

13. EMBRAGUES.

1. EMBRAGUES. CARACTERISTICAS.

El embrague es el órgano que permite, a voluntad, establecer progresivamente o romper la unión entre dos partes sucesivas de una transmisión.

La característica operacional más importante de un embrague es la progresividad. Un acoplamiento mecánico por dientes, por ejemplo, que permite la unión o ruptura sin la menor progresividad, puede ser interesante en algunos casos pero no tiene interés en la conexión y desconexión de una caja de cambios.

Por las características propias del motor de combustión interna (aplicado casi con exclusividad a los motores de los vehículos automóviles) de no poder girar por debajo de determinada velocidad, de dar un par casi constante a plena carga entre los límites de utilización de su velocidad, y la necesidad de transmitir a las ruedas motrices un par muy variable de acuerdo con las aceleraciones y pendientes, es necesario disponer de un variador de par entre el motor y las ruedas motrices integrado por dos órganos : embrague y caja de cambios.

Las funciones de un embrague en un vehículo automóvil son las siguientes:

1. Desacoplar el motor de la transmisión para velocidades del vehículo correspondientes a un régimen de giro inferior a su velocidad de ralentí.

2. Transmitir una parte del par motor regulable a voluntad en la fase de arranque del vehículo.

3. Permitir el paso de una relación a otra en las cajas de los trenes paralelos ya que en estas no es posible hacerlo bajo carga, y permitir hacer el cambio de relación de una manera progresiva.

2. TIPOS DE EMBRAGUES.

Los embragues se pueden clasificar en dos grupos:

- Embragues de dientes.
- Embragues de fricción.

2.1 Embragues de dientes.

Estos embragues se componen de dos platos dentados, uno acoplado en el eje motor y otro en el eje conducido, estos platos se mantiene unidos por medio de un resorte que los mantiene a presión.

El esquema general se indica en la fig.13.1.

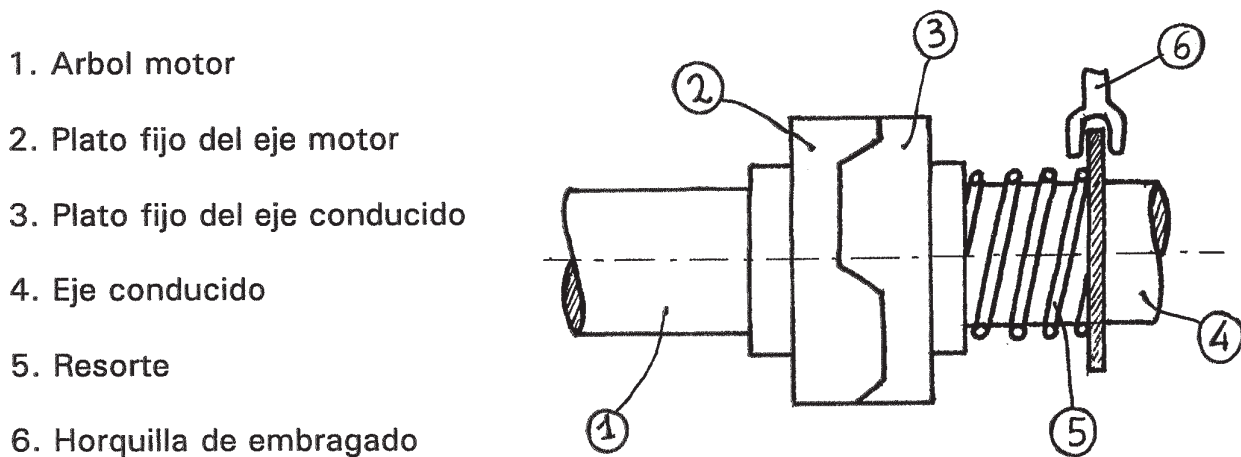
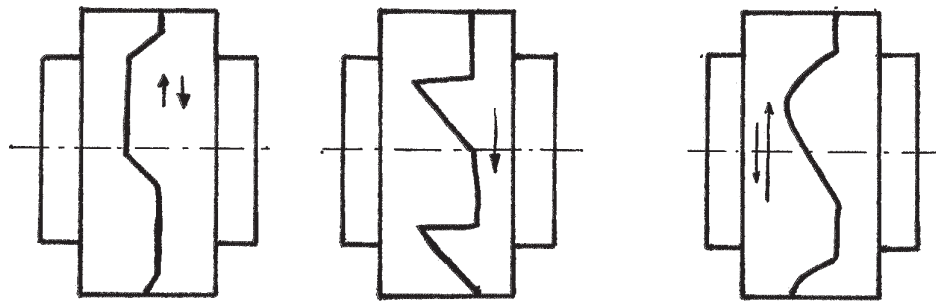


fig.13.1

La forma y disposición de los dientes en los platos de acoplamiento, nos da idea de la finalidad del mismo, fig.13.2a, 13.2b y 13.2c.



