



# **ELEMENTOS DE MÁQUINAS**

**EM431**

**INGENIERÍA ELECTROMECHANICA**

Plan de Estudios 2013

**AÑO 2026**

# Sistemas de unidades

- ▶ En la ecuación simbólica de la segunda ley de Newton  $F = ma$

$$F = MLT^{-2}$$

- ▶ Uso común en Estados Unidos de América pie-libra-segundo (fps, foot-pound-second)

$$M = \frac{FT^2}{L} = \frac{(\text{libra-fuerza})(\text{segundo})^2}{\text{pie}} = \text{lbf} \cdot \text{s}^2/\text{pie} = \text{slug}$$

- ▶ y el sistema pulgada-libra-segundo (ips, inch-pound-second)

$$M = \frac{FT^2}{L} = \frac{(\text{libra-fuerza})(\text{segundo})^2}{\text{pulg}} = \text{lbf} \cdot \text{s}^2/\text{pulg}$$

- ▶ El Sistema Internacional de Unidades (SI) es un sistema absoluto. Las unidades base son el metro, el kilogramo (para la masa) y el segundo

$$F = \frac{ML}{T^2} = \frac{(\text{kilogramo})(\text{metro})}{(\text{segundo})^2} = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = \text{N}$$

# Cálculos y cifras significativas

## Dimensiones y tolerancias

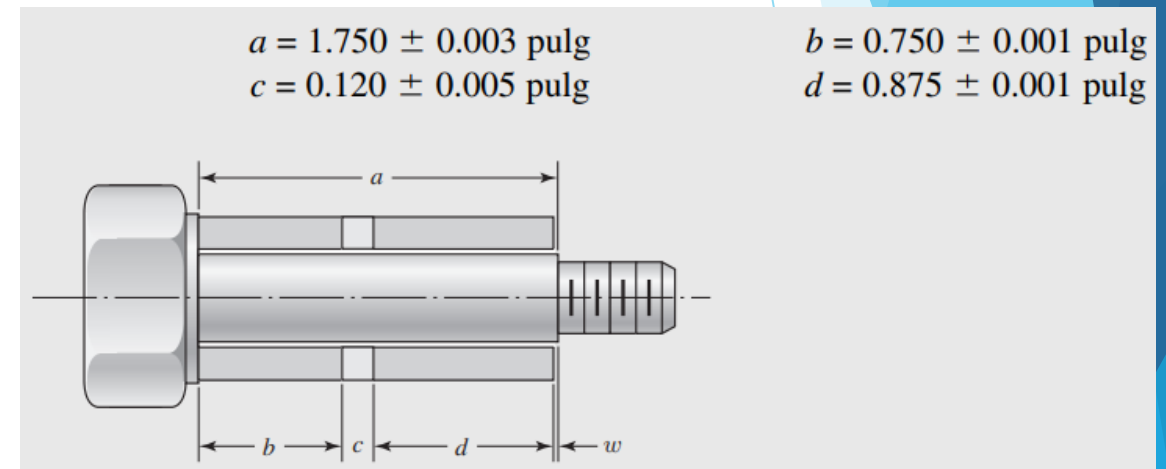
Límites. Dimensiones máximas y mínimas establecidas. •

Tolerancia. Diferencia entre los dos límites

Tolerancia bilateral.

Tolerancia unilateral.

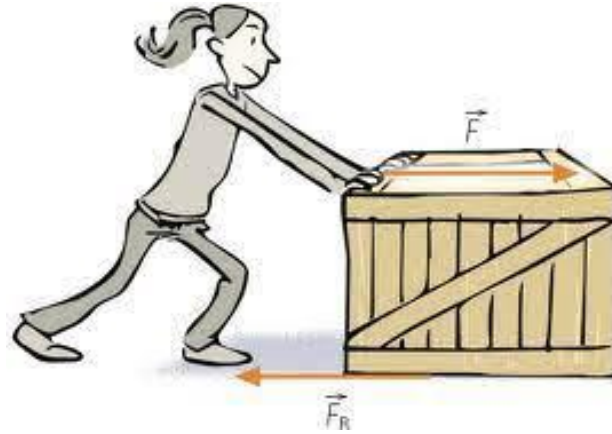
$$1.005 \begin{matrix} +0.004 \\ -0.000 \end{matrix} \text{ pulg}$$



- Holgura La holgura radial es la diferencia entre los dos radios.
- Interferencia (donde el elemento interno es mayor que el elemento externo)
- Margen - Es la holgura mínima o la interferencia máxima establecida para partes ensambladas.

# REPASO DE CONCEPTOS

- ▶ FUERZA (F)  $F=m \cdot a$  (Cargas)



- ▶ DCL

Un diagrama de cuerpo libre es un boceto de un objeto de interés despojado de todos los objetos que lo rodean y mostrando todas las **fuerzas** que actúan sobre el cuerpo. El dibujo de un diagrama de cuerpo libre ayuda a visualizar todas las fuerzas que actúan sobre un objeto simple.

# DCL

El uso de los diagramas de cuerpo libre para el análisis de fuerzas sirve para los siguientes propósitos importantes:

- El diagrama establece las direcciones de los ejes de referencia; proporciona un lugar para registrar las dimensiones del subsistema y las magnitudes y direcciones de las fuerzas conocidas; además, ayuda a suponer las direcciones de las fuerzas desconocidas.
- El diagrama simplifica el análisis porque proporciona un lugar para almacenar una idea, mientras se procede con la siguiente.
- El diagrama proporciona un medio para comunicar a otras personas las ideas de forma clara y sin ambigüedades.
- La construcción cuidadosa y completa del diagrama clarifica las ideas confusas y permite destacar puntos que no siempre son obvios en el enunciado o en la geometría del problema total. Así, el diagrama ayuda a entender todas las facetas del problema.
- El diagrama ayuda a planear un análisis lógico del problema y a establecer las relaciones matemáticas.
- También ayuda a registrar el progreso del proceso de solución y a ilustrar los métodos que se utilizan en él.
- El diagrama permite que otros comprendan su razonamiento, pues muestra todas las fuerzas.

# MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

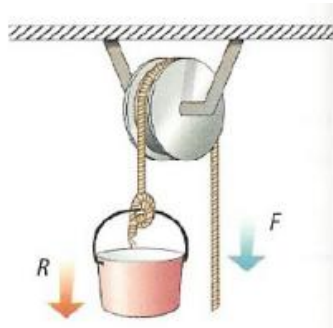
- a) Mecanismos de transmisión lineal.
- b) Mecanismos de transmisión circular

▶ MECANISMOS DE TRANSMISIÓN LINEAL: tanto el elemento de entrada como el de salida tienen movimiento lineal.

