

# TEMA 4.- EMBRAGUES

## INTRODUCCIÓN. MISIÓN DEL EMBRAGUE

El movimiento de rotación producido por los motores pasa por el embrague y de éste, a través de árboles, se transmite la potencia hasta los puntos en los que es necesaria.

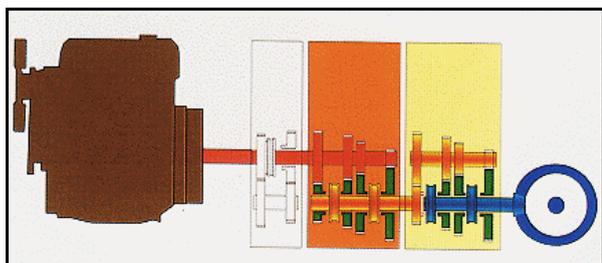


Figura 1.- Transmisión de un tractor desde el motor al diferencial a través del embrague.

La misión del embrague es conectar o desconectar el movimiento que transmite el motor.

Cuando el pedal del embrague está en la posición normal, suelto o sin pisar, el embrague transmite el movimiento del motor. Al pisar el pedal, el embrague deja de transmitir dicho movimiento.

El embrague es el elemento encargado de transmitir la potencia del motor a voluntad del operario y se puede considerar, por tanto, como un *transmisor de par* a un *régimen de giro*.

Todo embrague debe estar diseñado de forma que sea *progresivo* y *elástico*, para que el movimiento no se transmita bruscamente o a tirones cuando varía el régimen de revoluciones del motor.

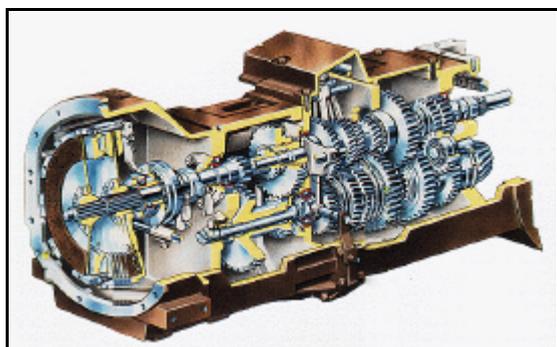


Figura 2.- Detalle de embrague y caja de cambios.

Su puesta en funcionamiento puede ser automática, en función del régimen de funcionamiento del motor, o bien, controlado por un operario por medio de un pedal o palanca.

## TIPOS DE EMBRAGUES

Según sus características, los embragues pueden clasificarse en:

- *Embragues de fricción.*
- *Embragues hidráulicos.*

### EMBRAGUE DE FRICCIÓN DE DISCO SIMPLE

El embrague de disco simple o monodisco, es el más utilizado en automoción y consta de las siguientes partes:

- Una *tapa metálica* unida al volante de inercia del motor mediante tornillos denominada *campana*, que encierra entre ella y el volante al resto de las piezas, y que gira solidaria con él.

- Un *disco de embrague*, formado por un disco metálico sobre el cual, en su parte periférica, van unidas mediante remaches dos coronas circulares denominadas *forros de embrague*, constituidos por amianto, resinas sintéticas e hilos de cobre o latón, que constituyen un material altamente resistente a la fricción y al calor. En su parte central lleva un *manguito estriado* en su parte interior, dentro del cual se aloja un extremo del *eje primario* de la caja de cambios, que está estriado exteriormente con un diseño acoplable al que lleva el disco de embrague.

- Un *plato opresor* metálico, con forma de corona circular del mismo tamaño que los forros de embrague, que lleva unos soportes sobre los cuales actúan las patillas.

- Unos *muelles* generalmente 9 ó 12, o un *diafragma* que se apoyan por uno de sus extremos sobre la campana, y por el otro sobre el plato opresor.

- Unas *patillas*, generalmente 3 ó 4, que actúan como palancas de primer género y que tienen un punto de apoyo y giro unido a la campana. Por uno de sus extremos las patillas actúan sobre el plato opresor, y por el otro se apoyan sobre el *anillo de patillas*.

- Un *collarín*, formado por un *rodamiento axial* con un orificio central por el que pasa el eje primario. Este collarín se apoya por un lado en el *anillo de patillas* y por el otro recibe el empuje de la *horquilla*.

- Un sistema hidráulico o de varillas y palancas, que transmite el movimiento, desde el *pedal de embrague* hasta la *horquilla*. Una de las varillas, llamada *varilla tensora*, va roscada en sus extremos y sirve para la regulación del embrague.

- Un *muelle de recuperación* del pedal, que va unido por un extremo a la palanca del pedal de embrague, y por el otro al bastidor.

En la figura siguiente pueden apreciarse los componentes descritos anteriormente, así como el conjunto del embrague.

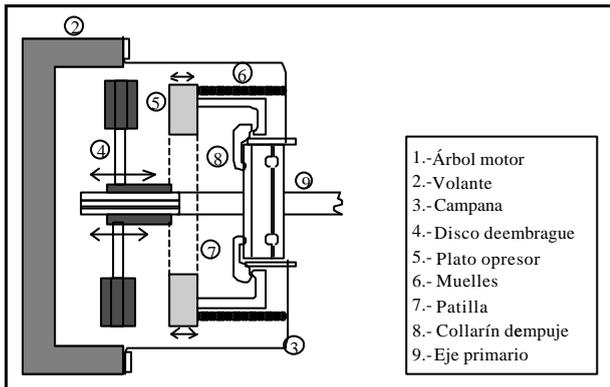


Figura 3.- Embrague monodisco.

