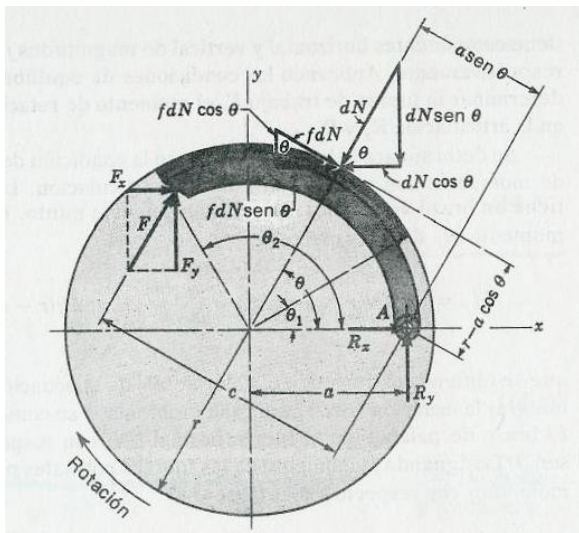
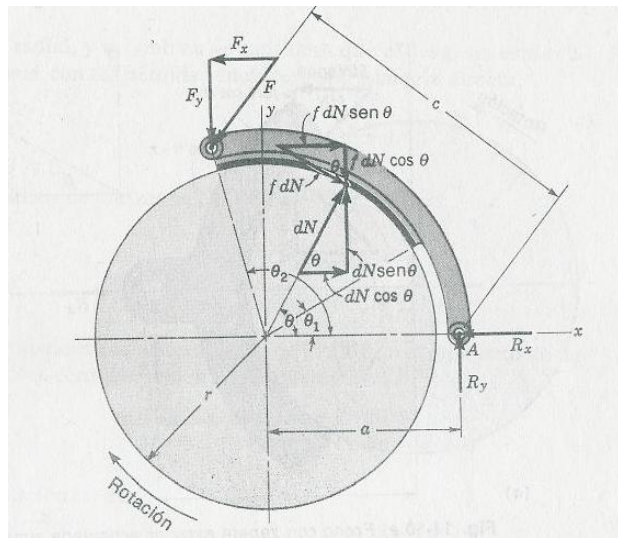


### FRENO DE ZAPATA



Zapata interna



Zapata externa

Equilibrio de pares respecto de la articulación A

En la zapata interna:  $F \cdot c - M_N + M_{fr}^A = 0$

En la zapata externa:  $-F \cdot c + M_N + M_{fr}^A = 0$

Tanto para la zapata interna, como externa:

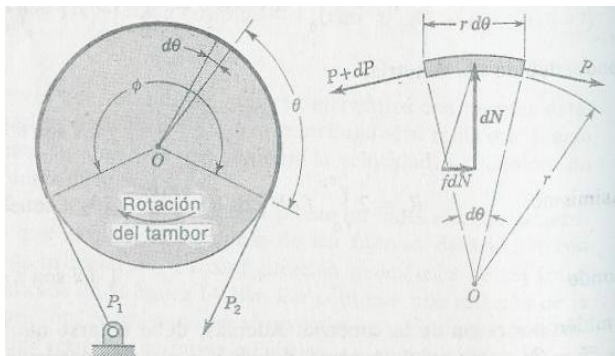
$$M_{fr}^A = \frac{f \cdot p_{max} \cdot b \cdot r}{\sin \theta_{pmax}} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta (r - a \cos \theta) d\theta = \frac{f \cdot p_{max} \cdot b \cdot r}{\sin \theta_{pmax}} \left( -r \cos \theta + \frac{a}{4} \cos 2\theta \right) \Big|_{\theta_1}^{\theta_2}$$

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

Momento de frenada, tanto para la zapata interna, como externa:

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

### FRENO DE CINTA



$$\frac{P_1}{P_2} = e^{f\theta}$$

$$M_{FR} = (P_1 - P_2)R$$

$$p_{max} = \frac{P_1}{b \cdot R}$$

### EMBRAGUE DE DISCO CÓNICO

Embrague nuevo

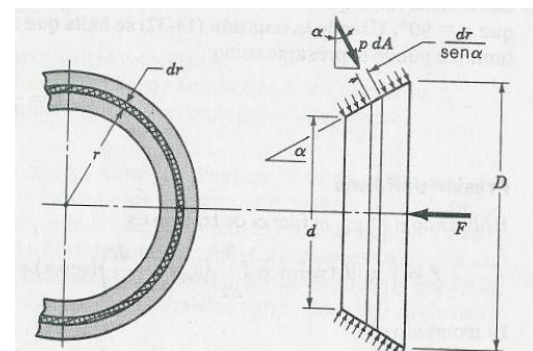
$$F = \pi \cdot p_{max} (R_e^2 - R_i^2)$$

$$M_{FR} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot p_{max}}{3 \cdot \sin \alpha} (R_e^3 - R_i^3)$$

Embrague usado

$$F = 2 \cdot \pi \cdot p_{max} \cdot R_i (R_e - R_i)$$

$$M_{FR} = \frac{\pi \cdot f \cdot p_{max} \cdot R_i}{\sin \alpha} (R_e^2 - R_i^2)$$



Para freno de disco plano con pastilla de sector circular

Freno nuevo  $F = \frac{p_{max}}{2} (R_e^2 - R_i^2) \theta$

$$M_{FR} = \frac{f \cdot p_{max}}{3} (R_e^3 - R_i^3) \theta$$

Freno usado  $F = p_{max} \cdot R_i (R_e - R_i) \theta$

$$M_{FR} = \frac{f \cdot p_{max} \cdot R_i}{2} (R_e^2 - R_i^2) \theta$$

## Formulario de resortes

### Resorte helicoidal de pequeño paso:

$$\tau_{max} = \frac{8PD}{\pi d^3} K_W; \quad K_W = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$$

