torsen'.*

*Abajo: diferencial con bloqueo parcial por fricción.*







*Reducciones finales tipo cascada.*

*Reducciones finales tipo epicicloidal.*

*Mandos finales por planetarios.*

consideraba necesario en el mecánico agrícola tradicional y unos medios para su ajuste y reparación muy distintos de la tradicional caja de herramientas.

### Recomendaciones de empleo del bloqueo del diferencial

De lo anteriormente expuesto se pueden secar algunas conclusiones:

- El diferencial es imprescindible para que el vehículo pueda circular en curva con seguridad, pero su uso continuado, y más si es en el mismo sentido, llevará a un desgaste acelerado del mecanismo y la consiguiente avería.
- Para evitar el desgaste y las averías en el diferencial es imprescindible utilizar el sistema de bloqueo de manera juiciosa, y cuando se necesita, en labores marginales, mantener un trabajo en círculos pequeños, es conveniente cambiar el sentido de rotación para conseguir el desgaste uniforme.
- El bloqueo diferencial permite mejorar el rendimiento en el trabajo, siempre que se emplee cuando el tractor se desplaza en línea recta.
- El bloqueo manual no debe conectarse una vez que hay gran diferencia de velocidades entre ambas ruedas en el eje, ya que esta diferencia será la causa de la rotura en los bloqueos por collarín desplazable.
- En el sistema de bloqueo manual por discos múltiples es posible, utilizándolo con precaución, conseguir salir de un punto difícil sin tener que detener el tractor, o al menos aminorar su marcha, pero con cierto peligro de accidente si la rueda deslizante alcanza excesiva velocidad.
- Nunca se deberá entrar en una curva con el bloqueo conectado, pero tampoco deberá condenarse la palanca o pedal de bloqueo para impedir su utilización, ya que se desperdicia un elemento imprescindible para el buen uso del tractor
- Los sistemas de bloqueo automáticos, o sistemas 'autoblocantes', no son, en cuanto a sus posibilidades, mejores que el bloqueo manual, siempre que el conductor lo utilice racionalmente; su ventaja está en que estos sistemas no se 'cansan' y mantienen su funcionamiento durante toda la jornada, cosa que el conductor no hace en los sistemas de accionamiento voluntario.
- De los sistemas 'autoblocantes', el *no spin* es más adecuado para grandes tractores, con distancia entre ejes próximas o superiores a los tres metros ya que puede resultar peligroso en vehículos pequeños al abordar una curva sin reducir simultáneamente la marcha del motor.
- El sistema de autobloqueo por freno continuo multidisco está indicado para tractores menores en su eje delantero motor, sobre el que es más difícil que pueda centrar su atención el conductor. Es una solución de compromiso entre el eje rígido y el diferencial sencillo. Un mal reglaje del mismo puede hacer que su efecto llegue a ser perjudicial.

Con los dispositivos de bloqueo electrónico se pueden superar las eficiencias tanto del bloqueo automático mecánico como del bloqueo manual, con el solo inconveniente del mayor coste de fabricación; esta es la opción que, a medida que la electrónica baja de precio, prefieren los fabricantes, al menos para sus modelos de gama media y alta para mercados tecnológicamente desarrollados.

## LAS REDUCCIONES FINALES

El puente trasero estructuralmente lo componen un bloque central y dos trompetas en el extremo de las cuales se encuentran las ruedas. Las trompetas disponen en su interior de los palieres, unos ejes que transmiten el movimiento desde el diferencial hasta las ruedas.

En la propia salida del cuerpo central, o en las proximidades de las ruedas, se instala un grupo de engranajes que constituyen lo que se denomina reducción final.

Inicialmente se han utilizado trenes de engranajes simples, de manera que los piñones, unidos a cada una de las salidas del diferencial, actuaban sobre las correspondientes ruedas dentadas, de mayor diámetro; a veces se utilizaban dos etapas o escalones, especialmente en los tractores de cadenas en los que la reducción debía de ser mucho mayor,

Con un tren abierto, las tensiones sobre los dientes de los engranajes son muy altas, por lo que este sistema se ha mantenido en modelos de baja po-

tencia, y de una manera especial para tractores de alto despeje, ya que colocando la rueda dentada en posición inferior al del piñón se elevaba el conjunto del puente trasero con respecto al suelo.

En la actualidad, la mayoría de los tractores convencionales utilizan un sistema planetario de 3 ó 4 engranajes (planetarios) unidos entre sí. La corona suele ser fija y forma parte de la trompeta o del bloque central, por lo que al entrar el movimiento por uno de los elementos móviles (engranaje central o eje del porta-planetas), se produce una reducción de la velocidad en la salida del otro, a la vez que la inversión del sentido de giro. Las dimensiones de los engranajes que forman el conjunto están calculadas para que las relaciones de velocidad entre la entrada y la salida se encuentre en una relación entre 4:1 y 6:1.

