

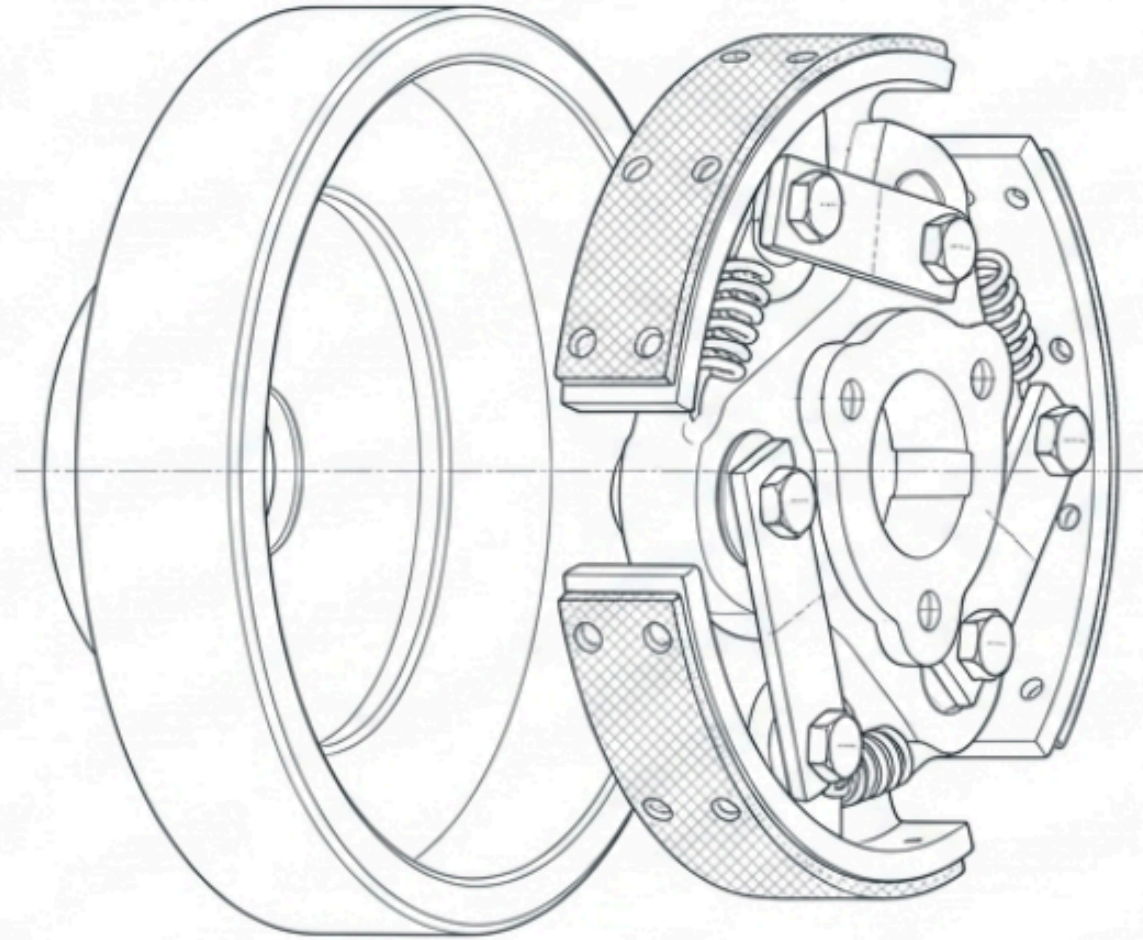
# Frenos y embragues para aplicaciones comerciales

