

## CAJA DE CAMBIOS.

### 3.1.- INTRODUCCIÓN. NECESIDAD DE LA CAJA DE CAMBIOS

Para comprender mecánicamente el papel de la caja de cambios en el tractor es necesario recordar el concepto de potencia expresado como el trabajo realizado en la unidad de tiempo, por lo que:

$$N = \frac{T}{t}$$

Siendo:

**N** = potencia.

**T** = trabajo.

**t** = tiempo.

Como se sabe que trabajo se puede expresar por el producto escalar de la fuerza por el espacio:

$$T = \vec{F} \cdot \vec{e}$$

Sustituyendo esta expresión del trabajo en la fórmula de la potencia:

$$N = \frac{T}{t} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{e}}{t}$$

Si la dirección de la fuerza aplicada coincide con la del espacio recorrido, entonces se puede expresar:

$$N = \frac{F \cdot e}{t}$$

Como se sabe que el espacio recorrido en la unidad de tiempo es igual a la velocidad, se tiene que:

$$N = \frac{T}{t} = \frac{F \cdot e}{t} = F \cdot \frac{e}{t} = F \cdot V$$

O sea que la potencia se puede expresar, cuando sus direcciones son coincidentes, como el producto de la fuerza por la velocidad:

$$N = F \cdot V$$

Cuando el motor de un tractor agrícola trabajando a un determinado régimen de giro, ofrecerá según su curva característica una potencia, la cual se podrá calcular, según se ha expuesto, como el producto de un valor de **F** por un valor de **V**. Ocurrirá que, si se aumenta la velocidad de avance **V** del tractor, forzosamente tiene que disminuir su fuerza **F**, para que el valor de la potencia requerida al motor no sobrepase a la ofrecida.

El consumo específico del motor de un tractor es un indicador claro del mayor o menor grado de aprovechamiento energético del combustible. La particular forma de su curva (revoluciones-consumo específico) indica que en los tractores, la velocidad de giro del motor se debe procurar mantenerla entre un cierto margen para que conserve su marcha uniforme y se obtenga un buen rendimiento.

Si no hubiera medio de variar la relación de determinado giro entre el motor y las ruedas, el tractor, a un régimen del motor marcharía siempre a la misma velocidad debido a la relación constante de transmisión entre los engranajes desde el motor hasta la rodadura.

El trabajo que se solicita a un tractor no siempre es el mismo, porque, por ejemplo, arar requiere más energía que una abonadora, de modo que si el tractor está adecuado para esto último, le faltará potencia para mover un arado. Entonces se recurre a que vaya más despacio para que el producto **F • V** no sobrepase el máximo valor de **N** ofrecido por el motor.

Estas necesidades se satisfacen con la *caja de cambios*, que permite modificar las parejas de valores **F**, **V**, adaptando el tractor a las necesidades de trabajo.

En esencia consiste en:

- Un *eje primario* que a través del embrague transmite el giro del motor mediante un *piñón*, engranado constantemente con otro que mueve un *eje* denominado *intermediario*.

- Un *eje intermediario* en el que hay varios engranajes fijos a él, con distintos tamaños que transmiten el movimiento a otros situados en el *eje secundario*, de manera que nunca haya más de una pareja actuando simultáneamente.

- Un *eje secundario*, paralelo al *eje primario*, estriado en toda su longitud sobre el que pueden deslizarse *engranajes*, en cuyo centro llevan un manguito estriado cuyas estrías coinciden con las del eje secundario, con lo que entre ambos sólo hay un grado de libertad y el usuario los puede mover adelante y atrás con la palanca de mando del cambio. Dichos engranajes forman parejas de transmisión con los del eje intermediario. A la relación entre el radio del engranaje del intermediario y el del secundario se le llama *relación de transmisión*, y así se hace engranar el engranaje de mayor diámetro del eje secundario

con el menor del eje intermediario, la combinación se llama *primera velocidad*.

Si la pareja de engranajes que se conectan es la de siguiente tamaño del engranaje del intermediario, lo cual se consigue accionando la palanca del cambio, con su correspondiente del secundario, la combinación sería la *segunda velocidad*. Combinando adecuadamente las parejas de engranajes correspondientes del eje intermediario y del secundario se obtienen las diferentes combinaciones de velocidades hacia delante de la caja de cambios.

Para moverse el tractor hacia atrás, se emplea un engranaje intermedio, que invierte el giro del eje secundario y con él el de las ruedas del tractor. A esta combinación se llama *marcha atrás*.

Hay una posición de los engranajes en la que no se transmite movimiento desde el eje intermediario al secundario. Esta combinación se llama *punto muerto*.

Para poder engranar o desengranar una pareja de engranajes, es necesario desconectar el giro del motor, y para ello se desembraga previamente, volviendo a embragar con suavidad después de actuar sobre la palanca del cambio.

De cuanto se ha expuesto se desprende que la misión de la caja de cambios es, adaptar la velocidad de avance del tractor para que la fuerza que exige la realización de una labor sea la adecuada.

