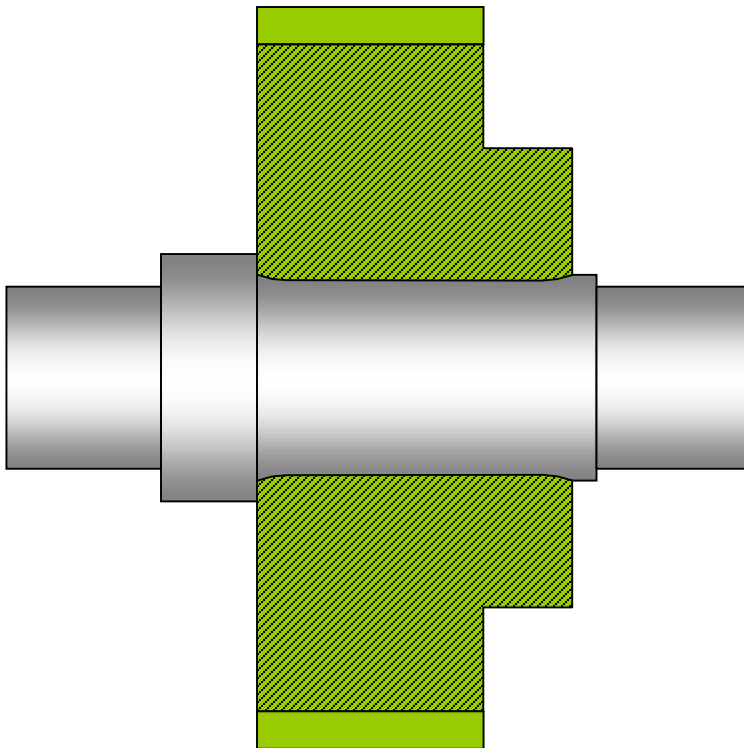


# Cap. 10 Ajustes y Tolerancias

- ◆ Introducción
- ◆ Tolerancias
- ◆ Ajustes
- ◆ Normas ISO para ajustes y tolerancias
- ◆ Esfuerzos en ajustes de interferencia con cilindros huecos

# Esfuerzos en ajustes de interferencia - INTRODUCCIÓN

Ejemplo: montaje de un engranaje en un árbol



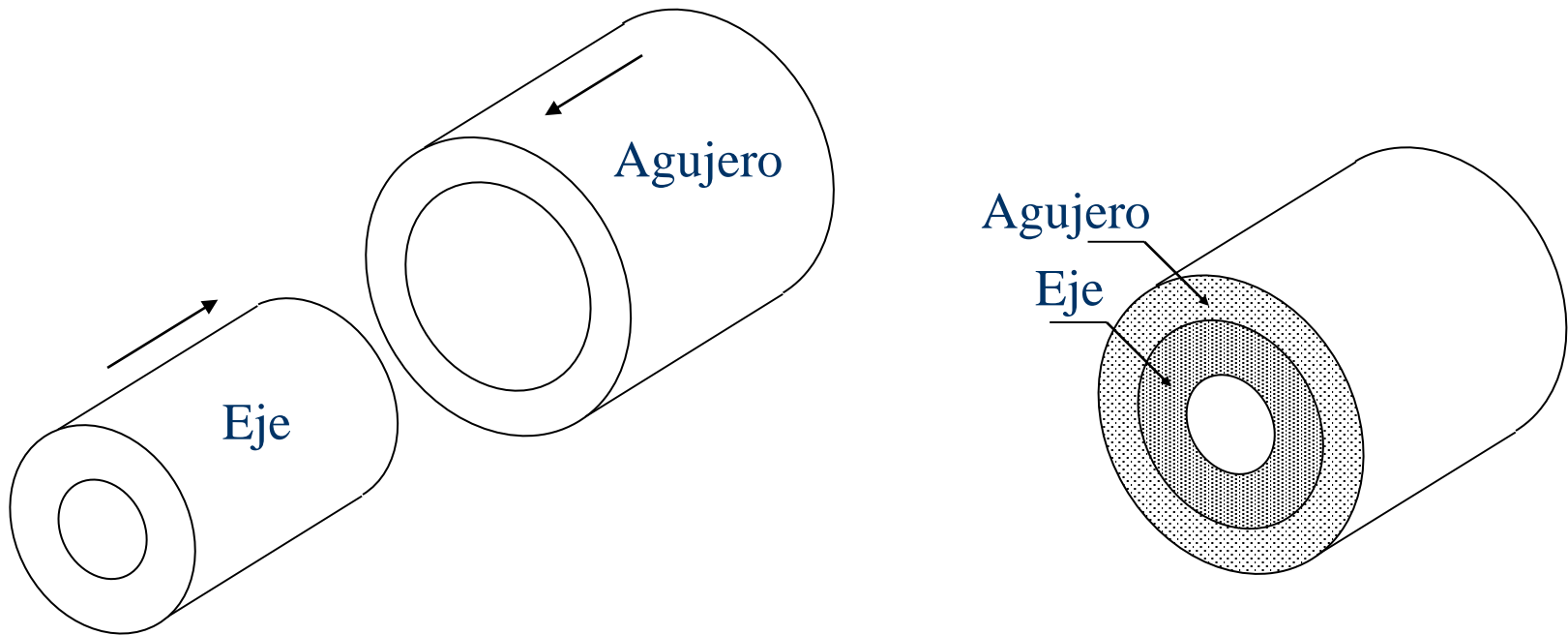
Debido al aprieto  
(diferencia de medidas)  
se producen

