

UNIDAD 4: ACOPLAMIENTOS TEMPORARIOS

Trabajo practico:

ACOPLAMIENTOS TEMPORARIOS

Frenos de disco, tambor y embragues de disco

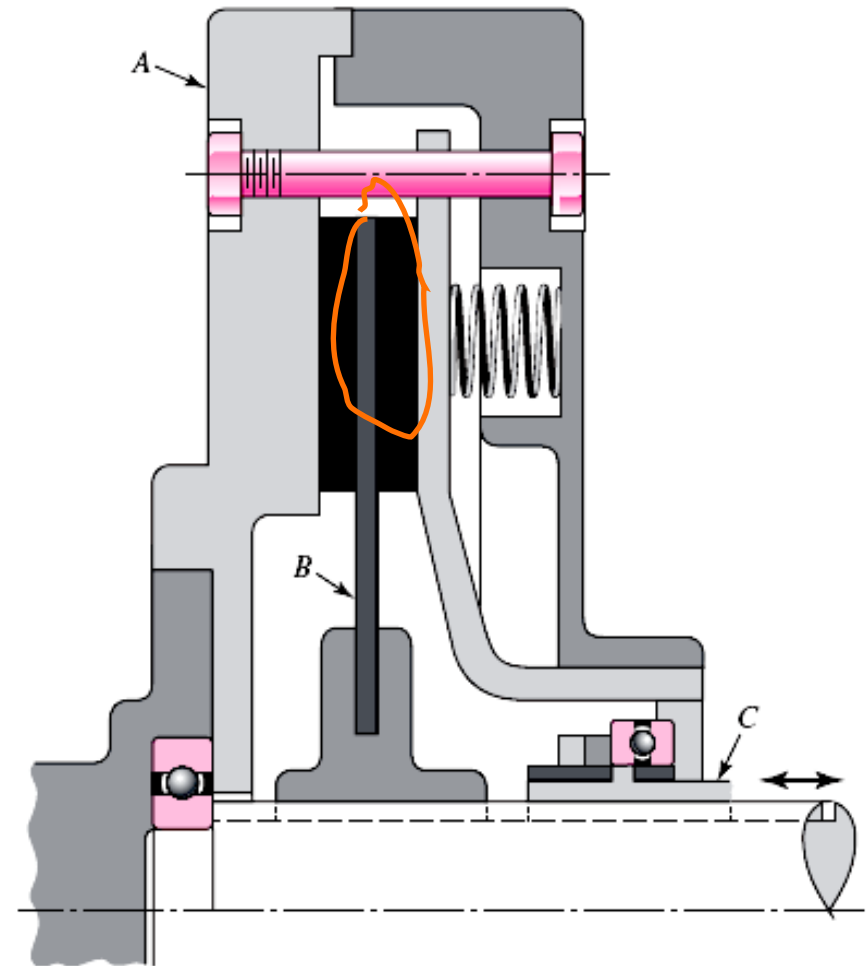
Para la resolución se utiliza el libro

Diseño en Ingeniería Mecánica – Shigley ed. 9th



Problema 1

Un embrague de disco de automóvil tiene un diámetro interior de 210 mm y un diámetro exterior de 300 mm. La fuerza de accionamiento (responsable de poner en contacto los elementos de fricción con el plato de presión y el volante de inercia), la proporcionan 9 resortes helicoidales que actúan en dirección axial, de tal forma que en la posición de embrague accionado, cuando los elementos de fricción son completamente nuevos, cada uno de los resortes está comprimido 5 mm y proporciona una fuerza de 900 N. El disco de fricción está fabricado de asbesto moldeado y el plato opresor y el volante de inercia son de acero, y trabaja en seco. **El máximo par torsor a transmitir es de 400 N.m. (suministrado por el motor). El factor de seguridad debe ser $n \geq 1,3$**