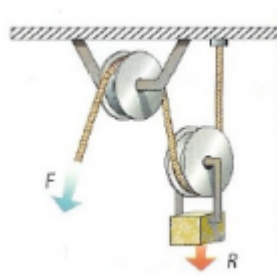
▶ PALANCA

$$F \cdot d = R \cdot r$$

▶ SISTEMA DE POLEAS

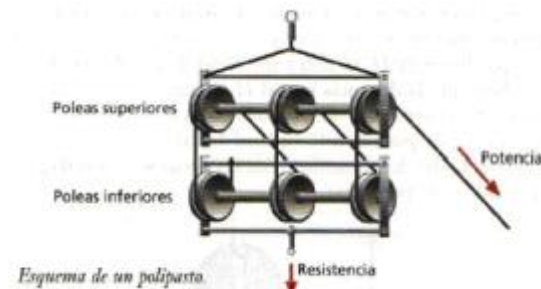


Polea Fija



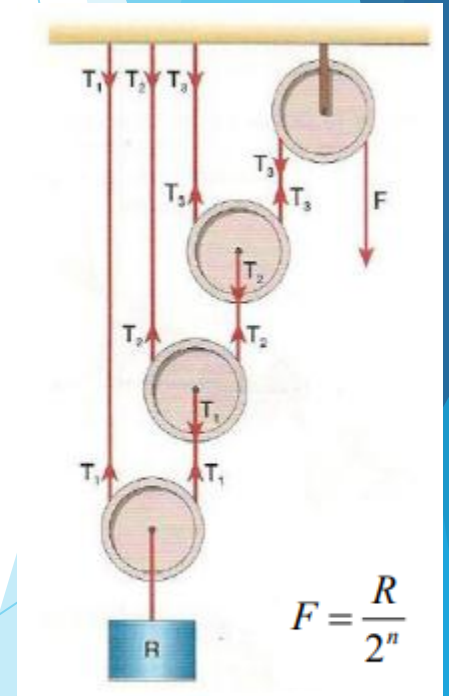
Polea Móvil

$$F = \frac{R}{2}$$



$$P = \frac{R}{2 \cdot n} \quad F = \frac{R}{2 \cdot n} = \frac{R}{6}$$

Polipasto potencial  
30kg - 5kg



$$F = \frac{R}{2^n}$$

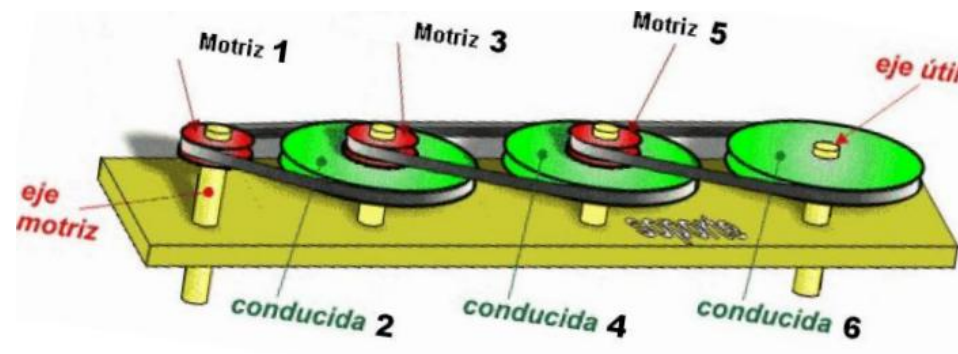
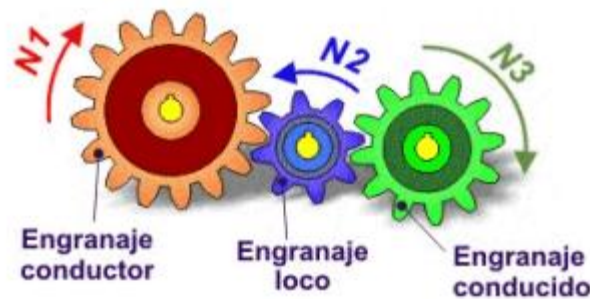
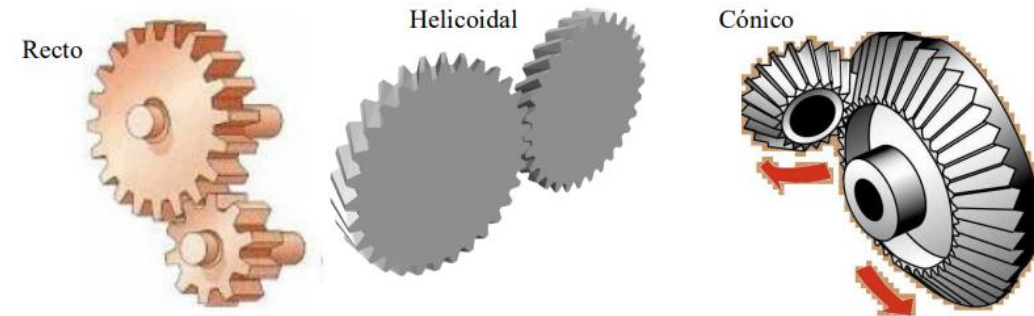
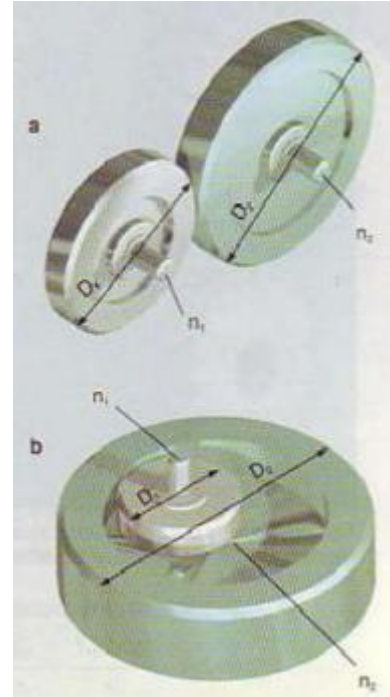
n es el número de poleas móviles

