



Ayudantía Diseño Mecánico

Ayudante: Geraldine Farías

Email: geraldine.farias@gmail.com

Pág. web curso:

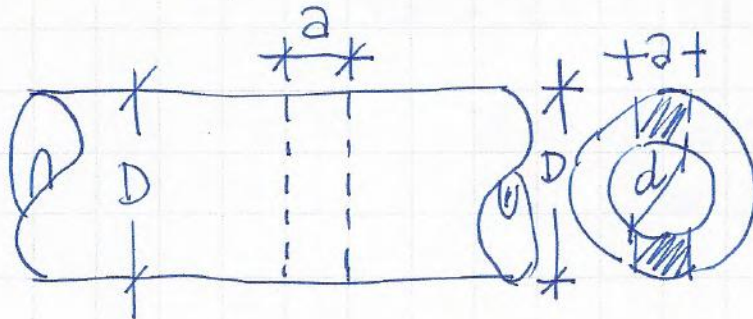
<http://mecnica-usach.mine.nu/9558/>

Ayudantía N°5

- Falla por fatiga

Ejercicio: Esfuerzos combinados en fatiga

Para un eje de acero AISI 1018 estirado en frío de 42 mm de diámetro y espesor 4 mm, que tiene un agujero pasado de 6 mm de diámetro taladrado en dirección transversal, estime el factor de seguridad que protege contra fallas por fatiga y estática para las siguientes condiciones de carga:



A) Torsión completamente reversible de $120 \text{ N}\cdot\text{m}$, en fase con momento flector completamente reversible de $150 \text{ N}\cdot\text{m}$

B) Torsión pulsante de $20 \text{ N}\cdot\text{m}$ a $160 \text{ N}\cdot\text{m}$, y momento flector constante de $150 \text{ N}\cdot\text{m}$

Tabla A-20

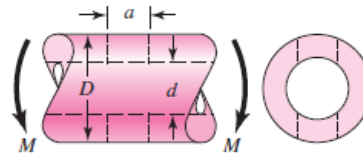
Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD) [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ($\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{4}$ pulg). Estas resistencias 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.	Procesa- miento	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

Tabla A-16

Factores aproximados de concentración del esfuerzo, K_t , de una barra redonda o un tubo con un agujero redondo transversal, carga en torsión.

Fuente: R. E. Peterson, *Stress Concentration Factors*, Wiley, Nueva York, 1974, pp. 146, 235.



El esfuerzo flexionante nominal es $\sigma_0 = M/Z_{\text{neto}}$, donde Z_{neto} es un valor reducido del módulo de sección y se define por

$$Z_{\text{neto}} = \frac{\pi A}{32D} (D^4 - d^4)$$

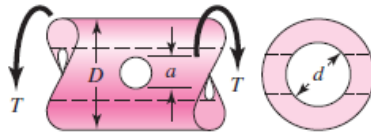
flexión (corregir)

Los valores de A se listan en la tabla. En el caso de una barra sólida use $d = 0$

a/D	0.9		d/D 0.6		0	
	A	K_t	A	K_t	A	K_t
0.050	0.92	2.63	0.91	2.55	0.88	2.42
0.075	0.89	2.55	0.88	2.43	0.86	2.35
0.10	0.86	2.49	0.85	2.36	0.83	2.27
0.125	0.82	2.41	0.82	2.32	0.80	2.20
0.15	0.79	2.39	0.79	2.29	0.76	2.15
0.175	0.76	2.38	0.75	2.26	0.72	2.10
0.20	0.73	2.39	0.72	2.23	0.68	2.07
0.225	0.69	2.40	0.68	2.21	0.65	2.04
0.25	0.67	2.42	0.64	2.18	0.61	2.00
0.275	0.66	2.48	0.61	2.16	0.58	1.97
0.30	0.64	2.52	0.58	2.14	0.54	1.94

Tabla A-16 (continuación)

Factores aproximados de concentración del esfuerzo, K_{ts} , de una barra redonda o un tubo con un agujero redondo transversal, carga en torsión Fuente: R. E. Peterson, *Stress Concentration Factors*, Wiley, Nueva York, 1974, pp. 148, 244.



