

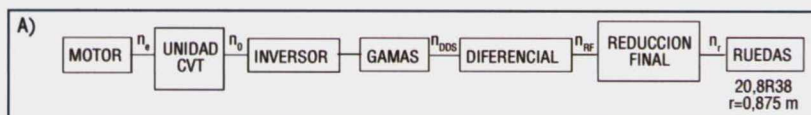
# Transmisiones Valtra Versu-Direct:

Dos transmisiones con muchos puntos de contacto... y grandes diferencias

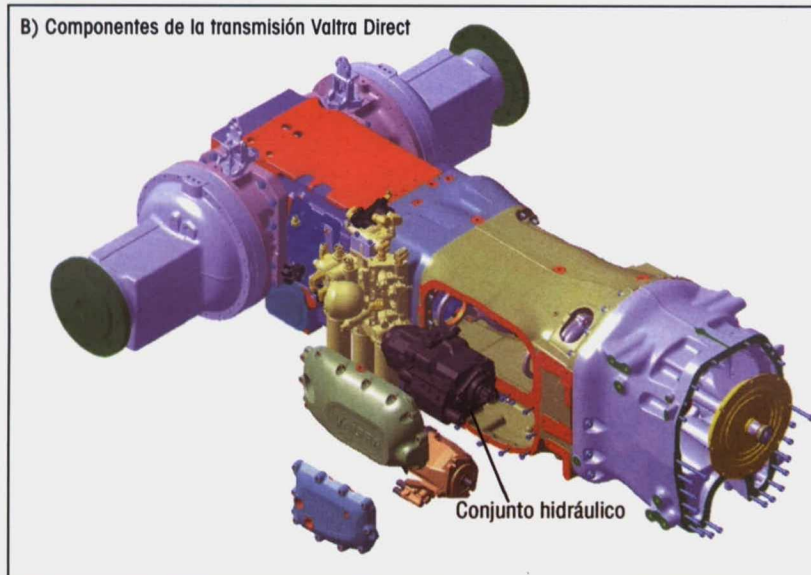
## PARTE 2.- VALTRA DIRECT



FIGURA 1.- ESQUEMA GENERAL DE LA TRANSMISIÓN VALTRA DIRECT



B) Componentes de la transmisión Valtra Direct



Vista la Valtra Versu en **agrotecnica** del pasado mes de noviembre, pasemos ahora a la Valtra Direct, transmisión CVT con ramificación mecánica-hidrostática de la potencia, del tipo planetario sumador, provista de embragues en la unidad CVT. ¡Vaya, ya me he lanzado y he metido de clavo un montón de conceptos! ¡Quieta, parada!, *mea culpa* y vayamos por partes.

**PROF. PILAR LINARES**  
Cátedra ANSEMAT  
Universidad Politécnica de Madrid

En la Figura 1 A está el esquema general de la transmisión, en el que podemos observar que sólo se ha cambiado la caja PS por la 'Unidad CVT'. Y encima, si miramos la Figura 2, vemos la organización de esa 'unidad CVT' en la que se aprecia que la única diferencia con la caja PS es que se han cambiado los ejes 6-7 (ver parte 1) donde estaban los embragues C3 y C4 (freno, caramba) por una transmisión hidrostática, es decir, dos unidades hidráulicas que en el esquema vienen identificados como una unidad de cilindrada fija (la que no tiene raya) y la otra de cilindrada variable (con una

raya que indica que se puede modificar la cilindrada). Ni pío de llamarles bomba o motor ¿vale? De eso ya hablaremos. También han cambiado los dientes de los engranajes que van de la entrada (o salida) al ramal donde está la transmisión hidrostática. El resto, es decir, el sistema planetario compuesto, idéntico al de la caja PS.

