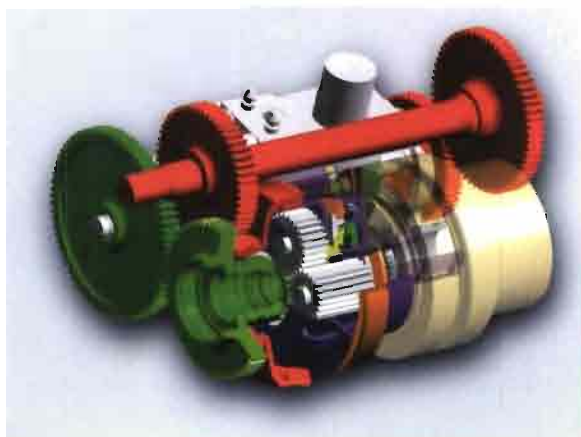




CVT: TRANSMISIONES CON DIVISIÓN DE LA POTENCIA

Vario y S-Matic Iguales... y opuestas



En FIMA '97 se presentó como novedad la transmisión Vario de los tractores Fendt. Este año se presentó también como novedad la transmisión S-Matic de los tractores Case/Steyr. En ambas ocasiones se designan como transmisiones CVT, sin escalonamientos, con variación continua de la velocidad. Si ambas son CVT, ¿no serían iguales? ¿Es realmente la caja S-Matic, presentada este año una novedad?

En primer lugar, hay que decir que sí ha sido una novedad. Aunque ambas sean CVT, son muy diferentes, casi se podría decir que opuestas. Para demostrarlo será conveniente hacer unas precisiones sobre las cajas de cambio tipo CVT.

TRANSMISIONES CON DIVISIÓN DE LA POTENCIA MECÁNICA- HIDROSTÁTICA

Como ya se ha publicado en *agrotécnica*, hay muchos tipos de transmisiones CVT, como las de correas, o las toroidales, que se usan en automoción, pero en los tractores agrícolas las que se emplean son las que aplican el principio de la ramifi-

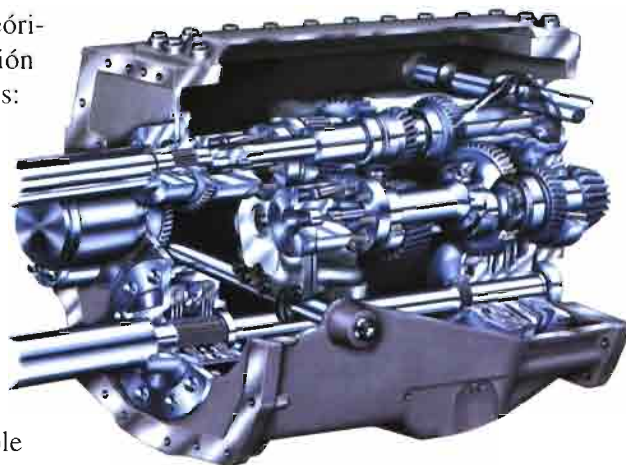
cación de la potencia procedente del motor en dos vías, una mecánica y otra hidrostática, para luego volver a juntarse. En este proceso de ramificación y unión utilizan un sistema planetario.

A lo largo de los años se han estudiado diversas soluciones teóricas. En una primera clasificación se pueden hacer dos grupos: transmisiones con tres y con cuatro ejes. Las de tres ejes emplean un planetario simple y las de cuatro, un planetario doble.

Las únicas que se han desarrollado comercialmente hasta ahora son del tipo de 3 ejes, que corresponden a los tres ejes de un planetario simple (corona, portasatélites y planeta o en-

granaje central). Dentro de ellas, a su vez, hay dos tipos de transmisiones:

- Con Planetario Divisor
- Con Planetario Sumador



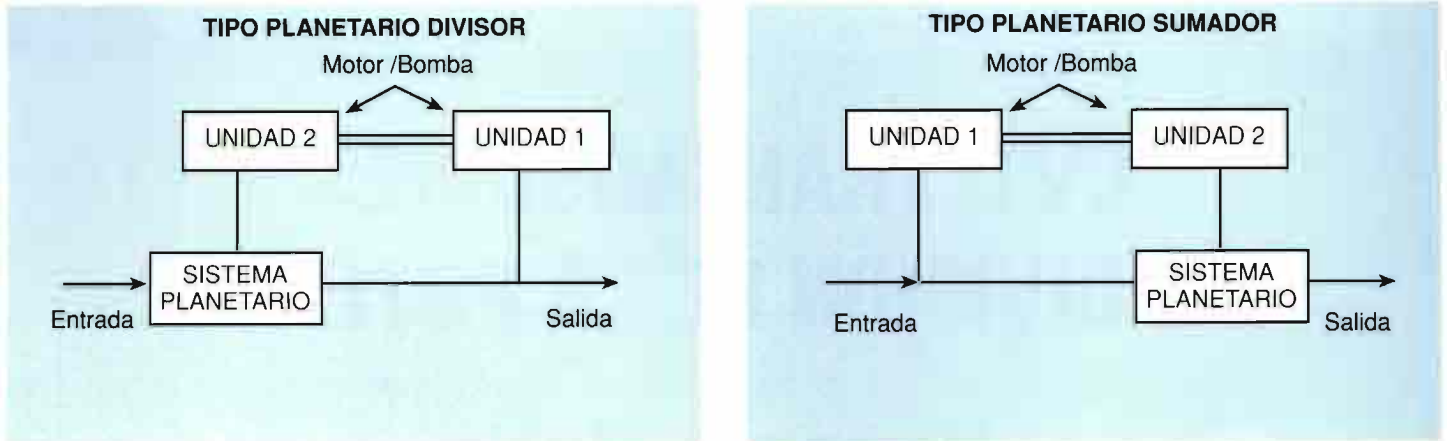
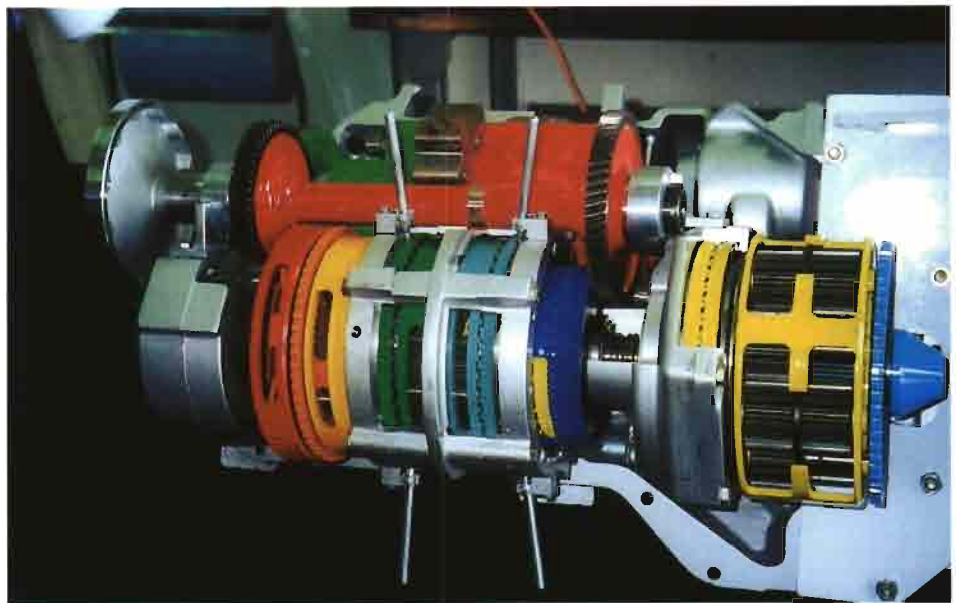


Figura 1.- Disposición de dos tipos de cajas CVT con 3 ejes, (Adaptado de Kress, J.H., 1968)

En la Figura 1 aparece la disposición de ambos sistemas (sólo en la parte correspondiente a la caja CVT); además, puede completarse con otras cajas más 'convencionales'. Como se puede observar, en el caso del Planetario Divisor, éste está colocado a la entrada de la caja, mientras que en el caso del Planetario Sumador, está colocado a la salida.

