

EMBRAGUES

2.1.- INTRODUCCIÓN. MISIÓN DEL EMBRAGUE

Hasta ahora se ha tratado el funcionamiento del motor del tractor, a continuación se va a estudiar cómo se transmite la potencia que produce desde el volante de inercia hasta las ruedas.

La potencia producida por el motor, producto de un par por una velocidad angular, pasa del volante de inercia al embrague, de éste a la caja de cambios, de ésta al diferencial, pasando de éste, a través de los semipalieres y de la reducción final, a las ruedas motrices.

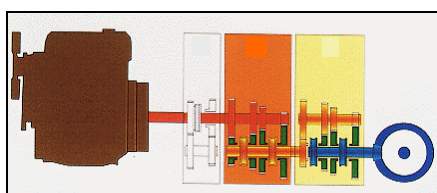


Figura 1.- Transmisión de un tractor desde embrague a diferencial.

La misión del embrague es conectar o desconectar el movimiento de giro del cigüeñal a la caja de cambios.

Cuando no se actúa sobre el pedal del embrague, lo que es su posición normal, el movimiento del motor se transmite a la caja de cambios. Al pisar el pedal, el embrague deja de transmitir dicho movimiento. Por tanto el embrague es el elemento encargado de transmitir la potencia del motor a voluntad del conductor.

Mecánicamente el embrague se puede considerar, como un *transmisor de par motor* a un régimen de giro.

Las características que debe tener todo embrague deben ser tales que su diseño permita que su trabajo sea *progresivo* y *elástico*, para que el movimiento no se transmita bruscamente o a tirones, y que absorba las variaciones de par del motor.

El embrague va colocado entre el volante del motor y la caja de cambios.

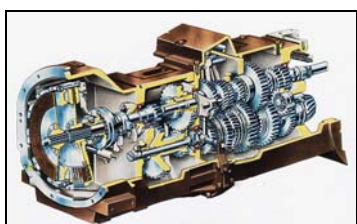


Figura 2.- Detalle de embrague y caja de cambios.

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

Según su forma de actuación, los embragues pueden clasificarse en *embragues de fricción* y *embragues hidráulicos*.

2.2.- EMBRAGUE DE FRICCIÓN DE DISCO SIMPLE

El embrague de fricción disco simple o monodisco consta de las siguientes partes:

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

- Un *disco de embrague*, formado por una placa circular metálica sobre la cual, en su parte periférica, van unidas mediante remaches dos coronas circulares denominadas *forros de embrague*, constituidos por amianto, aglutinado con resinas sintéticas y dotado de una estructura a base de hilos de cobre o latón. En su parte central lleva un manguito estriado en su parte interior, dentro del cual se aloja un extremo del *eje primario*, que está estriado exteriormente y se acopla al manguito del disco, con lo que entre ambos hay un grado de libertad.

- Un *plato opresor* metálico, con forma de corona circular de gran espesor, del mismo tamaño que los forros de embrague, construido de acero de gran espesor y que lleva unos soportes sobre los cuales actúan, como se explicará más adelante, las patillas.

- Unos *muelles* que se apoyan por uno de sus extremos sobre la campana, y por el otro sobre el plato opresor. Hay modelos que en lugar de muelles llevan un *diafragma de acero*.

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

- Un *collarín de empuje*, formado por un *rodamiento axial* por cuyo orificio central pasa el eje primario, que apoya por una cara en el *anillo de patillas* y por la otra recibe el empuje de una *horquilla*.

- Un *sistema*, que transmite el movimiento desde el *pedal de embrague* hasta la *horquilla*, en unas ocasiones *hidráulico* y otras a base de *varillas y palancas* y dotado en todos los casos de un *muelle de recuperación* del pedal.

En la siguiente figura pueden apreciarse los componentes del embrague descritos.