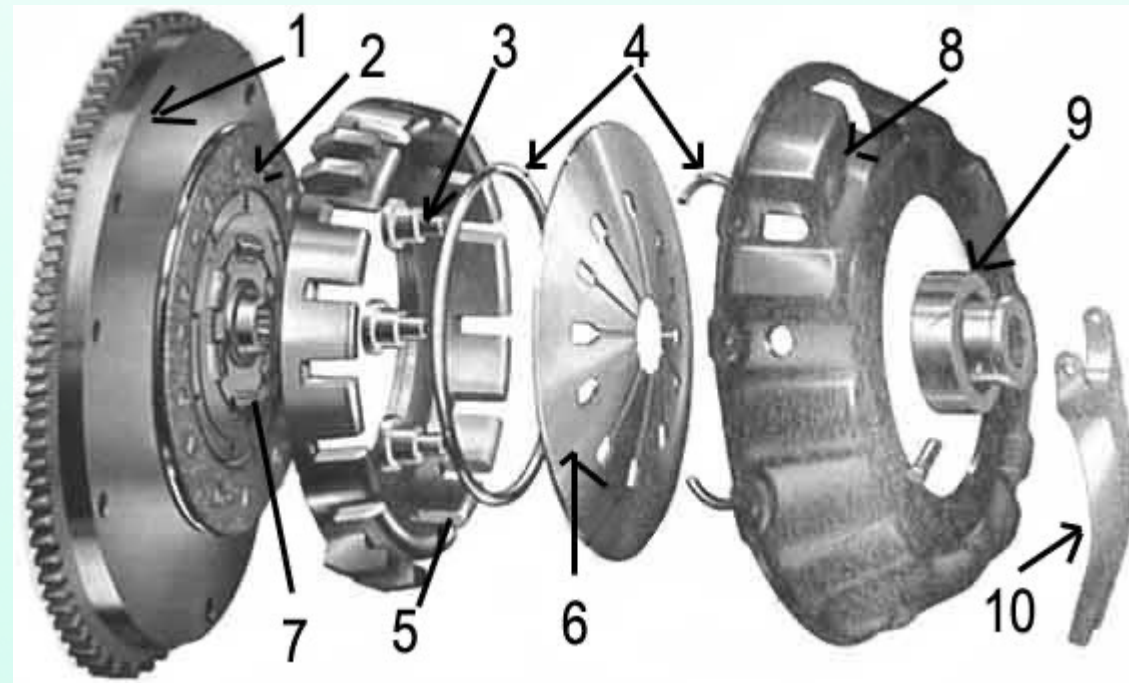
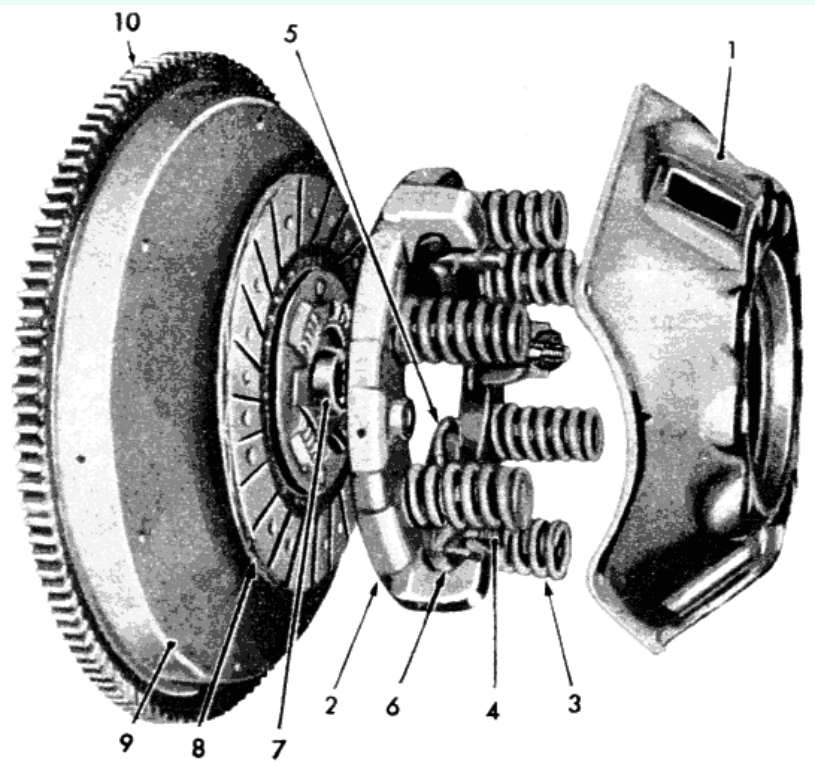
Problema 1

Preguntas.

