

Apellidos

Nombre N° de Matrícula

Asignatura

Curso Grupo Plan Fecha

EXÁMEN FINAL ORDINARIO

DEPARTAMENTO: Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial

UNIDAD DOCENTE: Mecánica II

ASIGNATURA: Diseño Mecánico – Grado Universitario en Ingeniería Mecánica

FECHA: 18 de enero de 2018 (CURSO 2017-18)

PROBLEMA 1 (5,5 puntos)

En la Figura 1 se muestra un regulador de zapata de fuerza centrífuga que gira en sentido horario, debiendo actuar cuando se supera una velocidad de 475 r.p.m. La potencia que se desarrolla en la máquina es de 22,372 kW.

En el extremo de la zapata se monta un resorte helicoidal de tracción para facilitar el despegue de la zapata respecto del tambor, cuando deja de actuar el regulador.

El radio interior del tambor es de 300 mm., el radio de posición del centro de gravedad del conjunto es de 275 mm., el radio de posición del apoyo de giro de la zapata es de 275 mm.

El ancho de la zapata es de 25 mm., su masa es de 5,9 Kg. y el coeficiente de fricción entre la zapata y el tambor es 0,3.

Determinar:

- b) (1,0 puntos) Presión máxima de trabajo del material de la zapata.
- c) (1,5 puntos) Fuerza necesaria en el resorte de tracción montado en el extremo de la zapata.
- d) (1,0 puntos) Diámetro de espira del resorte de tracción. El resorte se fabrica precargado con una fuerza de 20 N. y cuando actúa el regulador se produce un alargamiento del resorte de 3 mm. El material del resorte es acero de cuerda de piano de 1,2 mm de diámetro, con un límite a fatiga de cortadura de 550 MPa. El resorte posee 10,8 espiras.
- e) (1,0 puntos) Coeficiente de seguridad para fallo por fatiga en el alambre.
- f) (1,0 puntos) ¿Existe riesgo de resonancia en el resorte de tracción? Justifíquese la respuesta.

Datos:

Módulo de elasticidad transversal del acero $G = 79,3$ GPa.

Densidad del acero = 7850 kg/m³.

Notas aclaratorias:

- 1. El examen comenzará necesariamente en esta hoja.
- 2. El alumno firmará obligatoriamente la última página al final del examen.
- 3. La calificación de cada pregunta es la que aparece junto a cada una.
- 4. La duración total será de 90 minutos.