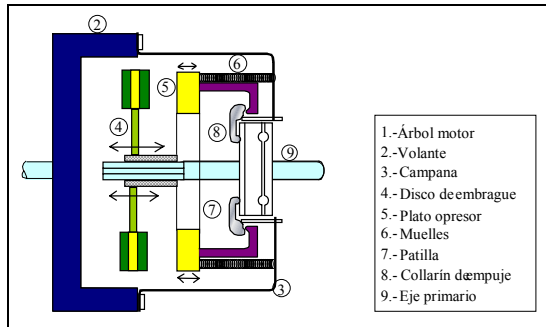


Figura 3.- Embrague monodisco.

El funcionamiento del embrague es como sigue:

- Cuando no se actúa sobre el pedal, se dice entonces que el conjunto está embragado, los muelles mantienen al plato opresor desplazado hacia el volante del motor, oprimiendo entre ambos al disco de embrague. La fuerza de los muelles provoca el rozamiento de los forros y hace que el giro del volante y del plato opresor se transmita al disco y de éste al *eje primario*.

En esta posición el collarín se mantiene separado del anillo de patillas, evitándose así rozamientos innecesarios y desgastes prematuros.

- Cuando se actúa sobre el pedal, se dice entonces que el conjunto está desembragado, la horquilla presiona sobre el collarín, éste sobre el anillo, éste sobre las patillas las cuales, al bascular sobre su punto de apoyo, actúan sobre el plato opresor comprimiendo los muelles y separándolo del disco de embrague, el cual, al no estar oprimido, queda sin rozamiento con el volante y con el plato, y el eje primario se para.

Para volver a la posición de embragado, se suelta paulatinamente el pedal del embrague, con lo cual se irá desplazando el plato opresor, éste oprimiendo el disco de embrague contra el volante, y de nuevo aparecerá rozamiento, giro del disco de embrague y con él movimiento del eje primario.

Para comprender bien el funcionamiento del embrague, hay que entender que con el motor 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 eje primario se apoya en el *cigüeñal* por medio de un *cojinete de bronce*.

Un breve análisis de los componentes más importantes es útil para un mejor conocimiento del 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 doblados en dos sentidos, que mejoran la progresividad. Va unido a un *platillo* y entre ambos se colocan *muelles* que le confieren la deseable *elasticidad*. El platillo lleva el referido *manguito estriado* para su acoplamiento al árbol primario.

Al *disco*, por medio de remaches o bien pegados, van sujetos los *forros*. Las cabezas de los remaches, para evitar que rocen contra la superficie del volante y plato del de presión, van embutidas en los forros.

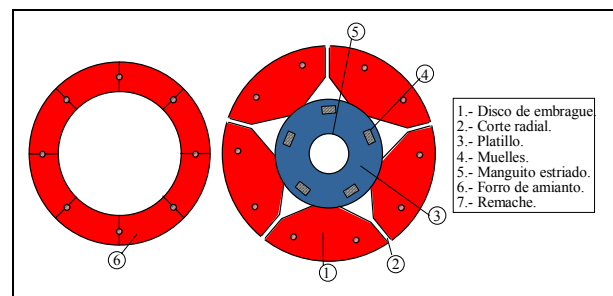


Figura 4.- Disco de embrague.

Los forros actúan por rozamiento y son los encargados de transmitir el movimiento del volante de inercia sin deslizamiento, por lo que su material debe tener un alto coeficiente de rozamiento y ser muy resistente al desgaste y al calor.



Figura 5.- Posición del embrague en el tractor.

- El *plato opresor*, situado entre el *volante de inercia* y la *carcasa*, sirve para el acoplamiento del disco de embrague al volante de inercia. Está constituido por un disco de acero, en forma de corona circular con espesor suficiente como para no deformarse y conseguir una presión uniforme de contacto de los forros del disco de embrague. Sobre él actúan en unos casos muelles, en otros un diafragma de acero y a veces es desplazado de forma automática.

- En el primer caso una serie de *muelles*, repartidos uniformemente sobre la periferia del plato opresor, actúan sobre él, y como tiene gran espesor permite que la presión sea constante en toda la corona circular de los forros, con lo que su desgaste será uniforme.

