

## ENTENDER LA CAJA DE CAMBIOS

Desde siempre me ha gustado saber cómo funcionan las cosas, para no perderme si necesito hacer alguna reparación... o simplemente por pura curiosidad.

Mi Sanglas, de momento, está en “dique seco”. Ya he desarmado todo lo desarmable (aparte de lo que no estaba armado)... Tengo un montón de piezas sueltas para ir lijando, limpiando, puliendo, cromando, pintando... Pero como con esto de la crisis, de momento, no puedo permitirme conseguir algunas piezas que me faltan, y como soy un espíritu inquieto, me he puesto a estudiar el funcionamiento de la caja de cambios... He decidido compartir con vosotros este estudio. Algunas palabras un poco técnicas las explico al final, para que nadie se pierda y pueda seguir la explicación sin problemas. Todos los datos están referidos a la caja de cambios de la Sanglas 400T. Puede que algunos modelos sean diferentes físicamente, pero los principios son los mismos. Se excluye, por motivos evidentes, la caja de cambios de 5 marchas. Todas las explicaciones de movimiento se refieren a la caja vista desde atrás.

En primer lugar, la caja de cambios de la que hablamos es de tipo “secuencial<sup>1</sup>”, de 4 marchas no sincronizadas<sup>2</sup>, con mando por pedal de rotación sectorial, con un punto muerto (entre 1ª y 2ª), de 3 ejes, dos de los cuales (primario<sup>3</sup> y secundario<sup>4</sup>) son concéntricos. Los ejes están dispuestos en un montaje vertical, primario y secundario arriba y el intermediario debajo.

### LOS EJES:

- El primer eje es el primario, que es el que recibe el movimiento del motor a través del embrague. Se apoya en un rodamiento en este lado, y en el otro se apoya en el tercer eje. El eje primario está taladrado interiormente para el paso de la varilla de accionamiento del embrague. Exteriormente se observa, de izquierda a derecha (visto desde atrás), la rosca de la tuerca del embrague (que está roscada a izquierdas para ayudar a que no se afloje), un acanalado (para el cubo interior de dicho embrague) una zona lisa (para el rodamiento y el engranaje “conductor” de la 1ª) un resalte (donde apoya dicho engranaje), otra zona acanalada (más gruesa, donde se deslizan los engranajes conductores de la 2ª y la 3ª) y una zona lisa, con ranuras en espiral (para facilitar el engrase) con un anillo de goma cerca del extremo para asegurar la estanqueidad. En esta zona lisa gira libremente el eje secundario.

- El segundo es un eje intermediario que transmite el movimiento entre el primero y el tercero. Va colocado debajo de ellos, a una distancia de 49 mm. (luego veremos el motivo de esta distancia).

El eje intermediario consiste en un eje liso con diámetro uniforme en su parte central, en cuyo punto medio se observa una cruceta (donde agarran los engranajes conducidos de la 2ª y la 3ª). Cerca de sus extremos lleva unas acanaladuras longitudinales donde acoplan los engranajes conducidos de la 1ª (lado izquierdo) y el intermediario (lado derecho). Los extremos a partir de estas zonas acanaladas son cilíndricos y apoyan en dos rodamientos iguales.

- El tercer eje (secundario) va colocado en un extremo del primero, apoyado en otro rodamiento, y sirve de salida al piñón de la cadena secundaria que mueve la rueda trasera.

El eje secundario se compone (de izquierda a derecha) de una zona almenada, seguida del engranaje de la 4ª marcha, una zona lisa (para el rodamiento de salida y su retén) y una zona acanalada para el acoplamiento del piñón de la cadena secundaria, con rosca para la tuerca de retención del mismo. Interiormente va encasquillado con un casquillo de bronce para facilitar su giro libre en el extremo del eje primario.

## LOS ENGRANAJES:

Todos los engranajes de esta caja de cambios son de “módulo 2<sup>5</sup>”, de diente recto<sup>6</sup>, y, según la función que deben desempeñar, llevan tallado de diferentes formas su taladro de acoplamiento al eje y una (o las dos) cara(s) lateral(es). Dado el número de dientes de cada engranaje y su módulo, queda determinada la distancia entre centros. El módulo 2 consiste, básicamente (aparte de consideraciones industriales y de normalización, que no vienen al caso) en que su “diámetro primitivo<sup>7</sup>” tiene un valor del doble de su número de dientes (en mm.) por lo que su radio medirá los mismos mm. que su número de dientes. Cada marcha acopla 2 engranajes, cuyos radios determinan la distancia entre ejes citada anteriormente. En nuestro caso, los dos engranajes implicados en 1ª marcha tienen, respectivamente, 19 y 30 dientes ( $19+30=49$ ). Lo mismo para la 2ª ( $24+25=49$ ), la 3ª ( $28+21=49$ ) y la 4ª ( $31+18=49$ ). Cualquier reforma que se quiera hacer en la caja de cambios debe tener en cuenta esta circunstancia.