Tipo A
Permite transmitir
movimiento en ambos
sentidos.

Tipo B
Permite transmitir
movimiento en un
solo sentido.

Tipo C
Permite Transmitir
movimiento mejor en
sentido que en otro.

fig.13.2

Estos embragues solo pueden ser utilizados cuando el árbol conductor y el conducido se encuentren detenidos, y en algún caso, cuando dichos árboles se muevan con una velocidad constante e igual para ambos.

2.2. Embragues de fricción de disco.

Estos embragues actúan por rozamiento entre dos superficies de fricción. Según la forma de estas superficies se subdividen en planos y cónicos.

En estos tipos de embragues, el acoplamiento puede ser realizado a un número diferente de revoluciones, y el proceso de embragado no se realiza de forma instantánea sino que requiere un cierto tiempo para que se produzca la igualdad de velocidades entre los ejes conductor y conducido. La necesidad de que exista un tiempo se justifica, puesto que de no ser así, el esfuerzo necesario para embragar podría ser muy elevado (teóricamente infinito), ya que

$$F = m \cdot a = m \cdot v/t \quad \text{y si } t = 0, \text{ la relación } v/t = \infty \text{ y } F = \infty$$

Además, en el elemento motor se producirían choques o vibraciones que ocasionarían su rotura. Así pues, los elementos que se acoplan deben hacerlo de forma progresiva, de tal manera que durante el proceso de

embragado la superficie de fricción del elemento motor y del conducido deslicen hasta que se igualen las velocidades angulares ω_1 y ω_2 , de uno y otro árbol.

Los embragues de fricción fueron los primeros que se utilizaron en automoción.

Estos embragues, fig.13.3, se componen de los mismos elementos que los anteriores:

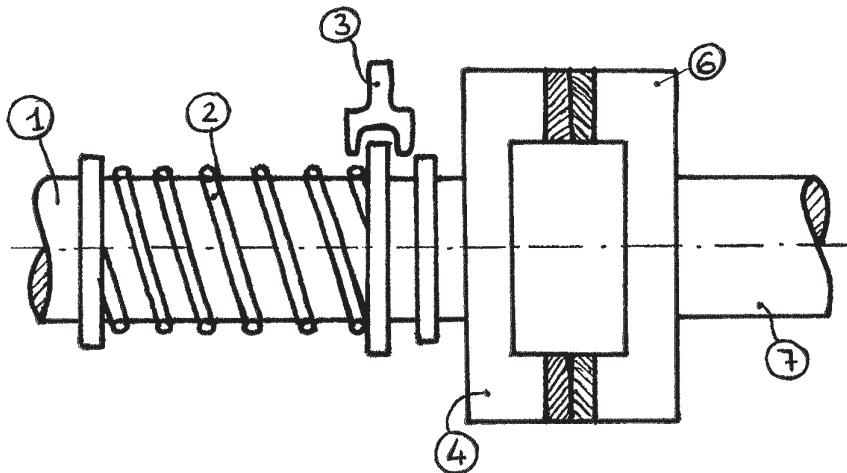


fig.13.3

1. Árbol conducido.
2. Resorte de presión.
3. Horquilla para embragar.
4. Plato móvil del árbol conducido.
5. Superficie de material de altas características de fricción.
6. Plato fijo al árbol motor.
7. Árbol motor.

Para el cálculo de este embrague se utilizarán dos hipótesis, la primera considerando que el embrague sea nuevo y la segunda que esté usado.

Hipótesis de embrague nuevo.