- a) Verificar el material a la presión admisible. En caso de no verificar, sugerir y aplicar modificaciones al diseño.
- b) Verificar el coeficiente de seguridad respecto al deslizamiento de un embrague nuevo. (Utilizar la teoría de **presión uniforme**).
- c) ¿Cuál será el coeficiente de seguridad después de un tiempo de funcionamiento? Suponer que no hay cambio en la fuerza ejercida por los resortes. (Utilizar la teoría de **desgaste uniforme**)
- d) Tras recorrer 40.000 km con el vehículo, el embrague habrá sufrido un desgaste. ¿Cuánto desgaste puede sufrir el embrague antes de que aparezca el deslizamiento? Suponer que el coeficiente de fricción no varía con el desgaste.

Problema 1

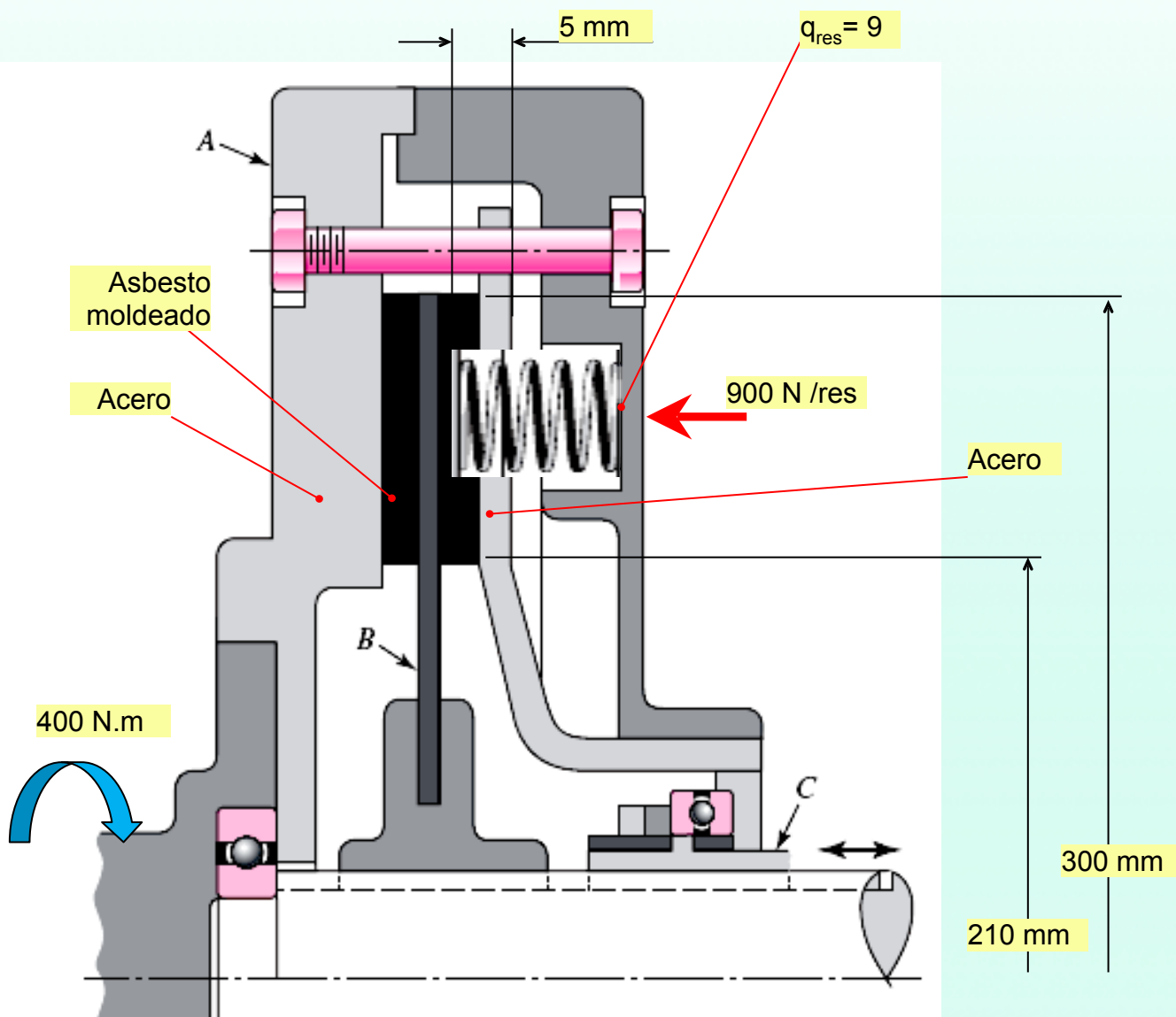
Esquemas de ensambles



Problema 1

Un embrague de disco de automóvil tiene un diámetro interior de **210 mm** y un diámetro exterior de **300 mm**. La fuerza de accionamiento (responsable de poner en contacto los elementos de fricción con el plato de presión y el volante de inercia), la proporcionan **9 resortes** helicoidales que actúan en dirección axial, de tal forma que en la posición de embrague accionado, cuando los elementos de fricción son completamente nuevos, cada uno de los resortes esta comprimido **5 mm** y proporciona una fuerza de **900 N**. El disco de fricción esta fabricado de **asbesto moldeado** y el plato opresor y el volante son de **acero**, y **trabaja en seco**. **El máximo par torsor a transmitir es de 400 N.m.** (suministrado por el motor).

Problema 1



$$q_{discos} = 1$$