Los engranajes se dividen en dos tipos: Conductores (los que transmiten la potencia) y conducidos (los que la reciben). En algunos montajes un engranaje conducido puede convertirse a su vez en conductor (este es el caso del engranaje de 18 dientes del extremo derecho del eje intermediario). Todos los engranajes conductores van acoplados al eje primario. En realidad, los únicos que transmiten movimiento permanentemente son el de la 2ª y la 3ª. El resto engranan gracias a ellos.

Veamos como actúan en cada marcha:

1ª.- El engranaje de la 1ª tiene 19 dientes y gira libre sobre el eje primario. Cuando se engrana esta marcha, el engranaje de la 2ª se acopla a éste por medio de unas almenas talladas en los laterales enfrentados. Esto hace que el engranaje de 19 dientes gire solidario con el eje primario y mueva al de 30 dientes, acoplado sólidamente al eje intermediario que, al girar, mueve a su vez el engranaje intermediario de 18 dientes, que engrana con el de 31 dientes del eje secundario, transmitiendo el movimiento al piñón de la cadena. Ver diagrama 1

2ª.- El engranaje de la 2ª marcha tiene 24 dientes. Como se ha dicho, es uno de los que siempre giran arrastrados por el eje primario. Al desplazarse la pareja de engranajes de esta marcha (hacia la derecha), el de 25 dientes del eje intermediario se acopla con la cruceta central, que obliga a girar el eje, y el movimiento sigue el mismo camino que en el caso anterior. Ver diagrama 2

3ª.- Este engranaje está dotado de 28 dientes y engrana con otro del eje intermediario con 21 dientes. Al desplazarse este conjunto hacia la izquierda, el engranaje del eje

intermediario se acopla con la cruceta, arrastrando a este eje y con él el eje secundario. En el diagrama 3 se puede seguir el “recorrido de la potencia”.

4ª.- Con 31 dientes, este engranaje es arrastrado por el de la 3ª por medio de las almenas talladas del mismo modo que lo dicho para la 1ª. La transmisión es directa entre la entrada y la salida, pues, aunque el eje intermediario gira, no transmite movimiento. Ver el diagrama 4. En esta marcha, el número de dientes de este engranaje es irrelevante.

#### LAS HORQUILLAS:

Son los elementos que desplazan los pares de engranajes según la marcha deseada. Son dos y van montadas en un eje auxiliar a lo largo del cual se deslizan. En su parte exterior poseen unos tetones que van introducidos en unas ranuras practicadas en un sector cilíndrico que gira para engranar la marcha elegida (Selector de marchas).

- La primera horquilla desplaza la pareja de engranajes de la 2ª. En un sentido (cuando se mueve hacia la izquierda) acopla el engranaje conductor con el libre de la 1ª a través de sus almenas, convirtiendo a éste en conductor a su vez. En el sentido contrario (hacia la derecha) acopla el engranaje conducido con la cruceta colocada en mitad del eje intermediario.
- La segunda horquilla desplaza la pareja de engranajes de la 3ª marcha. En su movimiento hacia la izquierda, acopla el engranaje conducido con la cruceta del eje intermediario, mientras que si se mueve hacia la derecha, acopla el engranaje conductor con el eje secundario, por medio de las almenas talladas en los dos.

#### EL SELECTOR DE MARCHAS:

Es una pieza de chapa abombada (parte de la pared de un cilindro) en cuya superficie van talladas unas ranuras por las que se deslizan los tetones de las horquillas. El perfil de estas ranuras está estudiado de forma que las horquillas se deslicen en el sentido deseado, según la marcha elegida. El movimiento se transmite desde el pedal a este elemento por medio de unos trinquetes, llamados gatillos, que permiten la vuelta libre del pedal a su posición de reposo. En uno de sus bordes curvados lleva unas entalladuras en forma de “V” que encajan sobre una bola fija con muelle que dificulta el movimiento giratorio del sector, ayudando a impedir que la marcha elegida se salga.

#### APOYOS:

Los dos ejes giratorios se apoyan en sus extremos en rodamientos de bolas.

El primario, en su parte izquierda (lado del embrague) gira sobre un rodamiento SKF, de referencia 6204, cuyas dimensiones son ( $\text{Øint} * \text{Øext} * \text{ancho}$ , en mm) 20\*47\*14. En su parte derecha se apoya en el casquillo de bronce del eje secundario el cual, a su vez, gira sobre un rodamiento, también SKF, cuya referencia es 6206 y sus dimensiones 30\*62\*16.