P, fuerza axial aplicada al resorte; D, Diámetro de espira; d, diámetro del alambre; K, constante de Wahl; C=D/d, Índice del resorte.

$$f = \frac{8PD^3n}{Gd^4} \quad G, \text{ Módulo de elasticidad transversal; } n, \text{ número de espiras activas.}$$

### Resorte helicoidal de gran paso:

$$\tau_{max} = \frac{8PD}{\pi d^3} K_W; \quad \sigma_{1,2} = \frac{8PD}{\pi d^3} K(\sin \alpha - 1)$$

$$f = \frac{8PD^3n}{d^4 \cos \alpha} \Psi; \quad \Psi = \frac{\cos^2 \alpha}{G} + \frac{\sin^2 \alpha}{E} \quad \alpha, \text{ ángulo de hélice; } E, \text{ Módulo de Young.}$$

### Resonancia de resortes:

$$f_n = \frac{k}{2} \sqrt{\frac{K}{m}} \text{ (Hz)} \quad , k = 1, 2, 3, \dots; \quad K = \frac{Gd^4}{8D^3n} \quad , \text{ Rigidez elástica, } n = n^{\circ} \text{ de espiras activas;}$$

m = ALp, A = área de sección del alambre, L = longitud del alambre, p = densidad del material del alambre

### Pandeo de resortes sometidos a compresión:

$$P_{crit} = K_L K L_f$$

$K_L$ , coeficiente;

K, rigidez elástica;

$L_f$ , longitud libre del resorte, sometida a pandeo

Extremos articulados		Extremos empotrados	
$L_f/D$	$K_L$	$L_f/D$	$K_L$
1	0,72	1	0,72
2	0,63	2	0,71
3	0,38	3	0,68
4	0,20	4	0,63
5	0,11	5	0,53
6	0,07	6	0,38
7	0,05	7	0,26
8	0,04	8	0,19

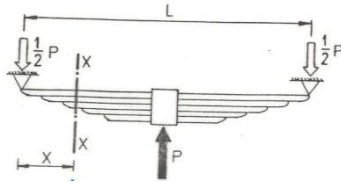
### Resorte cónico-helicoidal:

$$\tau_{max} = \frac{8PD_{max}}{\pi d^3} K_W; \quad K_W = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$$

P, fuerza axial aplicada al resorte;  $D_{max}$ , Diámetro de espira máximo; d, diámetro del alambre; K, constante de Wahl.

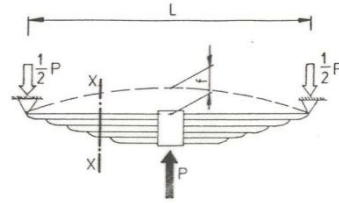
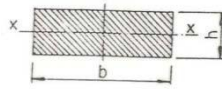
$$f = \frac{16Pn}{Gd^4} (R_{max} + R_{min})(R_{max}^2 + R_{min}^2)$$

### Ballesta:



$$n_x = 2n_0 \frac{x}{L}$$

$$n_0 \geq \frac{3PL}{2bh^2 \sigma_{adm}}$$



$$f = \frac{PL^3}{32EI n_0}$$

E, Módulo de Young

$I = bh^3/12$

### Resorte espiral (de torsión):

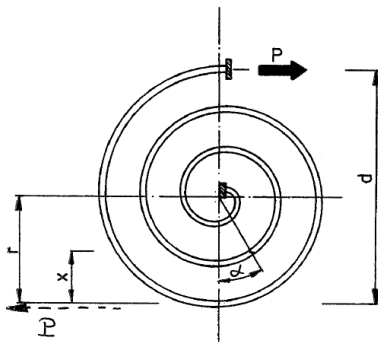
$$\sigma_{max} = \frac{M_f}{W_f} K_W;$$

$$K_W = \frac{C(4C \pm 1) - 1}{4C(C \pm 1)} \quad \text{"+" enrollando; "-" abriendo}$$