Pues como decía al principio, esta 'pequeña diferencia' da mucho juego. Deja de ser una transmisión escalonada de 5 marchas para convertirse en una caja con infinitas velocidades (*stepless*), es decir CVT (*continuously variable transmission*). No voy a repetir lo que ya se ha publicado en otros

artículos, incluso en esta misma revista, pero recordemos que una transmisión CVT precisa un variador continuo (recordemos la Vespino o el variador de las cosechadoras, por ejemplo).

La Valtra Direct es una transmisión CVT del tipo 'ramificación de la potencia' que son en las que, a diferencia de las 'eje a eje' (*shaft to shaft*) no toda la potencia pasa por el variador (en la Vespino, sí). En la Figura 3 se pueden ver los conceptos relativos a este tipo de transmisión CVT. Se aprecia que hay un nudo de entrada donde la transmisión se ramifica y la potencia se distribuye entre una rama de relación de transmisión fija (ra-

ma mecánica) y la otra donde se sitúa el variador (en este caso, hidrostático), que le permite tener infinitas relaciones del cambio. Ambas ramas se reúnen en un sistema planetario que suma las potencias que vienen de las dos ramas. Por eso se le llama 'sistema planetario sumador'.

El fundamento del sistema es que, supuesto constante el régimen de giro del motor, al tocar el mando de la velocidad de avance, el sistema puede conseguir de 0 a la velocidad máxima. Matice-mos. En esta caja, seleccionamos una gama (por ejemplo, la A). Con el acelerador a tope (2 200 rev/min), al mover el selector de velocidad, ésta iría aumentando de 0 a 9.5 km/h y en la gama D, variaría de 0 a 50 km/h (ó 40 en los países, como España, en que está limitada a ese valor).

Por cierto, ya puestos, recordemos que en los tractores CVT el llamado 'pedal del acelerador' no funciona como tal en el modo automático, sino como selector de la velocidad de avance, aunque también dispone de un mando manual. Lo que pasa es que el tractor tiene la posibilidad de funcionar en modo manual y en ese caso, el pedal es acelerador y só-

FIGURA 2.- ESQUEMA GENERAL DE LA TRANSMISIÓN VALTRA VERSU

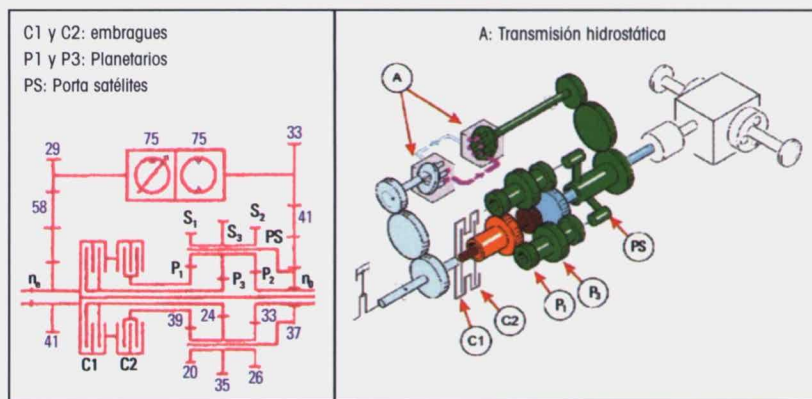
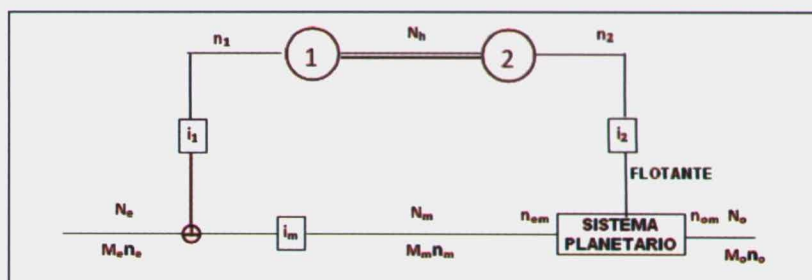


FIGURA 3.- ESQUEMA GENERAL DE UNA TRANSMISIÓN CVT



Algunos conceptos de las transmisiones CVT tipo planetario sumador.

lo se controla la velocidad de avance con la palanca manual. Sin embargo, dejaremos hoy los modos de conducción para centrarnos en la descripción de 'lo que no se ve' y hace que el sistema funcione.