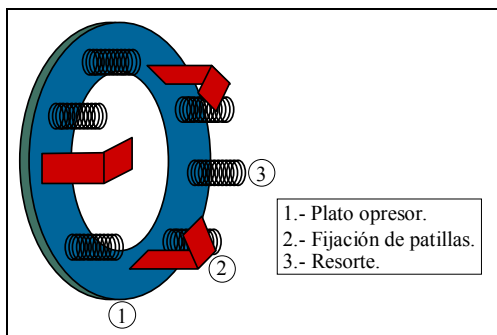


Figura 6.- Plato de presión accionado por resortes helicoidales.

- En el segundo caso actúa un *diafragma elástico de acero al carbono* que se comporta como un muelle encajado en la periferia del *plato opresor*, y que lo oprime 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*.

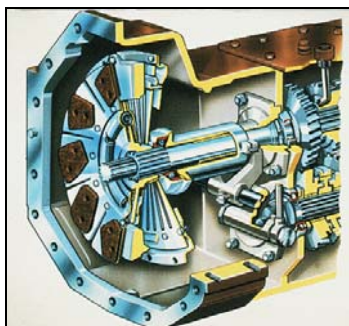


Figura 7.- Plato de presión accionado por diafragma.

El embrague de diafragma es más equilibrado, tiene un tamaño más reducido, necesita un menor esfuerzo para su manejo.

En el diagrama de la figura siguiente se puede observar la diferencia de esfuerzos aplicados al pedal con uno u otro sistema en un embrague de las mismas dimensiones. En el de diafragma el mayor esfuerzo se obtiene en la fase inicial, hasta el

momento de vencer la fuerza de inversión de la conicidad del diafragma. A continuación, disminuye el valor del esfuerzo hasta la fase final, del recorrido del pedal lo que hace cómodo su manejo por la sensación de relax que produce.

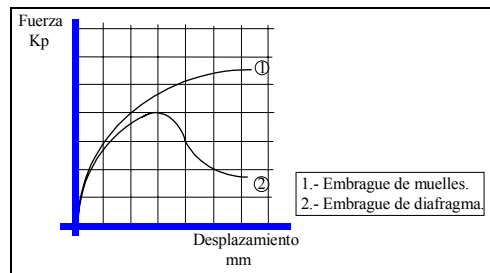


Figura 8.- Diagrama comparativo de esfuerzos en el desembrague.

- En los *embragues automáticos* la acción de embragado y desembragado se realiza mediante unos *contrapesos* sometidos a la acción de la fuerza centrífuga que les provoca el giro del motor. Dichos contrapesos están dimensionados de forma que, cuando el motor gire a ralentí, no ejerzan acción sobre el *plato opresor*, quedando por tanto desembragado.

Al acelerar, y aumentar el número de revoluciones del motor, los contrapesos, empujan al plato opresor, con la fuerza suficiente como para que el conjunto quede embragado. Como puede observarse, el proceso es totalmente progresivo, ya que el acoplamiento se hace en función del régimen de giro del motor.

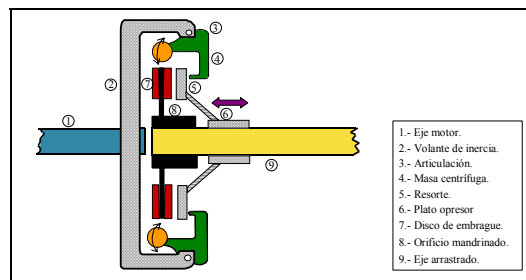


Figura 9.- Esquema de un embrague centrífugo.

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.

- En ocasiones el tamaño del volante de inercia está limitado, con lo que el mayor tamaño del disco que se puede colocar no es suficiente para transmitir el par motor necesario. Entonces se emplea un embrague de discos múltiples, cuya superficie total de rozamiento es la equivalente a la que ofrecería un sólo disco de gran tamaño.

Este tipo de embrague, cuyo esquema se presenta en la siguiente figura, lleva sobre el *eje*

primario varios discos metálicos hembras con forros en su periferia, entre los cuales van intercalados discos machos, con estrías en su periferia que coinciden con las del mandrinado de la campana, que como en el caso anterior va unida al volante.

