

Ejercicio Elementos de Máquinas

Profesor: Osvaldo Gonzalez

Auxiliares: Vania González, Daniel Hevia, Macarena Muñoz

Pregunta

Considere el eje con cambio de sección de la figura 1, el cual ha sido maquinado y tiene $S_{ut} = 700[\text{MPa}]$ y $S_y = 480[\text{MPa}]$. El eje se encuentra en rotación. Se pide realizar el análisis considerando la zona encerrada en rojo en la figura, la cual corresponde a un punto en la superficie del cambio de sección. Tome en cuenta los siguientes datos, considerando que la fuerza máxima se aplica cuando el punto está arriba y la fuerza mínima cuando el eje ha realizado medio giro. Se pide encontrar el diagrama Esfuerzo-Vida del eje utilizando para los cálculos el criterio de Goodman modificado.

- $D = 40[\text{mm}]$; $d = 38[\text{mm}]$; $r = 4[\text{mm}]$.
- El eje trabaja a $400[^\circ\text{C}]$.
- La confiabilidad es del 99.9%.
- Factor de efectos varios $k_f = 0.75$

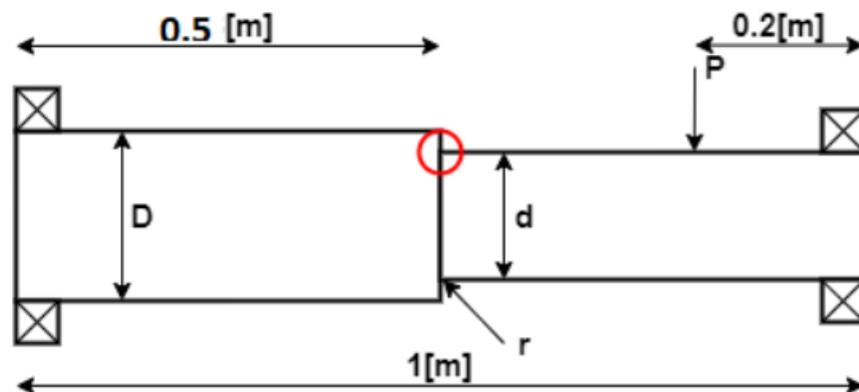


Figura 1: Referencia del eje

Pauta

Para realizar esto se debe tener en claro que el diagrama tiene la siguiente forma:

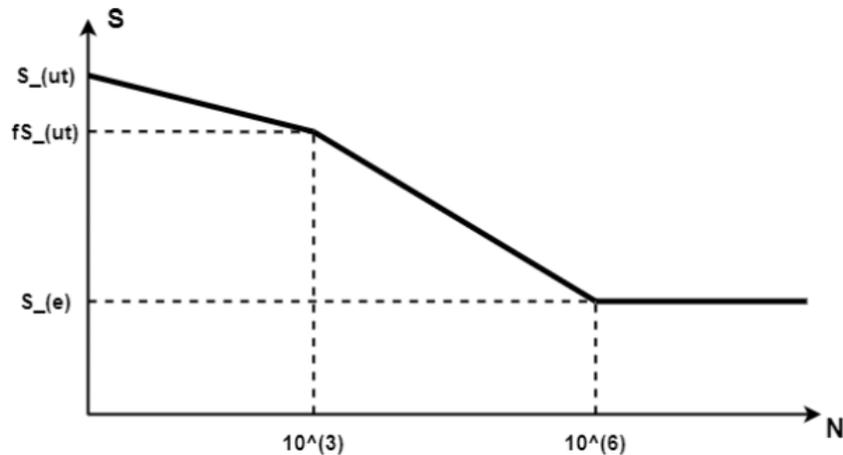


Figura 2: Gráfico esfuerzo-vida

Se puede apreciar que para un esfuerzo igual a $f \cdot S_{ut}$, la vida del activo será de 10^3 ciclos (N), mientras que para cuando el esfuerzo aplicado es S_e la vida del activo será de 10^6 ciclos (N). También importante notar que la temperatura a la que está funcionando el eje ($400[^\circ\text{C}]$) no es igual a la temperatura de ensayo o teórica ($20[^\circ\text{C}]$) que es el valor nominal que tiene el enunciado. Por lo tanto, se debe considerar que la resistencia última a la tracción S_{ut} varía y ese valor se puede obtener con los datos de la siguiente figura:

Tabla 6-4

	Temperatura, $^\circ\text{C}$	S_T/S_{RT}	Temperatura, $^\circ\text{F}$	S_T/S_{RT}
Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero. * (S_T = resistencia a la tensión a la temperatura de operación; S_{RT} = resistencia a la tensión a temperatura ambiente; $0.099 \leq \hat{\sigma} \leq 0.110$)	20	1.000	70	1.000
	50	1.010	100	1.008
	100	1.020	200	1.020
	150	1.025	300	1.024
	200	1.020	400	1.018
	250	1.000	500	0.995
	300	0.975	600	0.963
	350	0.943	700	0.927
	400	0.900	800	0.872
	450	0.843	900	0.797
	500	0.768	1 000	0.698
	550	0.672	1 100	0.567
600	0.549			

Figura 3: Factor de Marín para la temperatura

$$(S_{ut})_{T=400^\circ\text{C}} = \left(\frac{S_t}{S_{RT}} \right)_{T=400^\circ\text{C}} \cdot S_{ut} = 0.9 \cdot 700[\text{MPa}] = 630[\text{MPa}]$$

Luego, se debe calcular el límite de resistencia teórico a la fatiga, que es el que se realiza en ensayos y que se termina de la siguiente manera para cuando S_{ut} es menor a 1400[MPa]:

$$S'_e = 0.5 \cdot S_{ut} = 0.5 \cdot 630 = 315[MPa]$$

Para $f \cdot S_{ut}$ es posible calcular f de la siguiente manera:

$$f = \frac{\sigma'_F}{S_{ut}} (2 \cdot 10^3)^b$$

donde,

$$\sigma'_F = S_{ut} + 345[MPa] = 630 + 345 = 975[MPa]$$

$$b = -\frac{\log(\sigma'_F/S'_e)}{\log(2N_e)} = -\frac{\log(975/315)}{\log(2 \cdot 10^6)} = -0.0779$$

Notar que los logaritmos que se usan son en base 10. Por lo tanto el valor de f es:

$$f \frac{975}{630} (2 \cdot 10^3)^{-0.0779} = 0.8561$$

El valor de f también puede ser calculado con la siguiente figura valores de S_{ut} que cumplan con el rango que se muestra. Para este caso, $S_{ut} = 630[MPa] = 91.37[kpsi]$.

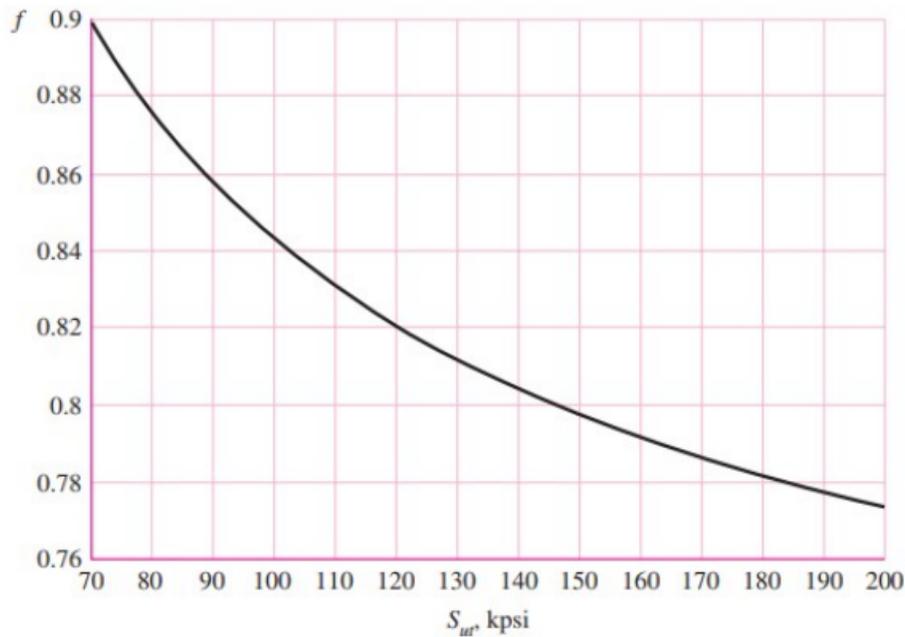


Figura 4: Gráfico de la fracción de la resistencia a la fatiga

$$f \cdot S_{ut} = 0.8561 \cdot 630 = 539.34[MPa]$$

Por último falta calcular el límite real de resistencia a la fatiga, para lo cual se necesitan los factores de Marin. Este límite S_e se determina con la siguiente ecuación:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

donde se tiene que:

- k_a es el factor de condición superficial.
- k_b es el factor de tamaño.
- k_c es el factor de carga.
- k_d es el factor de temperatura.
- k_e es el factor de confiabilidad.
- k_f es el factor de efectos varios o efectos diversos.