En este caso supondremos que la presión unitaria es uniforme entre los discos ($p = \text{cte}$). Si tomamos la superficie elemental que se indica en la

fig.13.4 y suponemos la fuerza normal concentrada en esta superficie, tenemos que

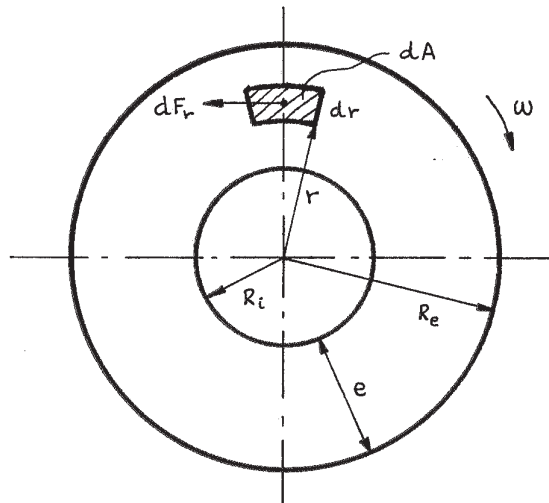


fig.13.4

- Momento de las fuerzas de rozamiento:

$$dM_f = r \cdot dF \quad (13.1)$$

$$dF_r = f \cdot dN$$

y como

$$p = \frac{dN}{dA} \quad \rightarrow \quad dN = p \cdot dA = p \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \quad (13.2)$$

integrando la ecuación (13.2)

$$N = p \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left[\frac{r^2}{2} \right]_{R_i}^{R_e} = p \cdot \pi \cdot (R_e^2 - R_i^2) = P \quad (13.3)$$

$$M_f = r \cdot f \cdot dN = p \cdot f \cdot 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot dr = 2 \cdot p \cdot f \cdot \pi \frac{(R_e^3 - R_i^3)}{3} = \frac{2}{3} f \cdot \pi \cdot (R_e^3 - R_i^3) \cdot p$$

- Esfuerzo P necesario para mantener el embrague

$$P = N = p \cdot \pi \cdot (R_e^2 - R_i^2) \quad (13.5)$$

- Presión superficial

$$p = \frac{N}{\pi \cdot (R_e^2 - R_i^2)} \quad \text{ó} \quad p = \frac{N}{2 \cdot \pi \cdot r_m \cdot e} \quad (13.6)$$

Hipótesis de embrague usado.

En esta hipótesis suponemos que el desgaste producido por el uso entre los discos es uniforme y que la presión unitaria es uniforme, pero no constante.

Si las superficies son lo bastante rígidas, el desgaste en la parte inferior es mayor que en la parte superior, dado que la fuerza tangencial es superior en el radio interior que en el exterior.

Después del desgaste inicial, supondremos que el perfil del ferodo mantiene su forma, o bien que el desgaste es uniforme.

Si suponemos que el desgaste δ , es proporcional a la presión unitaria y a la velocidad tangencial, tenemos

$$\delta = K \cdot p \cdot v = K \cdot p \cdot \omega \cdot r$$

o lo que es lo mismo

$$p = \frac{\delta}{K \cdot \omega} \frac{1}{r} = \frac{C}{r}$$

en la que C es una constante para un instante y que depende del tipo de material, velocidad angular y desgaste de las superficies.

Sustituyendo esta expresión en la ecuación del momento de las fuerzas de rozamiento, tenemos:

$$dM = f \cdot 2 \cdot p \cdot \pi \cdot r^2 \cdot dr$$

$$p = C/r$$

de donde

$$dM = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{C}{r} r^2 \cdot dr$$

integrando

$$M = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \frac{R_e^2 - R_i^2}{2} = \pi \cdot f \cdot C \cdot (R_e^2 - R_i^2) \quad (13.7)$$

Para determinar el valor de C, haremos

$$dN = p \cdot dA \quad \text{y} \quad p = C/r$$

por lo que

$$dN = \frac{C}{r} 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr = 2 \cdot \pi \cdot C \cdot dr$$

integrando entre R_e y R_i

$$N = P = 2 \cdot \pi \cdot C \cdot (R_e - R_i)$$

de donde

$$C = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot (R_e - R_i)}$$

y sustituyendo en M

$$M = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot (R_e - R_i)} \cdot \frac{R_e^2 - R_i^2}{2} = P \cdot f \cdot \frac{R_e^2 - R_i^2}{2 \cdot (R_e - R_i)} = P \cdot f \cdot R_m \quad (13.8)$$

siendo

$$R_m = \frac{R_e + R_i}{2}$$

El valor de P ó N, se incrementará en:

- * 3 % en máquinas herramientas.
- * 8 % en motores.
- * 25 % en conexiones con cargas bruscas.