LAS SIMILITUDES

En ambos sistemas hay dos unidades hidráulicas, llamadas unidades 1 y 2, que pueden funcionar como motor o como bomba. Cada unidad tiene un eje, de entrada o de salida según funcione como bomba o como motor, y, a su vez, las dos unidades están comunicadas hidráulicamente. En cada momento, una de ellas funciona como



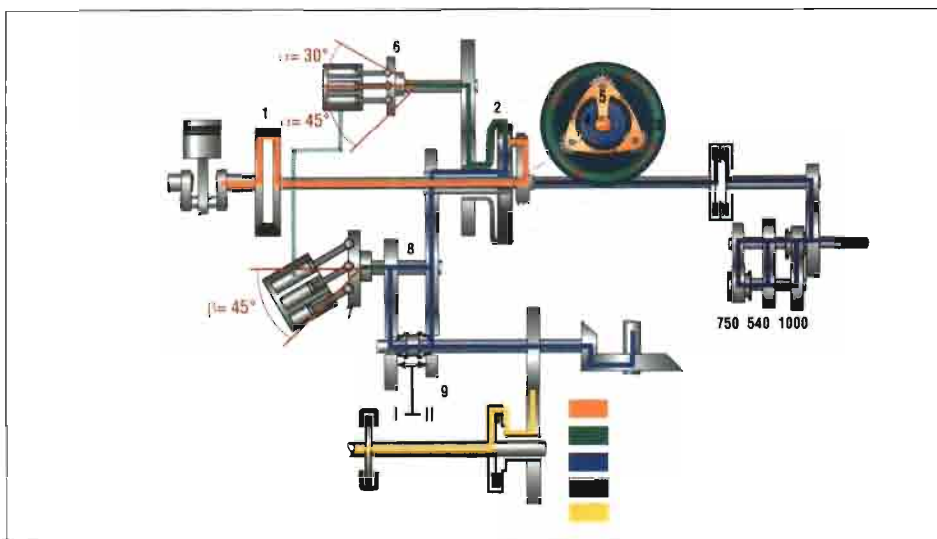
bomba y la otra como motor, pero pueden intercambiar estas funciones.

De los tres ejes del planetario, uno está siempre unido al eje de entrada,

otro proporciona la salida de la caja, y el tercero se une a una de las unidades hidráulicas (la llamada unidad 2), mientras que la otra unidad hidráulica (unidad 1) está unida al eje de salida (Planetario Divisor) o eje de entrada (Planetario Sumador).

En este tipo de transmisión es importante el llamado 'Punto de bloqueo' en el que el 'tercer eje' del planetario (el que no es ni de entrada ni de salida) se frena. En esas condiciones, toda la potencia se transmite mecánicamente. La relación de transmisión de ese punto es la llamada 'relación de bloqueo'.

El rendimiento de esta transmisión depende de la relación de transmisión obtenida, pero el máximo valor está siempre en la proximidad del punto de bloqueo.



Dentro de cada sistema, hay variaciones en la manera en que se disponen los ejes del planetario, es decir, quiénes son: la entrada, la salida y cuál está conectado a la unidad 2.

■ LAS DIFERENCIAS

Transmisión con Planetario Divisor (Vario)

El planetario está a la entrada. El eje de entrada a la caja acciona un elemento del planetario. El eje de salida es otro de los ejes del planetario. El tercero está conectado a la unidad 2, mientras que la unidad 1 se conecta al eje de salida (Por ello, en la terminología inglesa le llaman *output coupled planetary*).

Si se define la relación de transmisión (R_t) como la velocidad del eje de salida dividida por la del eje de entrada,

cuando esta relación es inferior a la de bloqueo, la unidad 2 se comporta como bomba y la 1 como motor. Por el contrario, si la relación de transmisión es superior a la de bloqueo, se invierten las funciones: la unidad 1 se comporta como bomba y la 2 como motor.

Así, en una caja CVT con Planetario Divisor, en cuya corona tiene 90 dientes y el planetario 30 (Figura 2.a), si la entrada es por el engranaje central (planeta) y la salida por el portasatélites, la relación de transmisión de bloqueo (R_{tb}), calculada teniendo en cuenta la relación entre las velocidades de los tres ejes del sistema, será:

$$n_p = \frac{n_p Z_p + n_c Z_c}{Z_p + Z_c}$$

De donde:

- n_p : velocidad del planeta
- n_p : velocidad del porta-satélites
- n_c : velocidad de la corona
- Z_p : nº dientes del planeta
- Z_c : nº dientes de la corona

Cuando está bloqueado, la corona está parada ($n_c = 0$). Con la definición de relación de transmisión establecida, la correspondiente al bloqueo vale: $R_{tb} = n_p/n_p = 30/(30+90) = 0.25$

Para que la relación de transmisión sea mayor de 0.25, se ne-



cesita que la unidad 2 actúe como bomba; en el caso de que la relación sea menor de 0.25, la unidad 2 actuará como motor, por lo que la bomba será la unidad hidráulica 1, conectada al eje de salida del planetario.