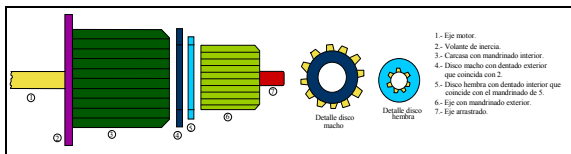


Figura 10.- Embrague de discos múltiples.

Aunque este embrague se sumerge, generalmente, en aceite fluido o una mezcla de aceite y petróleo, con el mismo principio se construyen embragues de varios discos en seco, con forros semejantes a los descritos.

Algunos embragues de este tipo se usan en los tractores de cadenas para su dirección, o en la toma de fuerza cuando es del tipo independiente.

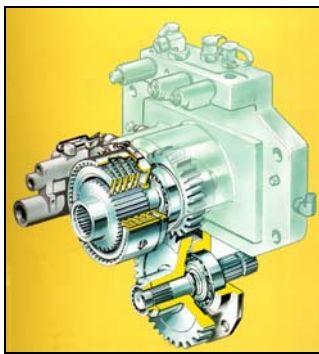


Figura 11.- Embrague de discos múltiples en la toma de fuerza.

Por último, interesante hacer referencia al sistema de accionamiento del embrague.

Los sistemas de mando empleados para el accionamiento del embrague pueden ser mecánicos, hidráulicos y neumáticos.

- El *accionamiento mecánico* se emplea cuando no es necesario aplicar grandes esfuerzos. Su esquema es como se presenta en la siguiente figura:

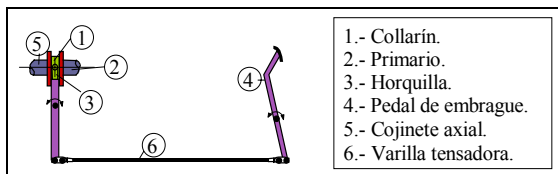


Figura 12.- Esquema de mando mecánico.

- El *accionamiento hidráulico*, se usa con el fin de aminorar el esfuerzo a transmitir en el pedal y para que el accionamiento sea más cómodo. Su esquema se presenta en la siguiente figura:

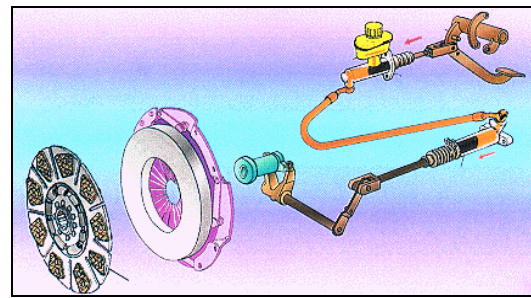


Figura 13.- Esquema de mando hidráulico

- El *accionamiento neumático* consiste en la instalación de un distribuidor que a través de una tubería envía aire a presión a un pistón, cuyo vástago actúa sobre la horquilla.

2.3.- EMBRAGUES DE FRICCIÓN DE DISCO DOBLE

Cuando la potencia del motor de un tractor se utiliza para rodadura y simultáneamente para tirar y accionar desde la toma de fuerza una máquina, ocurre que al pisar el embrague, si el accionamiento de la toma de fuerza se hace desde el eje primario, se detienen a la vez la máquina y el tractor. Esto, además de hacer incómoda la conducción del conjunto, puede provocar atascos y mal funcionamiento en la máquina. Piénsese en una empacadora que es una máquina a la vez arrastrada y accionada por la toma de fuerza.

Hasta hace pocos años, en la mayoría de los tractores, la toma de fuerza era accionada por el eje primario de la caja de cambios, lo que tenía como consecuencia que, al pisar el pedal del embrague, se detenía el movimiento del tractor y de la toma de fuerza, con el consiguiente peligro, como se ha expuesto, de atascos y alteraciones en el trabajo de la máquina tirada y accionada por el tractor.