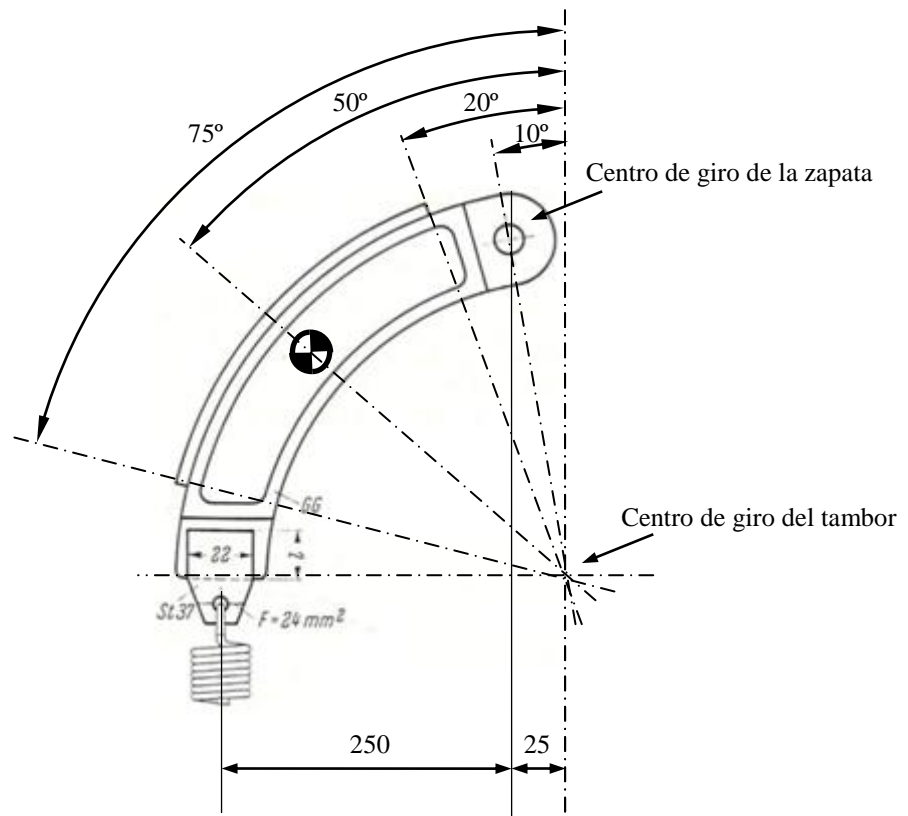


Figura 2.- Problema 2. Las dimensiones están dadas en milímetros y grados hexadecimales.

PROBLEMA 2 (4,5 puntos)

Después de montar un cojinete completo atmosférico, con los datos que aparecen a continuación, se observa un funcionamiento incorrecto en el cojinete que provoca un calentamiento excesivo.

Radio del eje, $r = 19 \text{ mm}$.

Velocidad de giro, $n = 1200 \text{ r.p.m.}$

Carga total radial sobre el cojinete, $W = 2,5 \text{ kN}$.

Relación de aspecto, $L/D = 1$

Relación de holgura, $r/c = 1900$

Temperatura ambiente, $T_o = 35 \text{ }^\circ\text{C}$.

El espesor mínimo de película recomendado por Niemann es $h_{\min} = 7,24 \cdot D^{0,14}$

Datos del lubricante:

SAE 40

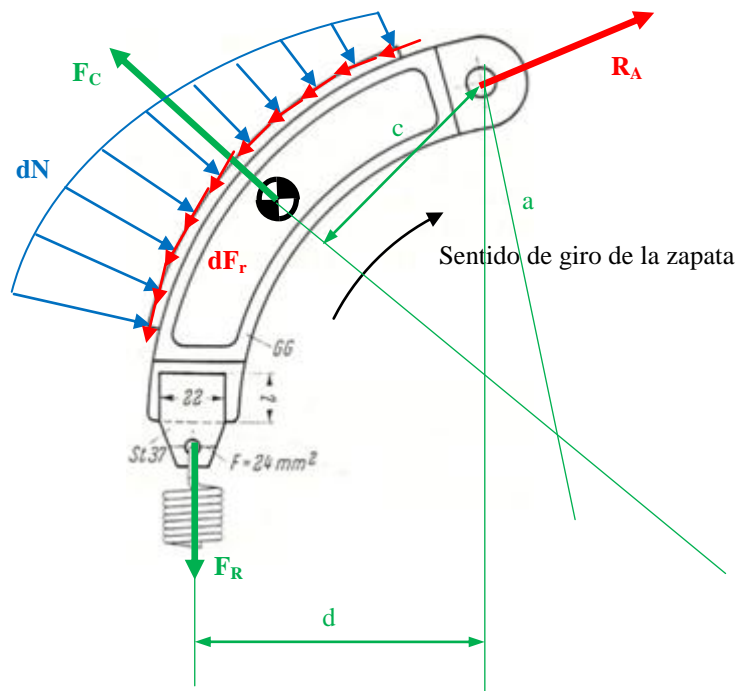
Densidad, $\gamma = 860 \text{ Kg/m}^3$

Capacidad calorífica, $C_H = 0,42 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$.

Determinar:

- (1,5 puntos) ¿Cuál es la causa probable del problema detectado en el cojinete? Justificar la respuesta.
- (3,0 puntos) Proponed una modificación en el diseño del cojinete, relacionada con el problema detectado. Comprobar la solución propuesta calculando todos los parámetros fundamentales de funcionamiento del cojinete.

SOLUCIÓN PROBLEMA 1



a) (1,0 puntos) Presión máxima de trabajo del material de la zapata.