Podría parecer que la tecnología CVT es compleja, pero no es



así. Los parámetros de diseño son sencillos: el sistema planetario y el variador. El corazón de la transmisión es la unidad CVT, donde están los dos elementos, junto con las transmisiones internas entre los mismos. Aún así, la experiencia me hace pedir de nuevo com-



presión (o fe, o confianza...) porque a pesar de todo cuesta comprenderlas, pero también ánimo, que el sistema planetario es el mismo que el de la Versu y ya lo conocemos.

Una característica de esta transmisión respecto a otras de planetario sumador es que lleva dos embragues en el interior de la unidad CVT. La misión de los mismos es cambiar el eje de entrada en el sistema planetario. Cuando actúa C1, el eje de entrada es el planeta P3 y cuando actúa C2, el planeta P1. Siempre el eje de salida es el planeta P2. Esto es lo que ha llevado a la empresa a decir que tiene una transmisión CVT 'doble'. Tengo que decir que es el único argumento comercial que no comparto. Vamos a explicarlo.

La transmisión, recordemos, tiene la unidad CVT, el inversor y la caja de gamas. Vamos a considerar siempre las marchas adelante y seleccionada una gama cualquiera. Queda la unidad CVT, que opera de la siguiente manera: inicialmente, a vehículo parado, la inclinación de la unidad de cilindrada variable hace que el portasatélites gire a las máximas revoluciones posibles y en sentido contrario al eje de entrada (digamos que la

 **EN LAS  
TRANSMISIONES CVT, EL  
SISTEMA PLANETARIO  
TIENE, AL MENOS,  
3 EJES ACTIVOS: EL DE  
ENTRADA, EL DE SALIDA  
Y EL QUE SE UNE A LA  
TRANSMISIÓN  
HIDROSTÁTICA** 

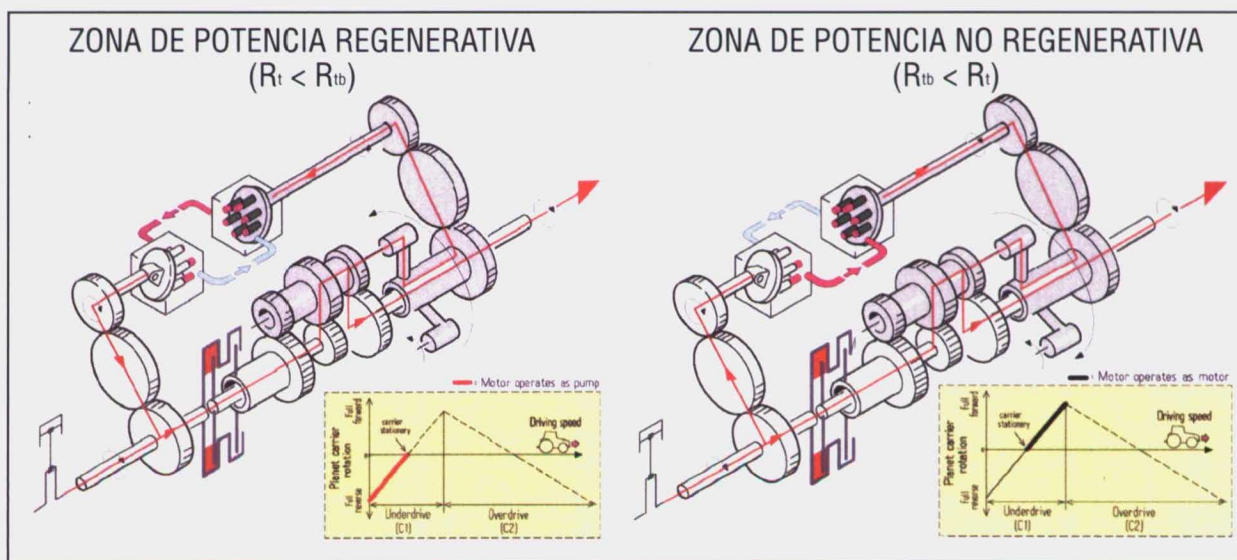
inclinación de la unidad hidráulica sería  $-\alpha_{\max}$ ). La cosa está calculada para que el vehículo se pare (parada activa, se le suele llamar a este estado). A partir de ese momento, mover el pedal de avance supone que el portasatélites reduce su velocidad hasta que se para (en ese momento, toda la transmisión es mecánica) y luego vuelve a aumentar la velocidad, pero en el mismo sentido que el eje de entrada. Cuando el portasatélites llega a su velocidad máxima (unidad hidráulica inclinada