Como la diversidad de trabajos que realizan los tractores es muy elevada, es necesario que dispongan de una caja de cambios con una amplia gama de velocidades.

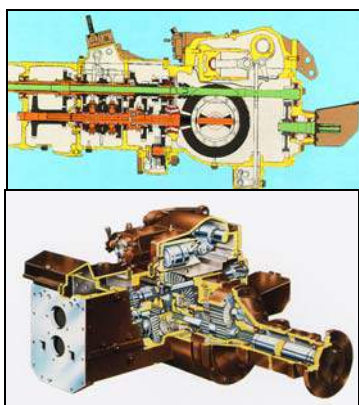


Figura 1.- Caja de cambios y diferencial de un tractor.

## FUNCIONAMIENTO DE LA CAJA DE CAMBIOS

Para conseguir con sencillez constructiva un elevado número de combinaciones en la caja de cambios, se coloca antes de la caja de cambios

propriadamente dicha otra denominada grupo reductor.

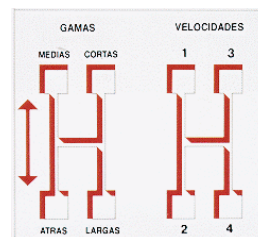


Figura 2.- Combinaciones en la caja de cambios de un tractor.

El *grupo reductor* es realmente otra caja de cambios cuyo *eje de salida* actúa como eje primario de una segunda caja de cambios, de forma que el *eje primario* recibe el movimiento del grupo reductor mediante dos engranajes en toma constante, uno del eje de salida del grupo reductor y el otro solidario con el *eje intermediario*.

El funcionamiento de una caja de cambios es como sigue:

El *eje intermediario* lleva varios engranajes de diferentes tamaños solidarios a él, que engranan, según la combinación que se desee, con los correspondientes del *eje secundario* para conseguir las diferentes velocidades que ofrece la caja de cambios.

Sobre el *eje secundario* van colocados *engranajes* unidos dos a dos a unos *desplazables*, que pueden deslizarse con un grado de libertad sobre él. Cada desplazable lleva una garganta en la que se aloja una horquilla que se acciona por medio de la palanca de cambio mediante varillas.

Hay que indicar que al ser los desplazables interiormente estriados y el eje secundario también, los piñones pueden deslizarse longitudinalmente sobre él con un grado de libertad por lo que, si giran engranados con su correspondiente engranaje del eje intermediario, transmiten su movimiento al eje secundario que girará y transmitirá su par correspondiente.

Normalmente el grupo reductor tiene dos, tres y hasta cuatro combinaciones de velocidades, largas, medias, cortas y punto muerto.

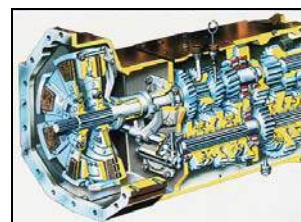


Figura 3.- Caja de cambios con grupo reductor de dos combinaciones.

De esta forma se consiguen a la entrada de la caja de cambios tantas combinaciones de velocidades como marchas tenga el grupo reductor, lo cual multiplicado por el número de combinaciones de marchas de la caja de cambios, ofrece un conjunto dotado de gran número de combinaciones.

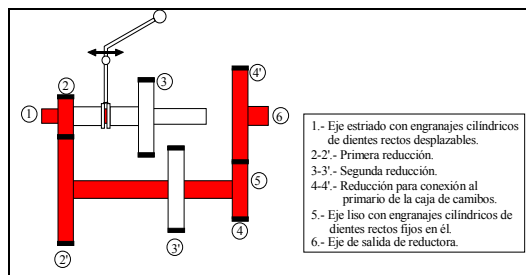


Figura 4.- Funcionamiento de grupo reductor de dos combinaciones.

Si, por ejemplo, en la caja de cambios tiene primera, segunda, tercera, cuarta y marcha atrás, y el grupo reductor, largas, medias y cortas, el tractor tendrá doce marchas hacia delante y tres marchas hacia atrás

En la posición de *punto muerto* no se encuentra engranado ningún piñón del eje secundario con ninguno del eje intermediario, por lo que no hay transmisión de movimiento.

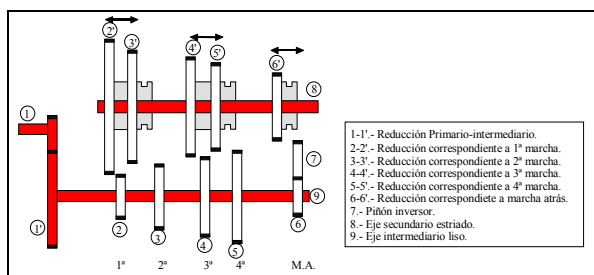


Figura 5.- Punto muerto.

Al colocar la palanca de cambio en la posición de *primera velocidad* el engranaje desplazable se desliza hacia la izquierda engranando su engranaje con el correspondiente del intermediario. Al ser este pequeño y el conducido grande, la velocidad de giro del eje secundario será pequeña.