El funcionamiento del embrague es como sigue:

En la posición de embragado, los muelles mantienen al plato opresor desplazado hacia el volante del motor, oprimiendo fuertemente entre ambos al disco de embrague, de manera que el giro del volante y del plato opresor se transmite al disco y de éste al *eje primario* de la *caja de cambios*.

En esta posición el muelle de recuperación del pedal mantiene a éste en su posición más elevada y, al mismo tiempo tira de la horquilla separando el collarín del anillo de patillas, evitándose así rozamientos innecesarios y el desgaste prematuro del collarín.

En la posición de desembragado, al oprimir el pedal de embrague la horquilla presiona sobre el collarín, éste sobre el anillo, éste sobre las patillas que, al girar sobre su punto de apoyo, tiran del plato opresor comprimiendo los muelles y separándolo del disco de embrague. Al no estar oprimido el disco entre el volante y el plato, queda libre deteniéndose su movimiento y el del eje primario.

Para embragar, se levanta progresivamente el pie del pedal del embrague, con lo cual los muelles irán desplazando al plato opresor

oprimiendo el disco de embrague contra el volante, transmitiendo el movimiento de éstos a la caja de cambios progresivamente.

Hay que tener en cuenta que, tanto en la posición de embragado como en la de desembragado, siempre que el motor se encuentre en marcha estarán girando solidariamente *el volante, la campana, el plato opresor, los muelles, las patillas y el anillo de patillas*. En la posición de embragado también giran el disco de embrague y el eje primario, y en la de desembragado no se moverán estos últimos, girando, en cambio, el rodamiento axial del collarín.

El *disco de embrague* va acoplado en el árbol del *primario de la caja de cambios* por medio de su *manguito estriado*. El árbol primario se apoya en el *cigüeñal* por medio de un *cojinete de bronce* sobre el cual desliza. Los *forros del disco*, por una de sus caras se acoplan al *volante del motor*, y por la otra al *plato de presión* que va solidario a la *carcasa*.

La presión que ejercen los *resortes* sobre la carcasa hace que el disco quede fuertemente aprisionado contra el volante. En este momento, el volante transmite el movimiento al disco que, a su vez, por mediación del manguito estriado, lo transmite al primario de la caja de cambios.

Cuando se pisa el pedal de embrague se desplaza el *collarín de empuje* hacia el interior, presionando sobre las *patillas*, éstas, al girar sobre la *articulación*, desplazan a su vez al plato de presión, que libera el *disco de embrague* al vencer la resistencia de los *muelles*. En esta posición, el embrague gira en vacío, sin transmitir el movimiento del motor a la caja de cambios. Se dice que el embrague está en *posición de desembragado*.

Al soltar el pedal, la fuerza de los resortes hace retroceder el plato de presión que actúa sobre el disco de fricción, y éste se acopla entonces al volante. La disposición del disco, con sus lengüetas y muelles de absorción, hace que el acoplamiento no sea brusco, sino progresivo. No obstante, el acoplamiento del embrague por parte del conductor no debe hacerse de una forma rápida y brusca, sobre todo con el vehículo parado, con el objeto de no calar el motor al tener que vencer la enorme inercia debida a su peso. Se dice que el embrague está en *posición de embragado*.

Un breve análisis de los componentes más importantes es útil para un mejor conocimiento del mecanismo de embrague.

El *disco de embrague* está formado por un disco de acero con unos *cortes radiales* en su periferia que forman una especie de lengüetas o segmentos circulares dobladas en dos sentidos. Va unido al *platillo* con interposición de los *muelles* que le confieren la deseable *elasticidad*. Este disco lleva un *manguito estriado* para su acoplamiento al árbol primario de la caja de cambios.

Al *disco* por medio de remaches o bien pegados, van sujetos los *forros*, que son lisos por la cara de acoplamiento a las lengüetas y estriados por la cara exterior o zona de fricción. Las cabezas de los remaches van embutidas dentro del forro para evitar que rocen contra la superficie de asiento en el volante y plato de presión. Los *segmentos circulares curvados y arqueados* hacia afuera ceden bajo la presión del embrague y, al embragar, su posición es casi plana, atacando así de forma *progresiva*.

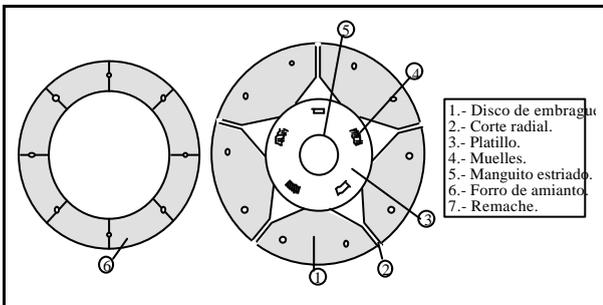


Figura 4.- Disco de embrague.

Los forros, por contacto a presión con el volante, son los encargados de transmitir el movimiento sin que se produzca deslizamiento, por lo que su material debe tener un alto coeficiente de rozamiento y ser muy resistente al desgaste por rozamiento y al calor.

Los coeficientes de rozamiento y las presiones de trabajo recomendadas para los materiales normalmente usados en la construcción de embragues vienen dados en la siguiente tabla:

Material	Presión de trabajo Kg/cm <sup>2</sup>	Coefficiente de rozamiento
Metal sobre metal	10 - 17	0'2 - 0'25
Madera sobre metal	3'5 - 6	0'2 - 0'25
Cuero sobre metal	1 - 2'5	0'3 - 0'4
Corcho sobre metal	0'7 - 1	0'35
Amianto sobre metal	5 - 7	0'3 - 0'4
Amianto sobre metal en aceite	5 - 7	0'1

Tabla 1.- Coeficientes de rozamiento de diferentes materiales.