Esto significa que se multiplican por 4 a 6 los pares de fuerza que salen por cada semieje del diferencial. En conjunto, la combinación del diferencial (relación de reducción entre 4:1 y 5:1) con las reducciones finales ofrece una reducción total que suele oscilar entre 16:1 y 30:1, con el consiguiente incremento de las tensiones de los elementos que forman el puente trasero, que se convierten en críticos, y necesitan un sobre dimensionamiento a medida que aumentan las potencias de los motores en una serie de tractores. Esta es la causa por lo que se ha generalizado la utilización de sistemas planetarios en las reducciones finales. Además, el piñón de ataque se suele utilizar engranajes de tipo hipoide, y se encuentra montado por debajo de la corona, de manera que aumenta la superficie de contacto entre los dientes, aunque este requiera una lubricación más perfecta por los rozamientos que genera.

## UN CASO PRÁCTICO

Supongamos un tractor de tipo medio, con una potencia del motor de 85 CV cuando funciona a 2 000 rev/min, que utiliza ruedas traseras de 0.8 m de radio. Por cada vuelta de las ruedas traseras, la longitud avanzada por el tractor será: 2 x π x 0.8, o sea, aproximadamente 5 metros

Se puede elaborar una tabla que en la que se puedan comparar las velocidades de avance con las relaciones de transmisión que lo permite, para el motor funcionando a 2 000 rev/min, y simultáneamente el par motor en la salida a las ruedas, sobre la base de este tractor de 85 CV (aprox. 30 daN m de par motor en el volante).

Sin considerar que la caja de cambios del tractor no incluye la opción de marchas 'ultracortas', adecuadas para trabajos muy lentos, en las que no resulta necesario transmitir toda la potencia disponible en el motor, con solo contar con la relación que permite avanzar a 3 km/h ya se necesita una relación de transmisión de 200:1, lo que puede hacer llegar un par a las ruedas de 6 000 daN m (unos 6 000 m kg) algo que supera la masa de un tractor de esta potencia, lo que explica el riesgo potencial de que se pierda la estabilidad del tractor si se bloquean las ruedas en el suelo.

Por otra parte, mientras los tractores han mantenido como velocidad máxima de circulación los 30 km/h se ha buscado una reparto de las reducciones, de manera que la salida de la caja de cambios en la marcha mas larga fuera 'directa', o sea, que el diferencial podría girar al mismo régimen del motor, encargándose el diferencial y los engranajes de la reducción final de proporcionar la relación de transmisión que permite circular a esta velocidad.

A medida que se aumenta la velocidad límite de circulación, la relación de transmisión total se tiene que hacer mas baja, lo cual exige reducirla en la parte final, lo que incrementa los pares en los ejes de la caja de cambio, con el consiguiente encarecimiento de la misma, o bien incluir marchas 'superdirectas' (multiplicadoras), con lo cual el piñón de ataque puede girar a una velocidad superior a la del motor del tractor.

En el ejemplo incluido en la tabla se esta incrementando un 33% la velocidad de salida de la caja con respecto a la que llega al motor, sobre la base de circular a 40 km/h y con una reducción final (diferencial y sistema planetario) de 20:1.

Frecuentemente este último escalón es mucho mayor para poder hacer la caja de cambio más pequeña, o lo que es lo mismo, más eficiente y más barata de fabricar, pero el puente trasero se encuentra con que, además de resistir las grandes tensiones que exige el trabajo con marchas cortas, también deben de soportar unas velocidades de rotación elevadas en las marchas largas, cuando no siempre están preparados para ello

Cualquier desequilibrio constructivo, o la falla de un rodamiento, puede ocasionar una avería importante y costosa de reparar. Les propongo que hagan un calculo sobre la velocidad a la que pueden girar el piñón de ataque en la marcha más larga cuando se circula a 40 (ó a 50) km/h en los tractores modernos, y les aseguro que se sorprenderán.

**TABLA 1.- RELACIONES DE TRANSMISIÓN NECESARIAS PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE AVANCE Y PAR MOTOR QUE LLEGA AL CONJUNTO DE LAS RUEDAS (TRACTOR DE SIMPLE TRACCIÓN)**

| Ruedas | | | Motor | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Radio | 0.8 | m | régimen | 2 000 | rev/min |
| Longitud vuelta | 5 | m | par | 30 | daN m |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **velocidad** | 40 | 30 | 18 | 9 | 6 | 3 | km/h |
| **eje ruedas** | 133 | 100 | 60 | 30 | 20 | 10 | rev/min |
| **relac. total** | 15:1 | 20:1 | 33:1 | 67:1 | 100:1 | 200:1 | |
| **par ruedas** | 450 | 600 | 1 000 | 2 000 | 3 000 | 6 000 | daN m |
| **relac. caja (*)** | 0.75:1 | 1.00:1 | 1.67:1 | 3.33:1 | 5.00:1 | 10.00:1 | |

(*) calculada sobre la base de una reducción de 1:20 en el conjunto diferencial y reducciones finales