FATIGA EN MATERIALES

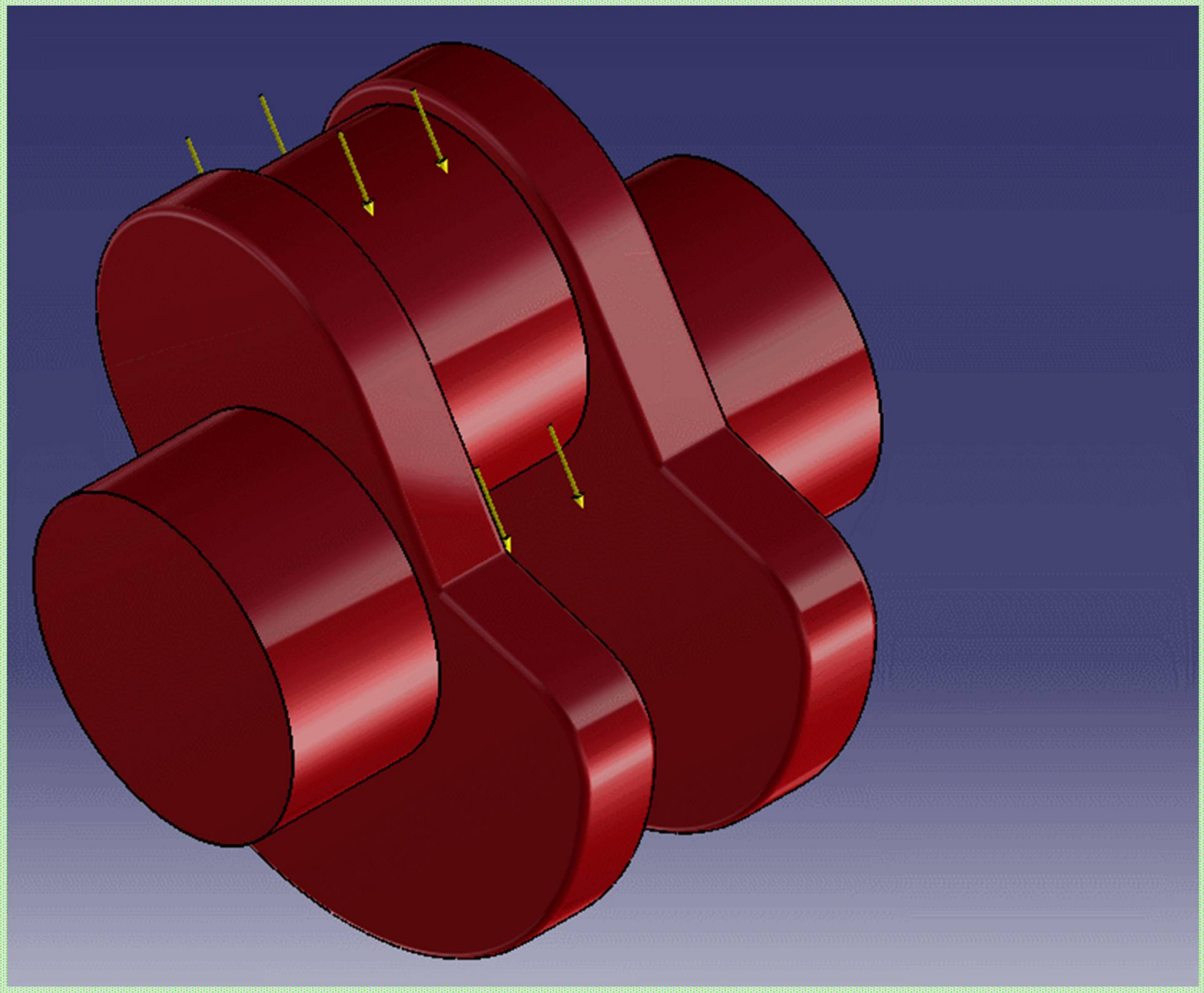
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Ing. Carlos Barrera 2026