Figura 5.- Posición del embrague en un tractor.

El *plato opresor* es la pieza que va montada entre el *disco de embrague* y la *cubierta o carcasa*. El plato opresor sirve para el acoplamiento del conjunto al volante de inercia del motor por medio del disco de fricción y está constituido por un disco de acero, en forma de corona circular con espesor suficiente como para no deformarse.

Según los elementos o dispositivos empleados para efectuar la presión sobre el plato opresor para su acoplamiento con el disco, se clasifican en los siguientes tipos:

- Embrague de muelles.
- Embrague de diafragma.
- Embrague centrífugo.

• *Embrague de muelles:*

En este embrague la presión se efectúa por medio de una serie de *muelles* repartidos uniformemente sobre la periferia del plato opresor, para que la presión sea igual en toda la corona circular.

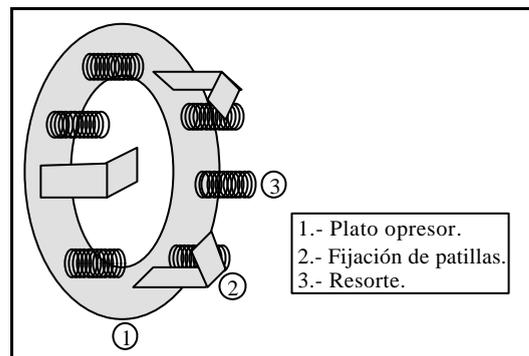


Figura 6.- Plato de presión accionado por resortes helicoidales.

• *Embrague de diafragma:*

En este tipo de embrague los muelles son sustituidos por un *diafragma elástico de acero al carbono* que se comporta como un muelle, encajado en la periferia del *plato de presión*, que oprime dicho plato contra el disco de embrague. El

diafragma tiene forma cónica y lleva unos *cortes radiales* que parten del centro, cuyos extremos sirven para su sujeción a la *carcasa*.

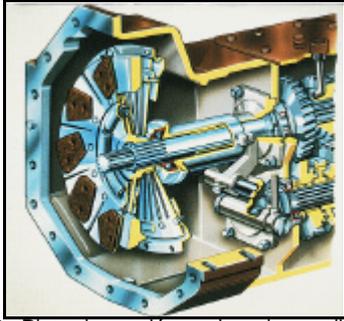


Figura 7.- Plato de presión accionado por diafragma.

Las características diferenciadoras que presenta este embrague con respecto al de muelles son las siguientes:

- Mejor equilibrado.
- Tamaño más reducido.
- Menor esfuerzo de desembragado.
- Menor sensibilidad a los efectos de la fuerza centrífuga.

En el diagrama de la figura siguiente se puede observar la diferencia de esfuerzos aplicados al pedal en uno y otro sistema y en un embrague de las mismas dimensiones. En el de diafragma el mayor esfuerzo se obtiene en la fase de semidesembragado, hasta el momento de vencer la fuerza inicial de inversión en la conicidad del diafragma. A continuación, disminuye el valor del esfuerzo hasta la fase final de desembrague, aunque se mantiene ligeramente constante en el recorrido del pedal. Sin embargo, en los embragues de muelles el esfuerzo es creciente a medida que se van comprimiendo los muelles.

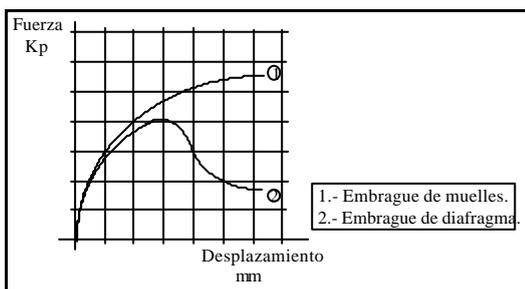


Figura 8.- Diagrama comparativo de esfuerzos en el desembrague.

• *Embrague centrífugo:*

El embrague automático efectúa todo el proceso en el arranque y en el cambio de marchas de forma automática, es decir, el conductor del vehículo no necesita accionar el pedal.

Este embrague no lleva collarín ni mando de accionamiento, la acción de embragado y

desembragado se confía a unos *contrapesos* que funcionan por la acción de la fuerza centrífuga del giro del motor.

El embrague está calculado para que, cuando el motor gire a ralenti, los contrapesos no ejerzan acción sobre el *plato opresor*, quedando por tanto el *disco* libre, es decir, desembragado.

Al pisar el acelerador y aumentar el número de revoluciones del motor, la fuerza centrífuga hace desplazar los contrapesos hacia la periferia, con lo que, al bascular sobre su *eje de montaje*, empujan al plato de presión hacia su acoplamiento con el disco, quedando así embragado. Como puede observarse, el proceso es totalmente progresivo, ya que la presión de acoplamiento ejercida por los contrapesos está en función del régimen de giro del motor.