hasta el máximo ángulo positivo, que es menor que en el otro sentido y que vamos a llamar  $+\alpha$ ), es el momento en el que deja de actuar C1 y va a empezar a actuar C2, repitiéndose el proceso inverso. Ahora la unidad de cilindrada variable irá de  $+\alpha$  hasta  $-\alpha_{\max}$  (instante de la mayor velocidad posible con esa gama). Se han producido dos barridos, recorridos, ciclos o como queramos llamarlos, de la inclinación de la unidad hidráulica, uno con cada embrague. El punto de cambio de embrague es muy curioso, porque se produce cuando todos los ejes del sistema planetario están girando a igual velocidad para que el cambio se produzca sin problemas. Es decir, deja de ser el eje de entrada el planeta P3 (asociado a C1) para ser el planeta P1 (asociado a C2), pero como, tanto en uno como en el otro caso, EN ESE MOMENTO, la velocidad del eje de salida es la misma, el resultado es un cambio armonioso. Lo demostraremos con números un poquito más adelante, pero primero terminemos con la descripción.

En las transmisiones CVT, el sistema planetario tiene, al menos, 3 ejes activos: el de entrada, el de salida y el que se une a la transmisión hidrostática (en este



FIGURA 4



Funcionamiento de la transmisión Valtra Direct cuando actúa el embrague C1. En la parte izquierda, circulación de potencia regenerativa. Por la rama mecánica circula más potencia que la que entra. En la parte derecha, potencia no regenerativa por las dos ramas.

caso, el portasatélites). A éste último le llamamos 'flotante'. La razón es que al desarrollarse las transmisiones con variador hidrostático, el eje flotante está cambiando su velocidad en función de la cilindrada de la unidad variable en el variador. Digamos más: su velocidad va a oscilar (¿flotar?) entre un máximo y un mínimo, pasando por un punto característico, en el que se para, siendo en ese momento toda la transmisión mecánica. Este punto se llama de bloqueo, porque el flotante se queda parado. Conocida la organización del sistema planetario, los números de dientes de los piñones y el rango de variación del variador, se puede calcular fácilmente las velocidades que se pueden conseguir. Para que no se diga que no pongo nada, digamos que la relación de transmisión en la unidad CVT (definida como revoluciones del eje de salida respecto al de entrada), vale:

$$R_t = R_{tb}(1 - R_f) + R_f$$

Cuando actúa C1,  $R_t$  es la relación entre P2 y P3, mientras que cuando actúa C2 es la relación entre P2 y P1.

$R_{tb}$  es la relación de transmisión en el punto de bloqueo y se calcula en función de la disposición del sistema planetario y los números de dientes de los piñones.

En este caso,  $R_{tb}$  es 0,54 cuando actúa C1 y 1,54 cuando actúa C2 (venga, fe en el calculista...).