$$D = 300mm$$

$$d = 210mm$$

$$q_{res} = 9$$

$$x = 5mm$$

$$F = 900N$$

$$T = 400Nm$$

Materiales: - asbesto moldeado
- acero
(en seco)

Problema 1

En principio, se buscan los datos característicos de los materiales del embrague. Para eso utilizamos la tabla 16-5

Material	Coeficiente de fricción		Temperatura máxima		Presión máxima	
	Húmedo	Seco	°F	°C	psi	kPa
Hierro fundido sobre hierro fundido	0.05	0.15-0.20	600	320	150-250	1 000-1 750
Metal pulverizado* sobre hierro fundido	0.05-0.1	0.1-0.4	1 000	540	150	1 000
Metal pulverizado* sobre acero duro	0.05-0.1	0.1-0.3	1 000	540	300	2 100
Madera sobre acero o hierro fundido	0.16	0.2-0.35	300	150	60-90	400-620
Cuero sobre acero o hierro fundido	0.12	0.3-0.5	200	100	10-40	70-280
Corcho sobre acero o hierro fundido	0.15-0.25	0.3-0.5	200	100	8-14	50-100
Fieltro sobre acero o hierro fundido	0.18	0.22	280	140	5-10	35-70
Asbesto tejido* sobre acero o hierro fundido	0.1-0.2	0.3-0.6	350-500	175-260	50-100	350-700
Asbesto moldeado* sobre acero o hierro fundido	0.08-0.12	0.2-0.5	500	260	50-150	350-1 000
Asbesto impregnado* sobre acero o hierro fundido	0.12	0.32	500-750	260-400	150	1 000
Grafito de carbono sobre acero	0.05-0.1	0.25	700-1 000	370-540	300	2 100

Problema 1

Los datos del material:

Materiales: - asbesto moldeado
 - acero
 (en seco)

Coefficiente de fricción:

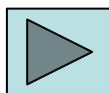
$$f_{min} = 0,2 \quad f_{max} = 0,5$$

Presión admisible:

$$P_{adm-min} = 350kPa \quad P_{adm-max} = 1000kPa$$

a) Verificación de la presión

$$F = \frac{\pi P_a}{4} (D^2 - d^2)$$



(16-26)