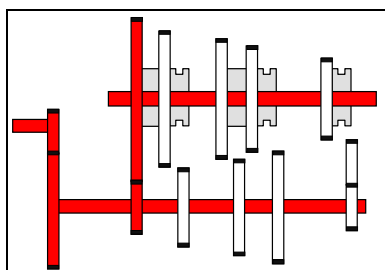


Figura 6.- Primera velocidad.

Para pasar a *segunda velocidad* habrá que pasar la palanca de cambio de la posición de

primera a punto muerto, con lo cual el engranaje desplazable de primera velocidad queda desconectado del intermediario. A continuación la palanca pasa a la barra correspondiente al desplazable correspondiente que engrana con el correspondiente del eje intermediario con lo que se obtiene una velocidad de giro en el eje secundario mayor que la alcanzada en la primera velocidad.

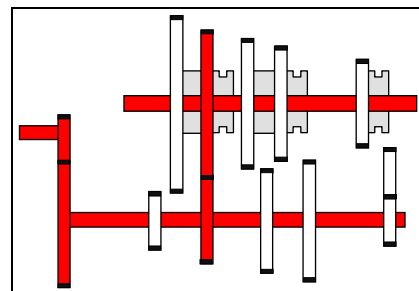


Figura 7.- Segunda velocidad.

Para pasar a la *tercera velocidad* la palanca pasará primero por el punto muerto desengranando los piñones de la segunda velocidad, y después pasará a la posición de tercera velocidad, con lo que el engranaje correspondiente se desplazará al correspondiente del eje primario. En el caso que se presenta en las figuras siguientes el movimiento pasa directamente del eje primario al secundario sin sufrir la reducción de toma constante primario - intermediario, consiguiendo de esta manera la velocidad mayor de giro de esta caja de cambios.

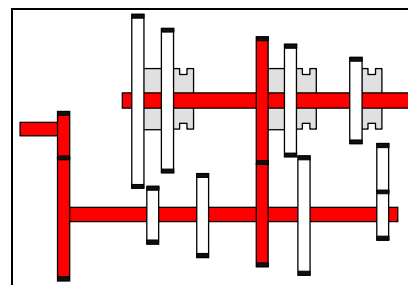


Figura 8.- Tercera velocidad.

Para poner la *marcha atrás* pasando por el punto muerto, se desplaza la palanca hacia la posición de marcha atrás con lo cual el engranaje desplazable correspondiente engrana con el de marcha atrás, el cual a su vez está engranado constantemente con el correspondiente del intermediario. El engranaje inversor está situado entre el eje intermediario y el secundario, lo cual provoca un cambio del sentido de giro del secundario, haciendo que el tractor se desplace en sentido contrario que en las demás velocidades.

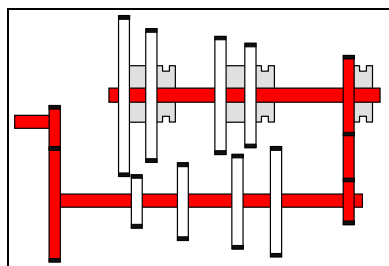


Figura 9.- Marcha atrás.

El esquema conjunto de una caja de cambios con cuatro combinaciones adelante y una hacia atrás, es la que se presenta en la siguiente figura:

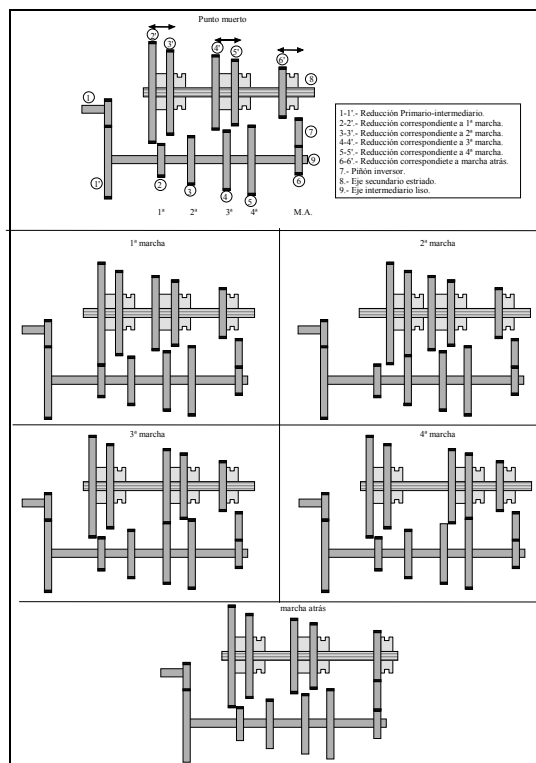


Figura 10.- Funcionamiento de una caja de cambios.

Para evitar que con las vibraciones y los movimientos bruscos que sufre el tractor en las labores agrícolas, los engranajes desplazables del secundario puedan cambiar de posición por sí solos, las varillas que mueven a las horquillas llevan unas muescas esféricas en las que se aloja un fiador consistente en una bola presionada por un muelle.