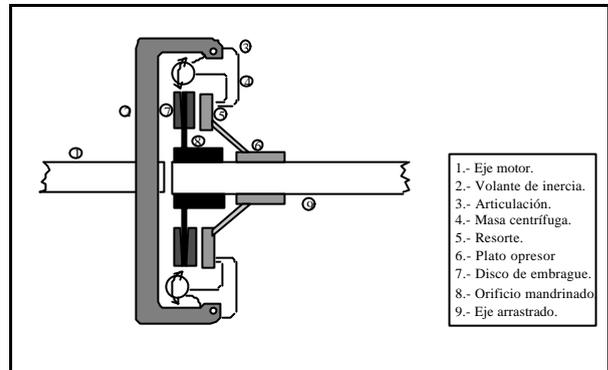


Figura 9.- Esquema de un embrague centrífugo.

Existe una gran variedad de estos tipos de embrague, en que el elemento centrífugo puede ser también unos rodillos que se deslizan por un cono, como ocurre en motosierras y motos de pequeña cilindrada.

**EMBRAGUE DE DISCOS MÚLTIPLES**

Este embrague se instala cuando exigen las características del volante del motor, ya que el mayor tamaño del disco que se puede colocar no es suficiente para transmitir todo el par motor. Entonces se emplea el embrague de varios discos, cuya superficie total de adherencia sea equivalente a la que se necesitaría con un sólo disco.

Sobre el extremo del *eje primario* va el *mandril*, cuyos nervios soportan los *discos metálicos hembras*, entre éstos están intercalados los *discos machos*, que por su periferia son llevados por las estrías interiores de la *campana* en la forma que detalla la figura siguiente. La *campana* está unida al volante.

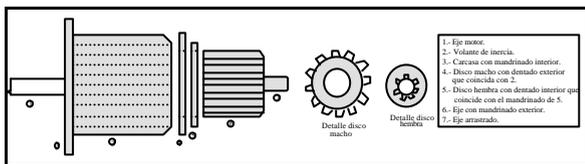


Figura 10.- Esquema de embrague de discos múltiples.

Este embrague se sumerge, generalmente, en aceite fluido o una mezcla de aceite y petróleo.

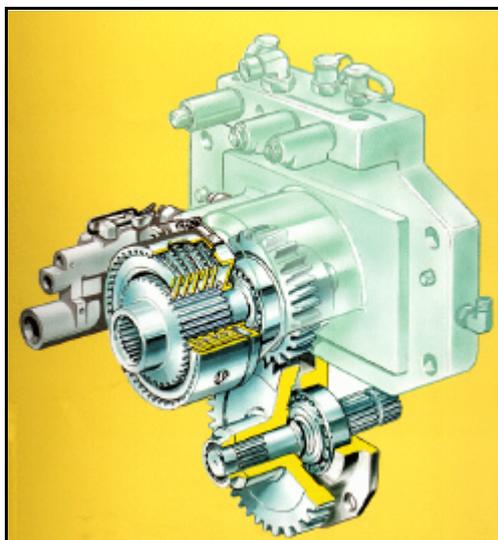


Figura 11.- Embrague de discos múltiples.

Con el mismo principio se construyen embragues de varios discos en seco, forrados con tejido de amianto.

Algunos embragues de este tipo se usan en los tractores de cadenas para su dirección, como se verá más adelante, y en este caso son accionados con una leva mandada con una palanca, según apriete o deje sueltos los discos produce el embrague o desembrague.

## SISTEMAS DE ACCIONAMIENTO

Los sistemas de mando empleados para el accionamiento del embrague pueden ser de tres tipos:

- Accionamiento mecánico.
- Accionamiento hidráulico.
- Accionamiento neumático.

El *accionamiento mecánico* se emplea generalmente para pequeños turismos.

El desplazamiento de los resortes o del diafragma para desacoplar el embrague se realiza, como se ha dicho, por medio de un *cojinete de empuje*, llamado *collarín*, montado sobre el *árbol primario* de la caja de cambios y accionado por la *palanca de embrague*. En este collarín va montado un *cojinete axial* para que el empuje ejercido no

interfiera en el giro de las partes móviles del embrague.

Para el desplazamiento del collarín se emplea un dispositivo de horquilla montada sobre la carcasa del embrague, y una *palanca de accionamiento*, situada en el interior de la carrocería y al alcance del pie del conductor.

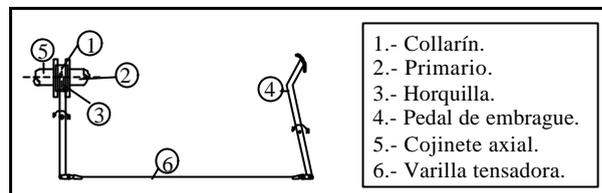


Figura 12.- Esquema de mando mecánico.

La fuerza, necesaria para desacoplar el plato opresor del embrague, depende de la disposición de la palanca, ya que las fuerzas que actúan son inversamente proporcionales a los brazos de palanca correspondientes.

El *accionamiento hidráulico* para embragues de gran presión, se usa con el fin de aminorar el esfuerzo a transmitir en el pedal y para que el accionamiento sea más suave, se intercala entre el pedal y la palanca de desembrague un *sistema hidráulico*, que consiste en un *bombín emisor* y un *pistón receptor*.

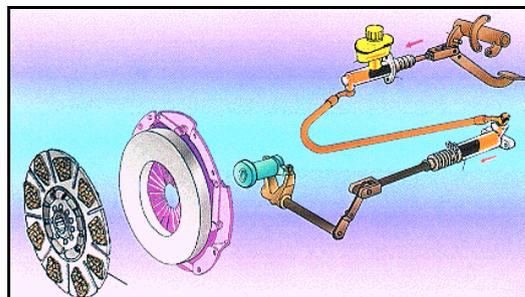


Figura 13.- Esquema de mando hidráulico

El *accionamiento neumático* es poco empleado. Para que se tenga una idea de su funcionamiento se explica, a continuación, uno de los sistemas más sencillos.