Polipasto exponencial

# MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

## b) Mecanismos de transmisión circular

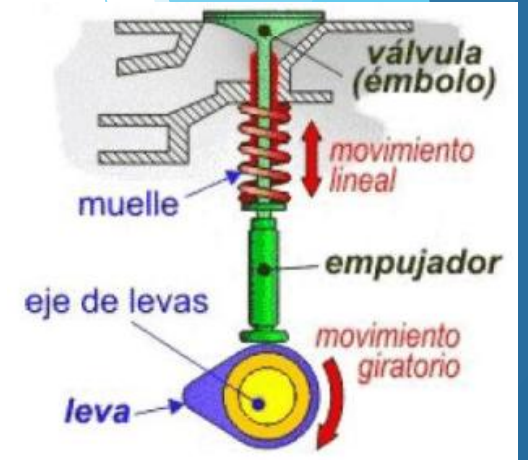
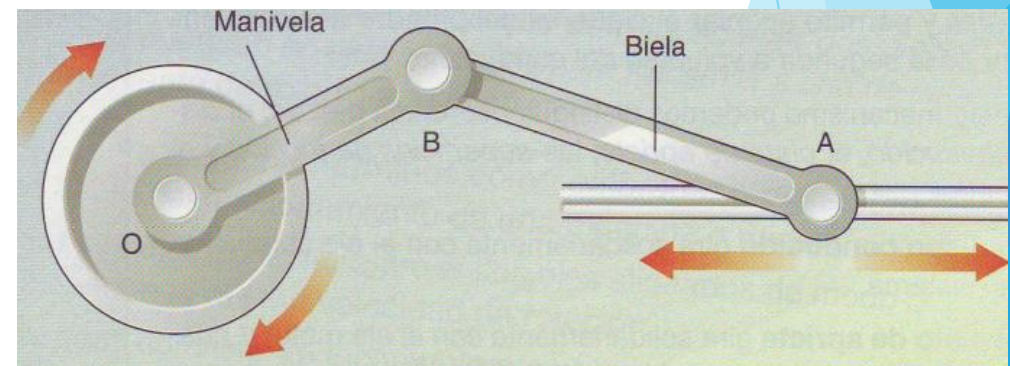
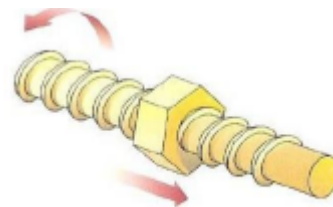
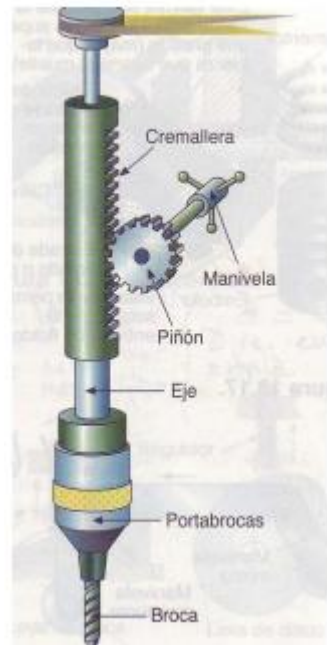
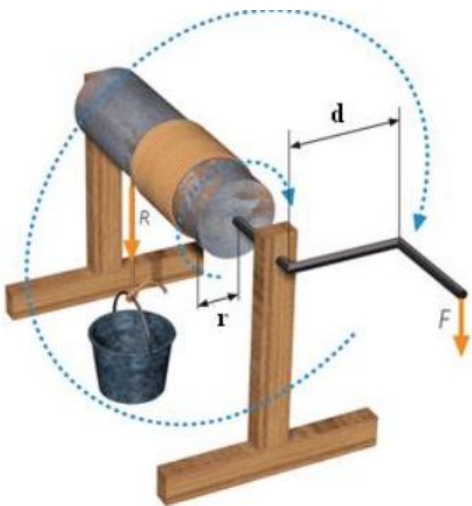
- ▶ RUEDAS DE FRICCIÓN
- ▶ POLEAS CON CORREA/CADENAS
- ▶ ENGRANAJES
- ▶ Trenes de engrane/poleas





► MECANISMOS DE TRANSFORMACIÓN CIRCULAR EN LINEAL

Torno - Cremallera - Tornillo de Movimiento - Biela Manivela - Leva





- ▶ Momento torsor
- ▶ Fuerza de fricción
- ▶ Potencia
- ▶ Energía (J=N.m)
- ▶ Momento flector
- ▶ Momento de inercia

$$\tau = F \times d$$

$$F_r = \mu \times N$$

$$P = W / t = F \times d / t = F \times V$$

$$V = \omega \times r \rightarrow P = M \times \omega$$

$$E = P \times t \text{ (kW * h)}$$

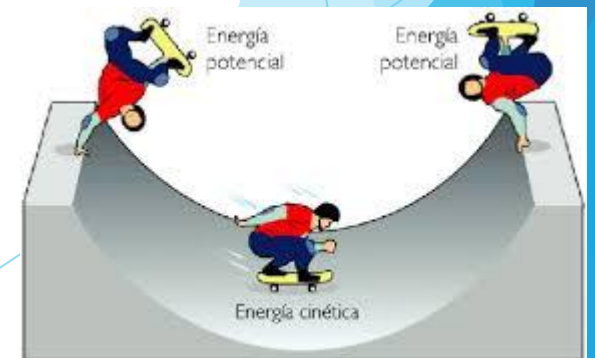
$$E_c = \frac{1}{2} * V^2$$

$$E_{pe} = k * X^2$$

$$E_p = mgh$$

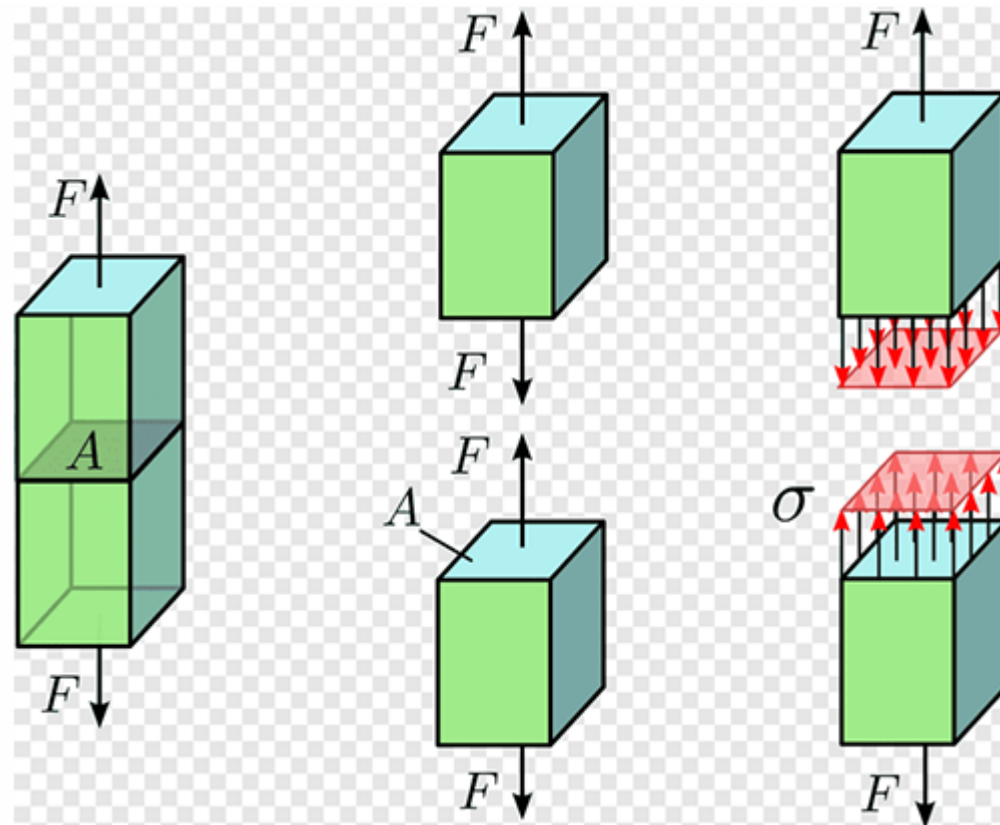
### SISTEMAS DE UNIDADES (SI)

$$F = ML/T^2 \text{ (kg * m /s}^2\text{) (N)}$$



## ELEMENTOS SOMETIDOS A CARGAS

- ▶ Esfuerzos: son los que se originan dentro de una pieza cuando se aplican cargas externas. Se simbolizan con  $\sigma$  (sigma) o  $\tau$  (tau)