Para evitar roturas en las cajas de cambios se coloca un pequeño bulón que impide que puedan ponerse dos velocidades a la vez.

### 3.2.- CAJA DE CAMBIOS CON ENGRANAJES EN TOMA CONSTANTE

Los engranajes de la caja de cambios descrita anteriormente son del tipo cilíndrico de dientes rectos. Esto ocasiona ruidos de funcionamiento y dificultad al cambiar de marcha. Una importante

mejora la constituyeron las cajas de cambios con engranajes en toma constante. En ellas los engranajes del eje secundario y del eje intermediario permanecen conectados constantemente, pero, a diferencia de la caja de cambios descrita previamente, los engranajes del secundario no van unidos al eje mediante estrías, pudiendo girar libremente sobre dicho eje.

Estos engranajes llevan adosado a uno de los lados un piñón lateral y entre cada dos engranajes del eje secundario se coloca un desplazable cuya parte central está mandrinada con un estriado que puede deslizarse por el correspondiente que en esta zona lleva tallado el eje secundario.

Cada desplazable lleva tallada en ambos lados una corona dentada acoplable a los correspondientes *piñones laterales* de los engranajes.

En la posición de punto muerto el desplazable se encuentra situado entre los engranajes, sin conectar piñón con corona. Aunque el eje intermediario esté girando y los piñones del secundario también no hay transmisión de movimiento, al eje secundario al girar libremente sobre él sus engranajes.

Para conectar una velocidad se desliza el desplazable a uno de los lados, con lo que la corona conecta con el piñón correspondiente del engranaje, y el eje secundario se pone a girar.

La siguiente figura presenta un esquema con el principio de funcionamiento descrito.

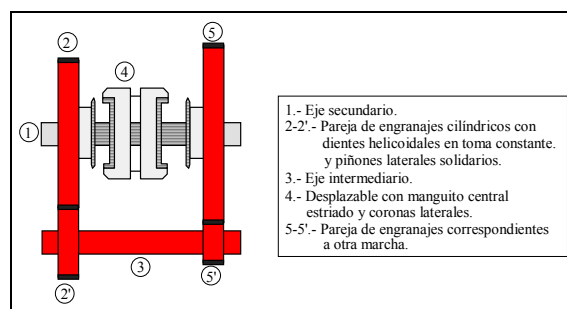


Figura 11.- Cambio en toma constante.

Para reducir ruidos en la transmisión los engranajes se construyen del tipo cilíndrico con dientes helicoidales.

### 3.3.- CAJA DE CAMBIOS SINCRONIZADA

Aunque las cajas de cambios con engranajes en toma constante significaron un notable avance, al cambiar de marcha como los engranajes no giran a la misma velocidad que las coronas, hay dificultad para hacer coincidir los dientes con los

huecos, lo que se traduce al intentar conectarlos en un golpeteo que provoca desgastes, roturas y dificultad para cambiar de marcha.

Estos inconvenientes se reducen cuando los elementos a conectar giran a la misma velocidad.

Hasta la aparición de las cajas de cambios sincronizadas, para poder realizar cambios de velocidad, era preciso detener el tractor o, con gran destreza, aprovechar el momento en que los dientes se mueven a la misma velocidad, lo que se conseguía realizando el denominado *doble embrague*. Esta operación consiste en pisar el embrague, poner punto muerto, soltar el embrague, acelerar el motor, volver a pisar el embrague y poner la velocidad elegida. De esta forma se consigue que al acelerar en punto muerto y aumentar el régimen de giro del intermediario en un instante coincide con el del secundario. Instante que se aprovecha para cambiar de marcha.

Los constructores de automóviles solucionaron este problema hace algunos años, mediante el cambio sincronizado. Este es un cambio de marchas con engranajes en toma constante en el que éstos, además de los piñones laterales, llevan solidario un tronco de cono denominado *cono de sincronización*, y el desplazable lleva, además de la corona un contracono que actúa como un embrague y que hace que al tomar contacto con el cono, ambos alcancen una misma velocidad de giro, lo que se denomina *fase de sincronización*, lo que permitirá engranar con toda facilidad el piñón lateral con la corona.

La siguiente figura presenta un esquema con el principio de funcionamiento descrito.

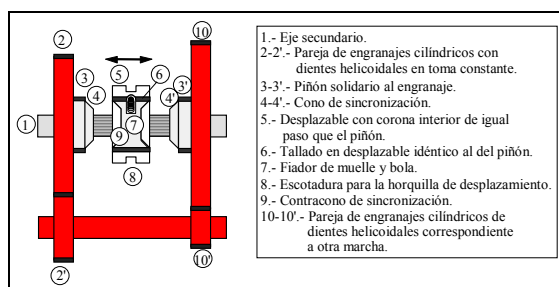


Figura 12.- Sincronizador.