$R_f$  la relación de transmisión entre el eje de entrada y el portasatélites y depende de las transmisiones internas en la unidad CVT ( $i_1$  e  $i_2$ ) y del variador,  $R_v$  (relación entre los ejes de las dos unidades hidráulicas). En definitiva:

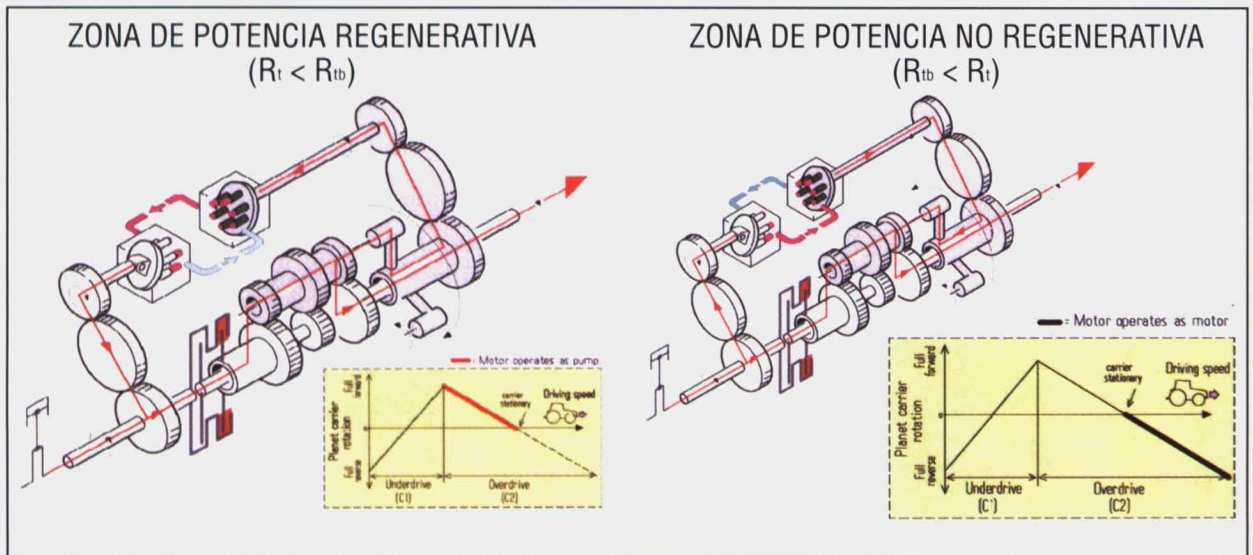
$$R_f = \frac{i_2}{i_1} \cdot R_v$$

En el momento del cambio,  $R_f$  vale 1, con lo que, aunque  $R_{tb}$  sea distinta según actúe C1 o C2, la fórmula nos dice que si  $R_f$  es 1,  $R_t$  también es 1, tanto si actúa C1 como C2. Así que el punto de cambio de embragues se define como aquél en el que el portasatélites gira a igual velocidad que el eje de entrada. Como diseñador se trata de elegir unas transmisiones internas  $i_1$  e  $i_2$  y una inclinación de la unidad de cilindrada variable tales que  $R_f$  sea 1. En este caso, dados los valores de  $i_1$  (29/41) e  $i_2$  (33/37),  $R_v$  vale 0,793 en el momento del cambio de embragues. Recordemos que  $R_v$  es la relación entre las revoluciones de los ejes de las dos unidades hidráulicas. Cuando está inclinado al máximo en la posición en que el portasatélites gira en sentido contrario al eje de entrada,

$R_v=0,93$  (y, por cierto, el ángulo es de  $-30^\circ$ ). Cuando se inclina en el otro sentido, lo hace hasta que  $R_v=0,793$ , de manera que no llega a los  $30^\circ$ . No tengo la cifra pero diría que debe ser próxima a los  $20^\circ$ , creo.