C=D/d, Índice del resorte

$$\alpha = \frac{PL}{2EI_x} d$$

"L", longitud del alambre



COJINETES HIDRODINÁMICOS

Nº de Sommerfeld

$r$ , radio del gorrón

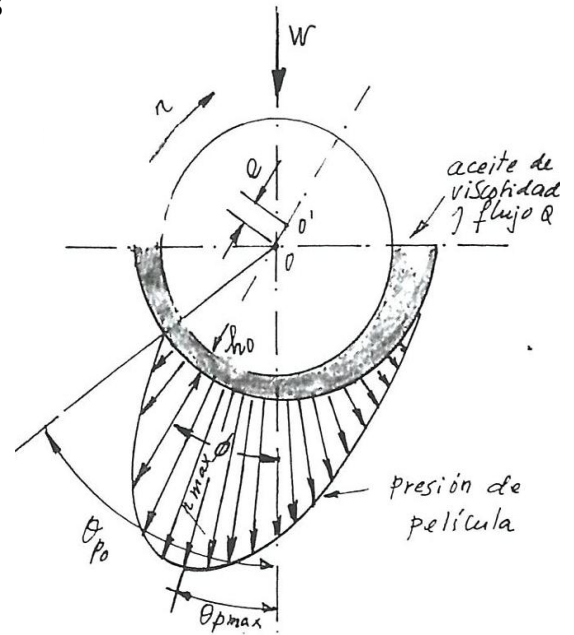
$c$ , huelgo radial medio

$\mu$ , viscosidad absoluta

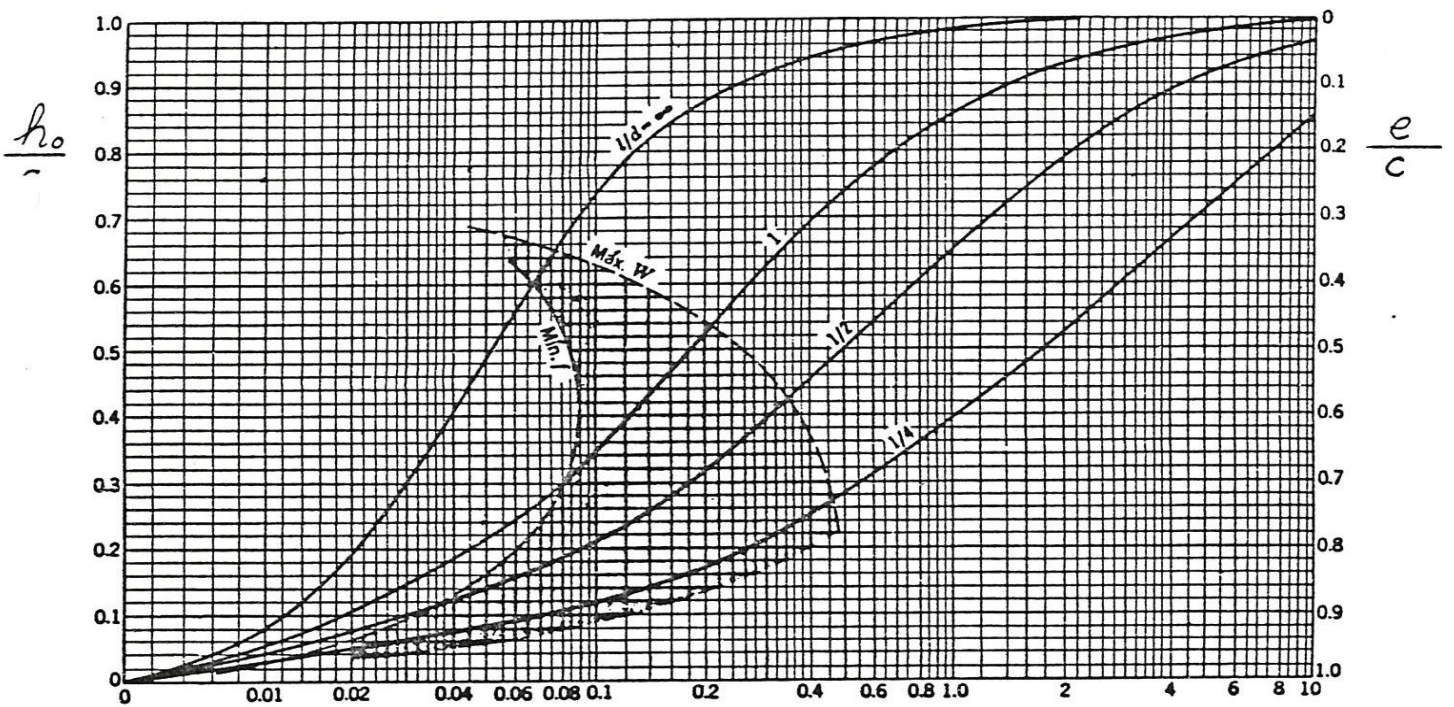
$n$ , velocidad de giro (rps)

$p$ , presión media por unidad de área proyectada

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

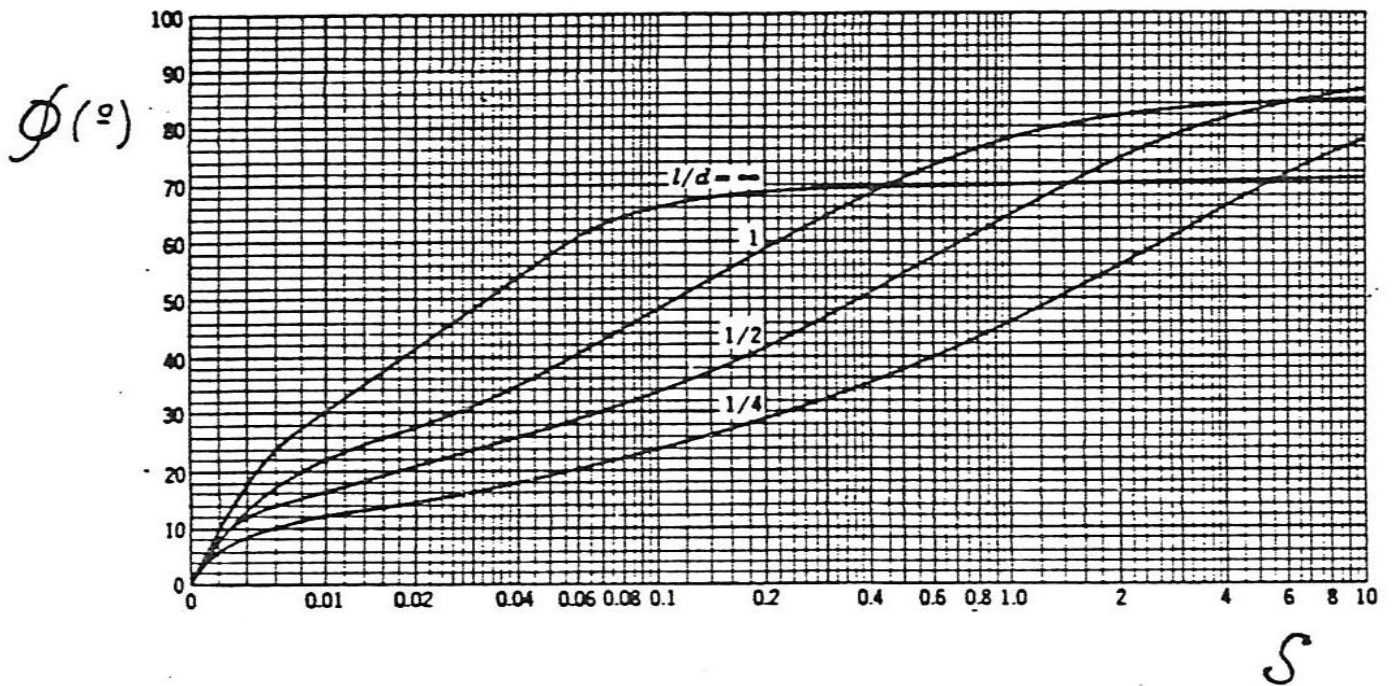


VARIABLE ADIMENSIONAL DE ESPESOR MINIMO DE PELICULA  $\left( \frac{h_0}{c} \right)$   
Y EXCENTRICIDAD  $\left( \varepsilon = \frac{e}{c} \right)$