Aunque la caja de cambios sea sincronizada es conveniente, al reducir de velocidad, hacer el doble embrague pues con ello se alarga considerablemente la duración de los mecanismos de sincronización.

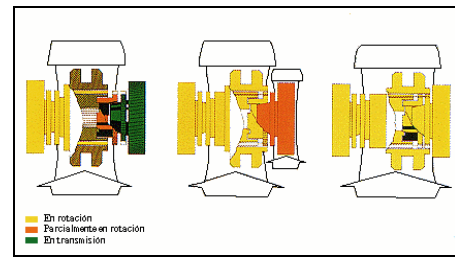


Figura 13.- Funcionamiento del sincronizador.

### 3.4.- CAMBIOS REALES DE LOS TRACTORES. ESCALONAMIENTO LÓGICO

Como ya ha sido expuesto el cambio de marchas de los tractores sirve para transformar la velocidad de giro del motor en un número determinado de velocidades de las ruedas motrices a la vez que se modifica su par motor.

Su necesidad es consecuencia de la relativa falta de elasticidad de los motores de combustión interna, que no pueden emplearse correctamente más que entre límites de velocidad bastante estrechos.

El concepto de *bloques de marchas* permite ampliar el número de marchas sin alargar excesivamente la transmisión. Así por ejemplo, para 24 marchas sólo son necesarios 2 bloques, uno con 6 marchas (1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª y 6ª) y otro con 4 (L, lenta,; M, media; H, alta y R retroceso), con lo que en vez de 24 pares de engranajes sólo se necesitan 10 pares.

Para una mejor comprensión de los conocimientos expuestos se van a ver a continuación algunos ejemplos de cambios de marchas de engranajes.

Uno de los casos más sencillos de un cambio de marchas de engranajes es el de algunos motocultores. Está compuesto de sólo dos ejes, uno primario de entrada y otro secundario de salida.

El eje primario es accionado desde el motor y lleva tres engranajes desplazables a lo largo del que conectan independientemente con otros tres del eje secundario.

Para cada régimen de giro  $n$  r.p.m. del motor se obtienen tres regímenes distintos del eje secundario:  $n_1$ ,  $n_2$  y  $n_3$ .

Las relaciones de transmisión respectivas son:

$$i_1 = \frac{n}{n_1} = \frac{z_2}{z_1}; i_2 = \frac{n}{n_2} = \frac{z_4}{z_3}; i_3 = \frac{n}{n_3} = \frac{z_6}{z_5}$$



Actualmente los tractores no llevan una única palanca de mando para el cambio de velocidades, sino dos o más, para manejar el bloque reductor y la caja de cambios.

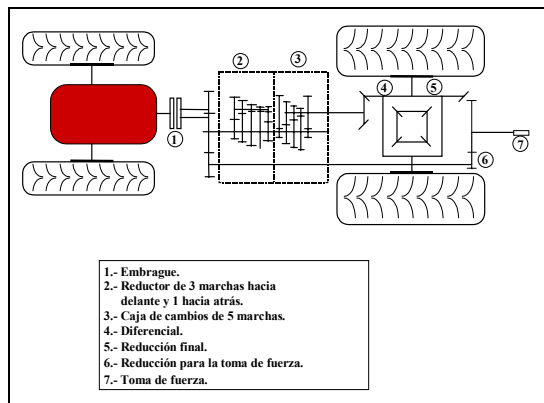


Figura 14.- Esquema de transmisión de tractor 2 RM.

Con el conjunto de bloques de marchas del tractor de la figura anterior se obtienen un total de 15 marchas hacia delante y 5 marchas hacia atrás.

Los tractores modernos llevan acoplado en la caja de cambios el denominado *inversor* y el *superreductor*.

El *inversor* hace posible invertir el sentido de desplazamiento sin mas que actuar sobre una palanca que invierte el sentido de rotación de todos los engranajes. El mecanismo inversor usa un tren de engranajes planetarios (se estudian más adelante) y es particularmente útil en los trabajos con cargador frontal, horquillas, niveladoras y para maniobrar en espacios restringidos.

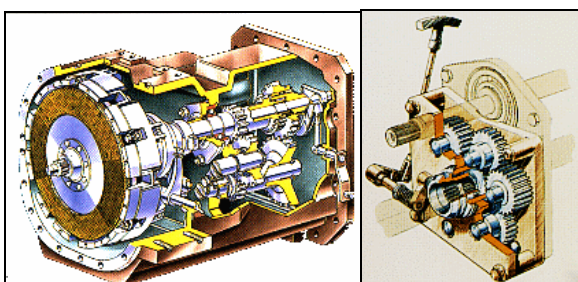


Figura 15.- Inversor en caja de cambios.

El *superreductor* permite obtener velocidades sumamente bajas, necesarias en trabajos como excavación, despedregado y plantación.

Este mecanismo está situado delante de la caja de cambios y utiliza pares de engranajes cilíndricos con grandes reducciones de demultiplicación.

Para que el escalonamiento de las relaciones de demultiplicación de las cajas de cambios sea

lógico se puede demostrar que dichas relaciones deben estar en progresión geométrica.