Momento de frenada de cada zapata:

$$M_{FR} = \frac{f \cdot p_{max} \cdot b \cdot r^2}{\text{sen}\theta_{pmax}} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \text{sen}\theta \, d\theta = \frac{f \cdot p_{max} \cdot b \cdot r^2}{\text{sen}\theta_{pmax}} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

Siendo:

$$M_{FR} = \text{Potencia} / \omega = 22372 / (2\pi n/60) = 22372 / (2\pi 475/60) = 22372 / 49,7 = 450 \text{ Nm}$$

$$f = 0,3$$

$$b = 0,025 \text{ m}$$

$$r = 0,3 \text{ m}$$

$$\theta_1 = 10^\circ ; \quad \theta_2 = 65^\circ ; \quad \theta_{pmax} = 65^\circ$$

Sustituyendo valores y resolviendo la expresión anterior resulta:

$$p_{MAX} = 1074733 \text{ Pa}$$

Notas aclaratorias:

1. El examen comenzará necesariamente en esta hoja.
2. El alumno firmará obligatoriamente la última página al final del examen.
3. La calificación de cada pregunta es la que aparece junto a cada una.
4. La duración total será de 90 minutos.

b) (1,5 puntos) Fuerza necesaria en el resorte de tracción montado en el extremo de la zapata.

Para obtener la fuerza necesaria en el resorte de tracción debemos resolver la ecuación de equilibrio de momentos respecto del apoyo de la zapata, de acuerdo con el diagrama de fuerzas representado en el apartado a).

$$F_R \cdot d - F_C \cdot c + M_N + M_{f_r}^A = 0$$

Siendo:

$$c = a \cdot \text{seno}(40^\circ) = 275 \text{ sen}(40) = 0,177 \text{ m.}$$

$$F_C = m \cdot r \cdot \omega^2 = 5,9 \cdot 0,275 \cdot 49,7^2 = 4008 \text{ N.}$$

$$d = 0,25 \text{ m}$$

$$M_{f_r}^A = \frac{f \cdot p_{max} \cdot b \cdot r}{\text{sen}\theta_{pmax}} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \text{sen}\theta (r - a \cos\theta) d\theta = \frac{f \cdot p_{max} \cdot b \cdot r}{\text{sen}\theta_{pmax}} \left(-r \cos\theta + \frac{a}{4} \cos 2\theta \right) \Big|_{\theta_1}^{\theta_2} = 160 \text{ Nm}$$

$$M_N = \frac{p_{max} \cdot b \cdot r \cdot a}{\text{sen}\theta_{pmax}} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \text{sen}^2\theta d\theta = \frac{p_{max} \cdot b \cdot r \cdot a}{\text{sen}\theta_{pmax}} \left(\frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \text{sen} 2\theta \right) \Big|_{\theta_1}^{\theta_2} = 915 \text{ Nm}$$

Resolviendo la expresión anterior resulta:

$$\mathbf{F_R = -1462 \text{ N}}$$

El signo negativo indica una fuerza de compresión en el resorte, lo cual no es compatible con un resorte de tracción. Por tanto, se debería modificar algún parámetro de diseño de la zapata centrífuga hasta conseguir una fuerza de signo positivo en el resorte de tracción.

c) (1,0 puntos) Diámetro de espira del resorte de tracción. El resorte se fabrica precargado con una fuerza de 20 N. y cuando actúa el regulador se produce un alargamiento del resorte de 3 mm. El material del resorte es acero de cuerda de piano de 1,2 mm de diámetro, con un límite a fatiga de cortadura de 550 MPa. El resorte posee 10,8 espiras.

El resultado del apartado b), con signo negativo no nos sirve para diseñar el resorte de tracción.

Con las expresiones de tensión máxima y flecha de un resorte helicoidal, y con la información que tenemos haremos la hipótesis de que la fuerza máxima admisible en el resorte de tracción se alcanza en el punto de deformación máxima:

$$\tau_{max} = \frac{8P_{max}D}{\pi d^3} K_W = \tau_{adm} = 550 \text{ MPa} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$K_W = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0,615}{C} \quad ; \quad C = D/d \quad \text{Ec. (2)}$$

$$f = \frac{8(P_{max}-P_p)D^3n}{Gd^4} = 3 \text{ mm} \quad \text{Ec. (3)}$$

Siento P_p la precarga del resorte de tracción.