El esfuerzo máximo ocurre en el interior del agujero, un poco debajo de la superficie del eje. El esfuerzo cortante nominal es $\tau_0 = T D / 2J_{\text{neto}}$, donde J_{neto} es un valor reducido del segundo momento polar del área y se define por

$$J_{\text{neto}} = \frac{\pi A(D^4 - d^4)}{32}$$

Los valores de A se listan en la tabla. En el caso de una barra sólida use $d = 0$.

a/D	d/D									
	0.9		0.8		0.6		0.4		0	
	A	K_{ts}	A	K_{ts}	A	K_{ts}	A	K_{ts}	A	K_{ts}
0.05	0.96	1.78							0.95	1.77
0.075	0.95	1.82							0.93	1.71
0.10	0.94	1.76	0.93	1.74	0.92	1.72	0.92	1.70	0.92	1.68
0.125	0.91	1.76	0.91	1.74	0.90	1.70	0.90	1.67	0.89	1.64
0.15	0.90	1.77	0.89	1.75	0.87	1.69	0.87	1.65	0.87	1.62
0.175	0.89	1.81	0.88	1.76	0.87	1.69	0.86	1.64	0.85	1.60
0.20	0.88	1.96	0.86	1.79	0.85	1.70	0.84	1.63	0.83	1.58
0.25	0.87	2.00	0.82	1.86	0.81	1.72	0.80	1.63	0.79	1.54
0.30	0.80	2.18	0.78	1.97	0.77	1.76	0.75	1.63	0.74	1.51
0.35	0.77	2.41	0.75	2.09	0.72	1.81	0.69	1.63	0.68	1.47
0.40	0.72	2.67	0.71	2.25	0.68	1.89	0.64	1.63	0.63	1.44

Figura 6-20

Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024-T, sometidos a flexión inversa de cargas axiales inversas. Para radios de muesca más grandes, use los valores de q correspondientes a la ordenada $r = .16$ pulg (4 mm). [De George Sines y J. L. Waisman (eds.), Metal Fatigue, McGraw-Hill. Nueva York, Copyright © 1969 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.]