En efecto, si la curva de par del motor del tractor es la que se presenta en la figura siguiente, se sabe que el régimen del motor al realizar una determinada labor debe variar desde  $n_{\min}$  a  $n_{\max}$  para trabajar en la denominada *zona flexible*.

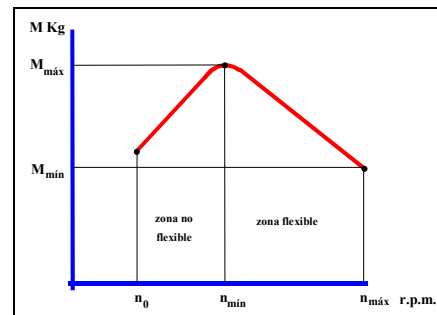


Figura 16.- Curva característica de par para motor.

Si en unos ejes cartesianos se presentan en abscisas el máximo régimen de giro del secundario necesario para que el tractor circule a la velocidad punta deseada y en ordenadas  $n_{\min}$  y  $n_{\max}$  correspondientes a la zona flexible del motor del tractor. Una caja de cambios de cuatro marchas adelante tendrá en dichos ejes una representación como se indica a continuación.

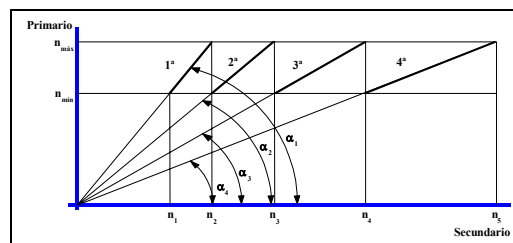


Figura 17.- Escalonamiento de una caja de cambios.

En dicha caja de cambios, las relaciones de demultiplicación primario/secundario vendrán dadas por:

$$\begin{aligned} r_5 &= \frac{n_{\max}}{n_5} = \operatorname{tg} \alpha_4 & r'_5 &= \frac{n_{\min}}{n_4} = \operatorname{tg} \alpha_4 \\ r_4 &= \frac{n_{\max}}{n_4} = \operatorname{tg} \alpha_3 & r'_4 &= \frac{n_{\min}}{n_3} = \operatorname{tg} \alpha_3 \\ r_3 &= \frac{n_{\max}}{n_3} = \operatorname{tg} \alpha_2 & r'_3 &= \frac{n_{\min}}{n_1} = \operatorname{tg} \alpha_2 \\ r_2 &= \frac{n_{\max}}{n_2} = \operatorname{tg} \alpha_1 & r'_2 &= \frac{n_{\min}}{n_1} = \operatorname{tg} \alpha_1 \end{aligned}$$

Las relaciones de transmisión expuestas cumplen evidentemente que:

$$r_4 = r'_4; r_3 = r'_3; r_2 = r'_2$$

Además cumplen que:

$$r_4 \cdot r_2 = r_3^2$$

Efectivamente:  $\frac{n_{\text{máx}}}{n_4} \cdot \frac{n_{\text{máx}}}{n_2} = \frac{n_{\text{máx}}}{n_3} \cdot \frac{n_{\text{mín}}}{n_2}$

Pero como:

$$r_4 = r_4' \Rightarrow \frac{n_{\text{máx}}}{n_4} = \frac{n_{\text{mín}}}{n_3} \Rightarrow \frac{n_{\text{máx}}}{n_4} \cdot \frac{n_{\text{máx}}}{n_2} = \frac{n_{\text{mín}}}{n_3} \cdot \frac{n_{\text{máx}}}{n_2}$$

$$\frac{n_{\text{mín}}}{n_3} \cdot \frac{n_{\text{máx}}}{n_2} = \frac{n_{\text{máx}}}{n_3} \cdot \frac{n_{\text{mín}}}{n_2}$$

Por lo que:  $r_4 \cdot r_2 = r_3^2$

Luego el escalonamiento lógico de las velocidades de una caja de cambios cumple la condición de que las relaciones de demultiplicación están en progresión geométrica.



Figura 18.- Escalonamiento real en la caja de cambios de un tractor.

Para concluir este apartado conviene indicar que, como la potencia producida en el motor se transmite a las ruedas motrices del tractor en forma de un par motor a una velocidad angular, se cumple la expresión:

$$N = M \cdot n$$

Siendo:

**N** = Potencia.

**M** = Par motor.

**n** = Régimen de giro.

Y como el par motor en cada rueda se puede obtener como el producto de la fuerza periférica en ella por su radio real.

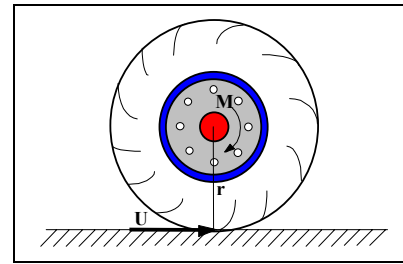


Figura 19.- Fuerza periférica.