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS



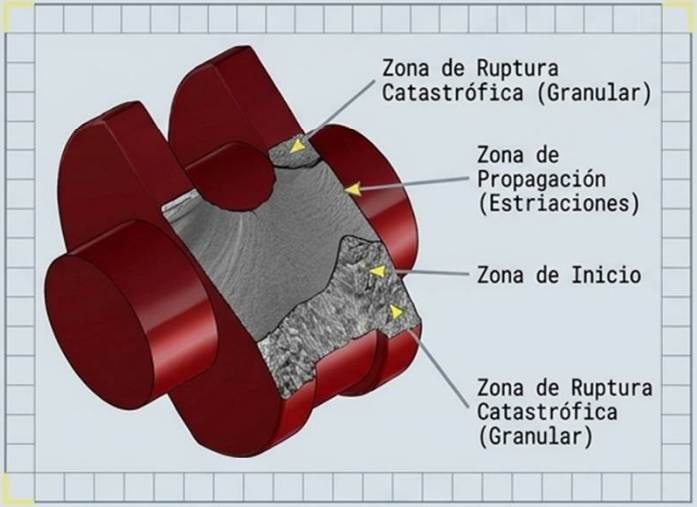
17:42

Ing. Carlos Barrera

Morfología del Daño: Ciclo de Vida de la Grieta

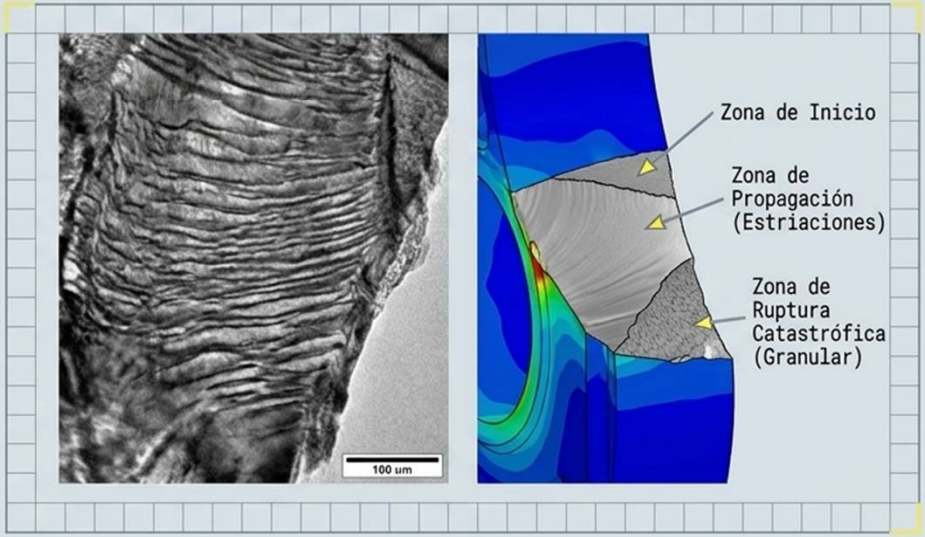
Ecuación del Ciclo de Vida:

Vida Total = N_i (Iniciación) + N_p (Propagación)



Zona 2 (Ruptura Catastrófica)

Zona de cristales grandes, superficie granular. Ocurre de forma repentina cuando el área transversal remanente ya no soporta la carga aplicada.



Zona 1 (Propagación)