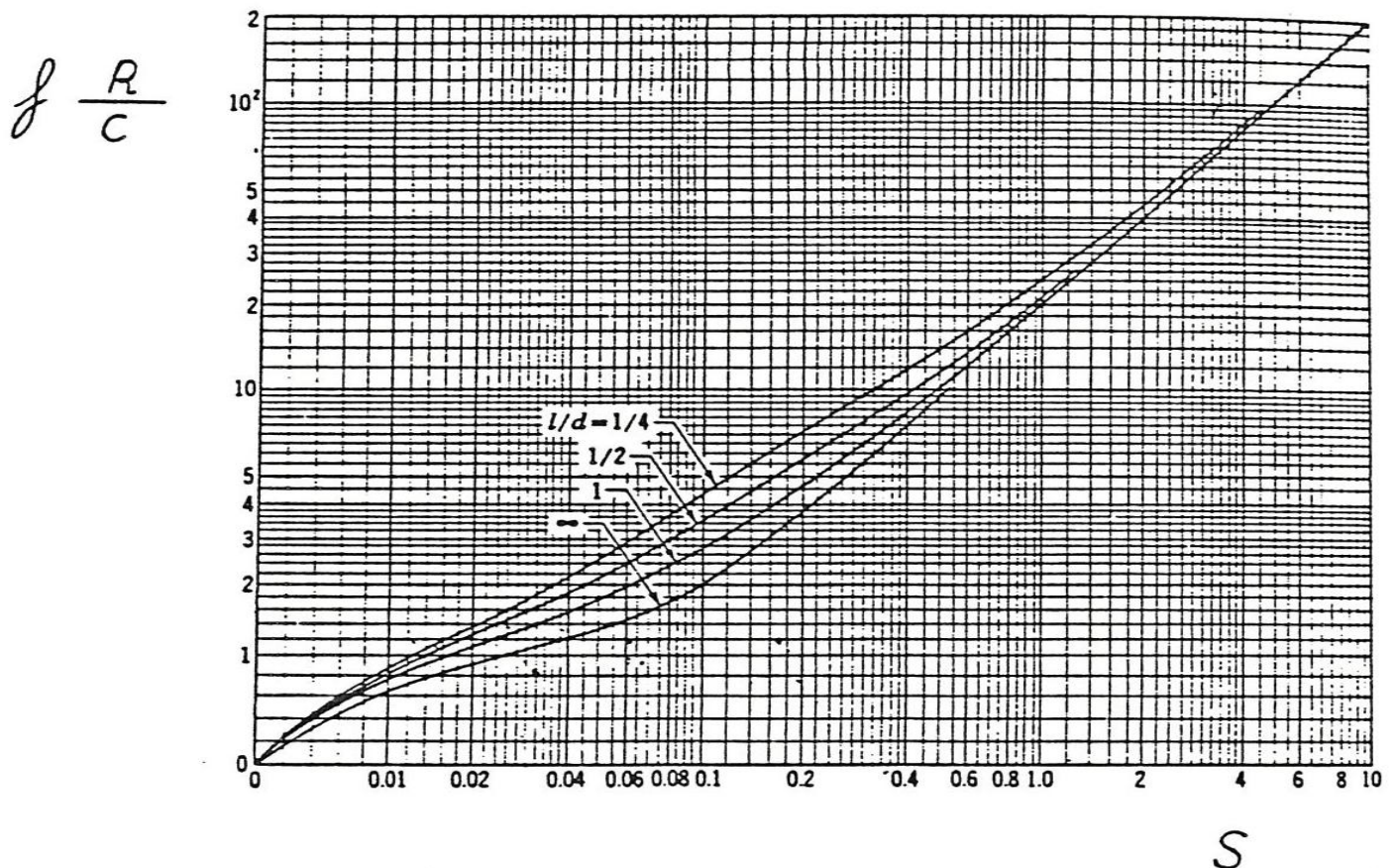




# POSICION DEL ESPESOR MINIMO DE PELICULA ( $\phi$ )



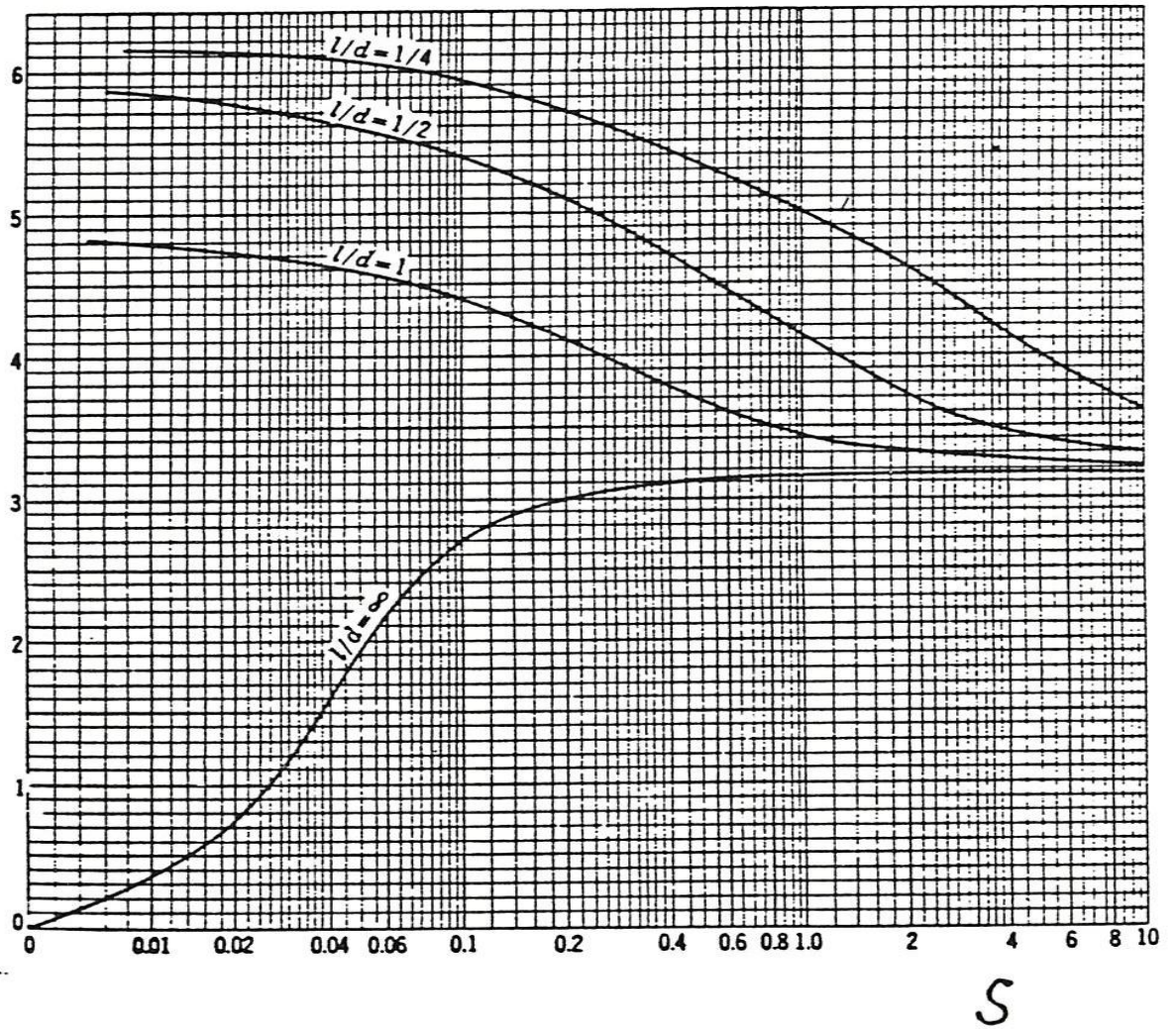