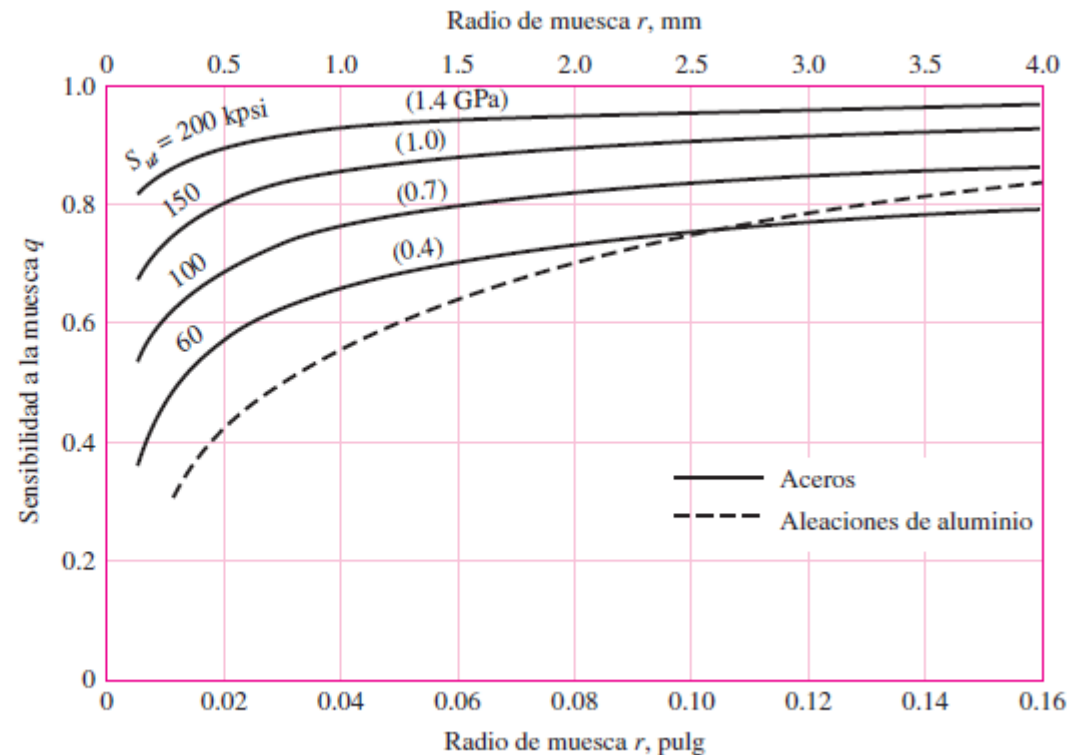
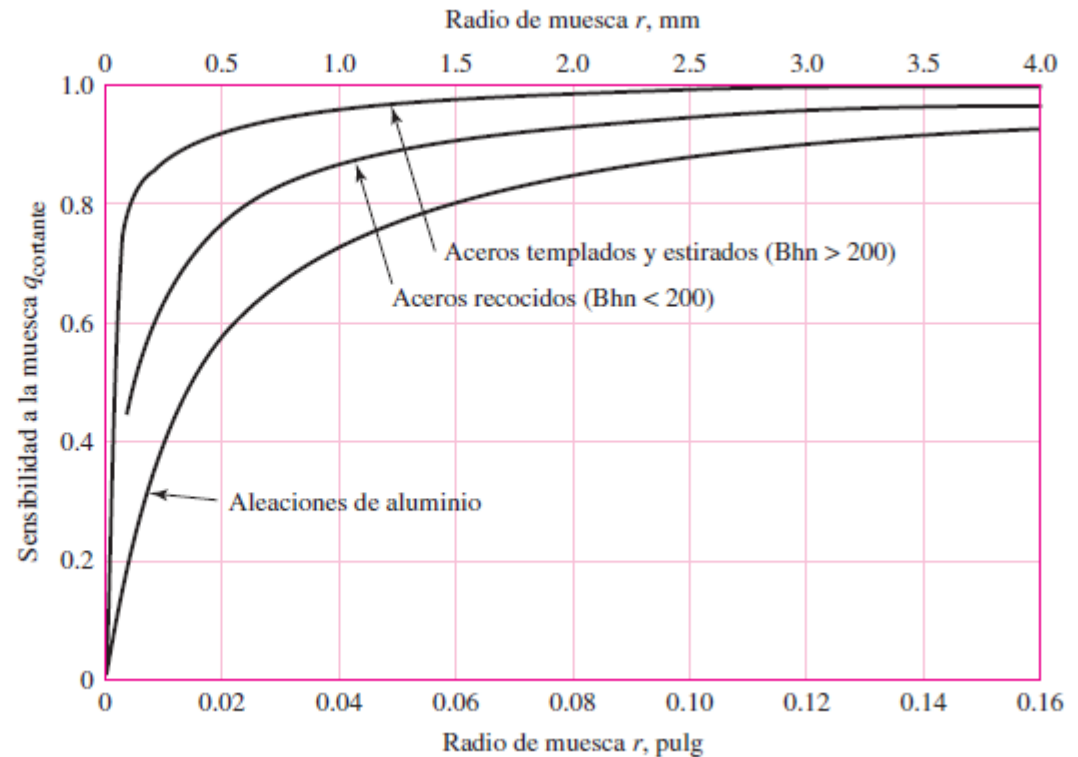


Figura 6-21

Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa. En el caso de radios de muesca más grandes, use los valores de q_{cortante} correspondientes a la ordenada $r = 0.16$ pulg (4 mm).



Shigley, *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Pag. 336.