Deformaciones

Esfuerzos

# Esfuerzos en ajustes de interferencia - INTRODUCCIÓN

Consideraremos el ajuste entre dos cilindros huecos, acoplados en toda su longitud



# Esfuerzos en ajustes de interferencia – DISTRIBUCIONES Y ESTADOS DE ESFUERZO

## Consideremos el agujero

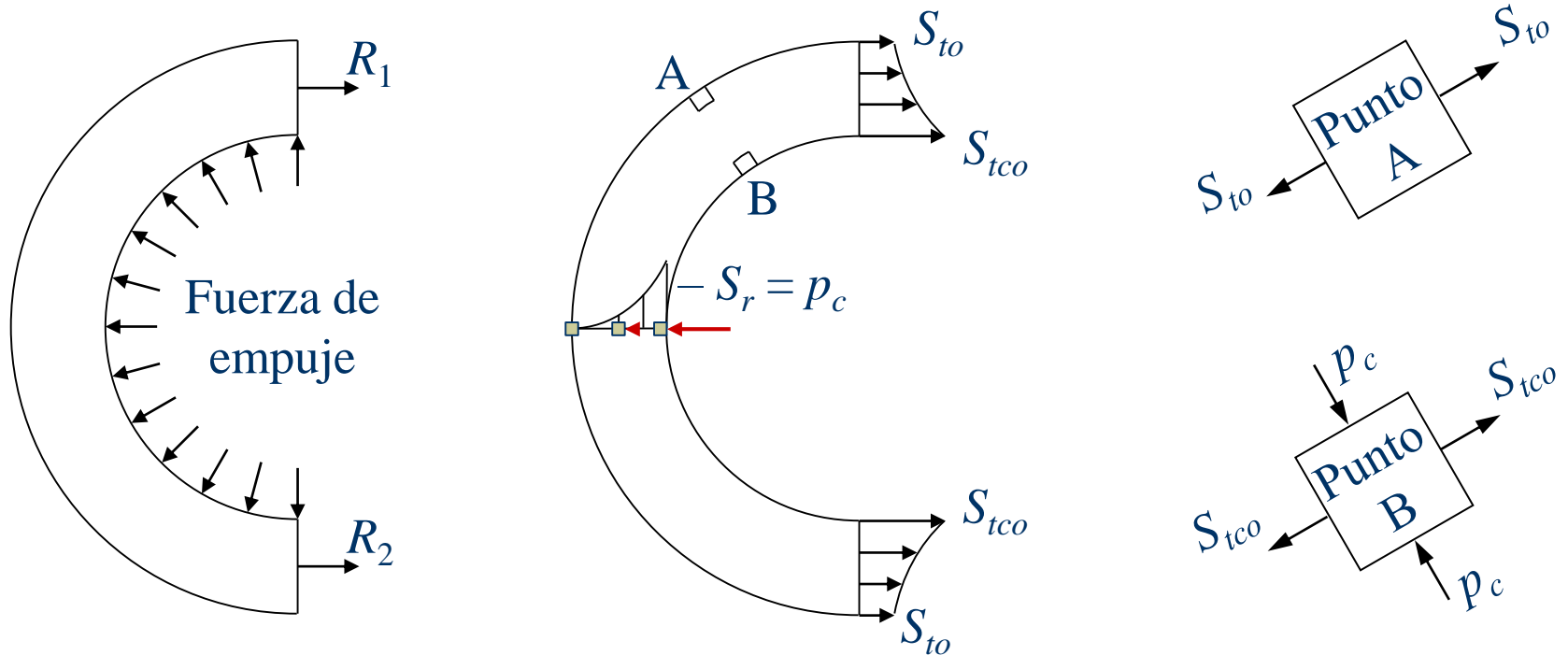