# VARIABLE ADIMENSIONAL DEL COEFICIENTE DE FRICCION ( $f \frac{R}{C}$ )





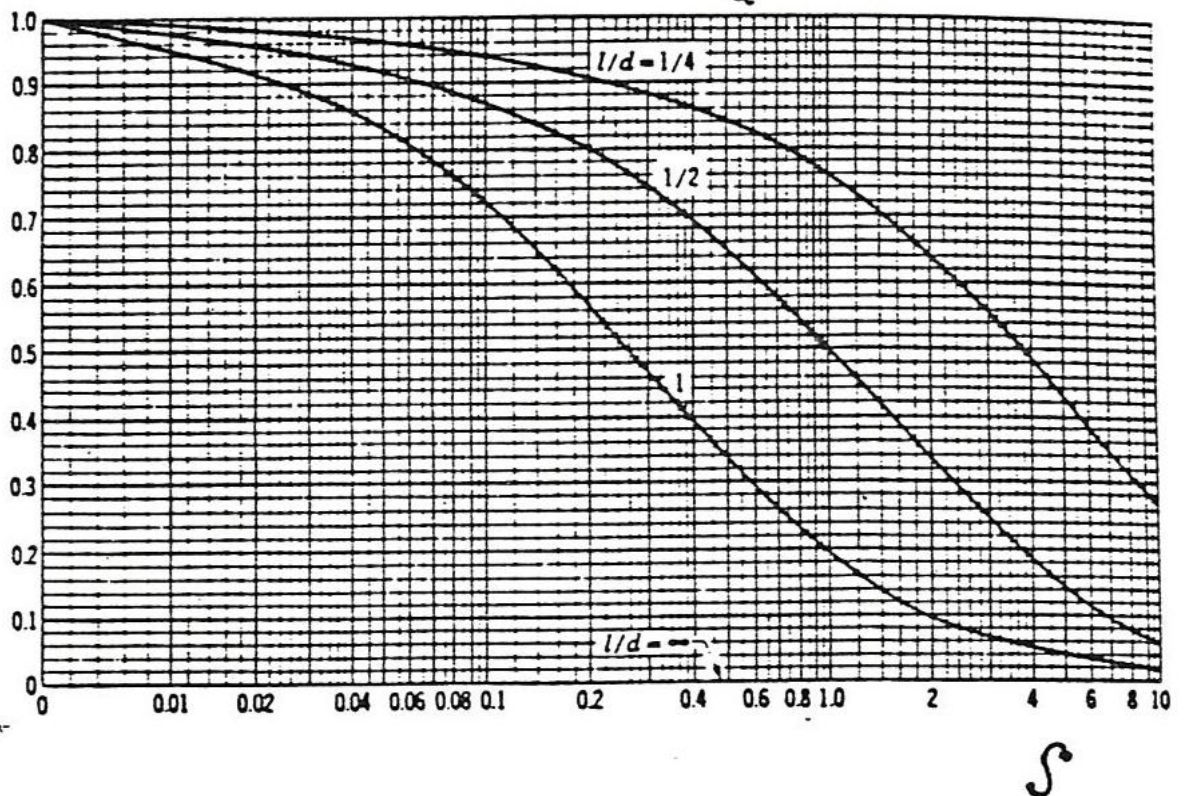
VARIABLE ADIMENSIONAL DEL CAUDAL ( $\frac{Q}{NRLC}$ )