Resumen de ecuaciones de diseño importantes para el método del esfuerzo-vida

Carga simple completamente reversible

1 Determine S'_e a partir de datos de los ensayos o de

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases} \quad \text{p. 274 (6-8)}$$

2 Modifique S'_e para determinar S_e .

p. 279

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (6-18)$$

Factor de superficie

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (6-19)$$

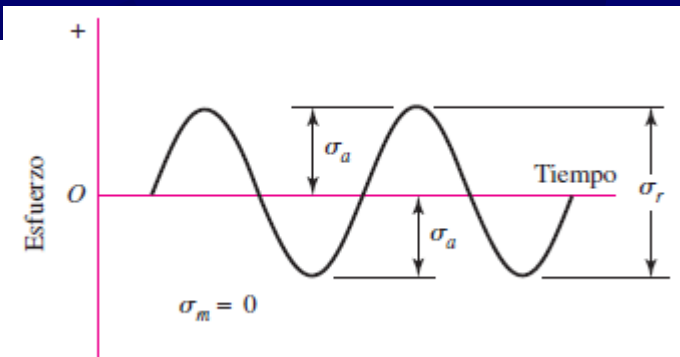


Tabla 6-2

Parámetros del factor de modificación superficial de Marin, ecuación (6-19)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Factor de tamaño

Eje rotatorio. Para flexión o torsión,

$$p. 280 \quad k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (6-20)$$

Para carga axial

$$k_b = 1 \quad (6-21)$$

Elemento no rotatorio. Use la tabla 6-3, p. 282, para d_e y sustituya en la ecuación (6-20) por d .

Factor de carga

$$p. 282 \quad k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases} \quad (6-26)$$

Factor de temperatura

p. 283 Use la tabla 6-4 para k_d , o bien

$$k_d = 0.975 + 0.432(10^{-3})T_F - 0.115(10^{-5})T_F^2 \\ + 0.104(10^{-8})T_F^3 - 0.595(10^{-12})T_F^4 \quad (6-27)$$

Factor de efectos varios

pp. 285-286, k_f

- 3 Determine el factor de concentración del esfuerzo a la fatiga, K_f o K_{fs} . Primero, encuentre K_t o K_{ts} en la tabla A-15.

p. 287
$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad \text{o} \quad K_{fs} = 1 + q(K_{ts} - 1) \quad (6-32)$$

Obtenga q de la figura 6-20 o 6-21, pp. 287-288.

De manera alternativa, para cargas axiales o de flexión reversibles,

p. 288
$$K_f = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \sqrt{a/r}} \quad (6-33)$$

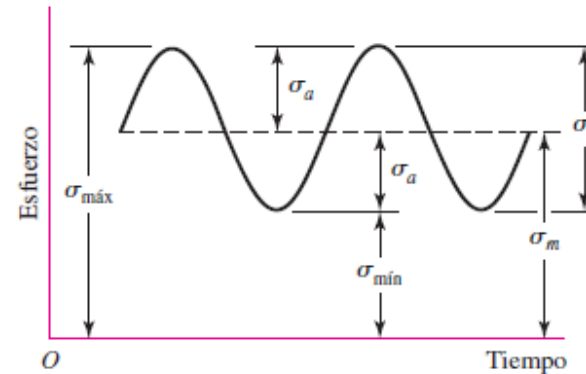
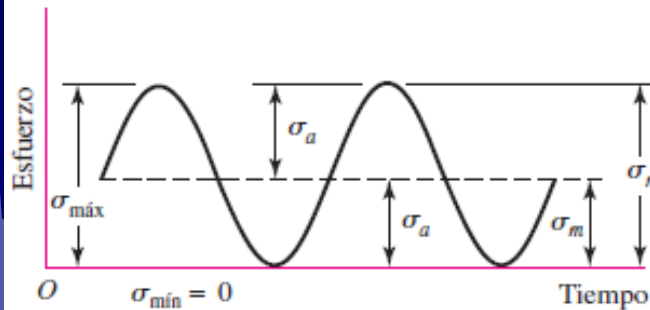
Para S_{ut} en kpsi

$$\begin{aligned} \sqrt{a} = & 0.245\,799 - 0.307\,794(10^{-2})S_{ut} \\ & + 0.150\,874(10^{-4})S_{ut}^2 - 0.266\,978(10^{-7})S_{ut}^3 \end{aligned} \quad (6-35)$$