2.2.1. Embrague de discos múltiples.

El esfuerzo P, produce un gran desgaste en los discos y cojinetes, por lo que en algunos casos conviene aminorarlo, esto se consigue aumentando el coeficiente de rozamiento f, o la superficie de contacto.

Un aumento considerable de la superficie nos conduce a unas dimensiones excesivas, por lo que se procede a la colocación de varias láminas de contacto sobre las que se reparte la presión simultáneamente, al mismo tiempo que se favorece la disipación de calor, fig.13.5.

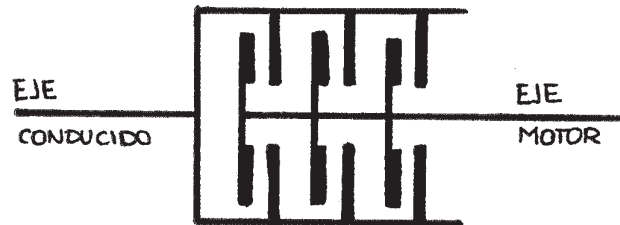


fig.13.5

Los cálculos son los mismos que para el embrague de fricción de discos.

El número de láminas puede ser obtenido a partir de la expresión:

$$P = \frac{M}{f \cdot R_m \cdot z}$$

en donde z representa el número de láminas (aconsejable un número par).

2.3. Embrague de fricción cónico.

Se compone de un cono macizo unido al eje que transmite el movimiento, que se acopla con otro cono hueco unido al eje conducido. El cono hueco se hace deslizar sobre el eje conducido por medio de una horquilla y se mantienen a presión por la acción de un resorte que los mantiene unidos, fig.13.6.

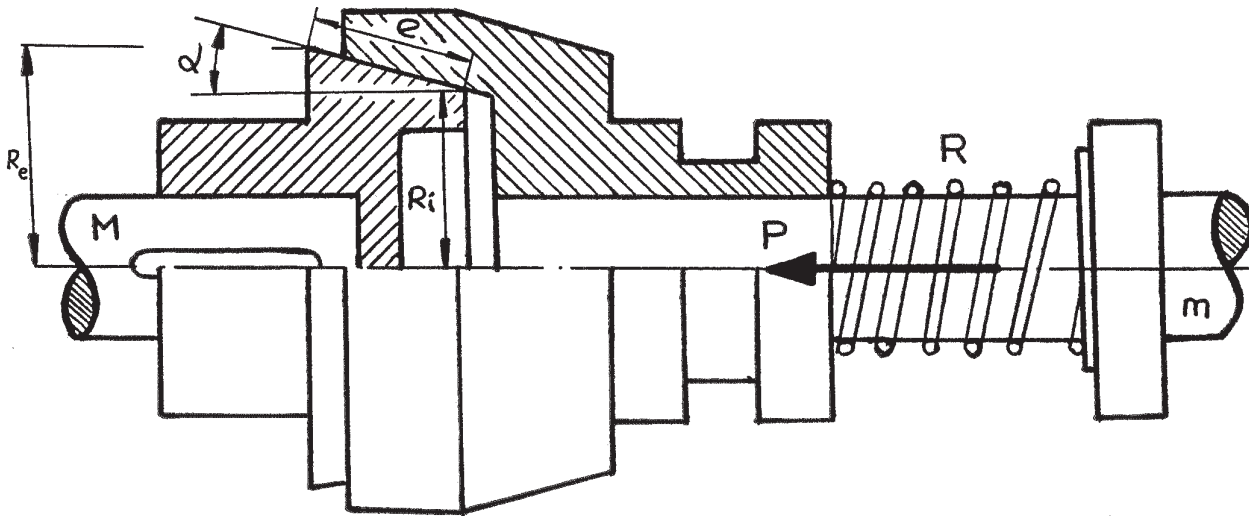


fig.13.6

La eficacia de estos tipos de embragues se debe a la inclinación de las superficies en contacto, ya que se obtiene un efecto de cuña.

Hipótesis de embrague nuevo.