En consecuencia, variando los caudales por vuelta en las unidades hidráulicas (bombas y/o motores de caudal variable) se puede conseguir la relación de transmisión deseada, pero pagando un coste energético que afecta al rendimiento.

En función de la relación de transmisión en la caja, la proporción de la potencia que corresponde a la rama hidráulica aparece en la figura 3 A), junto con la eficiencia en la transmisión que se logra. Se puede observar claramente que el aumento del bombeo en la unidad 2 hace bajar el rendimiento en la transmisión de la potencia que atraviesa la caja. Un efecto análogo se puede observar cuando aumenta el bombeo de la unidad 1.

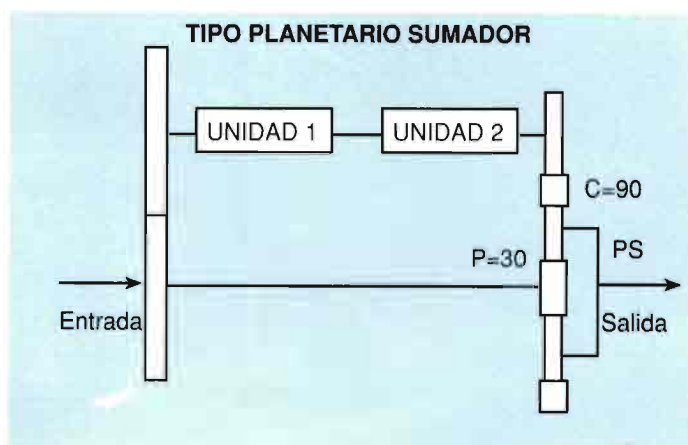
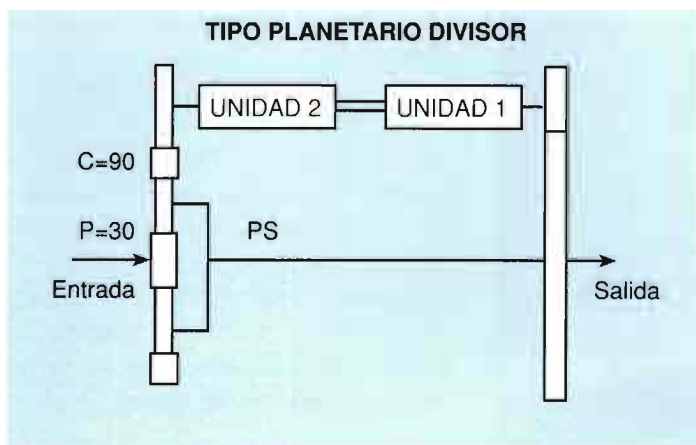
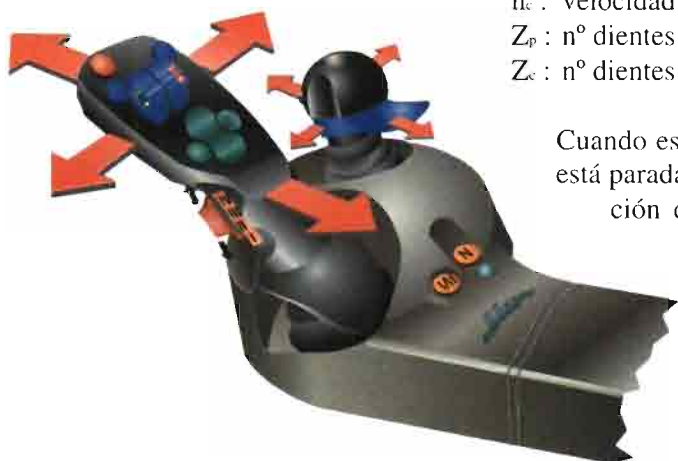


Fig 2.- Ejemplo de cajas CVT con sistema planetario de 3 ejes organizado con la entrada por el engranaje central (P), la salida por el portasatélites (PS) y la corona (C) unida a la unidad hidráulica 2. (Adaptado de Kress, J.H., 1968).