Para evitar este inconveniente se independizaron el movimiento de la caja de cambios y el movimiento de la toma de fuerza gracias al denominado embrague de doble disco.

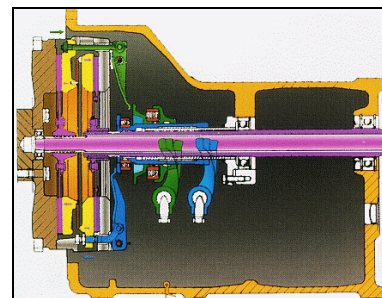


Figura 14.- Embrague de fricción de disco doble.

En esencia este embrague trabaja igual que el descrito en el apartado anterior, pero entre sus elementos lleva un *disco de embrague más* y un

plato opresor más. El segundo disco de embrague, que da movimiento a la toma de fuerza, va situado entre los dos platos opresores, los cuales van unidos mediante unos tornillos, que soportan muelles de presión los cuales apoyan por un lado sobre la tuerca del tornillo, y por el otro sobre el segundo plato opresor y hacen que el disco, si no se actúa comprimiendo los muelles, quede oprimido entre ambos.

El volante de inercia lleva unos topes para limitar el recorrido del primer plato opresor, gracias al cual el disco de embrague del eje primario queda oprimido sobre el volante.

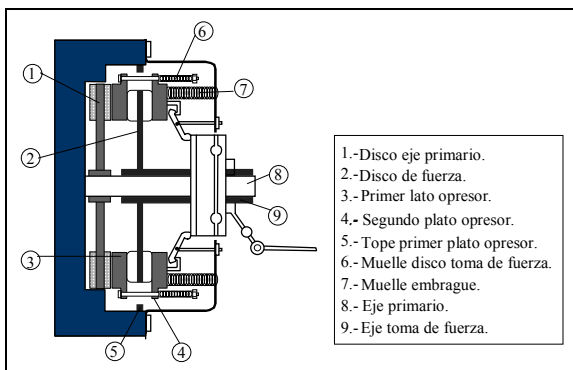


Figura 15.- Esquema de embrague de doble disco.

Cuando no se actúa sobre el pedal del embrague está suelto los muelles empujan contra la carcasa y contra el segundo plato opresor, éste sobre el disco de la toma de fuerza, éste sobre el primer plato opresor y éste sobre el disco del eje primario, de tal forma que, al moverse el volante y los platos opresores, arrastran a los dos discos de embrague dando a la vez movimiento al eje primario de la caja de cambios y a la toma de fuerza, para lo cual el segundo disco de embrague acciona un eje estriado exteriormente por el interior del cual pasa el eje primario.

Al actuar sobre el pedal del embrague hasta aproximadamente la mitad de su recorrido, las patillas tiran del segundo plato opresor y éste de los muelles con lo que el eje primario queda libre y no transmite movimiento a la caja de cambios. En cambio la toma de fuerza, cuyo disco de embrague continúa aprisionado entre los dos discos opresores sigue girando.

Al llevar el pedal del embrague hasta el final de su recorrido llega el primer plato a los topes del volante, con lo que al comprimir los muelles situados en los tornillos de unión de los dos platos, queda libre el disco de embrague de la toma de fuerza y ésta se detiene.

Si progresivamente se suelta el pedal del embrague, se embragará en primer lugar la toma de fuerza y después la caja de cambios del tractor.

Con este tipo de embragues, se puede detener la marcha del tractor sin que se detenga la toma de fuerza, al pisar el embrague hasta la mitad de su recorrido.

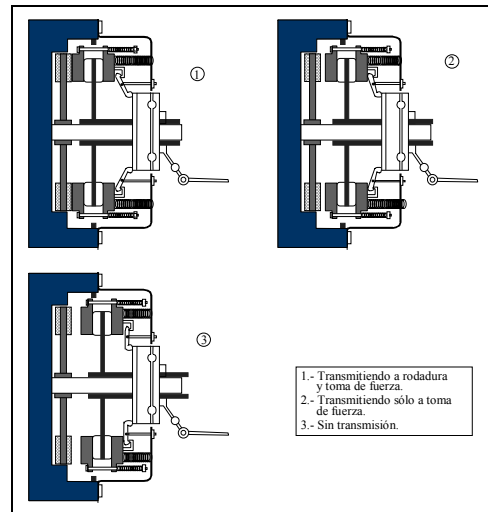


Figura 16.- Funcionamiento del embrague de disco doble.