Para la torsión en aceros de aleación baja, incremente S_{ut} por 20 kpsi y aplique a la ecuación (6-35).

- 4 Aplique K_f o K_{fs} ya sea dividiendo S_e entre éste o multiplicándolo por el esfuerzo puramente reversible; *no* realice ambas acciones.

Carga simple fluctuante



Para S_e , K_f o K_{fs} , vea la subsección previa

- 1 Calcule σ_m y σ_a . Aplique K_f a ambos esfuerzos.

p. 293
$$\sigma_m = (\sigma_{\text{máx}} + \sigma_{\text{mín}})/2 \quad \sigma_a = |\sigma_{\text{máx}} - \sigma_{\text{mín}}|/2 \quad (6-36)$$

- 2 Aplique un criterio de falla por fatiga, p. 298

$$\sigma_m \geq 0$$

Soderberg
$$\sigma_a/S_e + \sigma_m/S_y = 1/n \quad (6-45)$$

Goodman-modificado
$$\sigma_a/S_e + \sigma_m/S_{ut} = 1/n \quad (6-46)$$

Gerber
$$n\sigma_a/S_e + (n\sigma_m/S_{ut})^2 = 1 \quad (6-47)$$

ASME-elíptico
$$(\sigma_a/S_e)^2 + (\sigma_m/S_{ut})^2 = 1/n^2 \quad (6-48)$$

$$\sigma_m < 0$$

p. 297

$$\sigma_a = S_e/n$$

↑ S_y (corregir)

Torsión. Use las mismas ecuaciones que las aplicadas a $\sigma_m \geq 0$, pero ahora reemplace σ_m y σ_a con τ_m y τ_a , use $k_c = 0.59$ para S_e , reemplace S_{ut} con $S_{su} = 0.67S_{ut}$ [ecuación (6-54), p. 309], y reemplace S_y con $S_{sy} = 0.577S_y$ [ecuación (5-21), p. 217]

3 Verifique para la fluencia localizada.

p. 298
$$\sigma_a + \sigma_m = S_y/n \quad (6-49)$$

o, para la torsión
$$\tau_a + \tau_m = 0.577S_y/n$$

4 Para la resistencia a la fatiga de vida finita (vea el ejemplo 6-12, pp. 305-306),

Goodman modificado
$$S_f = \frac{\sigma_a}{1 - (\sigma_m/S_{ut})}$$

Gerber
$$S_f = \frac{\sigma_a}{1 - (\sigma_m/S_{ut})^2}$$

Si se determina la vida finita N con un factor de seguridad n , sustituya S_f/n por σ_a en la ecuación (6-16). Esto es,

$$N = \left(\frac{S_f/n}{a} \right)^{1/b}$$

Combinación de modos de falla

Para ver las definiciones anteriores consulte las subsecciones previas.

- 1 Calcule el esfuerzo de von Mises de los estados de esfuerzo alternante y medio, σ'_a y σ'_m . Cuando determine S_e , no use k_c ni divida entre K_f o K_{fs} . Aplique K_f y/o K_{fs} directamente a cada esfuerzo alternante y medio específico. Si hay esfuerzo axial presente divida el esfuerzo axial alternante entre $k_c = 0.85$. Para el caso especial de la combinación de esfuerzos de flexión, cortante por torsión y axial

p. 310

$$\sigma'_a = \left\{ \left[(K_f)_{flexión} (\sigma_a)_{flexión} + (K_f)_{axial} \frac{(\sigma_a)_{axial}}{0.85} \right]^2 + 3 [(K_{fs})_{torsión} (\tau_a)_{torsión}]^2 \right\}^{1/2}$$