Fuerza MAX de accionamiento según presión uniforme. (Shigley – 9th ed.)

$$P_{PU} = \frac{F \cdot q_{res}}{\left[\frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \right]}$$

$$P_{PU} = \frac{900N \cdot 9}{\left[\frac{\pi \cdot ((300mm)^2 - (210mm)^2)}{4} \right]} = 0,225MPa = 225kPa$$

$$P_{PU} = 225kPa \leq P_{adm}$$

$$F = \frac{\pi p_a d}{2} (D - d) \quad (16-23)$$

Fuerza MAX. de accionamiento según desgaste uniforme. (Shigley – 9th ed.)

$$P_{DU} = \frac{F \cdot q_{res}}{\left[\frac{\pi \cdot d \cdot (D - d)}{2} \right]}$$

$$P_{DU} = \frac{900N \cdot 9}{\left[\frac{\pi \cdot 210mm \cdot (300mm - 210mm)}{2} \right]} = 0,273MPa = 273kPa$$

$$P_{DU} = 273kPa \leq P_{adm}$$

La presión aplicada verifica, ya que se encuentra por debajo de los límites tabulados para el material.



Problema 1

En caso de no verificar la presión en el material del disco, podríamos hacer alguna de las siguientes modificaciones al diseño inicial del embrague:

- cambio de material
- Aumentar la superficie del disco
- reducción en la fuerza de aplicación
- Reducir la cantidad de resortes

Problema 1

De acuerdo a las dimensiones del embrague, según la **teoría de Presión uniforme**, el embrague podrá transmitir un torque máximo de:

$$T = \frac{Ff}{3} \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}$$



(16-28)

Torque para **un par** de superficies en contacto, para teoría de Presión Uniforme. (Shigley – 9th ed.)

$$T_{PU} = \frac{(F \cdot q_{res}) \cdot f}{3} \cdot \frac{(D^3 - d^3)}{(D^2 - d^2)}$$

$$\begin{aligned} d &= 210mm \\ D &= 300mm \\ q_{res} &= 9 \\ F &= 900N \end{aligned}$$

$$f = \frac{f_{min} + f_{max}}{2} = \frac{0,2 + 0,5}{2} = 0,35$$

CAPACIDAD DE UN PAR DE SUPERFICIES EN CONTACTO

$$T_{PU} = \frac{(900N \cdot 9) \cdot 0,35}{3} \cdot \frac{((300mm)^3 - (210mm)^3)}{((300mm)^2 - (210mm)^2)} = 365214Nmm = 365,2Nm$$

Vale destacar que el torque calculado corresponde a 1 par de superficies en contacto. Debido a que el disco con su plato opresor y el volante, poseen 2 pares de superficies en fricción:

$$T_{PU-total} = T_{PU} \cdot (2 \cdot q_{discos}) = 365,2Nm \cdot 2 = 730,4Nm$$

CAPACIDAD DEL EMBRAGUE PROPUESTO

¿Cómo determinamos el factor de seguridad ?

El factor de seguridad lo calculamos comparando el torque total que puede transmitir el embrague, con el torque del motor:

$$n_{PU} = \frac{T_{PU-total}}{T} = \frac{730,5Nm}{400Nm} = 1,826$$

Problema 1

De acuerdo a las dimensiones del embrague, según la **teoría de desgaste uniforme**, el embrague podrá transmitir un torque máximo de:

$$T = \frac{Ff}{4}(D + d)$$



(16-25)

Torque para **un par** de superficies en contacto, para teoría de Desgaste Uniforme. (Shigley – 9th ed.)