Lo mismo que en el caso anterior, se supone que la presión entre las superficies en contacto es constante.

Supongamos el elemento de la fig.13.7, aislado del conjunto. El esfuerzo P, en el resorte, da una distribución de esfuerzo N normal a las superficies de contacto, y sobre el elemento diferencial tomado tendremos dN. El esfuerzo dN se descompone en dP y dV. La componente dP, una vez integrada nos da el valor del esfuerzo necesario para mantener el embrague acoplado; la componente dV, se anula con su homóloga.

- Momento de las fuerzas de rozamiento:

$$dM_f = r \cdot dF \quad (13.9)$$

$$dF_r = f \cdot dN$$

$$p = \frac{dN}{dA}$$

al ser

$$dA = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot de = 2 \cdot \pi \cdot r \frac{dr}{\sin \alpha}$$

y de aquí

$$dN = p \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\sin \alpha} dr$$

sustituyendo en la (13.9)

$$dM = f \frac{p}{\sin \alpha} 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot dr$$

que integrada queda

$$M = \frac{p}{\sin \alpha} 2 \cdot \pi \left[\frac{r^3}{3} \right]_{R_i}^{R_e} = \frac{p \cdot 2 \cdot \pi}{3 \cdot \sin \alpha} [R_e^3 - R_i^3] \quad (13.10)$$

- Esfuerzo P necesario para mantener el embrague

$$dP = dN \cdot \sin \alpha$$

$$dP = p \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\sin \alpha} \sin \alpha \cdot dr$$

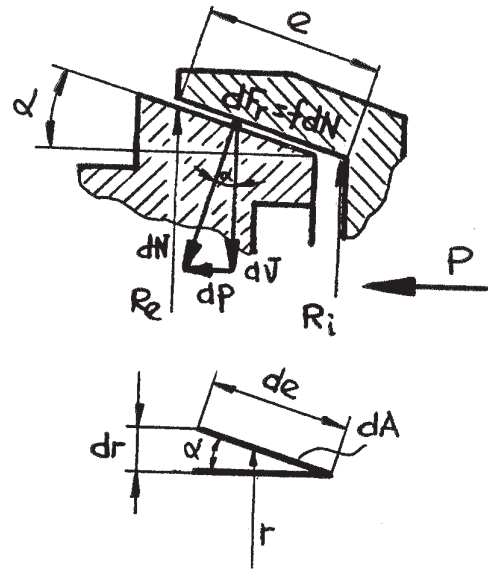


fig.13.7

$$P = p \cdot \pi \cdot (R_o^2 - R_i^2) \quad (13.11)$$

- Presión superficial

$$p = \frac{P}{\pi \cdot (R_o^2 - R_i^2)} \quad (13.12)$$

Hipótesis de embrague usado.

En este caso se supone que el desgaste es uniforme y que $p \neq \text{cte.}$

En esta hipótesis, el desgaste lo suponemos proporcional a la presión y a la velocidad, por lo que

$$\delta = K \cdot p \cdot v = K \cdot p \cdot \omega \cdot r$$

y

$$p = C/r$$

En estas condiciones obtenemos para los diferentes valores, las siguientes expresiones:

- Fuerza de rozamiento:

$$dF_r = \frac{f \cdot p \cdot 2 \cdot \pi}{\sin \alpha} dr = f \frac{C \cdot 2 \cdot \pi}{\sin \alpha} dr$$

integrando

$$F_r = \frac{f \cdot C \cdot 2 \cdot \pi}{\text{sen } \alpha} (R_e - R_i) \quad (13.13)$$

- Momento de las fuerzas de rozamiento:

$$dM = r \cdot dF_r = \frac{f \cdot C \cdot 2 \cdot \pi}{\text{sen } \alpha} r \cdot dr$$

integrando

$$M = \frac{f \cdot C \cdot 2 \cdot \pi}{\text{sen } \alpha} \frac{(R_e^2 - R_i^2)}{2}$$

y como

$$C = \frac{F_r \cdot \text{sen } \alpha}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (R_e - R_i)}$$

nos queda

$$M = \frac{f \cdot 2 \cdot \pi}{\text{sen } \alpha} \frac{R_e^2 - R_i^2}{2} \frac{F_r \cdot \text{sen } \alpha}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (R_e - R_i)} =$$

$$= \frac{F_r}{2} \frac{(R_e + R_i) \cdot (R_e - R_i)}{(R_e - R_i)} = \frac{F_r}{2} (R_e - R_i) = F_r \cdot R_m = f \cdot N \cdot R_m \quad (13.14)$$

Presiones.