$$\frac{Q}{NRLC}$$

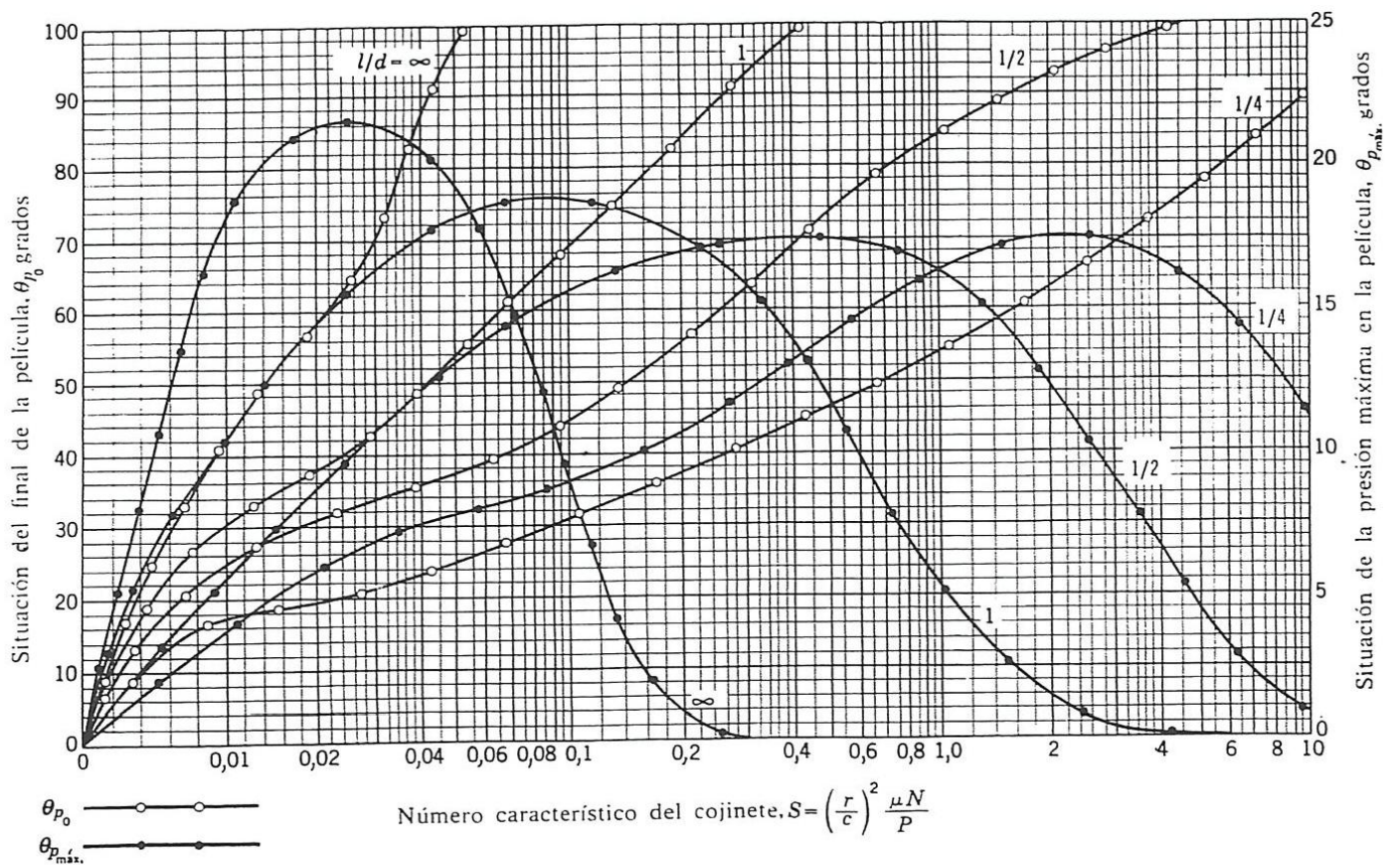
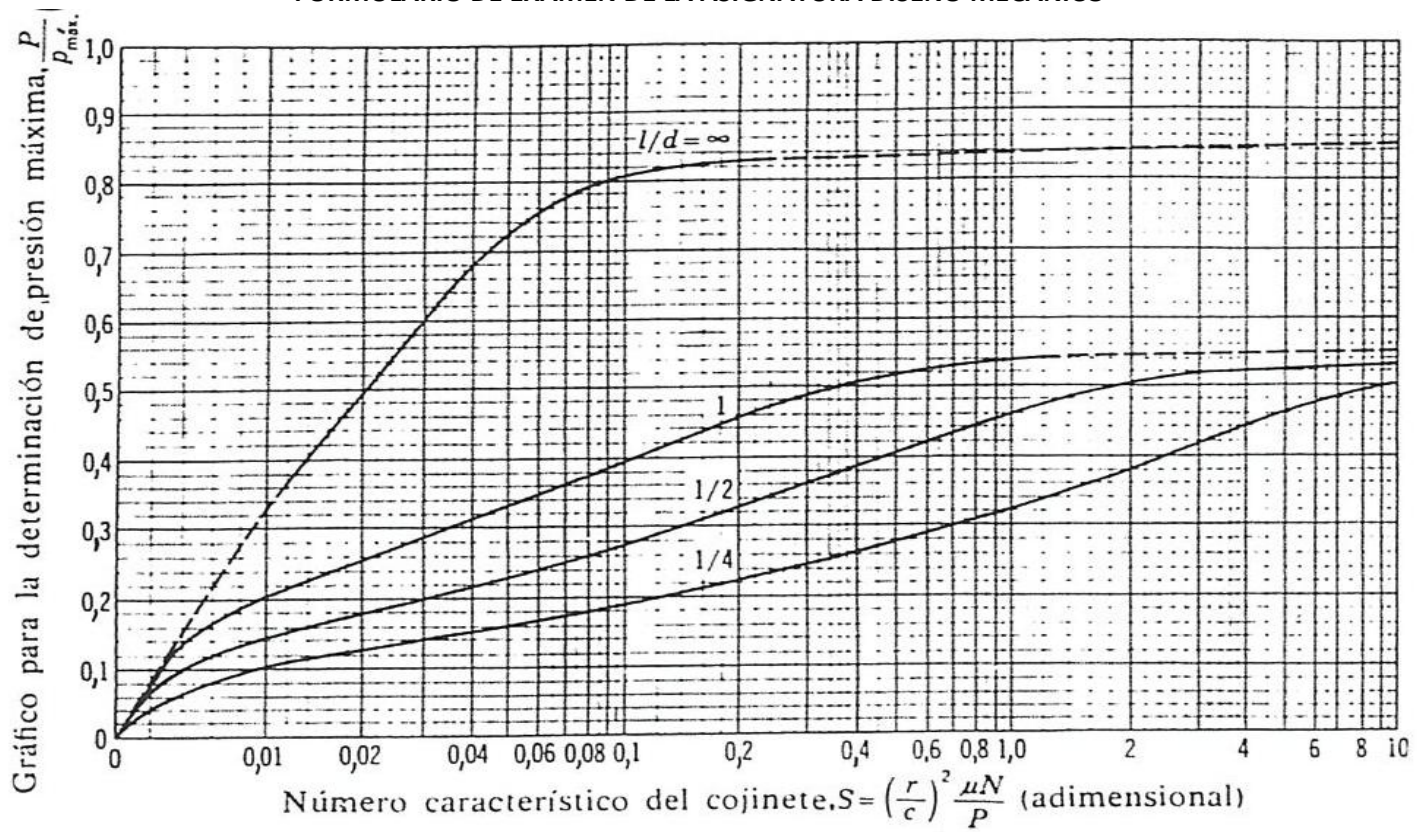