Consiste en la instalación en un *depósito* que envía el aire a un *servo-embrague* a través de una *tubería flexible*. El servo-embrague sirve para distribuir el aire en la operación de embrague y desembrague. Del servo sale una *tubería* que envía aire al *cilindro de mando*, cuyo *vástago* actúa sobre la *horquilla del embrague*.

## USO Y ENTRETENIMIENTO

Las averías más frecuentes en los embragues de fricción son las siguientes:

- El embrague patina.

Puede suceder por las siguientes causas:

- Reglaje defectuoso. Comprobar y hacer reglaje.
- Disco engrasado o sucio. Desmontar el embrague y comprobar el disco, realizando una limpieza del mismo con aguarrás.
- Forros desgastados. Sustituir el disco.
- Falta de presión en los muelles. Desmontar y comprobar los muelles.

- Vibración del vehículo al embragar.

Indica que el disco no asienta bien sobre el volante por estar deformado, o bien se debe a falta de progresividad, al no actuar los muelles amortiguadores del mismo. Comprobar el alabeo y cambiar el disco. Casquillo roto o desgastado.

- Las velocidades rascan al cambiar.

Indica un mal reglaje del embrague, de forma que al pisar el pedal a fondo, no se suelta el disco por completo. Hacer un reglaje correcto para remediarlo.

- Ruidos al pisar el pedal.

Indican falta de grasa en el collarín, o que el cojinete axial está en mal estado. Engrasar o cambiar el collarín.

- Golpeteo en su funcionamiento.

Puede ser motivado, entre otras, por las siguientes causas:

- Por desgaste en el casquillo del árbol primario. Cambiar el casquillo.
- Platillo de apoyo del collarín desengajado. Hacer reglaje del plato opresor.
- Volante de inercia flojo. Comprobar y apretar el mismo.

## EMBRAGUE HIDRÁULICO

El *embrague hidráulico* actúa como embrague automático entre el motor y la caja de cambios. Dicho embrague permite que el motor transmita el par motor cuando llega a un determinado régimen de giro.

Está fundado en la transmisión de energía que una *bomba centrífuga* comunica a una *turbina* por medio de un líquido que generalmente es aceite mineral.

Para comprender bien este principio se pueden suponer dos ventiladores colocados uno frente a otro. El ventilador conectado a la red, mueve el aire y lo proyecta como impulsor o bomba sobre el otro ventilador que está sin conectar, y al recibir el aire, se pone a girar como una turbina.

Está constituido por *dos coronas giratorias*, que tienen forma de semitoroide geométrico, provistas de unos *tabiques planos*, llamados *álabes*. Una de ellas, llamada *corona motriz*, va unida al *árbol motor* por medio de tornillos y constituye la *bomba centrífuga*, la otra, unida al primario de la *caja de cambios* constituye la *turbina* o *corona arrastrada*.

Ambas coronas van alojadas en una *carcasa estanca* y están separadas por un pequeño espacio para que no se produzca rozamiento entre ellas.

Cuando el motor gira, el aceite contenido en la carcasa es impulsado por la *bomba*, proyectándose por su periferia hacia la *turbina*, en cuyos *álabes* incide paralelamente al eje. Dicho aceite es arrastrado por la propia rotación de la bomba *corona* o *motriz*, formándose así un torbellino tórico.

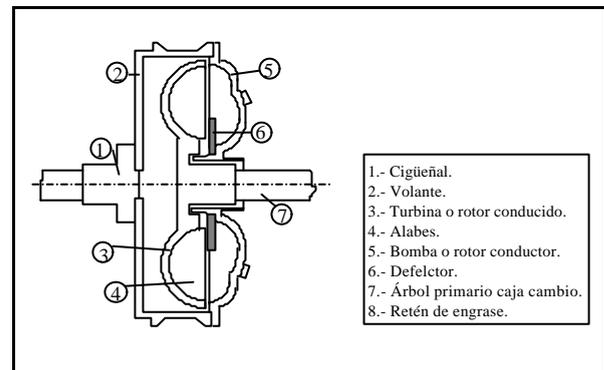


Figura 14.- Embrague hidráulico.

La energía cinética del aceite que choca contra los álbes de la turbina produce en ella un par de fuerza que tiende a hacerla girar.

Cuando el motor gira a ralentí, la energía cinética del aceite es pequeña y el par de fuerza transmitido a la turbina es insuficiente para vencer el par resistente. En estas condiciones, hay un resbalamiento total entre bomba y turbina con lo que la turbina permanece inmóvil. El aceite resbala por los álbes de la turbina y es devuelto desde el centro de ésta al centro de la bomba, en donde es impulsado nuevamente a la periferia para seguir el ciclo.

A medida que aumentan las revoluciones del motor, el torbellino de aceite va incidiendo con más fuerza sobre los álbes de la turbina. Esta

acción vence al par resistente y hace girar la turbina, mientras se verifica un resbalamiento de aceite entre bomba y turbina que supone el acoplamiento progresivo del embrague.

Cuando el motor gira rápidamente, el aceite es impulsado con gran fuerza contra la turbina y ésta es arrastrada sin que exista apenas resbalamiento entre ambas.