# TIPOS DE ESFUERZOS



Tracción

Compresión

Flexión

Torsión

Cortante

$\sigma = \frac{F}{A}$	Dónde: $\sigma$ es el esfuerzo. $F$ es la fuerza. $A$ es el área.
------------------------	---

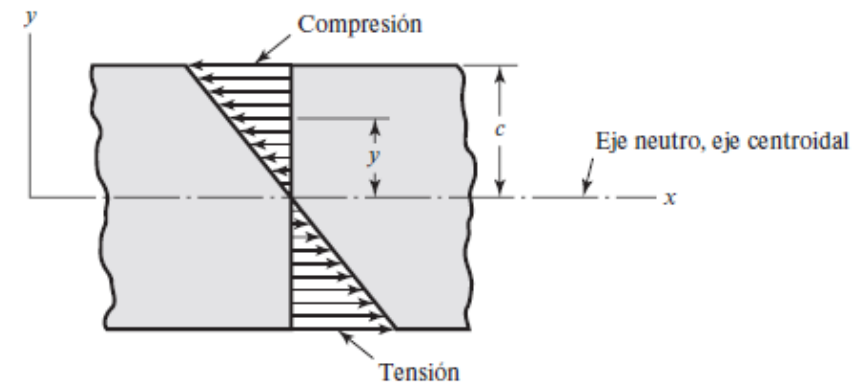
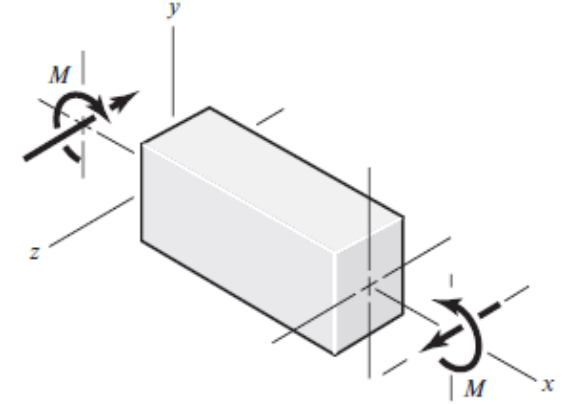
## Tipos de esfuerzos

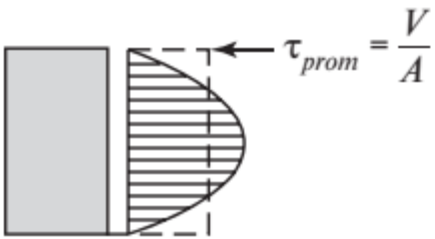
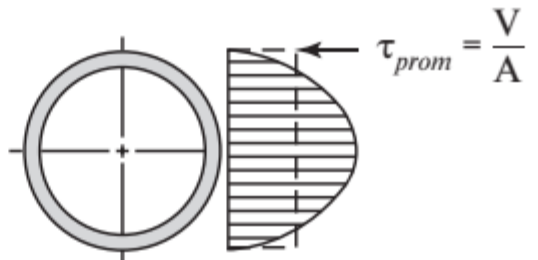
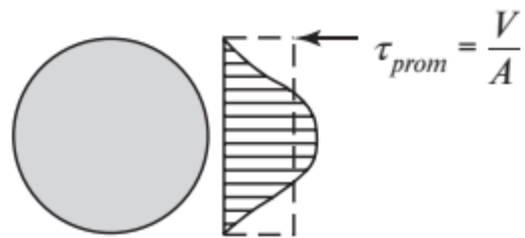

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M}{Z}$$

$Z = I/c$  se llama *módulo de sección*.