Dado que es difícil resolver directamente este sistema de ecuaciones, podemos hacer una tabla:

D	C = D/d	Kw	Pmax (N)	f (mm)
4	3,33	1,51	62,0	1,4
6	5,00	1,31	47,5	3,1
5,9	4,92	1,32	48,0	3,0

Por tanto, tomaremos D = 5,9 mm, que corresponde con una Pmax de 48 N.

Apellidos

Nombre Nº de Matrícula

Asignatura

Curso Grupo Plan Fecha

d) (1,0 puntos) Coeficiente de seguridad para fallo por fatiga en el alambre.

$$\tau_{max} = \frac{8PD}{\pi d^3} K_W = \frac{8 \cdot 48 \cdot 5,9}{\pi \cdot 1,2^3} 1,32 = 550 \text{ MPa}$$

$$Cs = \tau_{adm} / \tau_{max} = 550 / 550 = 1.0$$

Resultado que resulta obvio, de acuerdo con el apartado anterior

e) (1,0 puntos) ¿Existe riesgo de resonancia en el resorte de tracción? Justifíquese la respuesta.

Resonancia de resortes:

$$f_n = \frac{k}{2} \sqrt{\frac{K}{m}} \text{ (Hz)} \quad , k = 1, 2, 3, \dots ;$$

$$m = A L \rho = \left(\frac{\pi d^2}{4}\right) (\pi D n) \rho = \left(\frac{\pi \cdot 1,2^2}{4}\right) (\pi \cdot 5,9 \cdot 10,8) 7850 \cdot 10^{-9} = 0,00178 \text{ Kg}$$

$$K = \Delta P / \Delta f = (48 - 20) / 3 = 28 / 3 = 9,33 \text{ N/mm}$$

La frecuencia fundamental, para k=1, resulta:

$$f_n = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{9333}{0,00178}} = 2289 \text{ (Hz)} \quad , k = 1, 2, 3, \dots ;$$

Dado que la zapata gira como máximo a 475 rpm \Leftrightarrow 7,9 Hz, no existe riesgo de que se produzca resonancia en el resorte como consecuencia del giro de la zapata.

Notas aclaratorias:

1. El examen comenzará necesariamente en esta hoja.
2. El alumno firmará obligatoriamente la última página al final del examen.
3. La calificación de cada pregunta es la que aparece junto a cada una.
4. La duración total será de 90 minutos.

SOLUCIÓN PROBLEMA 2

Datos:

D (gorrón): 38 mm

L/D = 1

n: 1200 r.p.m.

W: 2500 N

Aceite SAE-40

γ : 860 Kg/m³

C_H: 0,42 Kcal/Kg°C

T_o: 35 °C

1. (1,5 puntos) ¿Cuál es la causa probable del problema detectado en el cojinete? Justificar la respuesta.

El espesor mínimo de película recomendado por Niemann es $h_{\min} = 7,24 \cdot D^{0,14} = 12 \mu\text{m}$

Si calculamos la holgura radial de nuestro cojinete:

$r/c = 1900$

$c = r / 1900 = 19 / 1900 = 0,010 \text{ mm} < h_{\min} = 0,012 \text{ mm}$

Por tanto, el problema más evidente de nuestro cojinete consiste en que la holgura radial es muy pequeña, menor que el espesor mínimo de película recomendado. Por tanto, hay mucha probabilidad de que se produzcan contactos sólido-sólido entre la superficie del eje y del cojinete. Esto provoca una gran fricción entre las superficies que se traduce en un elevado desgaste y elevación de la temperatura.

2. (3,0 puntos) Proponed una modificación en el diseño del cojinete, relacionada con el problema detectado. Comprobar la solución propuesta calculando los parámetros fundamentales de funcionamiento del cojinete.