La presión puede definirse en tres puntos como se indica a continuación, fig.13.8.

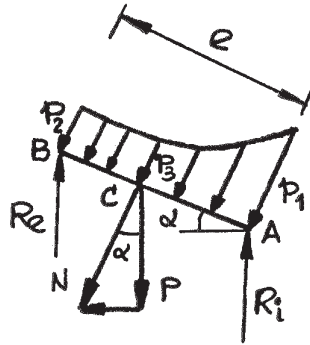


fig.13.8

Presión máxima p_1 : se produce en el radio mínimo, y vale:

$$p_1 = \frac{N}{A_A} \quad A_A = 2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot e$$

$$e = \frac{(R_e - R_i)}{\text{sen } \alpha}$$

Sustituyendo, obtenemos:

$$p_1 = \frac{N \cdot \text{sen } \alpha}{2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot (R_e - R_i)} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot (R_e - R_i)} \quad (13.15)$$

Presión mínima p_2 : se produce en el radio máximo, y vale:

$$p_2 = \frac{N}{A_B} \quad A_B = 2 \cdot \pi \cdot R_e \cdot e$$

$$e = \frac{(R_e - R_i)}{\text{sen } \alpha}$$

Sustituyendo, obtenemos:

$$p_2 = \frac{N \cdot \sin \alpha}{2 \cdot \pi \cdot R_o (R_o - R_i)} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot R_o (R_o - R_i)} \quad (13.16)$$

Presión media p_3 : se produce en el radio medio, y vale:

$$p_3 = \frac{N}{A_c}$$

$$A_c = 2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot e = 2 \cdot \pi \cdot \frac{(R_o + R_i)}{2} \cdot \frac{(R_o - R_i)}{\sin \alpha} = \frac{\pi \cdot (R_o^2 - R_i^2)}{\sin \alpha}$$

sustituyendo

$$p_3 = \frac{N \cdot \sin \alpha}{\pi \cdot (R_o^2 - R_i^2)} = \frac{P}{\pi \cdot (R_o^2 - R_i^2)} \quad (13.17)$$

Esfuerzos de acoplamiento.

A) Fuerza necesaria para mantener el embrague acoplado:

$$\vec{N} = \vec{P}_1 + \vec{V}$$

V se absorbe

$$P_1 = N \cdot \sin \alpha$$

$$P = P_1 = N \cdot \sin \alpha = \frac{F_r}{f} \sin \alpha$$

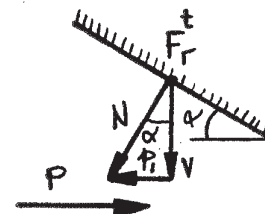


fig.13.9

B) Fuerza necesaria para embragar:

$$P - P_1 - F_r \cdot \cos \alpha = 0$$

$$P = N \cdot \sin \alpha + f \cdot N \cdot \cos \alpha = N \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha)$$

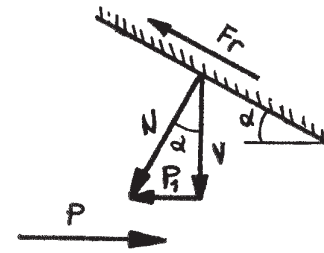


fig.13.10

C) Fuerza necesaria para desembragar:

$$P' + P_1 - F_r \cdot \cos \alpha = 0$$

$$P' = F_r \cdot \cos \alpha - P_1 = f \cdot N \cdot \cos \alpha - N \cdot \sin \alpha$$

$$= N \cdot (f \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)$$

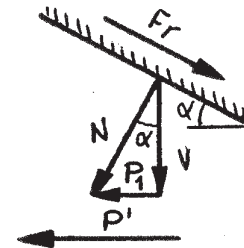


fig.13.11

Los valores del coeficientes de rozamiento y valores de p son los siguientes:

Material	f	p(N/mm ²)
Fundición - fundición	0.10 ÷ 0.15	0.3 ÷ 0.6
Fundición - papel	0.15 ÷ 0.20	
Fundición - cuero	0.20 ÷ 0.30	0.05 ÷ 0.1
Fundición - madera	0.30 ÷ 0.50	0.3 ÷ 0.6
Amianto - Amianto	0.30 ÷ 0.50	0.05 ÷ 0.2

2.4 Embragues radiales.

En este tipo de embrague, el árbol motor va montado en un cilindro hueco en el que actúan unos bloques o zapatas B, accionadas por varillas a

modo de palancas articuladas que transmiten las fuerzas F_1 , producida por la compresión P de un resorte R . El número de zapatas es par situadas diametralmente opuestas.