Para k_a por enunciado se sabe que el eje está maquinado, por lo que nos fijamos en esa fila de la tabla:

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado 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

Figura 5: Factor de Marin de superficie

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b = 4.51 \cdot 630^{-0.265} = 0.817$$

Por otra parte para k_b , se debe utilizar el diámetro menor para realizar los cálculos. ya que es la zona del eje dónde los esfuerzos aplicados son mayores, por lo que se usa el diámetro de 38[mm].

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

Figura 6: Factor de Marin de tamaño

$$k_b = 1.24 \cdot d^{-0.107} = 1.24 \cdot 38^{-0.107} = 0.840$$

Para k_c es necesario darse cuenta que está sometido a un esfuerzo de flexión por lo que su valor es unitario.

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Figura 7: Factor de Marin de carga

$$k_c = 1$$

Para

$$k_d$$

ya se consideró el efecto de la temperatura cuando se recalculó S_{ut} , por lo que su valor también es unitario (este valor también se aplica para cuando se trabaja a temperatura ambiente).

$$k_d = 1$$

En cuanto a k_e , se tiene que buscar un valor para una confiabilidad del 99.9% que es lo solicitado por el enunciado.

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_o	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 8: Factor Marin de confiabilidad

$$k_e = 0.753$$

Finalmente para k_f su valor está dado en el enunciado,

$$k_f = 0.75$$

Con todo lo anterior se puede calcular el valor del límite de resistencia a la fatiga, el cual tiene un valor de:

$$S_e = 0.817 \cdot 0.840 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.753 \cdot 0.75 \cdot 315 = 122.09 [MPa]$$

con lo que el diagrama final queda como se muestra a continuación.

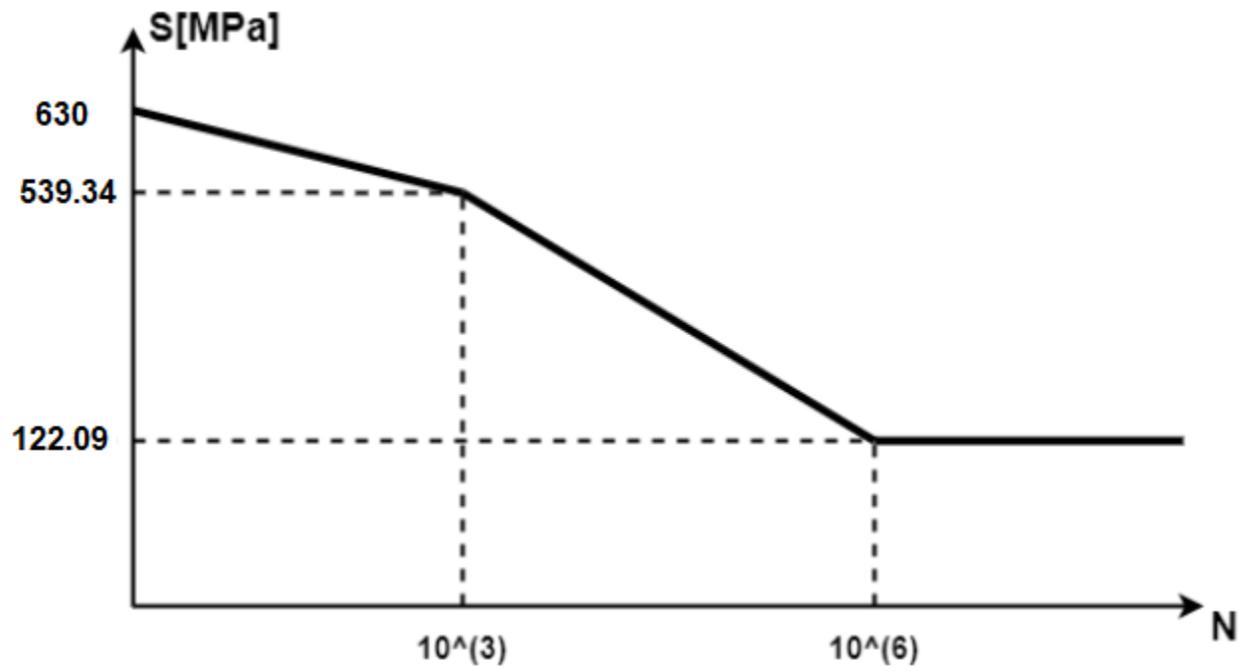


Figura 9: Gráfico esfuerzo-vida final