Diagrama de cuerpo libre  
del agujero

Distribuciones de  
esfuerzos

Estados de  
esfuerzo

# Esfuerzos en ajustes de interferencia – DISTRIBUCIONES Y ESTADOS DE ESFUERZO

Consideremos el eje

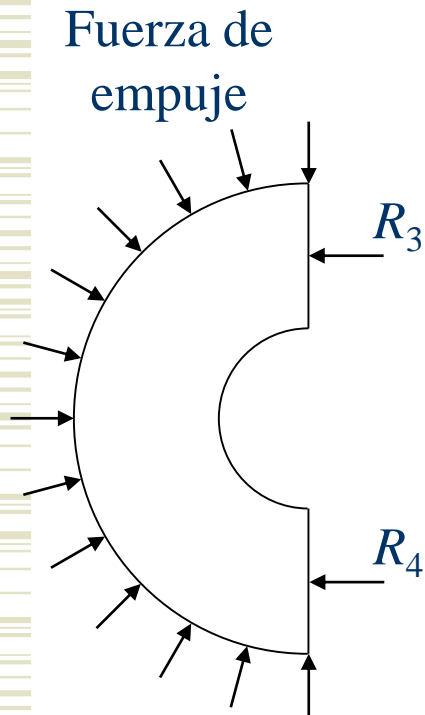
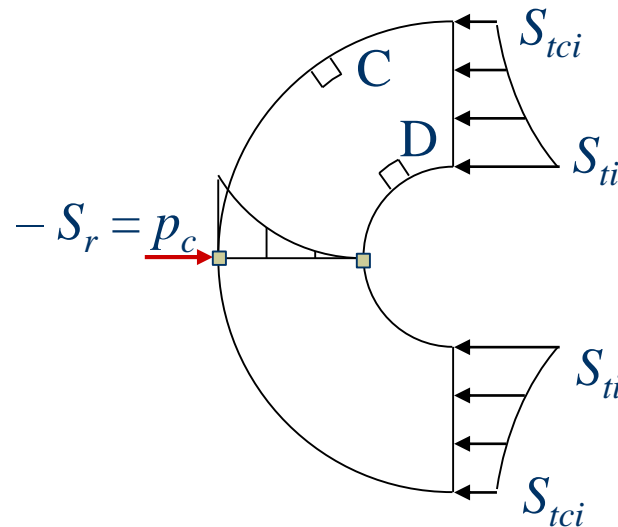
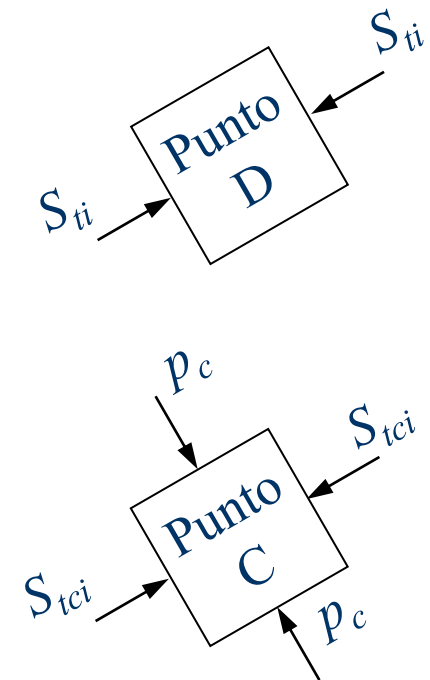