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{Tr}{J}$$

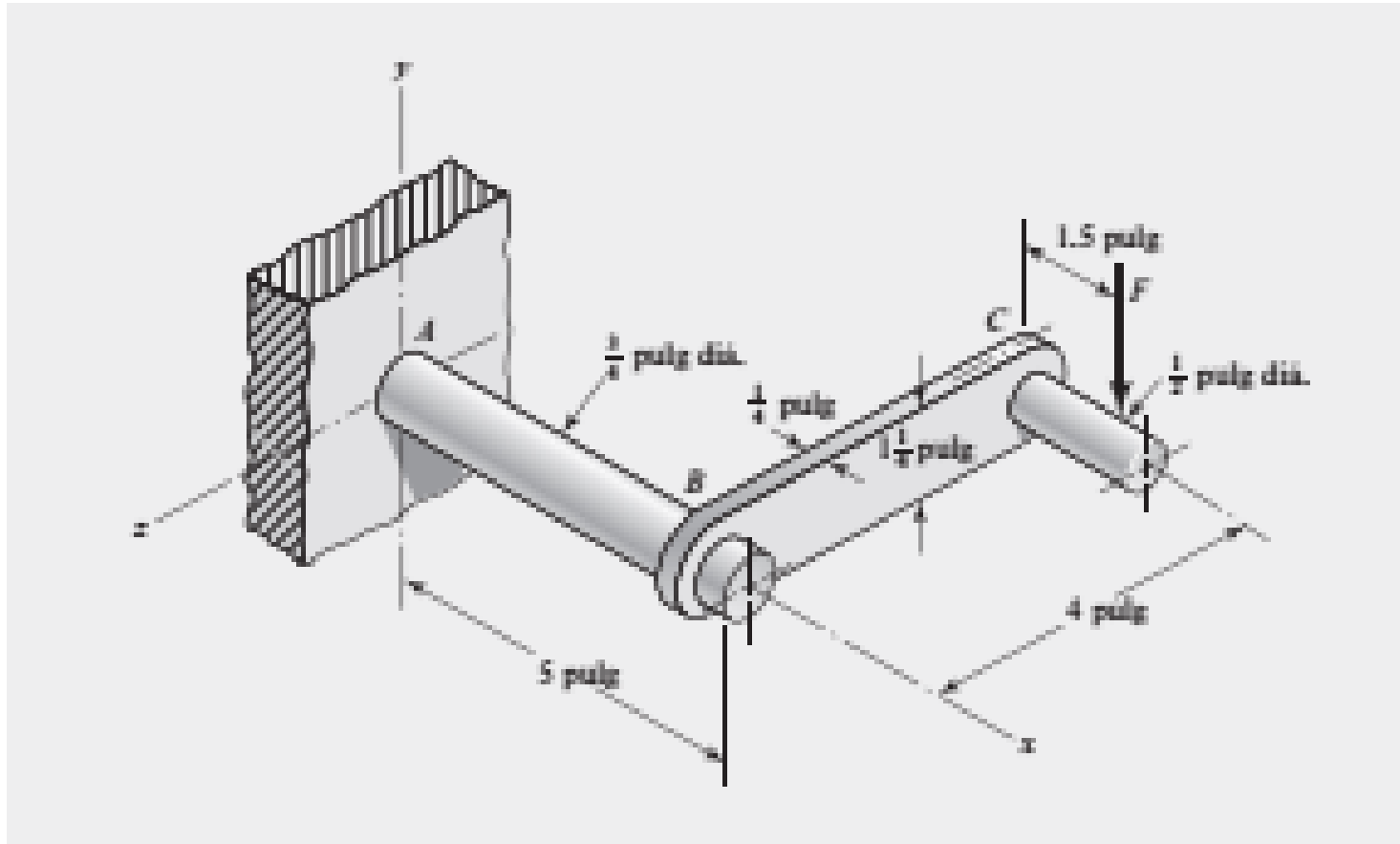
$$\tau = \frac{V}{A}$$



Forma de la viga	Fórmula	Forma de la viga	Fórmula
 <p>Rectangular</p>	$\tau_{\text{máx}} = \frac{3V}{2A}$	 <p>Circular hueca con pared delgada</p>	$\tau_{\text{máx}} = \frac{2V}{A}$
 <p>Circular</p>	$\tau_{\text{máx}} = \frac{4V}{3A}$	 <p>Viga I estructural (con pared delgada)</p>	$\tau_{\text{máx}} = \frac{V}{A_{\text{alma}}}$

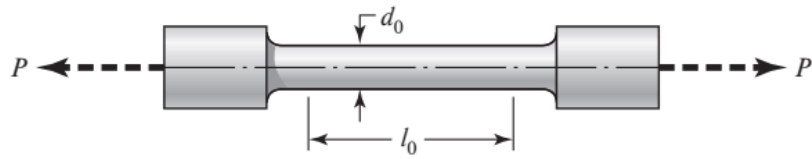
**Tabla 3-2**

Fórmulas del esfuerzo cortante máximo debido a flexión de  $VQ/Ib$ .



$$\sigma_x = \frac{M}{I/c} = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$\tau_{zx} = \frac{Tr}{J} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

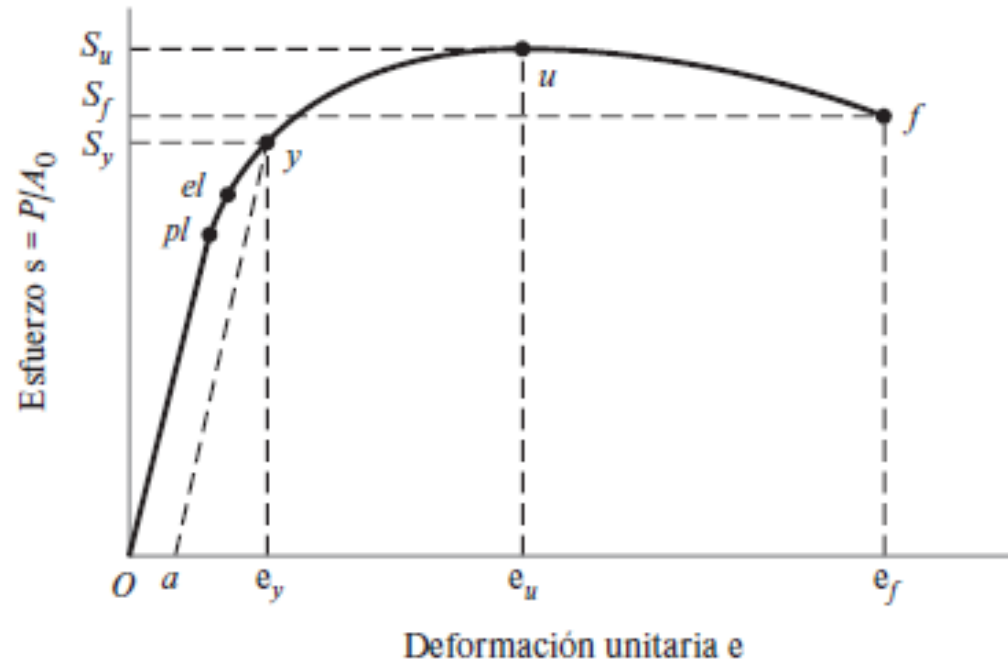


$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

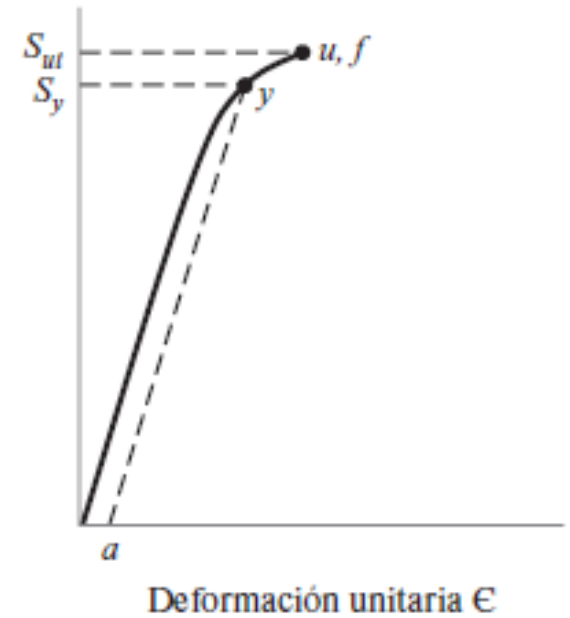
$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

## Figura 2-2

Diagrama de esfuerzo-deformación unitaria que se obtiene de la prueba de tensión estándar  
*a)* material dúctil, *b)* material frágil. En este caso, *pl* marca el límite de proporcionalidad; *el*, el límite elástico; *y* la resistencia a la fluencia según lo define la deformación *a*; *u* la resistencia máxima o última; y *f* la resistencia a la fractura.



*a)*



*b)*

*ley de Hooke*

$$\sigma = E\epsilon$$



**Tabla A-20**

Resistencias determinísticas mínimas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD). [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ( $\frac{3}{4}$  a  $1\frac{1}{4}$  pulg). Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación.] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Proce- samiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163

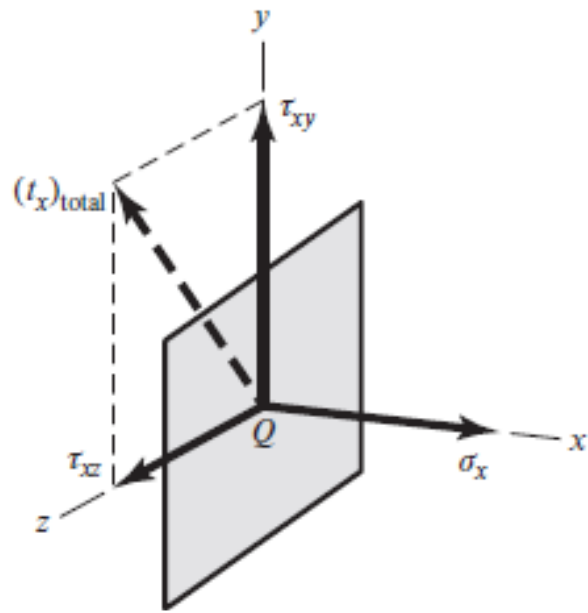
**Tabla A-21**

Propiedades mecánicas medias de algunos aceros tratados térmicamente.