**Profesor:** Ing. Israel Chaves Arbaiza

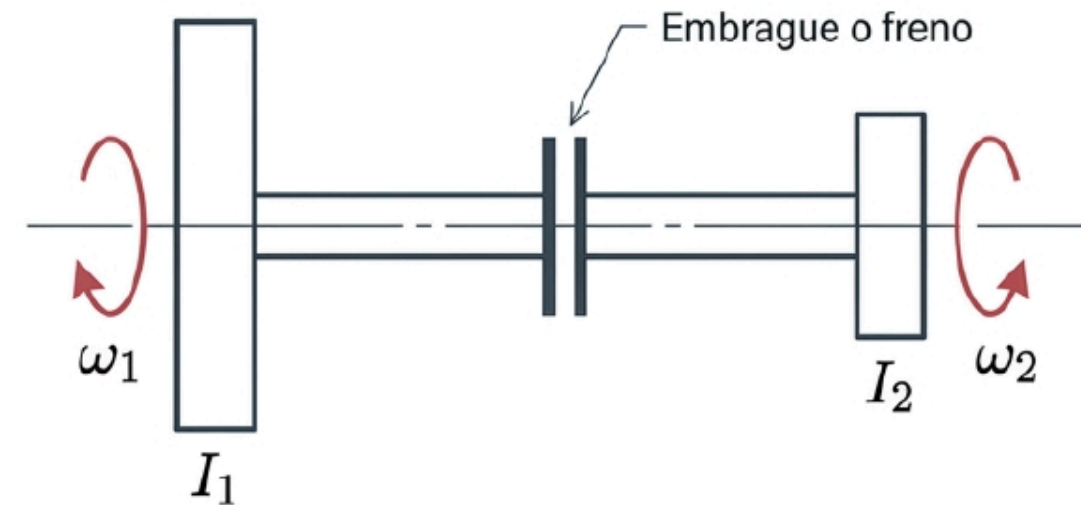
**Curso:** Elementos de Máquinas II



**EIM** Escuela de  
Ingeniería Mecánica



# Cinemática de transferencia rotacional



Un embrague o freno es fundamentalmente un sistema de manejo de inercias transitorias.

Ecuación de Energía Disipada:

$$E = \frac{I_1 I_2 (\omega_1 - \omega_2)^2}{2(I_1 + I_2)t}$$

T: Par de accionamiento

E: Disipación de energía

t: Tiempo de acoplamiento

Nota Analítica: La energía disipada es directamente proporcional al cuadrado de la diferencia de velocidades, e independiente del par del embrague.

# Taxonomía de sistemas de acoplamiento y frenado



# Termodinámica de desgaste en superficies de fricción

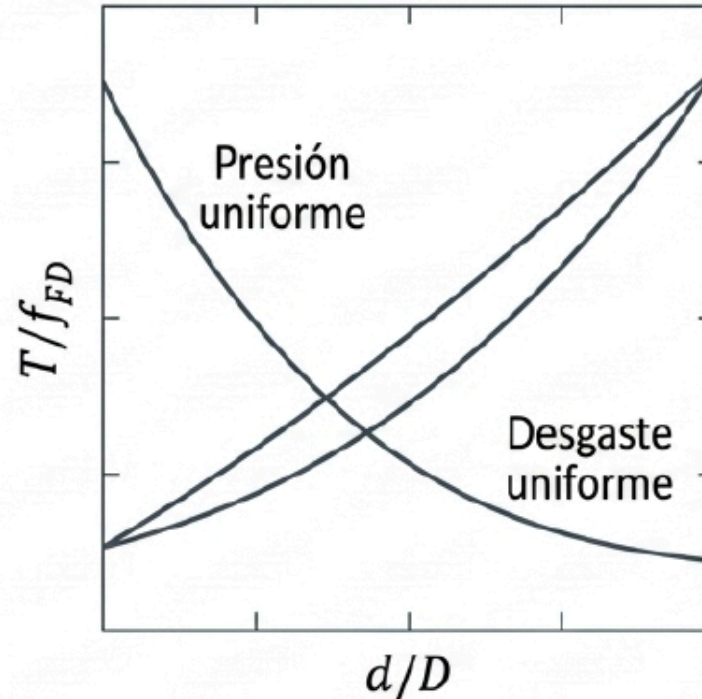
## Modelo de Presión Uniforme

**Condición:** Embragues nuevos, sin asentar.

**Fundamento:** Presión constante  $p = p_a$  sobre toda el área.

**Capacidad de Torsión:**

$$T = \frac{Ff}{3} \left[ \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right]$$