A la vista de los resultados anteriores, la solución más lógica es aumentar el huelgo radial para permitir que aumente el espesor mínimo de película.

Redondeamos $r/c = 800$, con lo cual $c = 24 \mu\text{m}$ aproximadamente el doble de h_{\min} .

$$S = \left(\frac{r}{c}\right)^2 \frac{\mu \cdot n}{p}$$

$n = 1200 / 60 = 20 \text{ r.p.s.}$

$$p = \frac{W}{2rl} = \frac{2500}{2 \cdot 19 \cdot 19} = 1,731302 \text{ MPa}$$

A continuación calcularemos los parámetros fundamentales de funcionamiento del cojinete.

Apellidos

Nombre N° de Matrícula

Asignatura

Curso Grupo Plan Fecha

Iteración 1

Suponemos $\mu = 0,0085 \text{ Pa.s}$ para SAE-40 a una $T_{med} \approx 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Número de Sommerfeld : $S = 0,063$

$f r / c = 2$

$Q / nrLc = 4,55$

$Q_s / Q = 0,81$

Evaluamos la temperatura media del lubricante, considerando cojinete atmosférico completo.

$$T_{med} = T_0 + \frac{4\pi p}{C_H \gamma J} \frac{f \left(\frac{r}{c} \right)}{\left(\frac{Q}{nrLc} \right) \left(\frac{Q_s}{Q} \right)}$$

$T_{med} = 42,8 \text{ }^\circ\text{C}$

Iteración 2

Suponemos $\mu = 0,036 \text{ Pa.s}$ para SAE-40 a una $T_{med} \approx 60 \text{ }^\circ\text{C}$

Número de Sommerfeld : $S = 0,266$

$f r / c = 6$

$Q / nrLc = 3,95$

$Q_s / Q = 0,48$ $T_{med} = 80,6 \text{ }^\circ\text{C}$

Interpolando en la gráfica de viscosidad en función de la temperatura para SAE-40, entre los puntos de cálculo de las iteraciones 1 y 2, se obtiene:

$\mu = 0,023 \text{ Pa.s}$ $T_{med} \approx 70 \text{ }^\circ\text{C}$

Iteración 3

Suponemos $\mu = 0,023 \text{ Pa.s}$ para SAE-40 a una $T_{med} \approx 70 \text{ }^\circ\text{C}$

Número de Sommerfeld : $S = 0,17$

$f r / c = 4,2$

$Q / nrLc = 4,17$

$Q_s / Q = 0,6$ $T_{med} = 59,2 \text{ }^\circ\text{C}$

Interpolando en la gráfica de viscosidad en función de la temperatura para SAE-40, entre los puntos de cálculo de las iteraciones 2 y 3, se obtiene:

$\mu = 0,026 \text{ Pa.s}$ $T_{med} \approx 65 \text{ }^\circ\text{C}$

Iteración 4

$S = 0,192$

$f r / c = 4,6$

$Q / nrLc = 4,1$

$Q_s / Q = 0,58$

$T_{med} = 62,9 \text{ }^\circ\text{C}$ Que podemos dar por aceptable.

Notas aclaratorias:

1. El examen comenzará necesariamente en esta hoja.
2. El alumno firmará obligatoriamente la última página al final del examen.
3. La calificación de cada pregunta es la que aparece junto a cada una.
4. La duración total será de 90 minutos.

Con los resultados de la iteración 4 haremos la comprobación de otros parámetros fundamentales de funcionamiento

$$c = 0,024 \text{ mm}$$

$$h_o/c = 0,51;$$

$h_o = 0.51 * c = 0,0122 \text{ mm.}$ que podemos dar por aceptable según el criterio de Niemann

$$f r / c = 4,6 \quad ; \quad f = 5,5 c / r = 0,00575$$

$$Q / nrLc = 4,1 \quad ; \quad Q = 4,1 * nrLc = 1406 \text{ mm}^3/\text{s}$$

$$Q_s / Q = 0,58 \quad ; \quad Q_s = 0,58 Q = 816 \text{ mm}^3/\text{s}$$