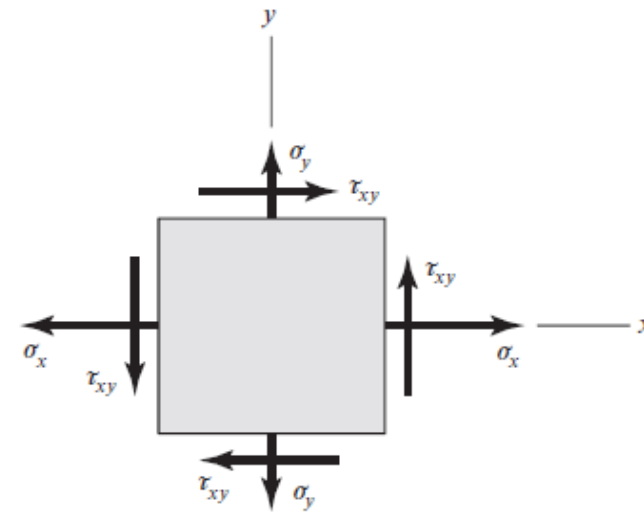
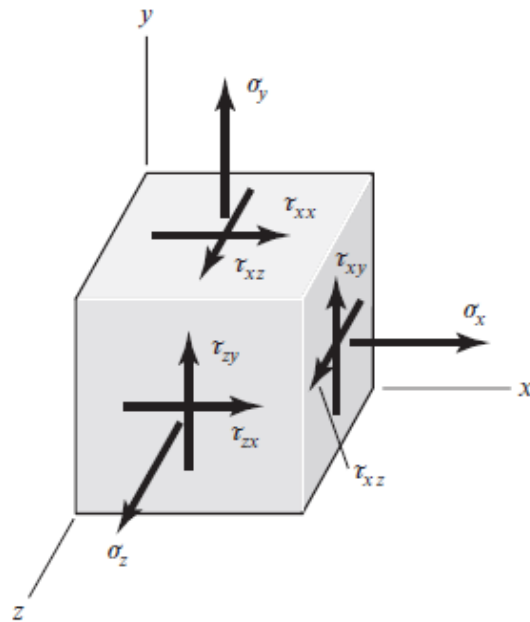
[Estas son propiedades típicas de materiales normalizados y recocidos. Las propiedades de aceros templados y revenidos (TyR) son de una sola colada. Debido a las muchas variables, las propiedades listadas son promedios generales. En todos los casos los datos se obtuvieron de piezas con diámetro de 0.505 pulg, maquinadas a partir de barras redondas de 1 pulg y la longitud de calibración es de 2 pulg. A menos que se especifique otra cosa, todas las piezas se templaron en aceite.] Fuente: *ASM Metals Reference Book*, 2a. ed., American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1983.

1	2	3	4	5	6	7	8
AISI núm.	Tratamiento	Temperatura °C (°F)	Resistencia a la tensión MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción en el área, %	Dureza Brinell
1030	TyR*	205 (400)	848 (123)	648 (94)	17	47	495
	TyR*	315 (600)	800 (116)	621 (90)	19	53	401
	TyR*	425 (800)	731 (106)	579 (84)	23	60	302
	TyR*	540 (1000)	669 (97)	517 (75)	28	65	255
	TyR*	650 (1200)	586 (85)	441 (64)	32	70	207
	Normalizado	925 (1700)	521 (75)	345 (50)	32	61	149
	Recocido	870 (1600)	430 (62)	317 (46)	35	64	137
1040	TyR	205 (400)	779 (113)	593 (86)	19	48	262
	TyR	425 (800)	758 (110)	552 (80)	21	54	241
	TyR	650 (1200)	634 (92)	434 (63)	29	65	192
	Normalizado	900 (1650)	590 (86)	374 (54)	28	55	170
	Recocido	790 (1450)	519 (75)	353 (51)	30	57	149
1050	TyR*	205 (400)	1120 (163)	807 (117)	9	27	514
	TyR*	425 (800)	1090 (158)	793 (115)	13	36	444
	TyR*	650 (1200)	717 (104)	538 (78)	28	65	235
	Normalizado	900 (1650)	748 (108)	427 (62)	20	39	217
	Recocido	790 (1450)	636 (92)	365 (53)	24	40	187

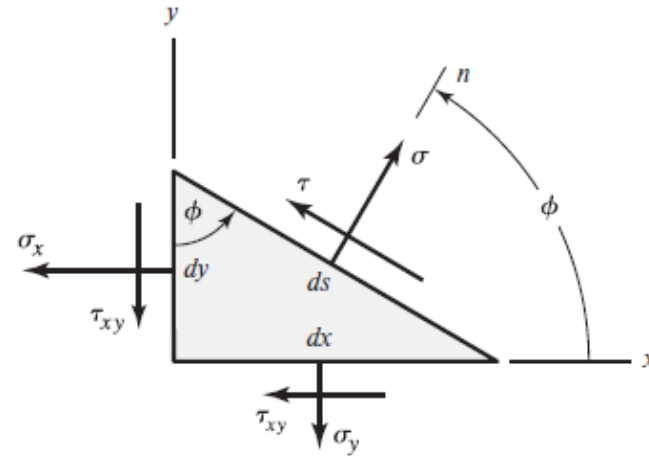
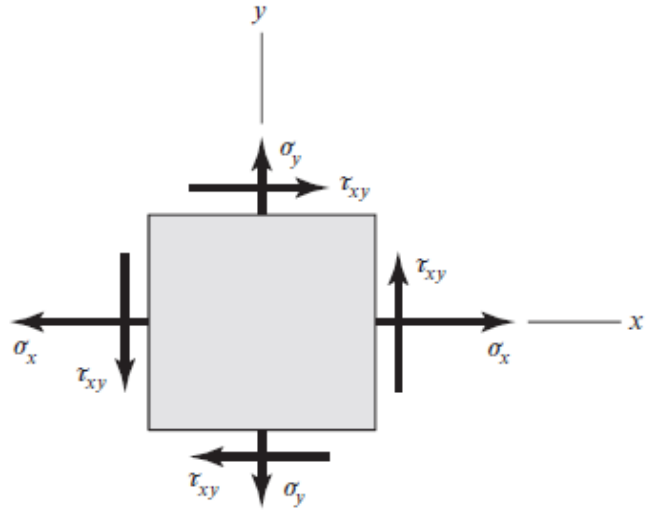
# ecuaciones de transformación de esfuerzo plano



Componentes del esfuerzo sobre la superficie normal a la dirección  $x$ .



a) Esfuerzo tridimensional general. b) Esfuerzo plano con "cortantes transversales" iguales.