¿Por qué se dice lo de CVT doble? Pues porque, en cada gama, la transmisión hidrostática va de  $-\alpha_{max}$  a  $+\alpha$  (cuando actúa C1) y de  $+\alpha$  a  $-\alpha_{max}$  (cuando actúa C2), es decir, dos recorridos o ciclos de actuación; pero según ese argumento, otras transmisiones CVT serían 'cuádruples' porque repiten el proceso 4 veces, y también cambiando de ejes y embragues. Se me puede objetar que esas transmisiones CVT son en serie y cada ciclo enlaza con el anterior de manera que al final el resultado sea una variación continua de 0 a la velocidad máxima de avance. En cada ciclo el tractor pasa de una velocidad mínima a otra máxima (por ejemplo: 0-6; 6-12: 12-24 y 24-48). La velocidad máxima de una gama (0-6) coincide exactamente con la mínima de la siguiente (6-12). Pero es que aquí pasa lo mismo con las dos opciones: Con C1 iría, en la gama D, de 0 a 26 y en C2, de 26 a 58 km/h. Lo que pasa es que tiene 4 gamas en paralelo (todas de 0 a la velocidad máxima) que son las A, B, C y D y en cada una de ellas, dos

FIGURA 5



Funcionamiento de la transmisión Valtra Direct cuando actúa el embrague C2. En la parte izquierda, circulación de potencia regenerativa. Por la rama mecánica circula más potencia que la que entra. En la parte derecha, potencia no regenerativa por las dos ramas.

ciclos en serie, uno con C1 y el otro con C2.

En las Figuras 4 y 5 aparecen los esquemas del funcionamiento, para la gama D.

En la Figura 6 se encuentra la tabla de velocidades de avance en las 4 gamas (en Direct no hay cre-

eper) y en la Figura 7 la representación gráfica de las velocidades.

Resumiendo. El usuario tiene que seleccionar la gama en al que quiere trabajar y luego decirle amablemente al tractor la velocidad en la que desea desplazarse. El microprocesador buscará el embra-

que que debe actuar y la inclinación de la unidad de cilindrada variable para conseguir la velocidad objetivo. Punto final. Luego ya se verá cómo responde a las condiciones iniciales, en función de la estrategia de conducción establecida. Recordemos, una estrategia de conducción es establecer el rango de régimen de giro permitido al motor.

Si han llegado hasta aquí, una de dos: o son unos masocas o su confianza en mí es increíble. Ya puestos, mencionemos el tema más espinoso, pero que no hay por qué rehuir: lo de la potencia regenerativa o no regenerativa. Y lo menciono con la satisfacción de ver cómo se ha tratado en la documentación de la empresa. Primero la teoría. Supongamos que el rendimiento en la unidad CVT es la unidad, que no se pierde nada de potencia. Dicho de otra manera, del motor salen 100 CV y de la unidad CVT salen 100 CV. Vale, pero y dentro de la unidad CVT ¿qué pasa?. Hay dos ramas. ¿Cómo se distribuye la potencia en las ramas?. La teoría nos dice que el reparto de la potencia en las ramas depende de la relación de transmisión de bloqueo,  $R_{tb}$  (que sabemos que es un factor de diseño, un valor fijo) y del momento, es decir, de la relación de transmisión en un instante dado, defi-