$$T_{DU} = \frac{(F \cdot q_{res}) \cdot f}{4} \cdot (D + d)$$

$$d = 210mm$$

$$D = 300mm$$

$$q_{res} = 9$$

$$F = 900N$$

$$f = \frac{f_{min} + f_{max}}{2} = \frac{0,2 + 0,5}{2} = 0,35$$

CAPACIDAD DE
UN PAR DE
CARAS EN
CONTACTO

$$T_{DU} = \frac{(900N \cdot 9) \cdot 0,35}{4} \cdot (300mm + 210mm) = 361462Nm = 361,5Nm$$

Vale destacar que el torque calculado corresponde a 1 par de superficies en contacto. Debido a que el disco con su plato opresor y el volante, poseen 2 pares de caras de fricción:

$$T_{DU-total} = T_{DU} \cdot (2 \cdot q_{discos}) = 361,5Nm \cdot 2 = 723Nm$$

CAPACIDAD DEL
EMBRAGUE
PROPUESTO

¿Cómo determinamos el factor de seguridad ?

El factor de seguridad lo calculamos comparando el torque total que puede transmitir el embrague, con el torque del motor:

$$n_{DU} = \frac{T_{DU-total}}{T} = \frac{723Nm}{400Nm} = 1,808$$

Problema 1

A través de ambas teorías para el calculo de embragues obtenemos coeficientes de seguridad bastante amplios respecto al enunciado.

SOLO COMO EJERCICIO, se propone **reducir la carga aplicada por los resortes**, con esta modificación se lograría una reducción en la presión del material del disco, disminuyendo también el torque transmitido y el factor de seguridad.

Esto se realiza fácilmente, aplicando una precarga menor a cada uno de los resortes que presionan el plato opresor.

Como tentativa, se propone:

$$F_1 = 700N$$

Entonces la presión aplicada sobre el disco:

$$d = 210mm$$

$$D = 300mm$$

$$q_{res} = 9$$

$$F_1 = 700N$$

$$P_{DU1} = \frac{F_1 \cdot q_{res}}{\left[\frac{\pi \cdot d \cdot (D - d)}{2} \right]}$$

$$P_{DU1} = \frac{700N \cdot 9}{\left[\frac{\pi \cdot 210mm \cdot (300mm - 210mm)}{2} \right]} = 0,212MPa = 212kPa$$

$$P_{DU1} = 212kPa \leq P_{adm}$$

Problema 1

Ahora, con el nuevo dato de fuerza, calculamos los factores de seguridad para las dos teorías, obteniendo:

Presión uniforme

$$T_{PU1} = \frac{(700N \cdot 9) \cdot 0,35}{3} \cdot \frac{((300mm)^3 - (210mm)^3)}{((300mm)^2 - (210mm)^2)} = 284055Nmm = 284,1Nm$$

$$T_{PU1-total} = T_{PU1} \cdot (2 \cdot q_{discos}) = 284,1Nm \cdot 2 = 568,1Nm$$

$$n_{PU1} = \frac{T_{PU1-total}}{T} = \frac{568,1Nm}{400Nm} = 1,42$$

Desgaste uniforme

$$T_{DU1} = \frac{(700N \cdot 9) \cdot 0,35}{4} \cdot (300mm + 210mm) = 281138Nmm = 281,1Nm$$

$$T_{DU1-total} = T_{DU1} \cdot (2 \cdot q_{discos}) = 281,1Nm \cdot 2 = 562,3Nm$$

$$n_{DU1} = \frac{T_{DU1-total}}{T} = \frac{562,3Nm}{400Nm} = 1,406$$

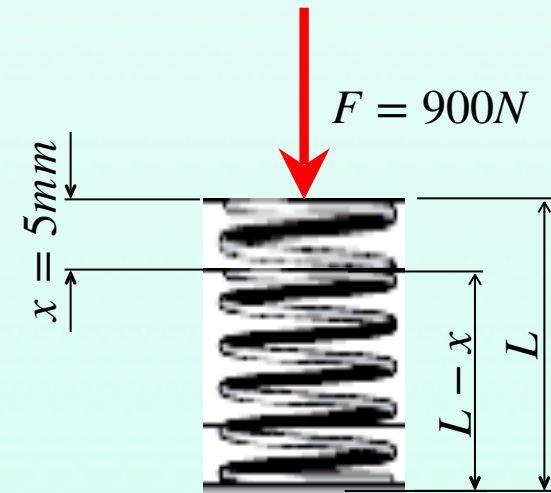
Problema 1

La siguiente pregunta que nos hacemos es:

¿Cómo hacer que los mismos resortes apliquen una carga menor?