El eje intermediario se apoya en dos rodamientos iguales en ambos extremos, también de la marca SKF, de referencia 6202 el cual tiene unas dimensiones de 15\*35\*11

## ENGRASE:

El engrase en una caja de cambios cualquiera suele hacerse con aceite. Sirve para lubricar los elementos en movimiento y refrigerarlos. A su vez suaviza el choque entre los dientes de los engranajes.

En ésta, en concreto, es independiente del engrase del motor (a diferencia de otros modelos posteriores). Esto permite utilizar un aceite específico para engranajes, de alta viscosidad, con graduación SAE 90, también llamado “valvulina”.

## RELACIÓN DE REDUCCIÓN:

Cada pareja de engranajes tiene una relación de reducción, en cuanto a su velocidad, que se calcula por sus respectivos números de dientes. En las tres primeras marchas intervienen dos relaciones diferentes: Una la que determinan los dos engranajes acoplados de la marcha correspondiente, y otra la del engranaje intermedio en relación con el del eje secundario. Esta última relación es fija, y en 4ª marcha no se debe tener en cuenta, ya que, como se ha repetido en varias ocasiones, el acoplamiento es directo entre el eje primario y secundario. En el caso de que se den dos o más relaciones de reducción, éstas se multiplican para dar como resultado la relación final. Si llamamos “Z” (mayúscula) al número de dientes del engranaje conductor y “z” (minúscula) al del conducido, la relación de reducción se calcula como  $RR = Z / z$ . Ateniéndonos sólo a la caja de cambios las relaciones son:

$$\begin{aligned} \text{Engranaje intermedio: } RR_i &= 18 / 31 = 0,58 \\ 1^a : RR_1 &= 19 / 30 = 0,63 \\ 2^a : RR_2 &= 24 / 25 = 0,96 \\ 3^a : RR_3 &= 28 / 21 = 1,33 \end{aligned}$$

Combinado ambas relaciones, las finales resultan (por cada giro del primario, el secundario da xxxxx vueltas):

$$\begin{aligned} 1^a : RR_{1f} &= 0,63 * 0,58 = \underline{0,3677} \\ 2^a : RR_{2f} &= 0,96 * 0,58 = \underline{0,5574} \\ 3^a : RR_{3f} &= 1,33 * 0,58 = \underline{0,7742} \\ 4^a : RR_{4f} &= \underline{1} \end{aligned}$$

Esta relación también se puede expresar como una fracción que indica las vueltas que debe dar el eje primario (numerador) para que el secundario dé una vuelta (denominador).

$$\begin{aligned} 1^a : RR_{1f} &= 2,7196 / 1 \\ 2^a : RR_{2f} &= 1,7940 / 1 \\ 3^a : RR_{3f} &= 1,2917 / 1 \\ 4^a : RR_{4f} &= 1 / 1 \end{aligned}$$

Estos valores no tienen en cuenta la reducción que se produce entre el motor y el embrague (eje primario) ni entre la salida del cambio (eje secundario) y la rueda. Sólo se refiere a la caja de cambios. La combinación de estas relaciones nos daría la

reducción final, es decir, la fracción de vuelta que da la rueda por cada giro del motor o, si se expresa como fracción, las vueltas necesarias del motor para un giro de la rueda. A partir de este dato y del desarrollo de la rueda, se puede calcular la velocidad teórica de desplazamiento a un régimen de giro determinado del motor.

PAR:

Asociado a la relación de reducción de los engranajes está el concepto de PAR, que es la fuerza que es capaz de ejercer un mecanismo giratorio en cada vuelta. En todos los casos en que se ha hablado de transmisión de potencia, en realidad significa “transmisión de par”, ya que la potencia se mantiene constante. Los valores de esta magnitud están en razón inversa a la relación de velocidades, por lo que se deduce que al reducir la velocidad, se consigue aumentar el par en la misma proporción.

La fórmula que define la relación entre el par de entrada y de salida de una marcha cualquiera en una caja de cambios, por consiguiente, sería la inversa a la de velocidades, es decir  $RP = z / Z$  ó, expresado de otra forma,  $RP = 1 / RR$ . Así, para cada marcha engranada, las relaciones entre el par de entrada y el de salida son iguales a los numeradores de las fracciones de las últimas fórmulas indicadas, por lo que basta con multiplicar este valor por el del par de entrada para conocer el de salida. Antiguamente se expresaba en  $Kp \cdot m$ , pero en la actualidad se expresa, internacionalmente, en  $N \cdot m$ .