RAZON DE CAUDALES ( $\frac{Q_s}{Q}$ )

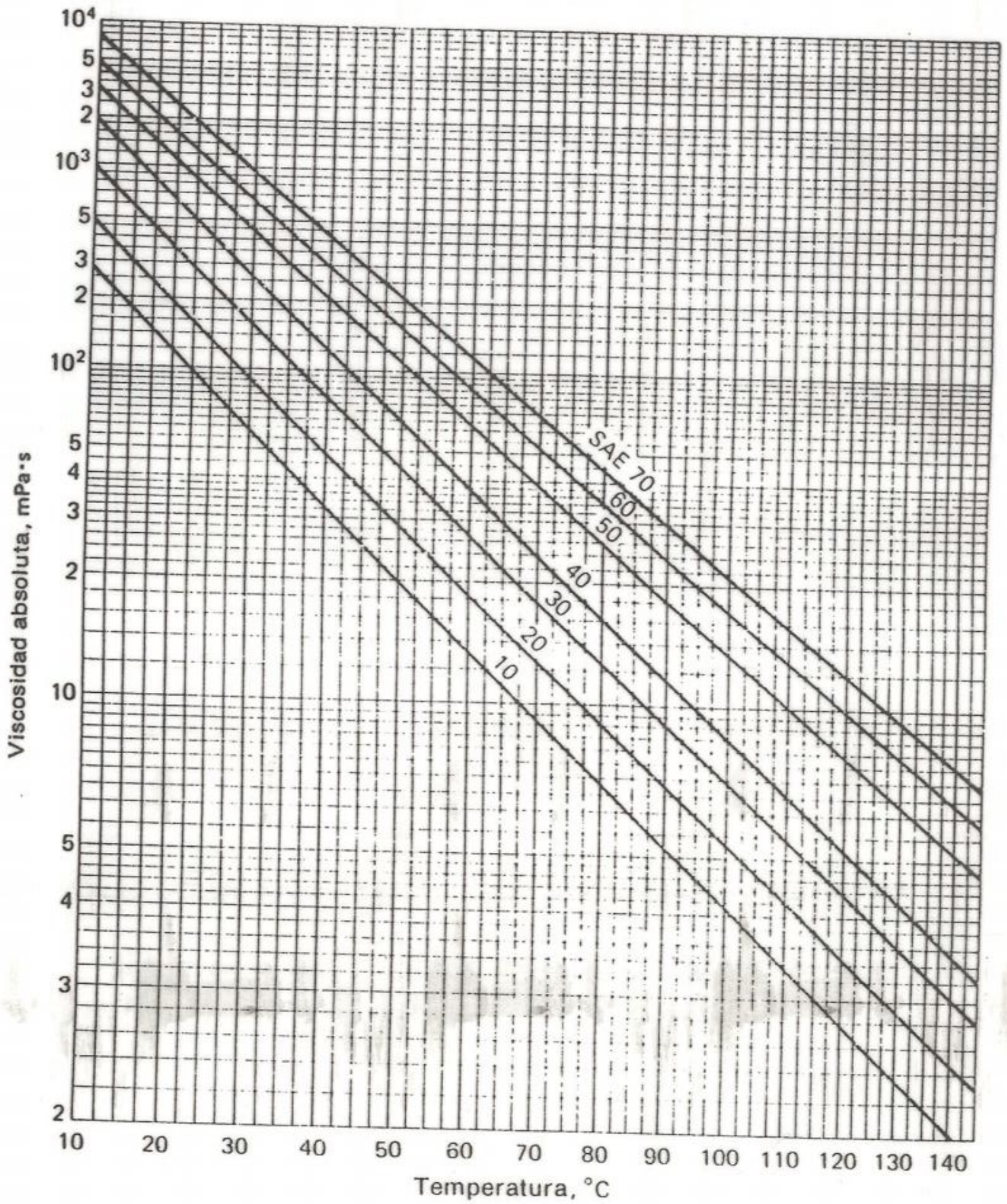
$$\frac{Q_s}{Q}$$











## Cojinete atmosférico parcial

Calor generado en el cojinete

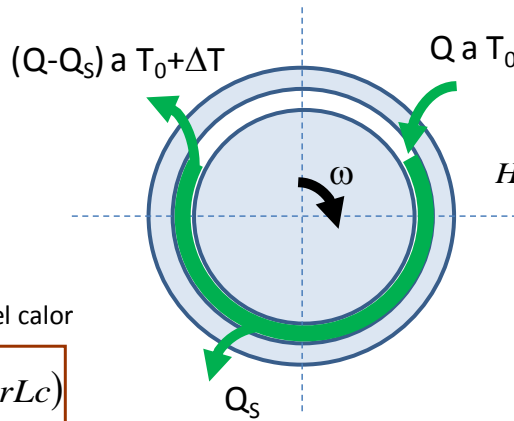
$$H = \frac{2\pi T n}{J}$$

T, par de rozamiento  $T = f P r = f (p 2rL) r$

n, en r.p.s.

J= 4,18 Jul/cal, equivalente mecánico del calor

$$H = \frac{2\pi T n}{J} = \frac{4\pi p}{J} \cdot f \left( \frac{r}{c} \right) \cdot (nrLc)$$



Calor evacuado por el lubricante

$$H = C_H \gamma \Delta T (Q - Q_S) + C_H \gamma \frac{\Delta T}{2} Q_S$$

$$H = C_H \gamma \Delta T Q \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{Q_S}{Q} \right)$$

$$\Delta T = \frac{4\pi p}{C_H \gamma J} \frac{f \left( \frac{r}{c} \right)}{\left( \frac{Q}{nrLc} \right) \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{Q_S}{Q} \right)}$$

$$T_{med} = T_0 + \frac{\Delta T}{2} = T_0 + \frac{2\pi p}{C_H \gamma J} \frac{f \left( \frac{r}{c} \right)}{\left( \frac{Q}{nrLc} \right) \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{Q_S}{Q} \right)}$$

## Cojinete atmosférico completo

Calor generado en el cojinete

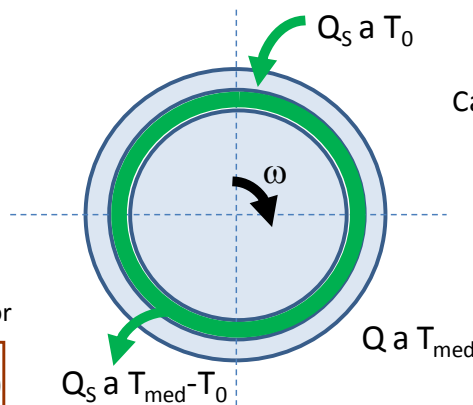
$$H = \frac{2\pi T n}{J}$$

T, par de rozamiento  $T = f P r = f (p 2rL) r$

n, en r.p.s.

J= 4,18 Jul/cal, equivalente mecánico del calor