Transmisión con Planetario Sumador (S-Matic)

El planetario está a la salida. El eje de entrada acciona un eje del planetario y la unidad 1 (por ello en la terminología inglesa se le llama *input coupled planetary*). El eje de salida es otro de los ejes del planetario. El tercero está conectado a la unidad 2.

Si consideramos que el planetario es igual al del ejemplo anterior, la relación de bloqueo es la misma. Cuando la relación de transmisión es superior a la de bloqueo, la unidad 1 se comporta como bomba y la 2 como motor. Por el contrario, si la relación de transmisión es inferior a la de bloqueo, la unidad 2 bombea aceite para accionar la unidad 1, que se comporta como motor.

Al igual que en el caso anterior, utilizando unidades hidrostáticas de caudal variable, se puede conseguir la relación de transmisión deseada, aunque también variará el rendimiento de la transmisión.

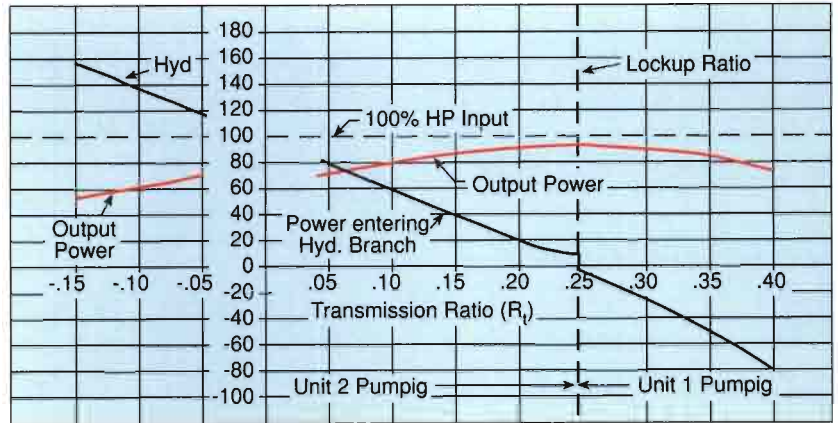
La proporción de potencia que corresponde a la rama hidráulica y la eficiencia en la transmisión aparecen en la figura 3 B).

VARIO vs. S-MATIC

La caja Vario pertenece al tipo de Planetario Divisor y la S-Matic al tipo de Planetario Sumador.



A)



B)

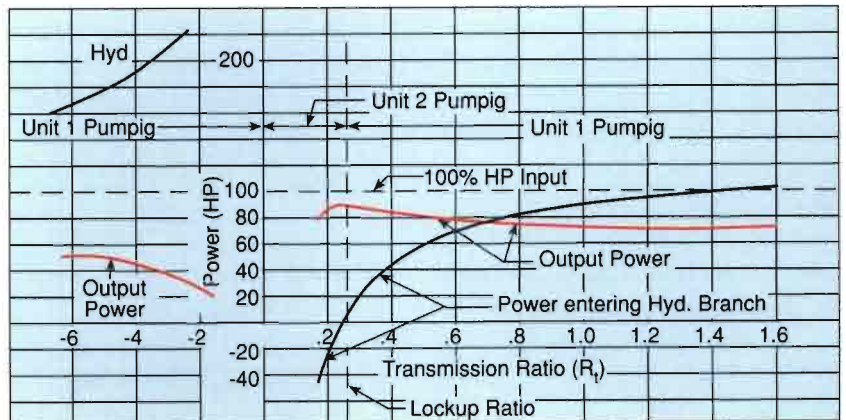


Figura 3.- Reparto de la potencia y eficiencia en la transmisión. A) Tipo Planetario Divisor; B) Tipo Planetario Sumador (Adaptado de Kress, J.H., 1968).

A diferencia del ejemplo numérico anterior, sus relaciones de bloqueo no son iguales, como tampoco la disposición del sistema planetario. Así, las cajas Vario utilizan un planetario

con 3.44 de relación de bloqueo, mientras que en las cajas S-Matic la relación de bloqueo es 0.75.

Además, hay muchas otras diferencias que hacen referencia también a otros elementos de las cajas, como gamas, embragues de maniobra, marcha atrás, etc. El resumen de las características principales parece en la tabla adjunta.