(6-55)

$$\sigma'_m = \left\{ [(K_f)_{flexión} (\sigma_m)_{flexión} + (K_f)_{axial} (\sigma_m)_{axial}]^2 + 3 [(K_{fs})_{torsión} (\tau_m)_{torsión}]^2 \right\}^{1/2}$$

(6-56)

- 2 Aplique el criterio de esfuerzos a la fatiga [vea las ecuaciones (6-45) a (6-48), p. 338, en la subsección anterior].
- 3 Verifique de manera conservadora la fluencia localizada usando esfuerzos de von Mises.

p. 298

$$\sigma'_a + \sigma'_m = S_y/n$$

(6-49)

Criterios de falla por fatiga ante esfuerzos variables

Figura 6-27

Diagrama de fatiga donde se proporcionan varios criterios de falla. Para cada criterio, los puntos en o "arriba" de la recta respectiva indican falla. Por ejemplo, un punto A en la recta de Goodman proporciona la resistencia S_m como el valor límite de σ_m correspondiente a la resistencia S_a , la cual, emparejada con σ_m , es el valor límite de σ_a .

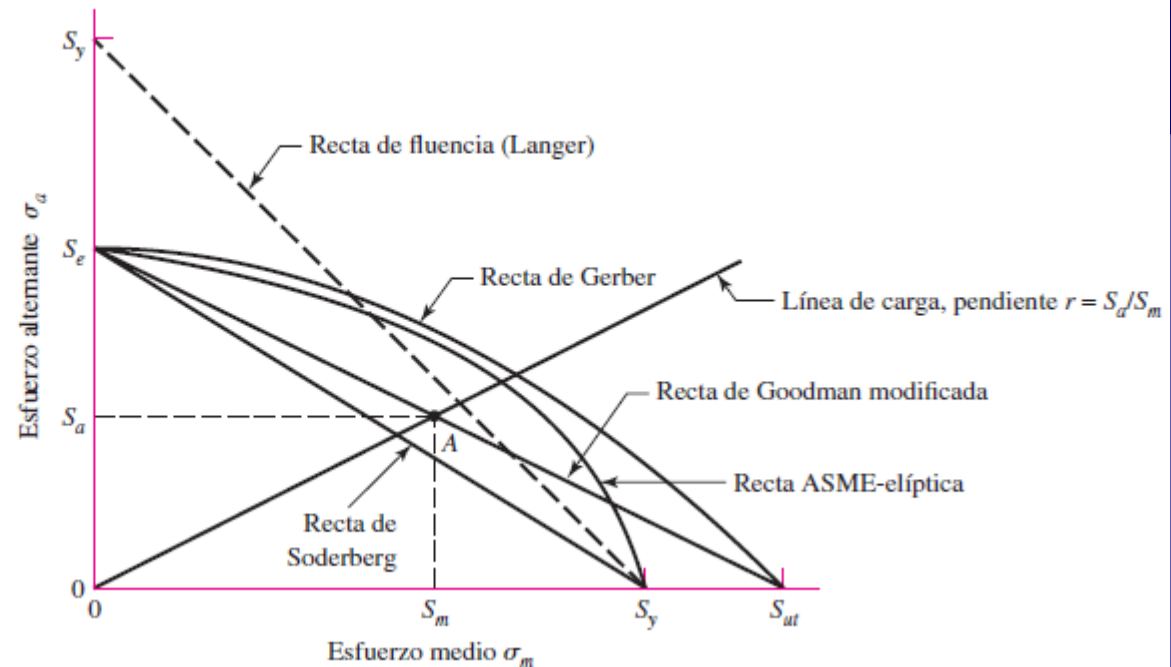


Tabla 6-6

Coordenadas de la amplitud y constante de la resistencia, e intersecciones importantes en el primer cuadrante de los criterios de falla de Goodman modificado y de Langer