## Modelo de Desgaste Uniforme

**Condición:** Embragues asentados (la mayor tasa de desgaste ocurre en áreas exteriores).

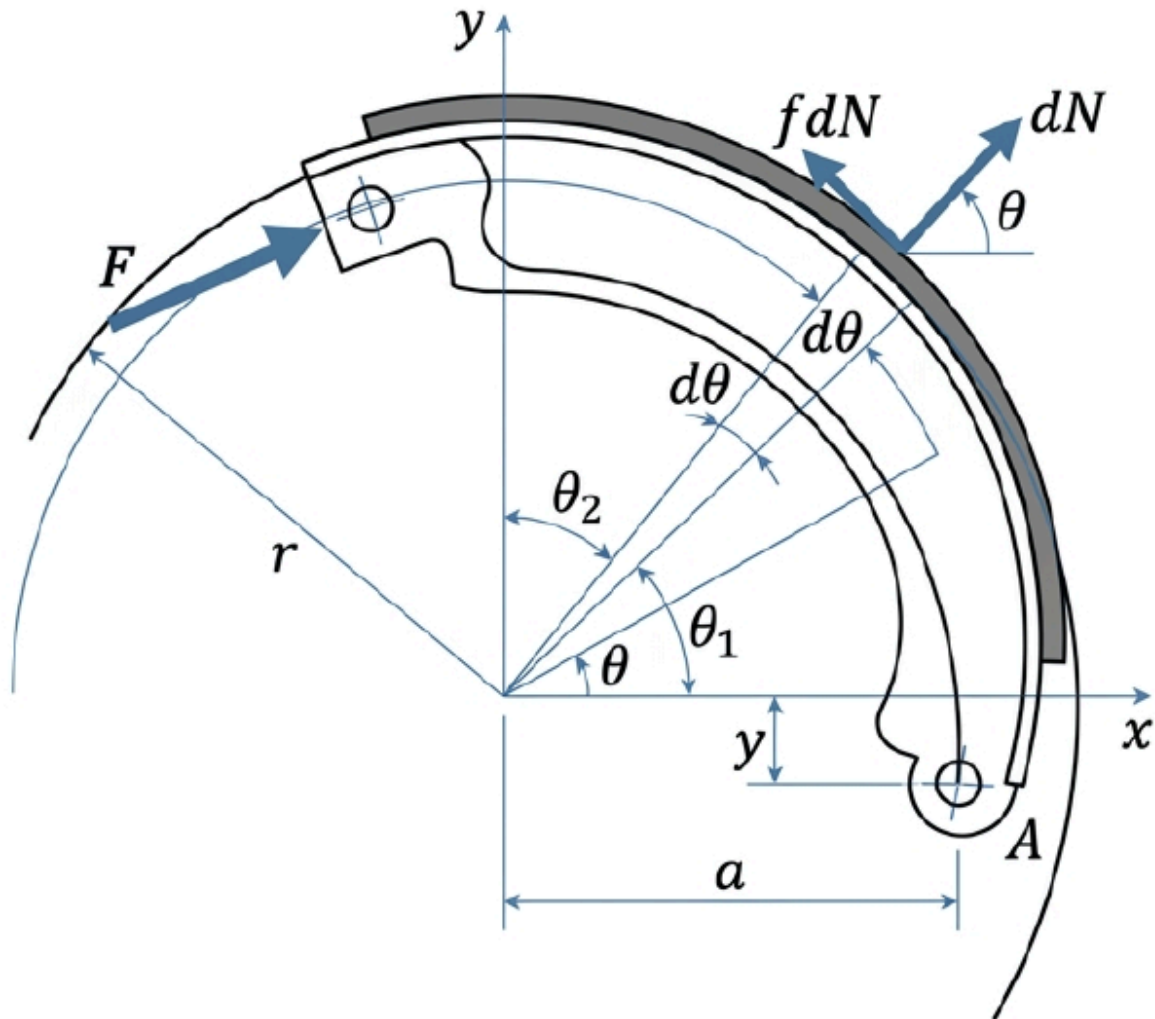
**Fundamento:** Trabajo de fricción constante;  $P \cdot V = \text{Constante}$ , por lo tanto  $p = p_a (d/2r)$ .

**Capacidad de Torsión:**

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

Un embrague nuevo siempre transmite más par que uno desgastado. El diseño conservador exige calcular la capacidad de torsión con el modelo de Desgaste Uniforme.