Para concluir este apartado indicar que la avería más frecuente en los embragues de fricción es el patinamiento. Éste que normalmente es debido al desgaste de los forros, también puede estar ocasionado por un mal reglaje, o por que el disco esté engrasado o sucio, o por falta de presión en los muelles.

También, al actuar sobre el embrague, pueden aparecer vibraciones que pueden ser debidas a que el disco no asienta bien sobre el volante por estar deformado, o bien a falta de elasticidad por no estar bien los muelles amortiguadores, o a que el collarín de empuje esté roto o desgastado.

Por último, indicar que si las velocidades rascan al cambiar, es que hay mal reglaje del embrague, o que los forros están excesivamente desgastados y que si se producen ruidos al pisar el pedal, pueden ser debidos a un mal estado del collarín, o a desgaste del casquillo de apoyo del eje primario.

2.4.- EMBRAGUES HIDRÁULICOS

El *embrague hidráulico* actúa como un embrague automático que permite transmitir una energía que supera el par resistente cuando alcanza un determinado régimen de giro.

Su funcionamiento se basa en la transmisión de energía desde una *bomba centrífuga* a una *turbina*, usando para ello aceite mineral. Su funcionamiento se comprende suponiendo dos ventiladores colocados uno frente a otro, uno conectado a la red,

que impulsa el aire que choca con las aspas del otro que sin estar conectado se pone a girar.

En esencia consisten en *dos coronas giratorias*, que tienen forma de semitoroide, provistas de *álabes*, una de ellas, va unida al *cigüeñal*, actúa como bomba, y la otra, unida al primario de la *caja de cambios*, actúa como *turbina*.

Bomba y turbina, están 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* y choca contra los álabes de la *turbina*, haciéndola girar, con un par motor función de la energía cinética con la que es lanzado el aceite, la cual es directamente proporcional al cubo de la velocidad de giro y a la quinta potencia de su diámetro.

Cuando el motor gira a ralentí, la energía cinética del aceite es pequeña y el par de fuerza que aparece en la turbina es insuficiente para vencer el par resistente. En estas condiciones el vehículo permanece inmóvil.

A medida que aumentan las revoluciones del motor, el par motor que aparece en la turbina aumenta hasta vencer al par resistente de forma progresiva.

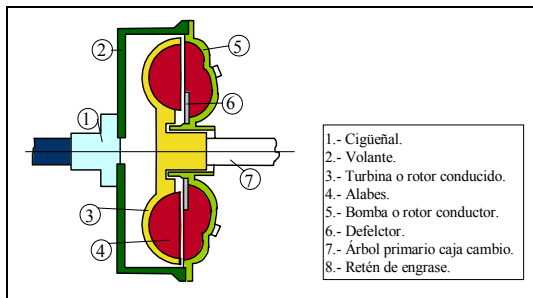


Figura 17.- Embrague hidráulico.

Una ventaja importante de este tipo de embrague es que 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 una mayor fuga de aceite entre bomba y turbina.

Debido a la inevitable pérdida de energía por fuga del aceite entre bomba y turbina, los vehículos equipados con este tipo de embrague tienen mayor consumo de combustible que los equipados con un embrague normal de fricción, pero, aunque esto supone inconvenientes, hay que tener en cuenta que este tipo de embrague tiene ausencia de desgaste, gran duración, es muy elástico, es muy progresivo y tiene un bajo coste de mantenimiento.

2.5.- CÁLCULO DE UN EMBRAGUE DE FRICCIÓN

Considérense los forros de un embrague.