Diagrama de cuerpo libre  
del eje



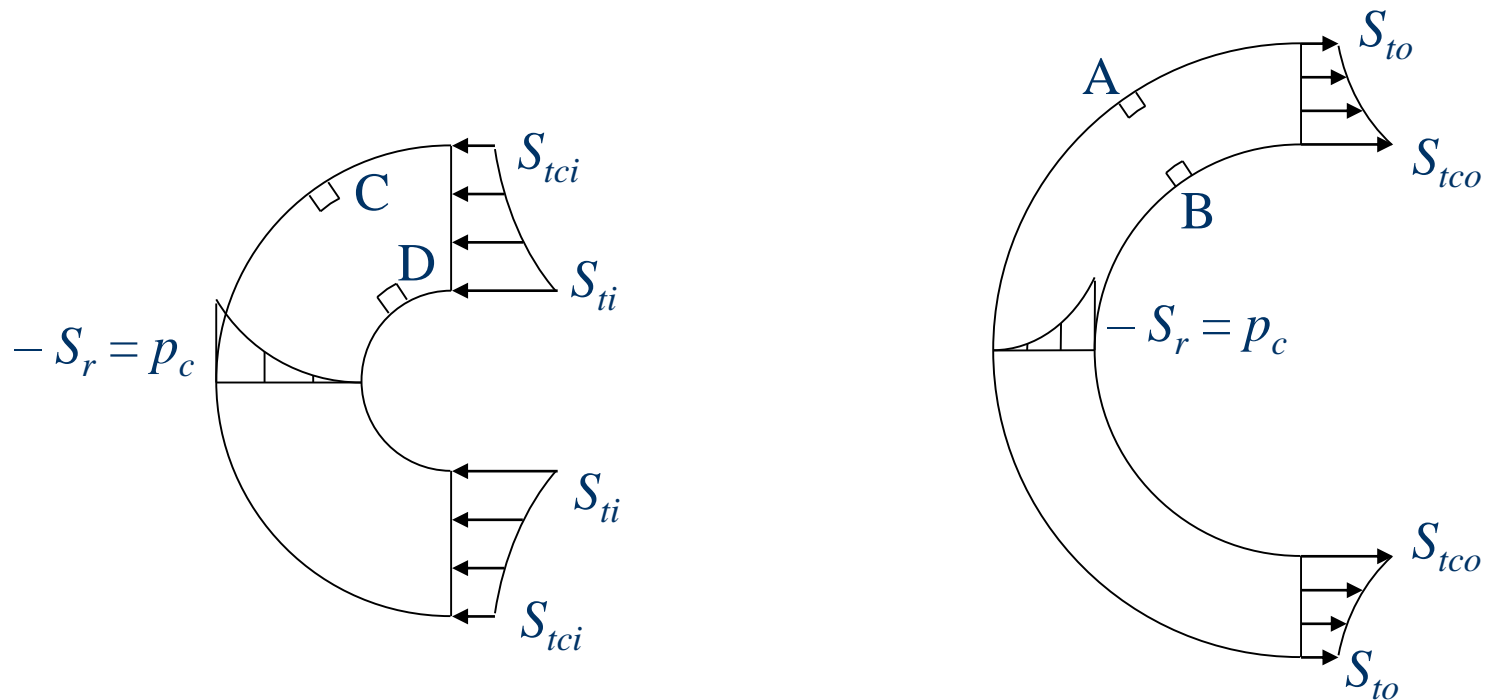
Distribuciones de  
esfuerzos



Estados de  
esfuerzo

# Esfuerzos en ajustes de interferencia – NOMENCLATURA

- ◆ Esfuerzos *normales* en las direcciones *radial* y *tangencial*:



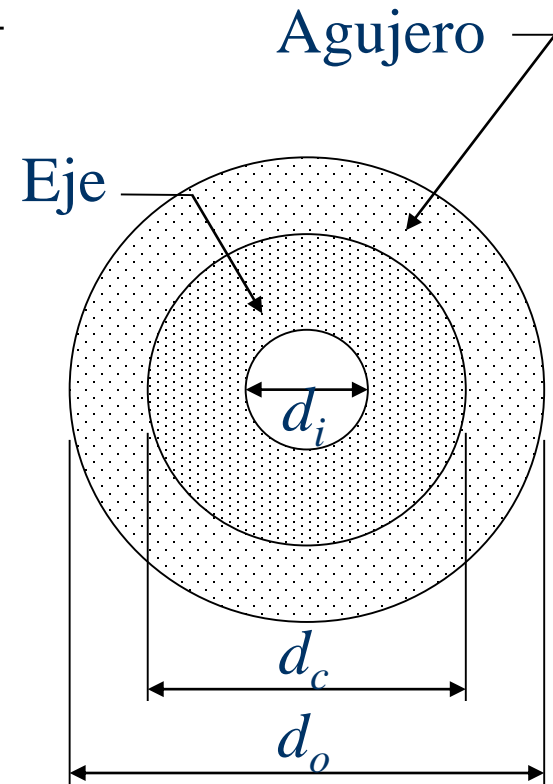
## Esfuerzos en ajustes de interferencia – ECUACIONES