FIGURA 6. TABLA DE VELOCIDADES EN LA TRANSMISIÓN VALTRA DIRECT

$$R_t = R_{tb} + R_f \cdot (1 - R_{tb})$$

$$i_t = \frac{1}{R_t} \cdot i_g \cdot i_{DIF} \cdot i_{RF}$$

$$v_t (\text{km/h}) = 3,6 \frac{2\pi \cdot n_e \cdot r_i}{60 \cdot i_t}$$

$$R_f = \frac{i_2 \cdot i_m \cdot R_v}{i_1}$$

$$i_i = i_c \times i_{DIF} \times i_{RF}$$

$$n_e (\text{r/min}) = 2200$$

$$20,8R38 \text{ r (m)} = 0,875$$

GAMA	ACTÚA	Rv	Rf	Rt	$i_{INV}$	$i_g$	$i_{DIF}$	$i_{RF}$	$i_t$	v
A (M1)	C1	-0,930	-1,173	0,001	1	4,680	5,250	6,857	298038,547	0,00
		0,000	0	0,540	1	4,680	5,250	6,857	312,019	2,33
		0,793	1	1,000	1	4,680	5,250	6,857	168,496	4,31
	C2	0,793	1	1,000	1	4,680	5,250	6,857	168,484	4,31
		0,000	0	1,540	1	4,680	5,250	6,857	109,409	6,63
		-0,930	-1,173	2,173	1	4,680	5,250	6,857	77,529	9,36
B (M2)	C1	-0,930	-1,173	0,001	1	2,356	5,250	6,857	150022,770	0,00
		0,000	0	0,540	1	2,356	5,250	6,857	157,060	4,62
		0,793	1	1,000	1	2,356	5,250	6,857	84,815	8,56
	C2	0,793	1	1,000	1	2,356	5,250	6,857	84,809	8,56
		0,000	0	1,540	1	2,356	5,250	6,857	55,073	13,18
		-0,930	-1,173	2,173	1	2,356	5,250	6,857	39,026	18,60
C (H1)	C1	-0,930	-1,173	0,001	1	1,500	5,250	6,857	95519,288	0,01
		0,000	0	0,540	1	1,500	5,250	6,857	100,000	7,26
		0,793	1	1,000	1	1,500	5,250	6,857	54,002	13,44
	C2	0,793	1	1,000	1	1,500	5,250	6,857	53,998	13,44
		0,000	0	1,540	1	1,500	5,250	6,857	35,065	20,70
		-0,930	-1,173	2,173	1	1,500	5,250	6,857	24,848	29,21
D (H2)	C1	-0,930	-1,173	0,001	1	0,755	5,250	6,857	48081,258	0,02
		0,000	0	0,540	1	0,755	5,250	6,857	50,337	14,42
		0,793	1	1,000	1	0,755	5,250	6,857	27,183	26,70
	C2	0,793	1	1,000	1	0,755	5,250	6,857	27,181	26,70
		0,000	0	1,540	1	0,755	5,250	6,857	17,651	41,12
		-0,930	-1,173	2,173	1	0,755	5,250	6,857	12,507	58,02

ACTÚA	Rtb
C1	0,54
C2	1,54

$i_1 = (29/41) = 0,707$
$i_2 = (33/37) = 0,892$
$i_m = 1,000$
$i_{INV(F)} = 1$
$i_{DIF} = 42/8$
$i_{RF} = (82+14)/14$

GAMA	
A (M1)	$(33/26) \cdot (59/16)$
B (M2)	$(23/36) \cdot (59/16)$
C (H1)	$(33/26) \cdot (39/33)$
D (H2)	$(23/36) \cdot (39/33)$

nida por  $R_t$ . El flujo de potencia se calcula con las siguientes fórmulas:

$$X_{mt} = \frac{R_{tb}}{R_t}$$

$$X_{ht} = 1 - \frac{R_{ti}}{R_t}$$

Siendo  $X_{mt}$  la parte de potencia teórica (sin considerar rendimientos) que circula por la rama mecánica y  $X_{ht}$  la que circula por la rama hidrostática. Lógicamente, cuando  $R_t < R_{tb}$ ,  $X_{mt}$  es superior a 1 y por la rama mecánica circula más potencia que la que entra en la unidad CVT (que sí, que no es una locura transitoria). Estamos en la situación de potencia regenerativa. La potencia por la rama hidráulica será 'negativa' para que sumen 1, es decir que por esa rama la potencia no circula 'hacia las ruedas' sino que 'regresa' o, dicho de otro modo, la unidad 2 (que es la que se une al sistema planetario), actúa como bomba. Por el contrario, cuando la potencia es 'no regenerativa' por ambas ramas circula potencia 'hacia las ruedas' siendo ambos valores menores que la de entrada. En este caso, la unidad 1 es la que actúa como bomba y la unidad 2, como motor (Ver Cuadro 1).