La respuesta es simple, hay que ejercer una precarga menor, con un desplazamiento menor. Es decir, si con **5 mm** de desplazamiento el resorte aplicaba una precarga de **900 N**, podemos calcular la constante elástica del resorte. Esto representa que fuerza ejerce el resorte por cada unidad de longitud qué se comprime. O sea:

$$k = \frac{F}{x}$$



Si los resortes del embrague del problema tienen una compresión de 5 mm y ejercen una fuerza de 900 N, la constante elástica del resorte es:

$$k = \frac{900N}{5mm} = 180 \frac{N}{mm}$$

Problema 1

Conociendo la constante elástica del resorte podemos calcular la compresión necesaria para obtener la carga requerida:

Siendo: $F_1 = 700N$

$$k = \frac{F}{x}$$

$$k = 180 \frac{N}{mm}$$

$$x_1 = \frac{F_1}{k} = \frac{700N}{180N/mm} = 3,89mm$$

$$x_1 = 3,89mm$$

Esto significa que los mismos resortes (de $k = 180N/mm$) van a aplicar una carga de 700 N si la compresión es de 3,89 mm.

Es una solución simple para reducir la presión en el material de fricción (en caso de ser necesario). Y además, el embrague sigue siendo apto para transmitir el torque del motor.

Problema 1

Hasta el momento resolvimos las preguntas a, b y c.

a) Verificar el material a la presión admisible (por presión uniforme). En caso de no verificar, sugerir y aplicar modificaciones al diseño.

$$F = 900N$$

$$P_{PU} = 225kPa \quad P_{DU} = 273kPa$$

$$F_1 = 700N$$

$$P_{DU1} = 212kPa \leq P_{adm}$$

b) Calcular el coeficiente de seguridad respecto al deslizamiento de un embrague nuevo. Utilizar la teoría de presión uniforme.

$$n_{PU} = 1,826$$

$$n_{PU1} = 1,42$$

c) ¿Cuál será el coeficiente de seguridad después de un tiempo de funcionamiento? Suponer que no hay cambio en la fuerza ejercida por los resortes.

$$n_{DU} = 1,808$$

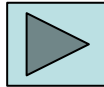
$$n_{DU1} = 1,406$$

Problema 1

Por ultimo debemos calcular cuál es el desgaste mínimo que podrá sufrir el disco antes de empezar a deslizar o patinar. (Se asume que en el embrague nuevo los resortes estan comprimidos 5mm)

Para esto, vamos a utilizar la teoría de **desgaste uniforme** y despejaremos la fuerza necesaria para el torque transmitido:

$$T = \frac{Ff}{4}(D + d)$$



(16-25)

Torque para **un par** de superficies en contacto, para teoría de Desgaste Uniforme. (Shigley – 9th ed.)

$$T_{DU-total} = (2 \cdot q_{discos}) \cdot \left[\frac{(F \cdot q_{res}) \cdot f}{4} \cdot (D + d) \right]$$

Torque para q_{discos}

Y ahora despejamos la fuerza necesaria para el torque transmitido:

$$F = \frac{4 \cdot T_{DU-total}}{2 \cdot q_{discos} \cdot q_{res} \cdot f \cdot (D + d)}$$