El par motor pasa a la transmisión, cualquiera que sea el par resistente y aunque el motor se acelere rápidamente el movimiento del vehículo se produce progresivamente, existiendo un resbalamiento que disminuye a medida que se va venciendo al par resistente.

Al subir una pendiente, la velocidad del vehículo disminuye por aumentar el par resistente, pero el motor puede continuar desarrollando su par máximo a costa de un mayor resbalamiento, con lo que se puede mantener más tiempo la marcha sin peligro de que el motor se cale.

Debido a la inevitable pérdida de energía por deslizamiento del aceite los vehículos equipados con este tipo de embrague consumen algo más de combustible que los equipados con un embrague normal de fricción. Presentan también la desventaja de un mayor coste económico, así como la necesidad de tener que acoplar una caja de cambios automática.

Como contrapartida de estos inconvenientes, la utilización del embrague hidráulico presenta las siguientes ventajas:

- Ausencia de desgaste.
- Gran duración.
- Es muy elástico.
- Es muy progresivo.
- Bajo coste de entretenimiento, no exigiendo más atención que el cambio periódico del aceite.

Es interesante señalar que la capacidad de transmisión de potencia de estos embragues es directamente proporcional al cubo de la velocidad de giro y a la quinta potencia de su diámetro.

### CÁLCULO DE UN EMBRAGUE DE FRICCIÓN

Considérense los forros de un embrague y de ellos un elemento diferencial de superficie.

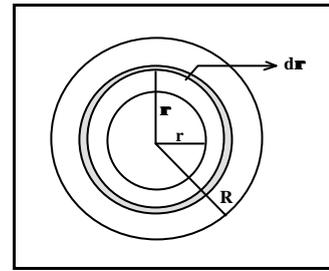


Figura 15.- Cálculo de un embrague de disco simple

- Sea  $r$  el radio interior del forro y  $R$  el radio exterior.

- Sea  $p$  la presión ejercida sobre el disco por los muelles que por ser a través del plato opresor (se puede suponer constante en toda la superficie del forro).

En una corona circular diferencial la fuerza que actúa:

$$dS = p(r + dr)^2 - pr^2 = p(r^2 + dr^2 + 2rdr) - pr^2$$

Como  $dr^2 \rightarrow 0$  se tiene que:

$$dF = 2 \times p \times r \times dr \Rightarrow F = p \times p \times (R^2 - r^2) \quad (I)$$

Siendo  $\mu$  el coeficiente de rozamiento forro-volante, la fuerza de rozamiento originada por  $dF$  es:

$$dR = 2 \times p \times r \times dr \times \mu$$

La fuerza de rozamiento total será:

$$R = \int_r^R 2 \times p \times r \times dr \times \mu \Rightarrow R = p \times \mu \times (R^2 - r^2)$$

El par transmitido por una cara del forro:

$$dM_1 = dR \times r$$

$$dM_1 = 2 \times p \times \mu \times r^2 \times dr$$

$$M_1 = \int_r^R 2 \times p \times \mu \times r^2 \times dr = 2 \times p \times \mu \times \frac{R^3 - r^3}{3} \Rightarrow$$

$$M_1 = 2 \times p \times \mu \times \frac{R^3 - r^3}{3}$$

Como el disco de embrague actúa sobre el volante por una cara y sobre la campana a través del plato opresor:

$$M = 2 \times M_1 = \frac{4}{3} \times p \times \mu \times (R^3 - r^3)$$

Despejando  $p$  se tiene:

$$p = \frac{3 \times M}{4 \times p \times \pi (R^3 - r^3)}$$

Sustituyendo en (I) se tiene:

$$F = p \times \frac{3 \times M \times (R^2 - r^2)}{4 \times p \times \pi (R^3 - r^3)} \Rightarrow$$

$$F = \frac{3 M R^2 - r^2}{4 \pi R^3 - r^3}$$

Ecuación que determina la fuerza que tienen que ejercer los muelles sobre el plato opresor para transmitir con un embrague de dimensiones  $r$ ,  $R$ , un par motor  $M$ .

En tractores el par motor de cálculo se cuantifica 2-3  $M$ .

Y para un embrague de amianto  $p$  debe ser de 5 a 7  $\text{Kg/cm}^2$ .

## OTROS TIPOS DE EMBRAGUES

### Embrague de garras. Cálculo

También denominado de dientes, es un embrague de contacto directo. Es normalmente usado como elemento de seguridad para protección de transmisiones de potencia, pues se desconecta cuando se somete a sobrecargas.

Entre sus características se distinguen:

- No tiene deslizamiento.
- No genera calor.
- No puede conectarse en movimiento
- Incluso en reposo es de difícil conexión
- En su conexión siempre es ruidoso

Las diferencias entre unos y otros embragues de garras estriban en la forma de sus dientes.

La siguiente figura ilustra un modelo de este tipo de embrague.

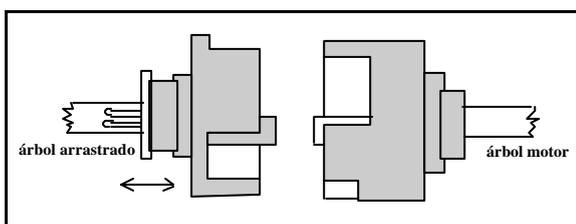


Figura 16.- Embrague de garras

El embrague de garras es usado en mecanización agraria como elemento de seguridad de las transmisiones.

Calcular un embrague de garras supone calcular la fuerza  $F_1$  necesaria para transmitir un par  $M$ .