**Pongamos números**

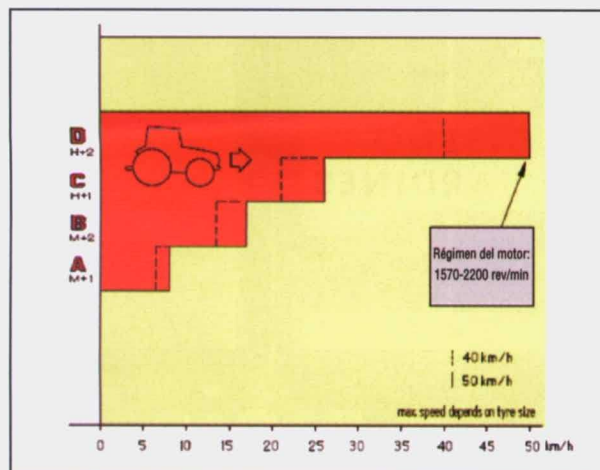
Si consideramos que está actuando el embrague C2 ( $R_{tb} = 1,54$ ), cuando  $R_t = 1,3$  la proporción de potencia por la rama mecánica será de 118%, mientras que por la rama hidráulica circula un -18%. Por el contrario, cuando  $R_t > R_{tb}$ , la potencia es no regenerativa. Si seguimos con el embrague C2, suponiendo que  $R_t$  valga 2 (en la tabla de la Figura 6 se puede ver que puede llegar a valer



2,173), el reparto de potencia sería de un 77% de mecánica y un 23% de hidráulica. Similares consideraciones valen para cuando actúa C1.

Ahora, fíjense de nuevo en las Figuras 4 y 5, tomadas de la documentación de la empresa. En la 4 actúa C1. En la parte superior  $R_t < R_{tb}$ , potencia regenerativa y unidad 2 (siempre llama motor a esta unidad), actuando como bomba; en la parte inferior  $R_{tb} < R_t$ , potencia no regenerativa y unidad 2 actuando como motor. En la Figura 5 actúa C2. En la parte superior, de nuevo  $R_t < R_{tb}$ , potencia regenerativa y unidad 2 actuando como bomba. En la parte inferior,  $R_{tb} < R_t$ , potencia no regenerativa y la unidad 2 actuando como motor. No cabe duda de que es una de las cosas que más me fascinan de las transmisiones CVT: que no se vuelva loca la unidad hidráulica.

FIGURA 7.- DIAGRAMA DE VELOCIDADES EN LA TRANSMISIÓN VALTRA DIRECT



ca. Cuando actuó C1 pasó la mitad del ciclo de actuar como motor a actuar como bomba y, de pronto, al cambiar de embrague, vuelve a cambiar de misión, para, a mitad de recorrido, cambiar de nuevo... Y la cosa funciona y bien. Admirable. Mis felicitaciones más sinceras a los diseñadores.

No tengo seguridad en haber superado el reto de que la transmisión se entienda; es más, diría que más bien, lo seguro es no haberlo superado, pero si, a pesar de ello, alguien se siente interesado en comprenderla y apreciarla, habrá merecido la pena el esfuerzo. Seguiremos informando. ■

CUADRO 1.- CIRCULACIÓN DE LA POTENCIA ENTRE RAMA MECÁNICA E HIDRÁULICA

Condición	$X_{ht}$	TIPO
$0 < R_t < R_{tb}$	$< 0$	REGENERATIVA
$R_t = R_{tb}$	$= 0$	TODA MECÁNICA
$R_t > R_{tb}$	$> 0$	NO REGENERATIVA