- ♦ La presión de contacto está dada por:

$$p_c = \frac{A_{pr}}{d_c \left[ \frac{d_c^2 + d_i^2}{E_i(d_c^2 - d_i^2)} + \frac{d_o^2 + d_c^2}{E_o(d_o^2 - d_c^2)} - \frac{\nu_i}{E_i} + \frac{\nu_o}{E_o} \right]}$$

Si  $\nu_o = \nu_i$  y  $E_o = E_i$ :

$$p_c = \frac{A_{pr} E (d_c^2 - d_i^2) (d_o^2 - d_c^2)}{2d_c^3 (d_o^2 - d_i^2)}$$



## Esfuerzos en ajustes de interferencia – ECUACIONES

- ♦ Los esfuerzos tangenciales por *Lamé* son:

$$S_{to} = \frac{2p_c d_c^2}{d_o^2 - d_c^2}, \quad S_{tco} = p_c \left( \frac{d_o^2 + d_c^2}{d_o^2 - d_c^2} \right),$$

$$S_{tci} = -p_c \left( \frac{d_c^2 + d_i^2}{d_c^2 - d_i^2} \right), \quad S_{ti} = -\frac{2p_c d_c^2}{d_c^2 - d_i^2}, \quad \left. \vphantom{S_{tci}} \right\} \text{Eje hueco}$$

$$S_{tci} = S_{ti} = -p_c, \quad \left. \vphantom{S_{tci}} \right\} \text{Eje macizo}$$



## Esfuerzos en ajustes de interferencia – ECUACIONES

- ◆ Los esfuerzos tangenciales por *Birnie* son:

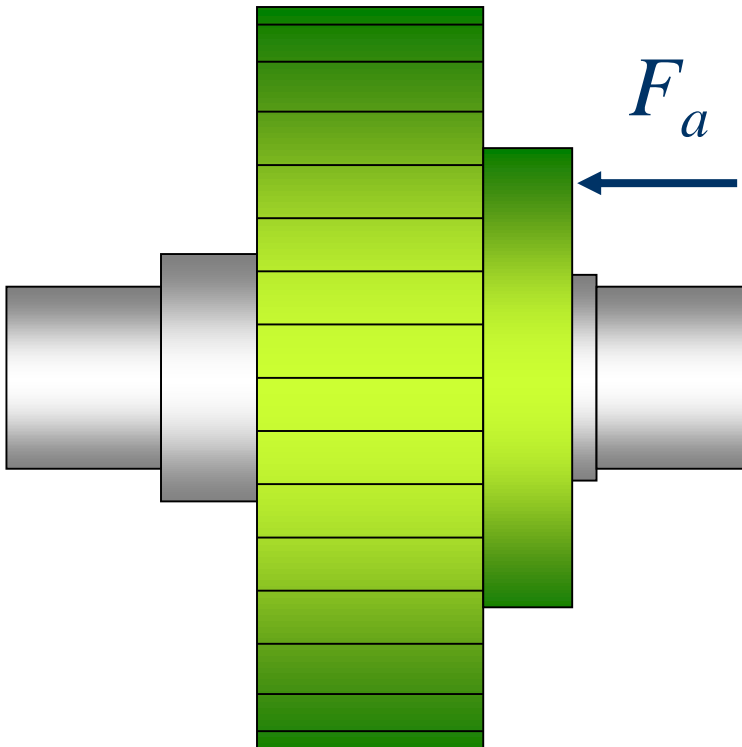
$$S_{to} = \frac{2p_c d_c^2}{d_o^2 - d_c^2}, \quad S_{tco} = p_c \left( \frac{d_o^2 + d_c^2}{d_o^2 - d_c^2} + \nu_o \right),$$

$$S_{tci} = -p_c \left( \frac{d_c^2 + d_i^2}{d_c^2 - d_i^2} - \nu_i \right), \quad S_{ti} = -\frac{2p_c d_c^2}{d_c^2 - d_i^2}, \quad \left. \vphantom{S_{tci}} \right\} \text{Eje hueco}$$

$$S_{tci} = S_{ti} = -p_c, \quad \left. \vphantom{S_{tci}} \right\} \text{Eje macizo}$$