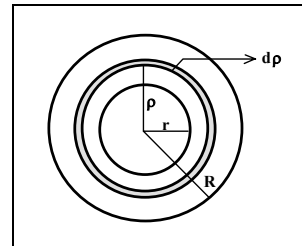


Figura 18.- Cálculo de un embrague de disco simple

• 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:

$$dS = \pi \cdot (\rho + d\rho)^2 - \pi \cdot \rho^2 = \pi \cdot (\rho^2 + d\rho^2 + 2\rho d\rho) - \pi \rho^2$$

Como $d\rho^2 \rightarrow 0$ se tiene que:

$$dF = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot p \Rightarrow F = \pi \cdot p \cdot (R^2 - r^2) \quad (I)$$

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

$$dR = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot p \cdot \mu$$

La fuerza de rozamiento total será:

$$\int_r^R dR = R = \mu \int_r^R p \cdot 2\pi \cdot \rho \cdot d\rho$$

$$R = \mu \cdot p \cdot 2\pi \left[\frac{\rho^2}{2} \right]_r^R \Rightarrow R = \pi \cdot p \cdot \mu \cdot (R^2 - r^2)$$

El par transmitido por una cara del forro:

$$dM_1 = dR \cdot \rho$$

$$dM_1 = 2\pi \cdot p \cdot \mu \cdot \rho^2 d\rho$$

$$M_1 = \int_r^R 2\pi \cdot p \cdot \mu \cdot \rho^2 d\rho = 2\pi \cdot p \cdot \mu \cdot \frac{R^3 - r^3}{3} \Rightarrow$$

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

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

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

Despejando p se tiene:

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

Sustituyendo en (I) se tiene:

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

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

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 $\cdot M$.

Y para un embrague de amianto p debe ser de 5 a 7 Kg/cm^2 .

2.6.- EMBRAGUE HIDROSTÁTICO

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

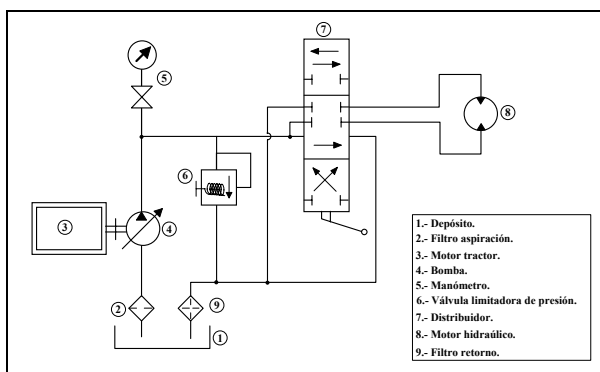


Figura 19.- Esquema ISO de transmisión hidrostática.

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.

2.7.- OTROS TIPOS DE EMBRAGUES DE INTERÉS EN AGRICULTURA.

Cálculo de un 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 .

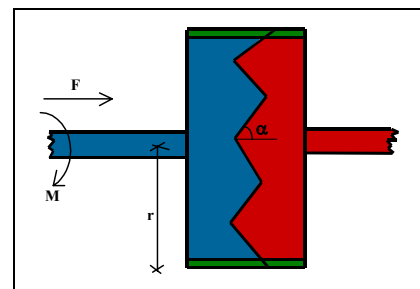


Figura 20.- Cálculo de un embrague de garras

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

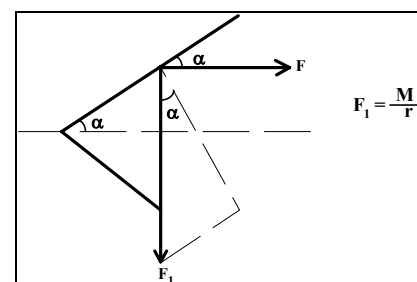


Figura 21.- Fuerzas en diente

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

$$\text{Normal: } F_1 \cdot \cos \alpha + F \cdot \sin \alpha$$

$$\text{Tangencial: } F_1 \cdot \sin \alpha - F \cdot \cos \alpha$$

Siendo $\mu = \operatorname{tg} \rho$ (ρ ángulo de rozamiento) el coeficiente de rozamiento, habrá deslizamiento de un diente sobre otro cuando:

$$(F_1 \cdot \cos \alpha + F \cdot \sin \alpha) \cdot \mu = F_1 \cdot \sin \alpha - F \cdot \cos \alpha$$