$$H = \frac{2\pi T n}{J} = \frac{4\pi p}{J} \cdot f \left( \frac{r}{c} \right) \cdot (nrLc)$$



Calor evacuado por el lubricante

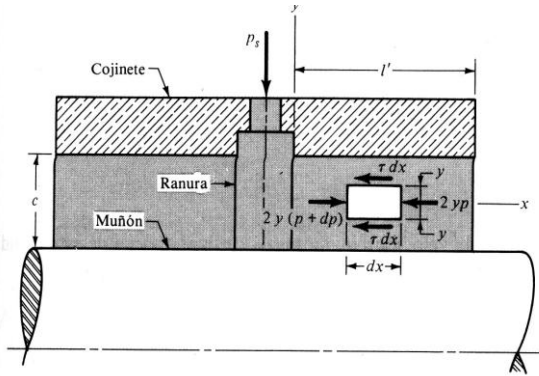
$$H = C_H \gamma (T_{med} - T_0) Q_S$$

$$C_H \gamma (T_{med} - T_0) Q_S = \frac{4\pi p}{J} \cdot f \left( \frac{r}{c} \right) \cdot (nrLc)$$

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



COJINETES RADIALES A PRESIÓN



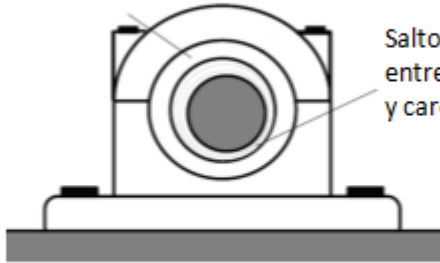
$$Q_s = (1 + 1,5\varepsilon^2) \frac{\pi \cdot p_s \cdot c^3 \cdot r}{3 \cdot \mu \cdot L'}$$

$$T_{med} = T_0 + \frac{3}{4C_H \mathcal{J}} \frac{1}{(1 + 1,5\varepsilon^2)} \frac{f\left(\frac{r}{c}\right) \cdot S \cdot P^2}{p_s \cdot r^4}$$

P = carga total sobre el cojinete

## Cojinete autolubricado por anillo

Salto térmico entre carcasa y ambiente



Salto térmico  
entre lubricante  
y carcasa

$T_L$ , Temperatura del lubricante

$T_H$ , Temperatura exterior de la carcasa

$T_A$ , Temperatura ambiente

$$T_L - T_A = \frac{H}{CA} (1 + n)$$

C, coeficiente global de transmisión de calor

Aire tranquilo,  $C = 10 \text{ Kcal/hm}^2\text{°C}$

Aire en movimiento,  $C = 30 \text{ Kcal/hm}^2\text{°C}$

A, área de transmisión de calor

$A \approx 25 \cdot L \cdot d$

L, longitud de cojinete

d, diámetro del cojinete

$n = 1 - 2$ , N° que depende de la velocidad de giro.