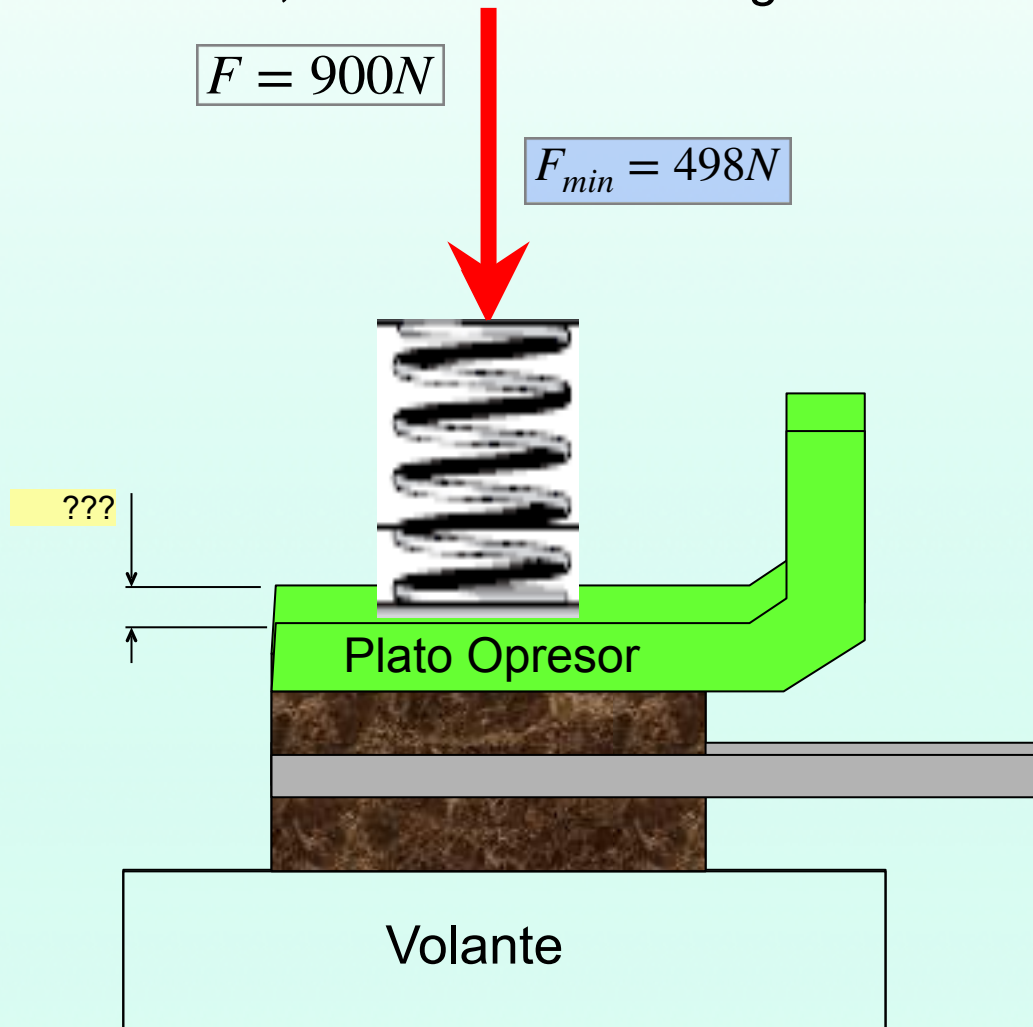
$$F_{min} = \frac{4 \cdot 400Nm}{2 \cdot 1 \cdot 9 \cdot 0,35 \cdot (0,3m + 0,21m)} = 498N$$

$$F_{min} = 498N$$

El valor de la fuerza F_{min} es el mínimo necesario para que el embrague no deslice cuando se aplica un torque de 400 Nm, con un factor de seguridad de 1.

Problema 1

Gráficamente, el efecto seria el siguiente:



El objetivo es encontrar el valor de la compresión del resorte para que pueda aplicar la carga F_{min} .

Sabiendo que la constante elástica del resorte es:

$$k = \frac{F}{x} \quad k = 180 \frac{N}{mm}$$

Despejamos el valor de la compresión x :

$$x_{min} = \frac{F_{min}}{k} = \frac{498N}{180N/mm} = 2,767mm$$

$$x_{min} = 2,767mm$$

Finalmente, el desgaste:

$$x_{desg} = x - x_{min}$$

$$x_{desg} = 5mm - 2,767mm = 2,233mm$$

$$x_{desg} = 2,233mm$$