La fuerza F_1 que transmite cada varilla se descompone en dos: N_1 , normal al cilindro hueco y P_1 , de dirección axial.

De la fig.13.12, puede deducirse:

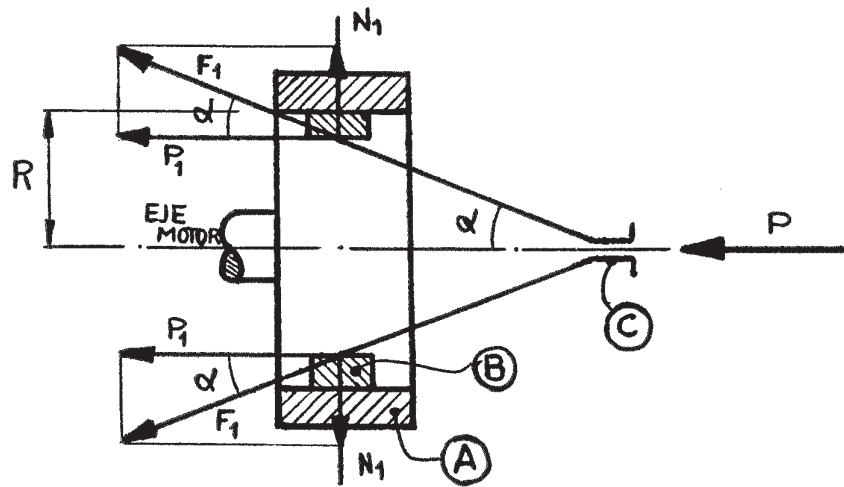


fig.13.12

$$N_1 = P_1 \cdot \tan \alpha \quad (13.18)$$

$P = z \cdot P_1$ siendo z el número de zapatas.

- Fuerza de rozamiento:

para una zapata $F_r = N_1 \cdot f$

para z zapatas $F_{rt} = N_1 \cdot f \cdot z$

Sustituyendo la (13.18)

$$F_{rt} = P_1 \cdot \tan \alpha \cdot f \cdot z \quad (13.19)$$

- Momento:

$$M = P_1 \cdot \text{tag } \alpha \cdot f \cdot z \cdot R \quad (13.20)$$

- Potencia a transmitir:

$$N = F_t \cdot R \cdot \omega = P_1 \cdot \text{tag } \alpha \cdot f \cdot z \cdot R \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (13.21)$$

3. RENDIMIENTO DE EMBRAGUES DE FRICCION.

El rendimiento nos viene dado por

$$\mu = \frac{T_u}{T_m} \quad (13.22)$$

Durante el proceso de embrague el árbol motor realiza un trabajo que vale

$$T_m = P \cdot e \quad (13.23)$$

en la que

P es la fuerza necesaria para mover la masa ficticia m a velocidad v constante.

t es el tiempo empleado en embragar.

T_u es el trabajo utilizado o energía que llega a adquirir el árbol.

$$T_u = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad \text{en la que } v \text{ varía de } 0 \text{ a } v.$$

Aceleración:

$$a = \frac{v}{t}$$

Fuerza:

$$F = m \cdot a = m \frac{v}{t} = P$$

Sustituyendo en la (13.23)

$$T_m = m \frac{v}{t} = m \frac{v}{t} v \cdot t = m \cdot v^2 \quad (13.24)$$

y esta en la (13.22)

$$\mu = \frac{T_u}{T_m} = \frac{1/2 \cdot m \cdot v^2}{m \cdot v^2} = \frac{1}{2} = 50 \%$$

debe entenderse que **este rendimiento es en el momento del acoplamiento.**

Si debemos vencer una resistencia Q, además de las masas, la fuerza total será P + Q, y la fuerza empleada en producir la aceleración será P - Q.