Intersecciones de ecuaciones	Coordenadas de la intersección
$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{ut}} = 1$ Línea de carga $r = \frac{S_a}{S_m}$	$S_a = \frac{r S_e S_{ut}}{r S_{ut} + S_e}$ $S_m = \frac{S_a}{r}$
$\frac{S_a}{S_y} + \frac{S_m}{S_y} = 1$ Línea de carga $r = \frac{S_a}{S_m}$	$S_a = \frac{r S_y}{1 + r}$ $S_m = \frac{S_y}{1 + r}$
$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{ut}} = 1$ $\frac{S_a}{S_y} + \frac{S_m}{S_y} = 1$	$S_m = \frac{(S_y - S_e) S_{ut}}{S_{ut} - S_e}$ $S_a = S_y - S_m, r_{crit} = S_a/S_m$

Factor de seguridad de fatiga

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

Tabla 6-7

Coordenadas de la amplitud y constante de la resistencia, e intersecciones importantes en el primer cuadrante de los criterios de falla de Gerber y de Langer

Intersecciones de ecuaciones

Coordenadas de la intersección

$$\frac{S_a}{S_e} + \left(\frac{S_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$$

Línea de carga $r = \frac{S_a}{S_m}$

$$S_a = \frac{r^2 S_{ut}^2}{2S_e} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2S_e}{r S_{ut}}\right)^2} \right]$$

$$S_m = \frac{S_a}{r}$$

$$\frac{S_a}{S_y} + \frac{S_m}{S_y} = 1$$

Línea de carga $r = \frac{S_a}{S_m}$

$$S_a = \frac{r S_y}{1+r}$$

$$S_m = \frac{S_y}{1+r}$$

$$\frac{S_a}{S_e} + \left(\frac{S_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$$

$$\frac{S_a}{S_y} + \frac{S_m}{S_y} = 1$$

$$S_m = \frac{S_{ut}^2}{2S_e} \left[1 - \sqrt{1 + \left(\frac{2S_e}{S_{ut}}\right)^2 \left(1 - \frac{S_y}{S_e}\right)} \right]$$

$$S_a = S_y - S_m, r_{crit} = S_a) S_m$$

Factor de seguridad de fatiga

$$n_f = \frac{1}{2} \left(\frac{S_{ut}}{\sigma_m}\right)^2 \frac{\sigma_a}{S_e} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2\sigma_m S_e}{S_{ut} \sigma_a}\right)^2} \right] \quad \sigma_m > 0$$

Tabla 6-8

Coordenadas de la amplitud y constante de la resistencia, e intersecciones importantes en el primer cuadrante de los criterios de falla de ASME-elíptica y de Langer

Intersecciones de ecuaciones

Coordenadas de la intersección

$$\left(\frac{S_a}{S_b}\right)^2 + \left(\frac{S_m}{S_y}\right)^2 = 1$$

Línea de carga $r = S_a/S_m$

$$S_a = \sqrt{\frac{r^2 S_b^2 S_y^2}{S_b^2 + r^2 S_y^2}}$$

$$S_m = \frac{S_b}{r}$$

$$\frac{S_a}{S_y} + \frac{S_m}{S_y} = 1$$

Línea de carga $r = S_a/S_m$

$$S_a = \frac{r S_y}{1+r}$$

$$S_m = \frac{S_y}{1+r}$$

$$\left(\frac{S_a}{S_b}\right)^2 + \left(\frac{S_m}{S_y}\right)^2 = 1$$

$$\frac{S_a}{S_y} + \frac{S_m}{S_y} = 1$$

$$S_a = 0, \frac{2 S_y S_b^2}{S_b^2 + S_y^2}$$

$$S_m = S_y - S_a, r_{crit} = S_a/S_m$$

Factor de seguridad de fatiga

$$n_f = \sqrt{\frac{1}{(\sigma_a/S_b)^2 + (\sigma_m/S_y)^2}}$$