En la Figura 4 se presentan las curvas de reparto de la potencia en las dos cajas (sólo la parte correspondiente al CVT) sobre la base de las relaciones de transmisión anteriormente indicadas.

En el caso de la transmisión Vario, la electrónica limita la relación de transmisión, de manera que no se sobrepasa el valor de bloqueo.

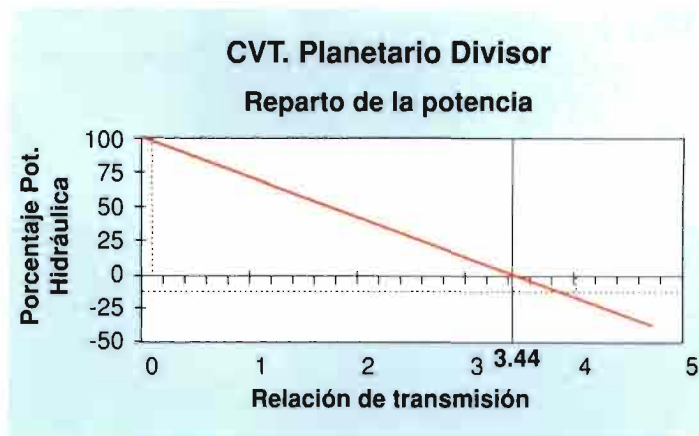
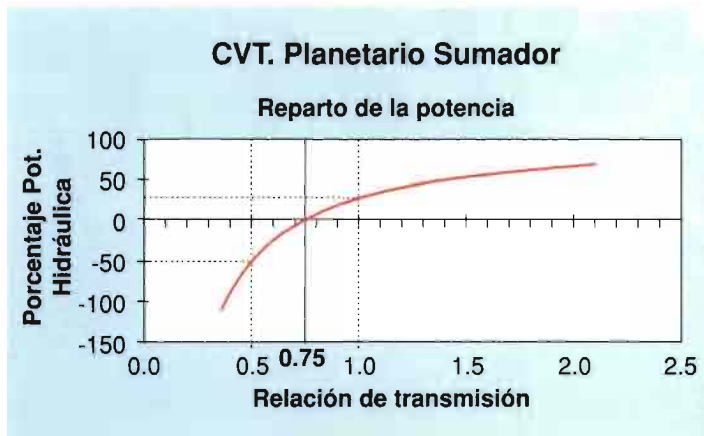


Figura 4.- Diagramas de reparto de potencia (hidráulica y mecánica) en transmisiones tipo CVT con Planetario Sumador y con Planetario Divisor.



AL CÉSAR LO QUE ES DEL CÉSAR

Varias veces se ha citado en este artículo a James H. Kress. En 1968 publicó un trabajo que ahora, casi 40 años después, cobra actualidad (*Hydrostatic Power-Splitting Transmissions for Wheeled Vehicles'—Classification and Theory of Operation. SAE Paper 68059*).

Por cierto, James H. Kress trabajaba en el John Deere Waterloo Tractor Works de Deere&Co. ¡Gracias, amigo Kress, por tu ayuda para entender el funcionamiento de las cajas CVT!.

	VARIO	S-MATIC
Sistema CVT	Planetario Divisor	Planetario Sumador
Planetario CVT . Entrada	Portasatélites	Corona
Planetario CVT. Salida	Central	Portasatélites
Relación de Bloqueo (Rtb)	3,44 ⁽¹⁾	0,75
Situación del punto de bloqueo	Casi al final de la gama	En el medio de la gama
Unidad 1	1-2 unidades β : 0 a 45°	1 unidad α : α_{max} a $-\alpha_{max}$
Unidad 2	1 unidad α : -30°a 45°	1 unidad de desplazamiento fijo
Relación de transmisión (mín)	0,002	0,5
Relación de transmisión (máx)	4,1 ⁽²⁾	1
Gamas con variación continua	2 independientes	4 sucesivas
Nº Total de Planetarios	1	4
Elementos maniobra	1 selector gama	6 embragues
Marcha atrás	Por la rama hidráulica de la unidad CVT	Inversor bajo carga independiente de la unidad CVT

(1) Existen varios modelos. La cifra corresponde al Fendt 900 y 700

(2) El sistema de control limita en la práctica el valor máximo al de bloqueo.