

# Capítulo 9

## Trasmisión de potencia mediante ejes

**EL DISEÑO DE EJES** consiste básicamente en la determinación del diámetro correcto del eje para asegurar rigidez y resistencia satisfactorias cuando el eje trasmite potencia en diferentes condiciones de carga y operación. Generalmente los ejes tienen sección transversal circular y pueden ser huecos o macizos.

**EL DISEÑO DE EJES DE MATERIALES DUCTILES**, basado en su resistencia, está controlado por la teoría del esfuerzo cortante máximo. La presentación siguiente se basa en ejes de material dúctil y sección transversal circular. Los ejes de materiales frágiles deben diseñarse en base a la teoría del esfuerzo normal máximo. Generalmente los ejes están sometidos a torsión, flexión y cargas axiales. Para cargas torsionales, el esfuerzo de torsión

$$\tau_{xy} = M_t r / J = 16M_t / \pi d^3 \quad \text{para ejes macizos}$$

$$\tau_{xy} = 16M_t d_o / \pi (d_o^4 - d_i^4) \quad \text{para ejes huecos}$$

Para cargas de flexión, el esfuerzo de flexión  $s_b$  (tracción o compresión) es

$$s_b = M_b r / I = 32M_b / \pi d^3 \quad \text{para ejes macizos}$$

$$s_b = 32M_b d_o / \pi (d_o^4 - d_i^4) \quad \text{para ejes huecos}$$

Para cargas axiales, el esfuerzo de compresión o tracción  $s_a$  es

$$s_a = 4F_a / \pi d^2 \quad \text{para ejes macizos}$$

$$s_a = 4F_a / \pi (d_o^2 - d_i^2) \quad \text{para ejes huecos}$$

La ecuación del código ASME para un eje hueco combina torsión, flexión y carga axial, aplicando la ecuación del esfuerzo cortante máximo modificada mediante la introducción de factores de choque, fatiga y columna:

$$d_o^3 = \frac{16}{\pi s_s (1 - K^4)} \sqrt{\left[ K_b M_b + \frac{\alpha F_a d_o (1 + K^2)}{8} \right]^2 + (K_t M_t)^2}$$

Para un eje macizo con carga axial pequeña o nula, se reduce a

$$d^3 = \frac{16}{\pi s_s} \sqrt{(K_b M_b)^2 + (K_t M_t)^2}$$

en la cual, en la sección en consideración,

$\tau_{xy}$  = esfuerzo cortante de torsión, psi

$M_t$  = momento de torsión, lb-pul

$M_b$  = momento de flexión, lb-pul

$d_o$  = diámetro exterior del eje, pul

$d_i$  = diámetro interior del eje, pul

$F_a$  = carga axial, lb

$$K = d_i / d_o$$

$K_b$  = factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento flector

$K_t$  = factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento de torsión

**Para ejes estacionarios:**

|                               | $K_b$     | $K_t$     |
|-------------------------------|-----------|-----------|
| Carga aplicada gradualmente   | 1,0       | 1,0       |
| Carga aplicada repentinamente | 1,5 a 2,0 | 1,5 a 2,0 |

**Para ejes en rotación:**

|                                 |           |           |
|---------------------------------|-----------|-----------|
| Carga aplicada gradualmente     | 1,5       | 1,0       |
| Carga repentina (choque menor)  | 1,5 a 2,0 | 1,0 a 1,5 |
| Carga repentina (choque fuerte) | 2,0 a 3,0 | 1,5 a 3,0 |

$s_b$  = esfuerzo de flexión (tensión o compresión), psi

$s_a$  = esfuerzo axial (tensión o compresión), psi

El código ASME especifica para ejes de acero comercial

$s_s$ (permisible) = 8000 psi para ejes sin cuñero

$s_s$ (permisible) = 6000 psi para ejes con cuñero

El código ASME especifica para ejes de acero comprados con especificaciones definidas

$s_s$ (permisible) = 30% del límite elástico sin sobrepasar del 18% del esfuerzo último en tracción, para ejes sin cuñero. Estos valores deben reducirse en 25% si existen cuñeros.

$\alpha$  = factor de acción de columna. El factor de acción de columna es la unidad para cargas de tracción. Para compresión,  $\alpha$  puede calcularse mediante:

$$\alpha = \frac{1}{1 - 0,0044(L/k)} \quad \text{para } L/K < 115$$

$$\alpha = \frac{s_y}{\pi^2 n E} \left(\frac{L}{k}\right)^2 \quad \text{para } L/K > 115$$

$n$  = 1 para extremos articulados

$n$  = 2,25 para extremos fijos

$n$  = 1,6 para extremos restringidos parcialmente, como en el caso de cojinetes

$k$  = radio de giro =  $\sqrt{I/A}$  pul

$I$  = momento rectangular de inercia, pul<sup>4</sup>

$A$  = área de la sección transversal del eje, pul<sup>2</sup>

$s_y$  = esfuerzo de fluencia en compresión, psi

**EL DISEÑO DE EJES POR RIGIDEZ TORSIONAL** se basa en el ángulo de giro permisible. La cantidad permisible de giro depende de la aplicación particular, y varía desde 0,08 grados por pie para ejes de máquinas herramientas hasta 1 grado por pie para ejes de transmisión.

$$\theta = 584 M_t L / G(d_o^4 - d_i^4) \quad \text{para un eje circular hueco}$$

$$\theta = 584 M_t L / G d^4 \quad \text{para un eje circular macizo}$$

donde

$\theta$  = ángulo de giro, grados

$L$  = longitud del eje, pul

$M_t$  = momento de torsión, lb-pul

$G$  = módulo de elasticidad en torsión, psi

$d$  = diámetro del eje, pul