## Esfuerzos en ajustes de interferencia – ECUACIONES

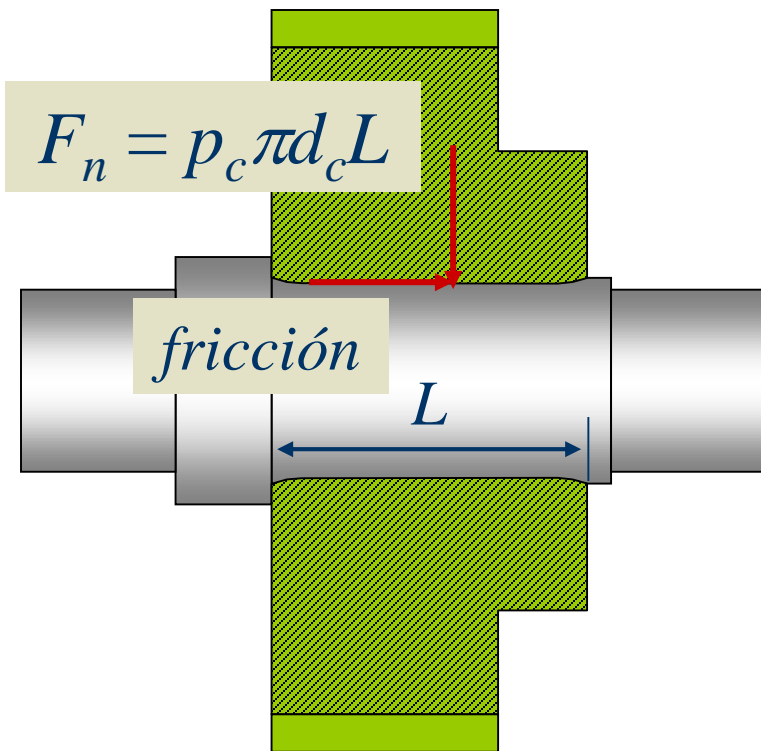
- ◆ Fuerza axial para montar o desmontar



Debido al aprieto  
(diferencia de medidas)  
Se debe aplicar una  
fuerza axial  $F_a$

## Esfuerzos en ajustes de interferencia – ECUACIONES

- ◆ Fuerza axial para montar o desmontar

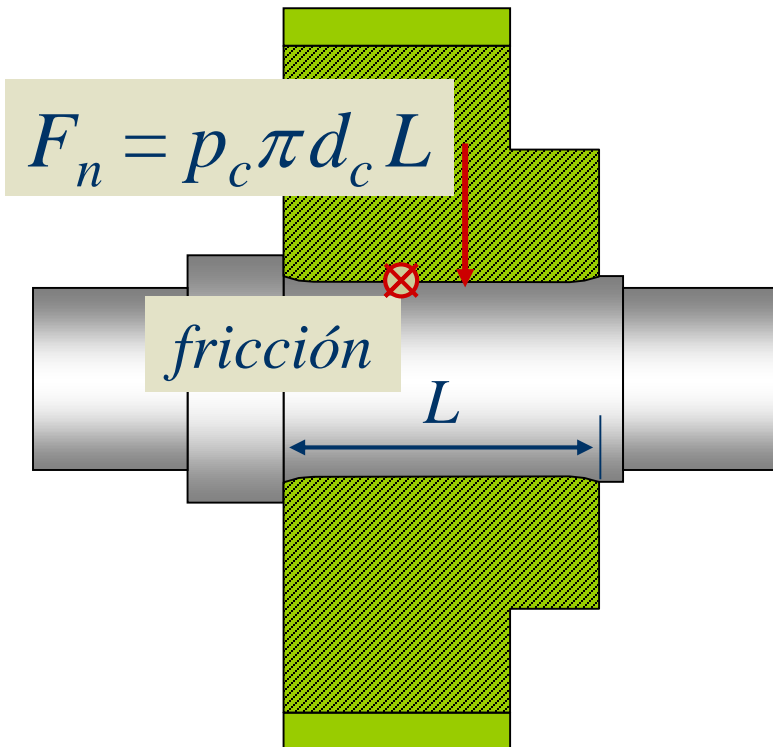


La fuerza  $F_a$  es igual a la fuerza de fricción requerida para mover el agujero sobre el eje:

$$F_a = \mu \cdot F_n = \mu p_c \pi d_c L$$

## Esfuerzos en ajustes de interferencia – ECUACIONES

- ◆ Par de torsión necesario para rotar el agujero con respecto al eje



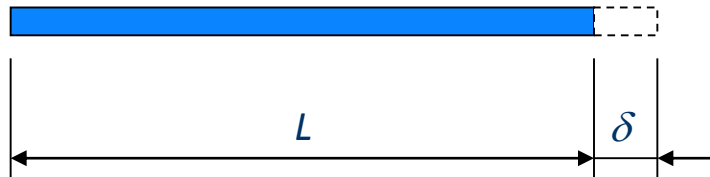
El par de torsión,  $T$ , a transmitir es igual a la fuerza de fricción por el radio de contacto:

$$T = (\mu p_c \pi d_c L)(d_c / 2)$$

$$T = 0.5 \mu p_c \pi d_c^2 L$$

# Esfuerzos en ajustes de interferencia – ECUACIONES

## ◆ Calentamiento o enfriamiento para montajes



Longitud inicial:  $L$



Longitud final:  $L + \delta$

Dilatación de una barra con la temperatura

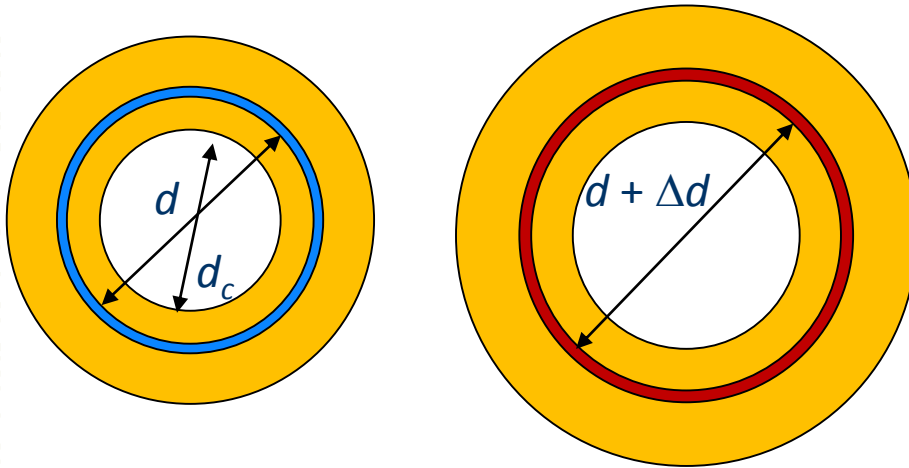
$$\delta = \alpha_T L \Delta T_{emp}$$

$\alpha_T$ : coeficiente de dilatación lineal

# Esfuerzos en ajustes de interferencia – ECUACIONES

$$\delta = \alpha_T L \Delta T_{emp}$$

## ◆ Calentamiento o enfriamiento para montajes



Dilatación de un cilindro con la temperatura

Longitud inicial:  $\pi d$

Longitud final:  $\pi(d + \Delta d)$  (1)

También:

Longitud final:  $\pi d + \delta$ , (2)

donde  $\delta = \alpha_T(\pi d)\Delta T_{emp}$  (3)

Igualando (1) con (2):

$$\pi d + \pi \Delta d = \pi d + \delta$$

$$\pi \Delta d = \delta = \alpha_T(\pi d)\Delta T_{emp}$$

$$\Delta d = \alpha_T d \Delta T_{emp}$$

Analizando  $d = d_c$

$$\Delta d_c = \alpha_T d_c \Delta T_{emp}$$

→

$$\Delta T_{emp} = \frac{\Delta d_c}{\alpha_T d_c}$$

Si se desea que  $\Delta d_c \geq A_{pr}$  →

$$\Delta T_{emp} \geq \frac{A_{pr}}{\alpha_T d_c}$$

# Métodos de calentamiento

- Estufas de calentamiento
- Baños de aceite
- Calentadores por inducción
- Placa eléctrica de calentamiento
- NO caliente rodamientos con llama