Dividiendo por $\cos \alpha$:

$$\begin{aligned} (F_1 + F \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot \operatorname{tg} \rho &= F_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha - F \\ F_1 \cdot \operatorname{tg} \rho + F \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \rho &= F_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha - F \\ F \cdot (1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \rho) &= F_1 \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \rho) \\ \frac{F}{F_1} &= \frac{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \rho}{1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \rho} = \operatorname{tg}(\alpha - \rho) \end{aligned}$$

Como:

$$M = F_1 \cdot r \Rightarrow M = \frac{F \cdot r}{\operatorname{tg}(\alpha - \rho)}$$

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

$$F = \frac{M \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \rho)}{r}$$

Cálculo de un embrague centrífugo

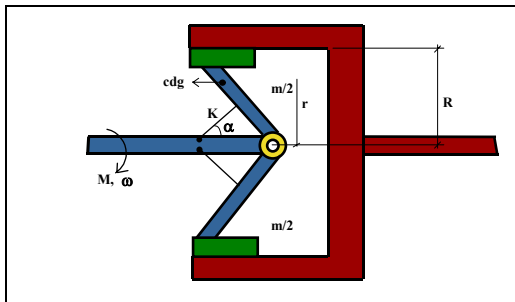


Figura 22.- Cálculo de un embrague centrífugo

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

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

La fuerza tangencial que origina:

$$F_t = F \cdot \mu$$

$$F_1 = \mu \cdot (m \cdot \omega^2 \cdot r - K \cdot x \cdot \operatorname{sen} \alpha)$$

El par motor transmitido es:

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

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

Cálculo de un embrague cónico

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

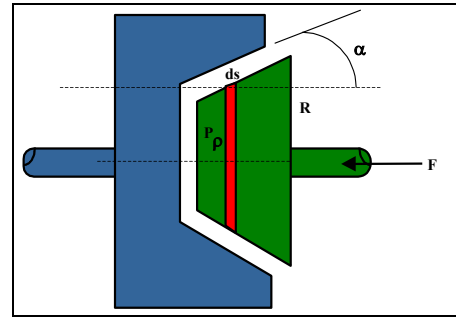


Figura 23.- Cálculo de un embrague de cono

Sea p la presión ejercida por una cara sobre otra:

$$dS = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \frac{d\rho}{\operatorname{sen} \alpha}$$

$$dF = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \frac{d\rho}{\operatorname{sen} \alpha} \cdot p \quad (I)$$

La fuerza de rozamiento:

$$dF_R = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \mu \cdot \frac{d\rho}{\operatorname{sen} \alpha} \cdot p$$

El par transmitido será:

$$dM = dF_R \cdot \rho$$

Sustituyendo se tiene:

$$dM = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \mu \cdot \rho^2 \cdot \frac{d\rho}{\operatorname{sen} \alpha}$$

El par total transmitido será:

$$M = \int_r^R 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \mu \cdot \rho^2 \cdot \frac{d\rho}{\operatorname{sen} \alpha}$$

$$M = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \mu \cdot \frac{1}{\operatorname{sen} \alpha} \cdot \frac{R^3 - r^3}{3} \quad (II)$$

De (I) se obtiene:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot p \int_r^R \frac{\rho \cdot d\rho}{\operatorname{sen} \alpha}$$

Integrando:

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

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

$$p = \frac{F \cdot \text{sen}\alpha}{\pi \cdot (R^2 - r^2)}$$
$$M = 2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot \frac{1}{\text{sen}\alpha} \cdot \frac{R^3 - r^3}{3} \cdot \frac{F \cdot \text{sen}\alpha}{\pi \cdot R^2 - r^2}$$
$$M = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot F \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}$$

Por tanto:

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