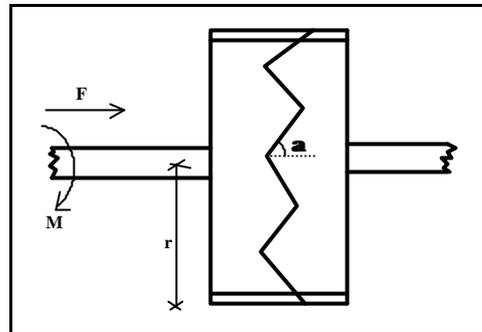


Figura 17.- Cálculo de un embrague de garras

Sea  $a$  el ángulo del diente, si suponemos que empuja un sólo diente la acción  $F_1$  debida al par  $M$  será:

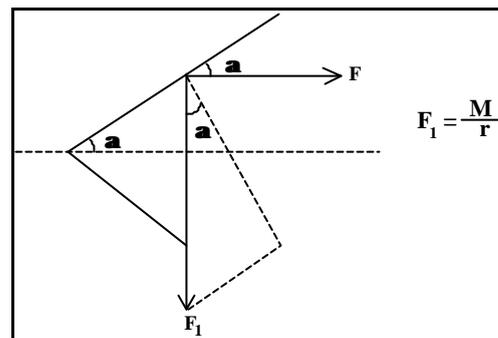


Figura 18.- Fuerzas en diente

Las componentes normal y tangencial al diente de  $F$  y  $F_1$  son:

$$\begin{aligned} \text{Normal:} & \quad F_1 \cdot \cos a + F \cdot \sin a \\ \text{Tangencial:} & \quad F_1 \cdot \sin a - F \cdot \cos a \end{aligned}$$

Siendo  $m = \text{tg } r$  ( $r$  ángulo de rozamiento) el coeficiente de rozamiento, habrá deslizamiento de un diente sobre otro cuando:

$$(F_1 \cdot \cos a + F \cdot \sin a) \times m > F_1 \cdot \sin a - F \cdot \cos a$$

Dividiendo por  $\cos a$ :

$$\begin{aligned} (F_1 + F \cdot \text{tg } a) \times \text{tg } r &= F_1 \cdot \text{tg } a - F \\ F_1 \cdot \text{tg } r + F \cdot \text{tg } a \cdot \text{tg } r &= F_1 \cdot \text{tg } a - F \\ F \cdot (1 + \text{tg } a \times \text{tg } r) &= F_1 \cdot (\text{tg } a - \text{tg } r) \end{aligned}$$

$$\frac{F}{F_1} = \frac{\text{tg } a - \text{tg } r}{1 + \text{tg } a \times \text{tg } r} = \text{tg}(a - r)$$

Como:

$$M = F_1 \times r \Rightarrow M = \frac{F \times r}{\operatorname{tg}(a - r)}$$

De donde la fuerza de empuje  $F$  para transmitir un par  $M$  viene dada por:

$$F = \frac{M \times \operatorname{tg}(a - r)}{r}$$

### Embrague centrífugo. Cálculo

Puede considerarse como un tipo de embrague que actúa automáticamente a partir de un cierto régimen de giro del árbol motor.

El siguiente esquema representa los componentes e ilustra gráficamente el principio de funcionamiento de uno de estos embragues.

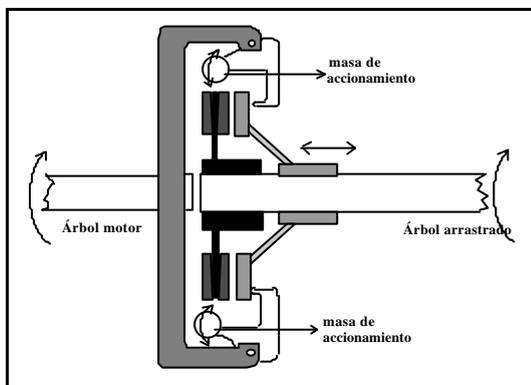


Figura 19.- Embrague centrífugo

El cálculo de un embrague del tipo centrífugo se hace teniendo en cuenta la fuerza centrífuga que produce el giro de la masa  $m$  de accionamiento, para ello se va a usar el siguiente esquema:

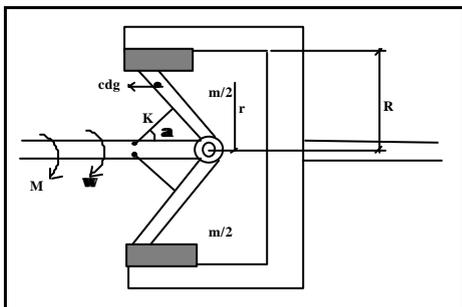


Figura 20.- Cálculo de un embrague centrífugo

Sea  $r$  el c.d.g. de los contrapesos y  $R$  el radio interno de la carcasa.

$$F = m \times \omega^2 \times r - K \cdot x \cdot \operatorname{sen} a$$

La fuerza tangencial que origina:

$$F_t = F \cdot m$$

$$F_1 = m \cdot \omega^2 \cdot r - K \cdot x \cdot \operatorname{sen} a$$

El par motor transmitido es:

$$M_t = F_1 \times R = m \cdot R \cdot (m \cdot \omega^2 \cdot r - K \cdot x \cdot \operatorname{sen} a)$$

Ecuación que permite calcular en función de las características de los contrapesos  $m$ ,  $R$  y  $r$  la  $\omega$  mínima necesaria para transmitir un par motor  $M$ .