*ecuaciones de transformación de esfuerzo plano*

$$\sigma_z = \tau_{zx} = \tau_{zy} = 0.$$

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\phi + \tau_{xy} \operatorname{sen} 2\phi$$

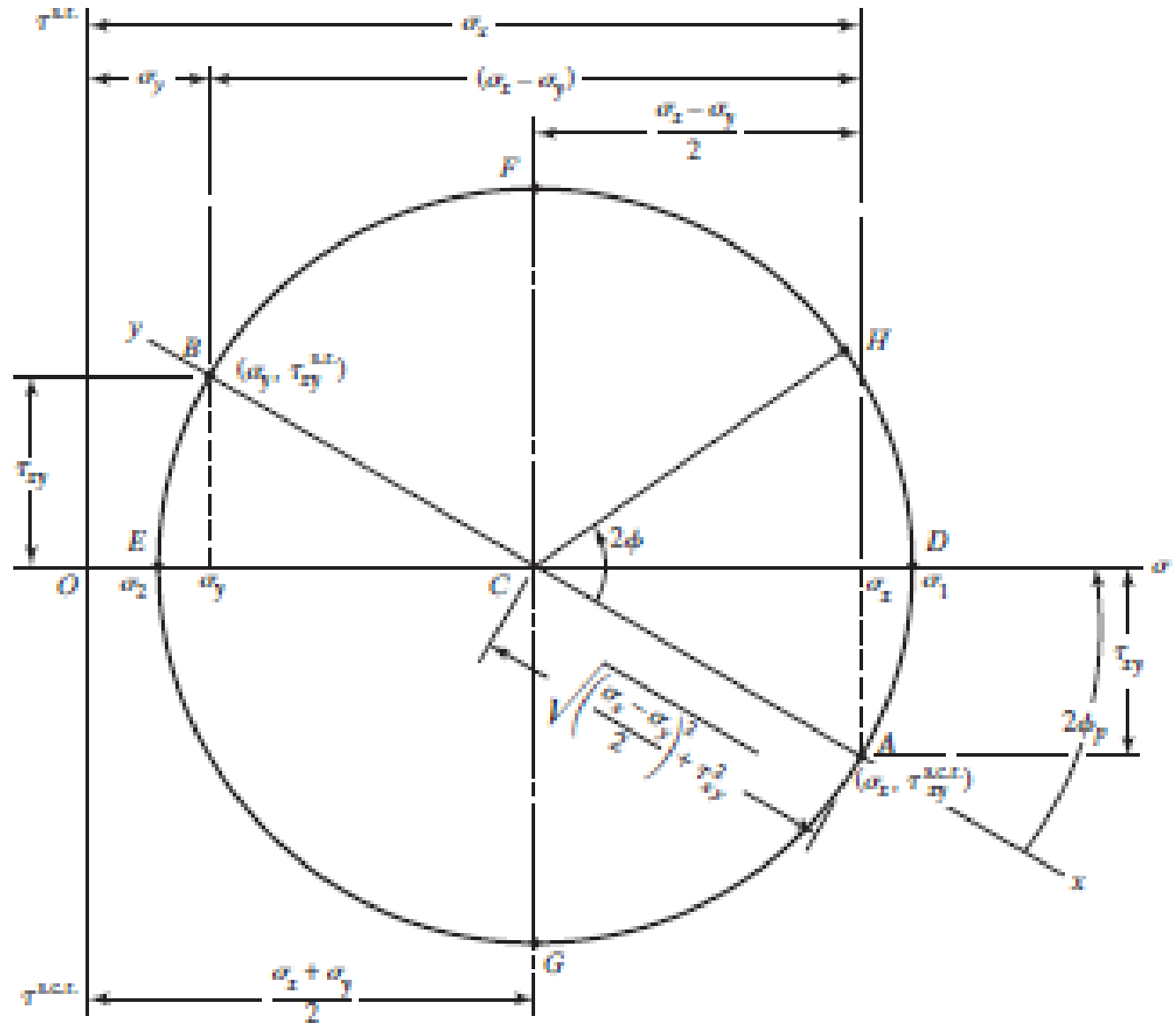
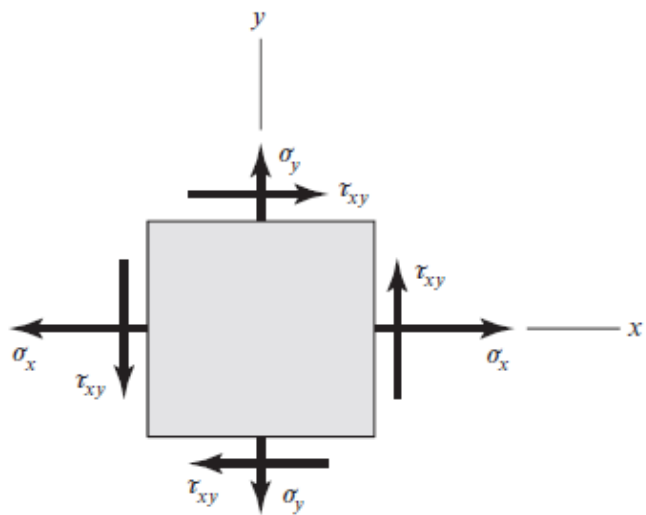
$$\tau = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \operatorname{sen} 2\phi + \tau_{xy} \cos 2\phi$$

$$\tan 2\phi_p = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_1, \tau_2 = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