Esta fuerza periférica se transmite al suelo en la zona de contacto rueda suelo, y si es mayor que lo que puede soportar el terreno, se producirá un resbalamiento total con los consiguientes problemas que ello ocasiona.

Las marchas muy lentas pueden generar valores que superan ampliamente los valores permisibles en los suelos. En cambio estas marchas son necesarias porque se utilizan para labores muy específicas que requieren velocidades de desplazamiento muy reducidas. Lógicamente el motor en estos casos no desarrolla toda su potencia.

### 3.5.- CAJA DE ENGRANAJES PLANETARIOS

Estas cajas de cambio están basadas en la transmisión y reducción de movimiento a través de trenes de engranajes planetarios, los cuales, como puede verse en la figura siguiente pueden moverse libremente sin transmitir movimiento alguno, pero si se bloquea uno de los componentes, los restantes giran transmitiéndose el movimiento con la relación de transmisión resultante según la relación existente entre sus piñones. Si se bloquean dos de los componentes, el conjunto queda bloqueado, moviéndose todo el sistema a la misma velocidad de rotación.

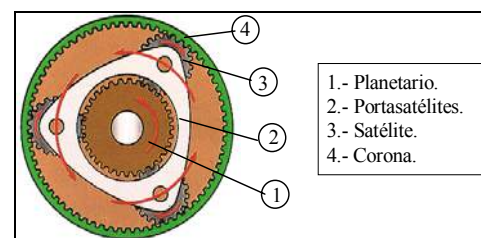


Figura 20.- Representación de un tren de engranajes planetarios.

Mediante este sistema pueden conseguirse distintas reducciones, frenando y dando movimiento a los distintos componentes del tren. Si se combinan varios trenes de engranajes con distintas reducciones entre ellos, se puede obtener una gama de velocidades que entran automáticamente al actuar sobre sus componentes por medio de embragues de fricción y cintas de frenado.

Los engranajes planetarios se utilizan modernamente no sólo en las cajas de cambios de los tractores, sino también en los trenes de reducción finales de las ruedas.

En las cajas de cambios de engranajes planetarios se puede cambiar de marcha frenando y liberando los distintos elementos. Los trenes de engranajes planetarios o en *epihipocicloide*, tienen unas relaciones de transmisión que se calculan como sigue:

• Parte *epicicloidal*:

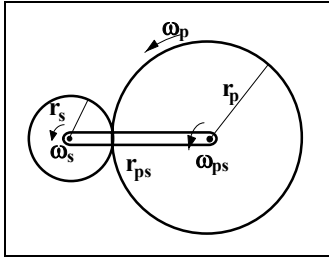


Figura 21.- Engranajes epicicloidales.

Considerando la velocidad del punto de contacto se obtiene:

$$\omega_s \cdot r_s + \omega_p \cdot r_p = \omega_{ps} \cdot r_{ps}$$

Como  $r_{ps} = r_p + r_s \Rightarrow$

$$\omega_s \cdot r_s + \omega_p \cdot r_p = \omega_{ps} \cdot (r_{ps} + r_s)$$

Operando se tiene:

$$\omega_s \cdot r_s + \omega_p \cdot r_p = \omega_{ps} \cdot r_p + \omega_{ps} \cdot r_s$$

$$(\omega_s - \omega_{ps}) \cdot r_s = (\omega_{ps} - \omega_p) \cdot r_p \Rightarrow (\omega_s - \omega_{ps}) \cdot r_s = -(\omega_p - \omega_{ps}) \cdot r_p$$

$$\frac{\omega_p - \omega_{ps}}{\omega_s - \omega_{ps}} = -\frac{r_s}{r_p} \quad (I)$$

• Parte *hipocicloidal*:

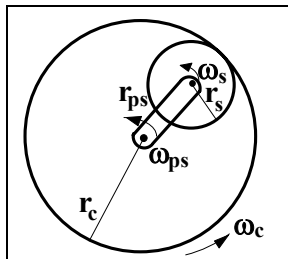


Figura 22.- Engranajes hipocicloidales.

Considerando la velocidad de punto de contacto se obtiene:

$$\omega_{ps} \cdot r_{ps} + \omega_s \cdot r_s = \omega_c \cdot r_c$$

Como  $r_{ps} = r_c - r_s \Rightarrow$

$$\omega_{ps} \cdot (r_c - r_s) + \omega_s \cdot r_s = \omega_c \cdot r_c \Rightarrow$$

$$\omega_{ps} \cdot r_c - \omega_{ps} \cdot r_s + \omega_s \cdot r_s = \omega_c \cdot r_c$$

$$(\omega_s - \omega_{ps}) \cdot r_s = (\omega_c - \omega_{ps}) \cdot r_c \Rightarrow$$

$$\frac{\omega_s - \omega_{ps}}{\omega_c - \omega_{ps}} = \frac{r_c}{r_s} \quad (II)$$

Multiplicando (I) y (II) se obtiene:

$$\frac{\omega_p - \omega_{ps}}{\omega_s - \omega_{ps}} \cdot \frac{\omega_s - \omega_{ps}}{\omega_c - \omega_{ps}} = -\frac{r_c}{r_p} \Rightarrow$$

$$\frac{\omega_p - \omega_{ps}}{\omega_c - \omega_{ps}} = -\frac{r_c}{r_p} \quad (III)$$

Las ecuaciones (I), (II) y (III) relacionan las velocidades de giro de corona, satélite, portasatélites y planetario en función de sus radios.