### Embrague cónico. Cálculo

Un claro y explicativo esquema de este tipo de embrague es el que se presenta en la siguiente figura

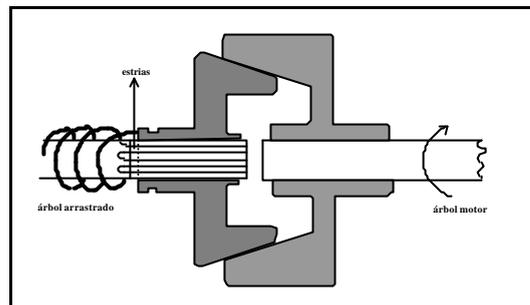


Figura 21.- Embrague de cono

Este tipo de embrague es adecuado para transmitir altos valores de par motor con un mínimo espacio.

La fuerza con la que tiene que empujar el resorte para que con unas dimensiones determinadas del embrague se pueda transmitir un determinado valor de par motor se calcula como sigue:

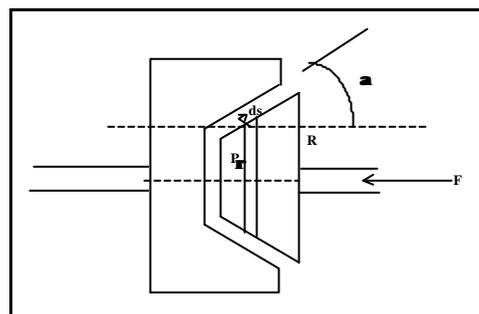


Figura 22.- Cálculo de un embrague de cono

Sea  $p$  la presión ejercida por una cara sobre otra:

$$dS = 2p \times r \times \frac{dr}{\operatorname{sen} a}$$

$$dF = 2p \times r \times \frac{dr}{\operatorname{sen} a} \times p \quad (I)$$

La fuerza de rozamiento:

$$dF_R = 2 \cdot p \cdot r \cdot m \cdot \frac{dr}{\text{sen } a} \cdot p$$

El par transmitido será:

$$dM = dF_R \cdot r$$

Sustituyendo se tiene:

$$dM = 2 \cdot p \cdot p \cdot m \cdot r^2 \cdot \frac{dr}{\text{sen } a}$$

El par total transmitido será:

$$M = \int_r^R 2 \cdot p \cdot p \cdot m \cdot r^2 \cdot \frac{dr}{\text{sen } a}$$

$$M = 2 \cdot p \cdot p \cdot m \cdot \frac{1}{\text{sen } a} \cdot \frac{R^3 - r^3}{3} \quad (II)$$

De (II) se obtiene:

$$F = 2 \cdot p \cdot p \cdot \int_r^R \frac{r \cdot dr}{\text{sen } a}$$

Integrando:

$$F = 2 \cdot p \cdot p \cdot \frac{1}{\text{sen } a} \cdot \frac{R^2 - r^2}{2} \quad (III)$$

Despejando  $p$  en (III) y sustituyendo en (II) se tiene:

$$p = \frac{F \cdot \text{sen } a}{p \cdot (R^2 - r^2)}$$

$$M = 2 \cdot p \cdot p \cdot \frac{1}{\text{sen } a} \cdot \frac{R^3 - r^3}{3} \cdot \frac{F \cdot \text{sen } a}{p \cdot R^2 - r^2}$$

$$M = \frac{2}{3} \cdot m \cdot F \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}$$

Por tanto:

$$F = \frac{3 \cdot M \cdot (R^2 - r^2)}{2 \cdot m \cdot (R^3 - r^3)}$$

### Embrague hidrostático. Funcionamiento

El esquema ISO - CETOP de una transmisión hidrostática de potencia puede, entre otros, ser como se presenta a continuación.

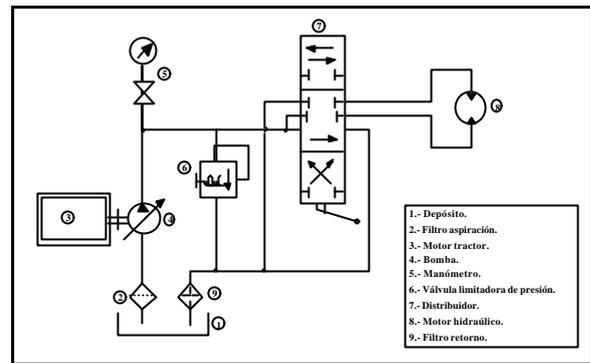


Figura 23.- Esquema ISO de transmisión hidrostática.

Son muchas las ventajas de este tipo de instalaciones: flexibles, cómodas, controlables, progresivas...

El funcionamiento es como sigue:

El aceite contenido en el depósito a través del filtro de mallas y por tuberías de baja presión llega a la bomba de caudal variable accionada por el motor alternativo. En la bomba toma alta presión y es enviado por las tuberías adecuadas hasta el distribuidor manual de tres posiciones y seis vías. En la tubería de impulsión se coloca una derivación que lleva el aceite a un manómetro con pulsador que permite visualizar la presión de trabajo del circuito y una segunda derivación que lleva el aceite a una válvula limitadora de presión. Esta válvula, si la presión del aceite supera el valor máximo permisible en el circuito se abre y descarga a depósito.

Cuando no se actúa sobre la palanca del distribuidor, el aceite procedente de la bomba retorna a través del filtro magnético al depósito. Si se empuja a la palanca del distribuidor el aceite a alta presión llega al motor, hace que gira y sale de él retornando a depósito. Si se tira de la palanca el motor gira en sentido contrario invirtiendo el sentido de marcha del vehículo.