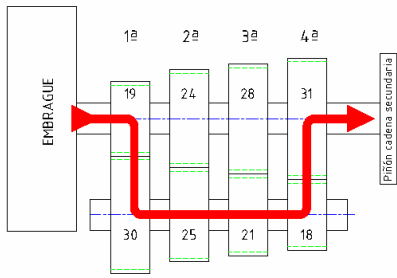


DIAGRAMA 1 - 1ª VELOCIDAD

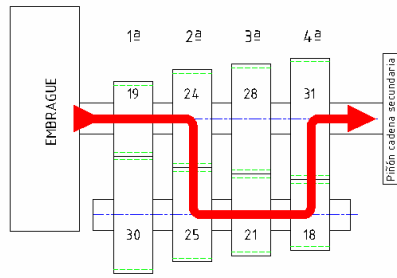


DIAGRAMA 2 - 2ª VELOCIDAD

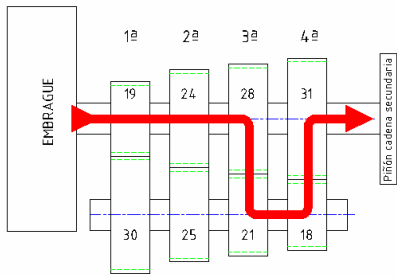


DIAGRAMA 3 - 3ª VELOCIDAD

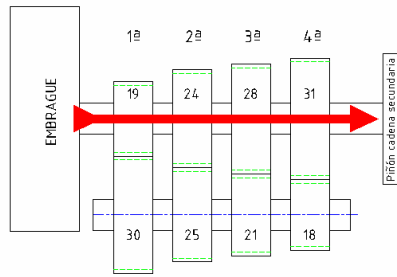
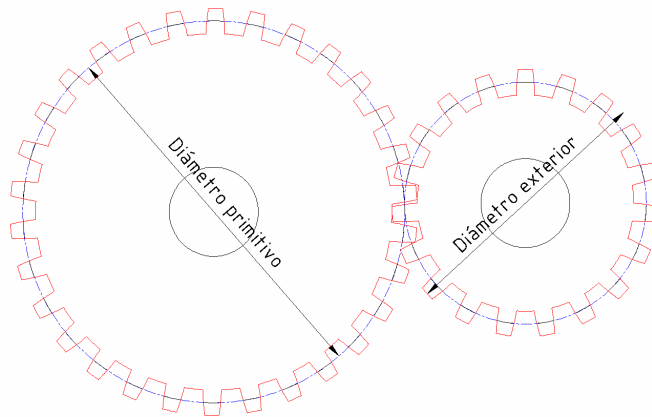


DIAGRAMA 4 - 4ª VELOCIDAD

## DIAGRAMAS DE TRANSMISIÓN DE PAR



## DIÁMETROS DE ENGRANAJES

## NOTAS

---

<sup>1</sup> SECUENCIAL: Aplicado a cajas de cambio, significa que las marchas engranan, obligatoriamente, una tras otra. Por ejemplo, se puede pasar de 2ª a 3ª, pero no de 2ª a 4ª, y de 4ª a 3ª, pero no de 4ª a 2ª. En la publicidad de los coches se está haciendo hincapié, en los últimos años, de que algunos modelos de gama alta pueden montar este tipo de cambio de forma opcional, como novedad, aunque en motos es el tipo normal que lleva montándose casi 100 años.

<sup>2</sup> La sincronización en las marchas consiste en un sistema mecánico que iguala las velocidades de dos engranajes justo antes de conectarse entre sí. Esto permite que, en el momento de la conexión entre ellos, no se produzca ningún enganche no deseado, reduciendo, al mismo tiempo, el ruido. La caja de cambios de la que estamos tratando NO va dotada de estos mecanismos.

<sup>3</sup> Eje primario (o, simplemente, primario) es el que se conecta al movimiento del motor. Se puede definir como el eje por donde entra la potencia

<sup>4</sup> Eje secundario (o, simplemente, secundario) es el eje de salida de la caja de cambios, y que conecta la potencia a los mecanismos finales para su utilización.

<sup>5</sup> Módulo de un engranaje es la relación que existe entre el diámetro primitivo y el número de dientes. El módulo es una magnitud de longitud, expresada en milímetros. Para que dos engranajes puedan acoplarse tienen que tener el mismo módulo.

<sup>6</sup> Diente recto de un engranaje es el que está tallado en dirección paralela al eje, en contraposición al diente inclinado u oblicuo, cuya dirección forma un ángulo con el eje.

<sup>7</sup> Diámetro primitivo de un engranaje es el de la circunferencia que pasa por el punto de apoyo de cada uno de sus dientes con el correspondiente del engranaje asociado a él. Ver esquema