### 3.6.- ACCIONAMIENTO DE LA CAJA DE CAMBIOS. LUBRICACIÓN

Los desplazables situados entre los engranajes se mueven por medio de *horquillas*, acopladas a estos y sujetas a unas varillas que se desplazan accionadas por la palanca de cambios.

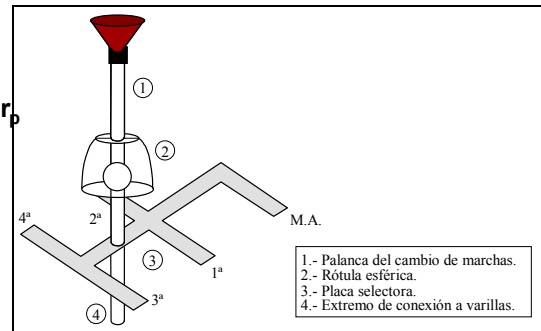


Figura 23.- Mando de la caja de cambios.

Como se dijo previamente, para que los desplazables permanezcan fijos, el mando lleva un sistema de enclavamiento, a base de bolas de acero y muelles que presionan en unas escotaduras practicadas en las varillas, gracias a lo que se mantienen fijas.

Para seleccionar las velocidades correctamente y evitar que se pueda conectar otra cuando haya una que esté en uso, se coloca una placa selectora, de forma que, para pasar de una velocidad a otra hay que pasar por el punto muerto, lo que desacopla la combinación que estaba metida.



Para la lubricación de engranajes en las cajas de cambios y diferenciales se emplean aceites minerales clasificados dentro del grupo de las valvulinas, con viscosidad SAE 80 y SAE 90, y se busca con ellos formar una película consistente entre los flancos de los dientes en contacto, cuya misión es reducir el rozamiento entre ellos y con él el desgaste. Además las valvulinas deben servir como refrigerador, ser resistentes al frío y a la corrosión, no atacar las juntas y no presentar tendencia a la formación de espuma.

### 3.7.- CAMBIO HIDROSTÁTICO DE VELOCIDADES.

En esencia es el siguiente:

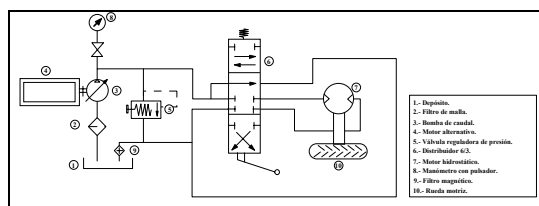


Figura 24.- Cambio de marchas hidrostático.

El funcionamiento es como sigue:

El aceite hidráulico, de características adecuadas, contenido en el *depósito*, pasa a través de un *filtro de malla* y llega hasta la *bomba de caudal variable de regulación manual* por medio de tuberías de baja presión. Dicha bomba accionada por el *motor alternativo* del tractor envía el aceite por tuberías de alta presión hasta el *distribuidor manual* de tres posiciones y seis vías. En las tuberías de impulsión hasta el distribuidor se coloca un *manómetro con pulsador* que permite conocer a voluntad del usuario la presión de trabajo regulada por la *válvula limitadora de presión*.

Cuando no se actúa sobre la palanca del distribuidor el aceite llega a él y retorna al depósito a través del *filtro magnético*. Cuando se tira de dicha palanca el aceite llega al distribuidor y sale a alta presión de él dirigiéndose hacia una de las entradas del *motor hidrostático reversible* haciéndolo que gire en un sentido. El aceite sin presión sale del motor, llega de nuevo al distribuidor y a través del filtro magnético llega al depósito.

Cuando se tira de la palanca del distribuidor el aceite sale de él pero llega al motor por la entrada por la que, en la posición anterior del distribuidor, salía. El motor gira en sentido contrario y el tractor avanza cambiando de dirección de marcha.

Para cambiar la velocidad de marcha el usuario actúa sobre una palanca que modifica el caudal de la bomba, con ello se tiene un variador continuo de velocidad lo que hace que el tractor tenga infinito número de marchas hacia delante y hacia atrás.

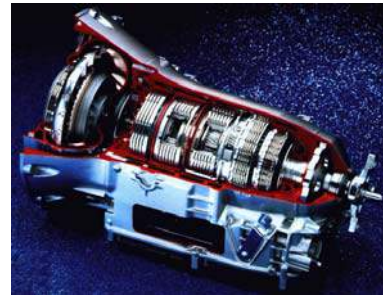


Figura 25.- Moderna caja de cambios automática.