# Geometría vectorial: zapatas internas expandibles



La presión no es uniforme a lo largo de la zapata. Sigue una distribución senoidal respecto al pasador:

$$p = p_a \frac{\sin(\theta)}{\sin(\theta_a)}$$

Momento de Fuerza Normal:

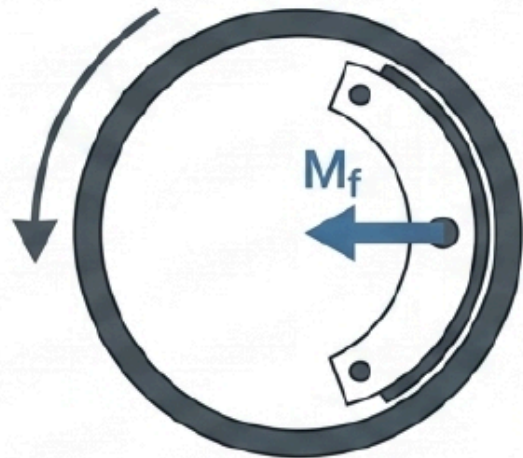
$$M_N = \frac{p_a b r a}{\sin(\theta_a)} \int \sin^2(\theta) d\theta$$

Momento de Fricción:

$$M_f = \frac{f p_a b r}{\sin(\theta_a)} \int \sin(\theta) (r - a \cos(\theta)) d\theta$$

# Autoenergización y bloqueo

Zapata Conducente (Autoenergizante)

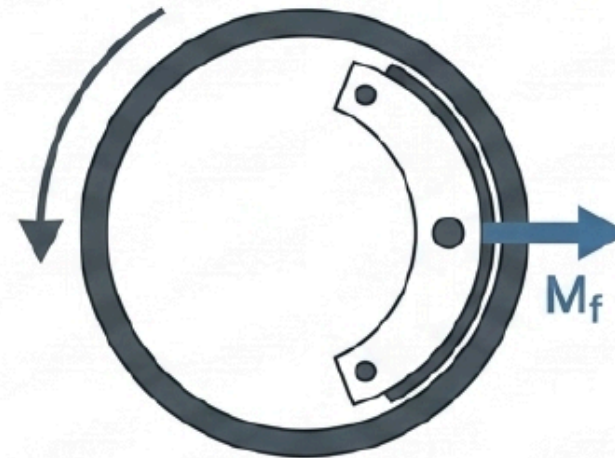


El momento de fricción ayuda a la aplicación del freno.

$$\text{Ecuación de Actuación: } F = \frac{M_N - M_f}{c}$$

Riesgo de Autobloqueo: Si  $M_N \leq M_f$ , la fuerza  $F$  requerida se vuelve cero o negativa. El sistema se bloquea incontrolablemente.

Zapata Producida (Autodesenergizante)