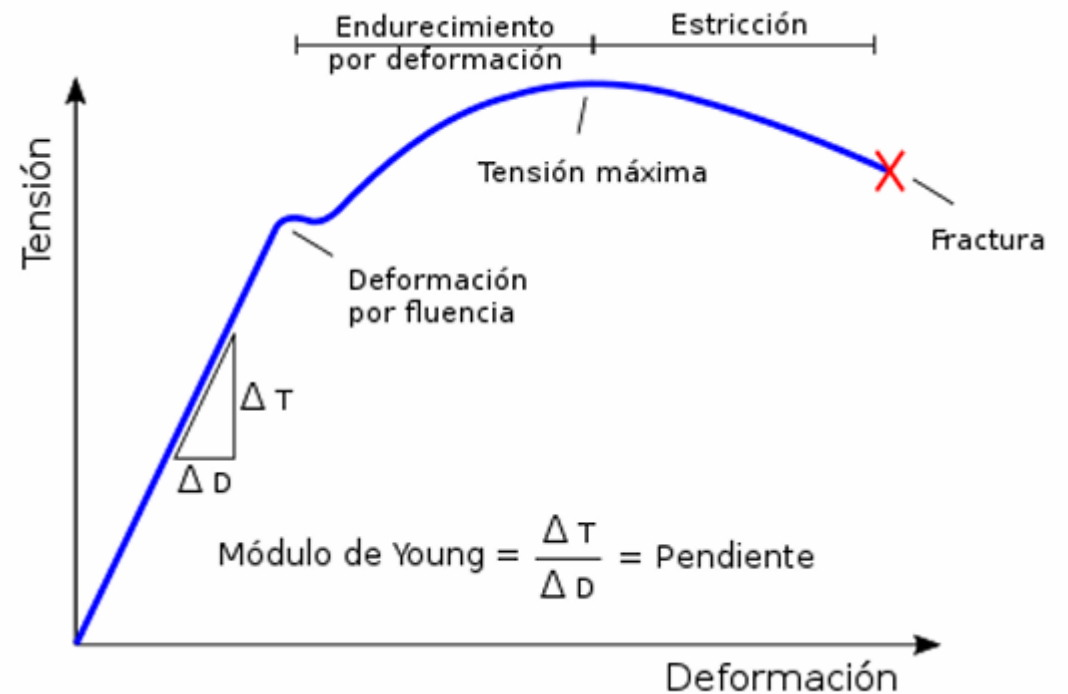
► Convención de signos



# Resistencia

Resistencia es una propiedad inherente de una pieza, una propiedad construida en la pieza debido al empleo de un material y de un proceso particular. “S”

- ▶  $S_y$  es una resistencia a la fluencia,
- ▶  $S_u$  una resistencia última,
- ▶  $S_{xy}$  es una resistencia a cortante
- ▶  $S_e$  una resistencia a la fatiga





# Factor de diseño $n_d$

$$n_d = \frac{\text{parámetro de pérdida de función}}{\text{parámetro máximo permisible}} \quad (1-1)$$

Si el parámetro es la carga, entonces la carga máxima permisible puede encontrarse con

$$\text{Carga máxima permisible} = \frac{\text{carga de pérdida de función}}{n_d} \quad (1-2)$$

$$n_d = \frac{\text{resistencia de pérdida de la función}}{\text{esfuerzo permisible}} = \frac{S}{\sigma \text{ (o } \tau)}$$

# Teorías de falla

## **Materiales dúctiles** (criterios de fluencia)

- Esfuerzo cortante máximo (ECM), sección 5-4
- Energía de distorsión (ED), sección 5-5
- Mohr-Coulomb para materiales dúctiles (CMD), sección 5-6

## **Materiales frágiles** (criterios de fractura)

- Esfuerzo normal máximo (ENM), sección 5-8
- Mohr Coulomb para materiales frágiles (CMF), sección 5-9
- Mohr modificada (MM), sección 5-9

# Teoría del esfuerzo cortante máximo para materiales dúctiles

- ▶ La teoría del esfuerzo cortante máximo estipula que la fluencia comienza cuando el esfuerzo cortante máximo de cualquier elemento iguala al esfuerzo cortante máximo en una pieza de ensayo a tensión del mismo material cuando esa pieza comienza a fluir.
- ▶ Recuerde que para el esfuerzo en tensión simple,  $\sigma = P/A$ , y el esfuerzo cortante máximo ocurre a  $45^\circ$  de la superficie en tensión con una magnitud de  $\tau_{\text{máx}} = \sigma/2$ . De manera que el esfuerzo cortante máximo en la fluencia es  $\tau_{\text{máx}} = S_y/2$ .

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \geq \frac{S_y}{2} \quad \text{o} \quad \sigma_1 - \sigma_3 \geq S_y$$

resistencia a la fluencia en cortante

$$S_{sy} = 0.5S_y$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{S_y}{2n} \quad \text{o} \quad \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{n}$$

# Teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles

- ▶ La teoría de la energía de deformación máxima predice que la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o en compresión del mismo material.

$$\left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \geq S_y \quad \sigma' \geq S_y$$

esfuerzo Von Mises es

$$\sigma' = \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2}$$

Usando las componentes xyz del esfuerzo tridimensional

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2}$$

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

$$\tau_{xy} = \frac{S_y}{\sqrt{3}} = 0.577 S_y$$

# Consideraciones de diseño

- ▶ 1. Funcionalidad
- ▶ 2. Resistencia/esfuerzo
- ▶ 3. Distorsión/deflexión/rigidez
- ▶ 4. Desgaste
- ▶ 5. Corrosión
- ▶ 6. Seguridad
- ▶ 7. Confiabilidad
- ▶ 8. Facilidad de manufactura
- ▶ 9. Utilidad
- ▶ 10. Costo
- ▶ 11. Fricción
- ▶ 12. Peso
- ▶ 13. Vida
- ▶ 14. Ruido
- ▶ 15. Estilo
- ▶ 16. Forma
- ▶ 17. Tamaño
- ▶ 18. Control
- ▶ 19. Propiedades térmicas
- ▶ 20. Superficie
- ▶ 21. Lubricación
- ▶ 22. Comercialización
- ▶ 23. Mantenimiento
- ▶ 24. Volumen
- ▶ 25. Responsabilidad legal
- ▶ 26. Capacidad de reciclado/recuperación de recursos

# Procedimiento

- ▶ Entienda el problema
- ▶ Identifique la información conocida - DCL
- ▶ Identifique la información desconocida
- ▶ Establezca todos los supuestos y todas las decisiones
- ▶ Analice el problema
- ▶ Evalúe su solución.
- ▶ Presente su solución
- ▶ Evaluar tolerancias, sistemas de unidades.
- ▶ Aspectos económicos - Tamaños estándar



# BIBLIOGRAFÍA

- ▶ RICHARD G. BUDYNAS y J. KEITH NISBETT.-“*DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA*”.- 10° Ed. Mcgrawhill.
- ▶ RICHARD G. BUDYNAS y J. KEITH NISBETT.-DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA.- 9° Ed. Mcgrawhill.
- ▶ SHIGLEY-MISCHE.-“*DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA*”-Ed. Mc-Grawhill.
- ▶ MOTT, Robert L.-“*DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS*”.-Ed. Prentice-Hall.
- ▶ JUVINALL, Robert C.-“*FUNDAMENTOS DE DISEÑO PARA INGENIERÍA MECÁNICA*”.- Ed. LIMUSA.
- ▶ Gráficos de: Shigley’s Mechanical Engineering Design, Eighth Edition

# BIBLIOGRAFÍA

- ▶ DOUGHTIE, JAMES. “ELEMENTOS DE MQUINAS” ED. CACSA.
- ▶ SHIGLEY - HUICKERS, “TEORIA DE MAUINAS Y MECANISMOS”. Ed. MA-GRAW HILL.
- ▶ FAIRES. “DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS”. ED. LIMUSA
- ▶ HALL - HOLOWENKO - LAUGHLIN. “DISEÑO DE MAQUINAS” Ed. MA-GRAW HILL.
- ▶ CATALOGOS PARA: SELECCIÓN DE RODAMIENTOS, CORREAS PALANAS Y TRAPECIALES, CADENAS, CABLES.