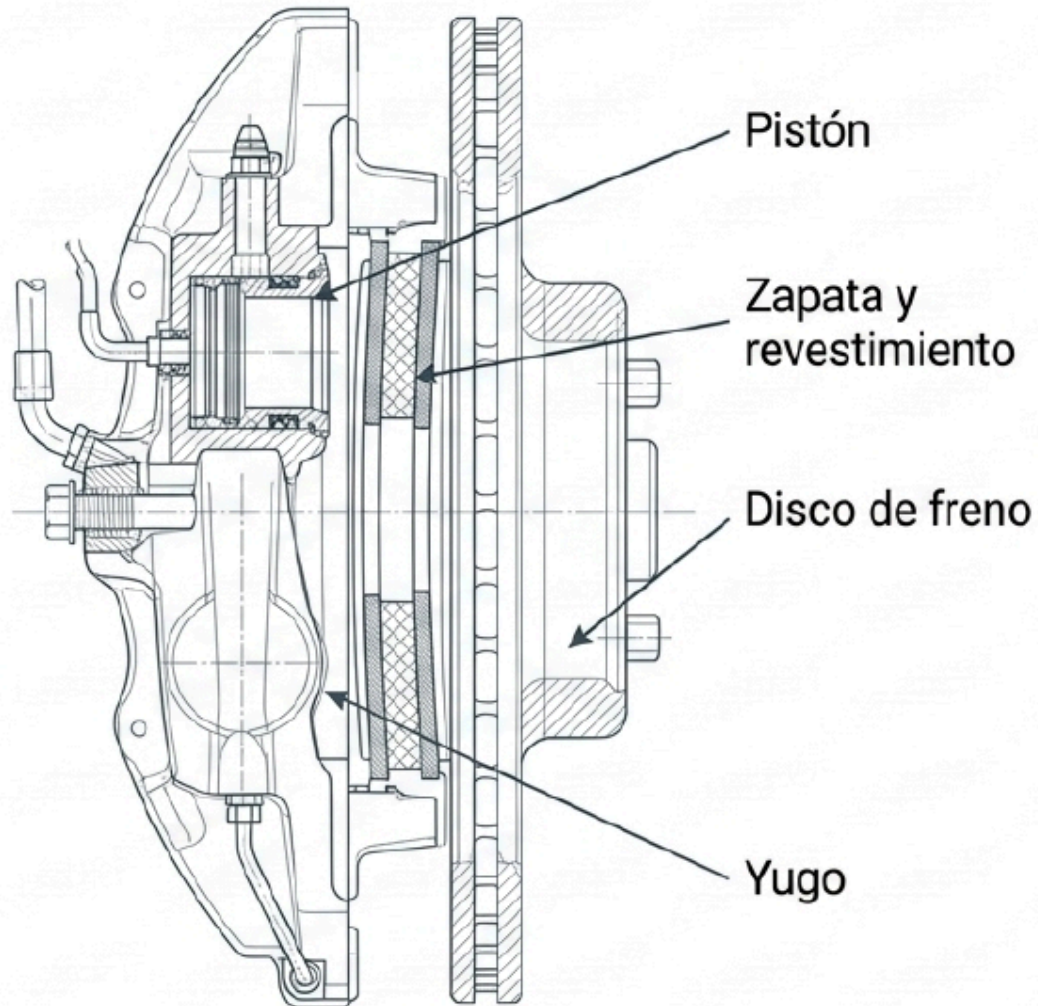


El momento de fricción resiste la aplicación.

$$\text{Ecuación de Actuación: } F = \frac{M_N + M_f}{c}$$

Requiere mayor fuerza de accionamiento pero es intrínsecamente estable.

# Frenos de disco y de Yugo (Caliper)



## Ventaja Crítica:

A diferencia de las zapatas conductoras, los calipers de disco no son autoenergizantes. Son insensibles a las fluctuaciones del coeficiente de fricción ( $\mu$ ) causadas por el desvanecimiento térmico (fade).

## Cálculo de Par de Torsión:

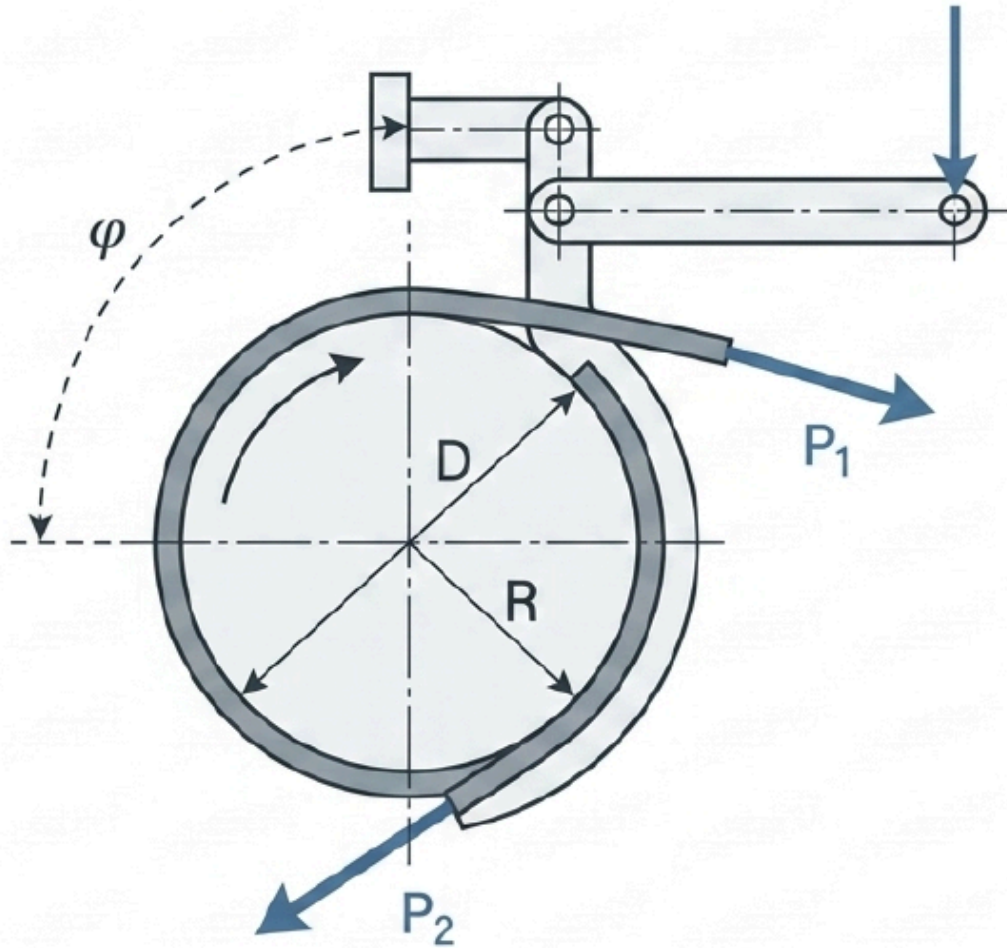
$$T = F f R_e$$

Radio Efectivo ( $R_e$ ) para almohadillas anulares bajo desgaste uniforme:

$$R_e = \frac{R_i + R_o}{2}$$

Aplicación ideal en sistemas donde la previsibilidad de la fuerza del accionamiento es de vida o muerte.

# Frenos de banda y relación de Eytelwein



Basado en la integración de tensiones diferenciales a lo largo de un cilindro.

Relación exponencial:

$$\frac{P_1}{P_2} = \exp(f\varphi)$$

Par de Torsión:

$$T = (P_1 - P_2) \frac{D}{2}$$

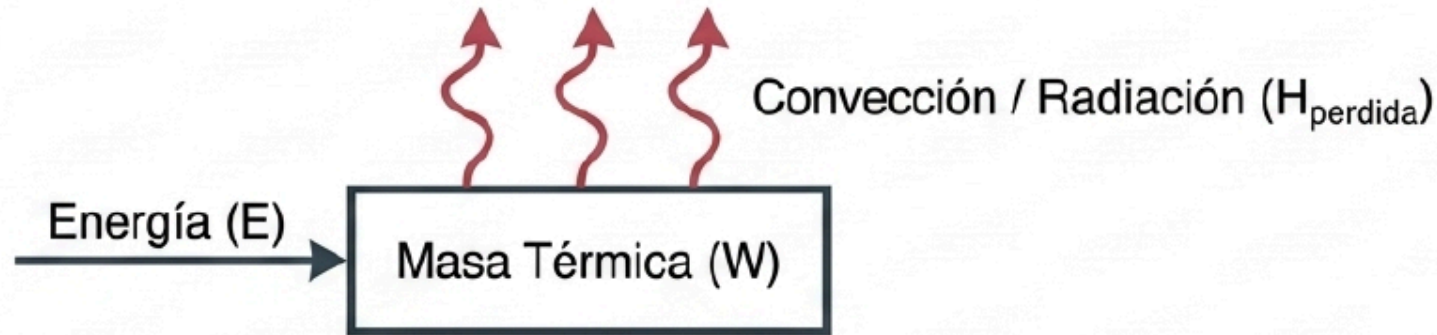
Presión Máxima:

Ocurre en el punto de tensión máxima:

$$p_a = \frac{2P_1}{bD}$$

(donde  $b$  es el ancho de la banda)

# Frntera térmica: Disipación y aumento de temperatura



La capacidad de un embrague está limitada por su capacidad de disipar calor, no solo por su resistencia mecánica.

Cálculo del Aumento de Temperatura Crítico:

$$\Delta T = \frac{E}{C_p m}$$

$C_p$ : Capacidad térmica específica (ej. 500 J/kg·°C para acero).

Estado Estable (Operación Cíclica):

$$T_{\text{max}} = T_{\infty} + \left[ \frac{\Delta T}{1 - \exp(-\beta t_1)} \right]$$

**Precaución:** Las temperaturas dañinas degradan los recubrimientos y reducen drásticamente el coeficiente de fricción  $f$ .

# Ecosistema industrial: Materiales y normas

Material	Coefficiente Seco ( $\mu$ )	Presión Máxima ( $P_{max}$ )
Hierro Fundido	0.15 - 0.20	150 - 250 psi
Metal Sinterizado	0.1 - 0.4	Soporta hasta 540 °C
Asbesto moldeado rígido	Histórico industrial	-

## Marco Normativo

El diseño final debe escalar el par requerido:

$$T_{des} = K_s T_{nom}$$

Aplicando Factores de Servicio ( $K_s$ ) según los lineamientos de las normas ANSI/AGMA e ISO.

## Referentes de Mercado

Fabricantes clave de componentes:

- Twin Disc (Sistemas neumáticos)
- Hilliard (Embragues centrífugos)
- Valeo y Eaton (Sistemas vehiculares)

# Metodología de diseño