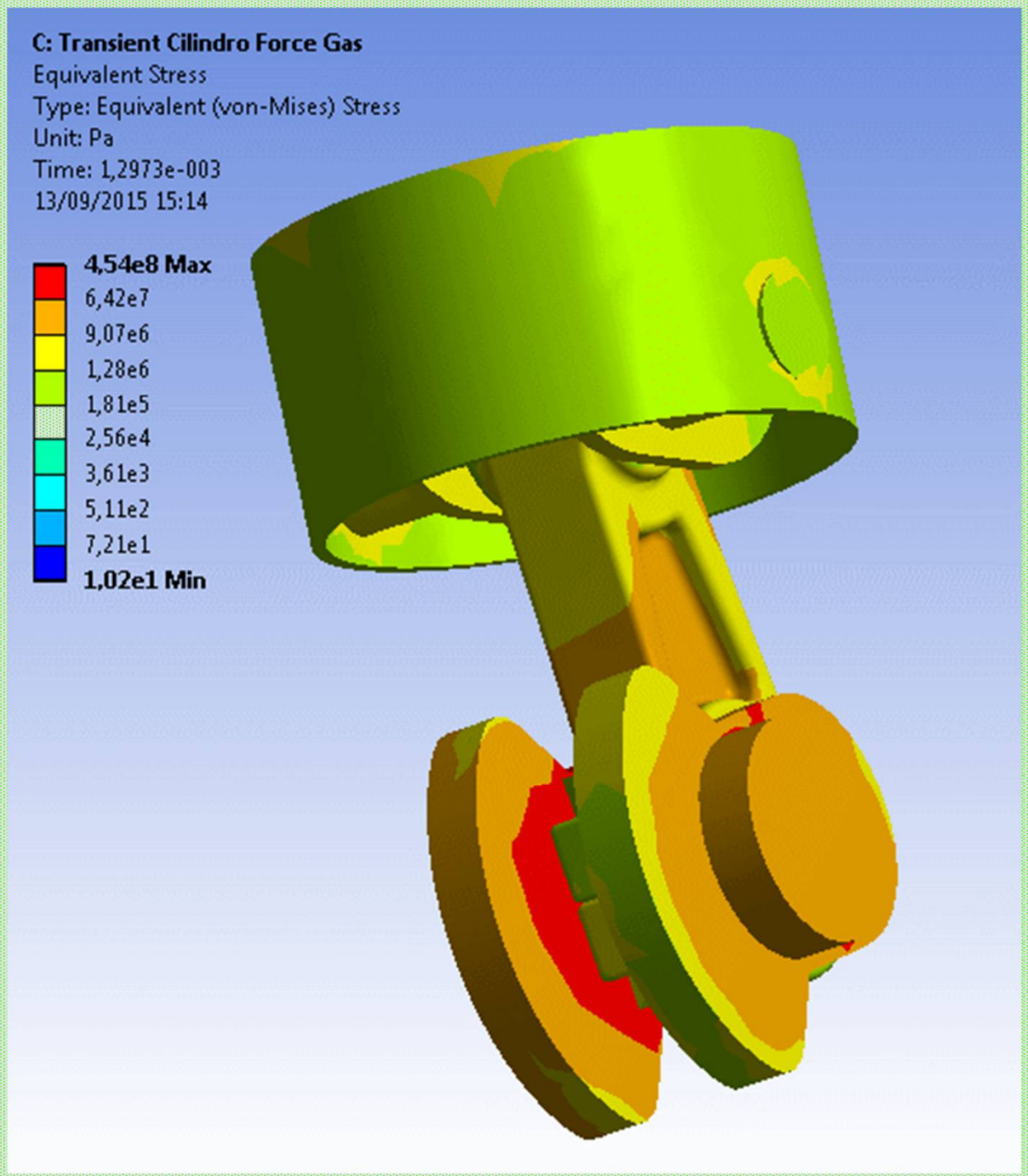
Zona lisa, de fina estructura y brillante. Presenta marcas características en forma de concha de almeja o estrías de fatiga producidas por el avance progresivo de la grieta.

Gemini Notebook

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS



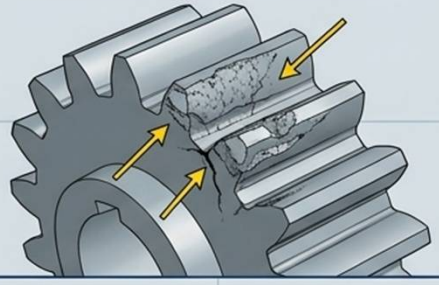
17:42

Origen de la Falla: Puntos de Concentración

¿Dónde se inicia una falla por fatiga? Generalmente en una discontinuidad del material donde el esfuerzo cíclico es máximo.

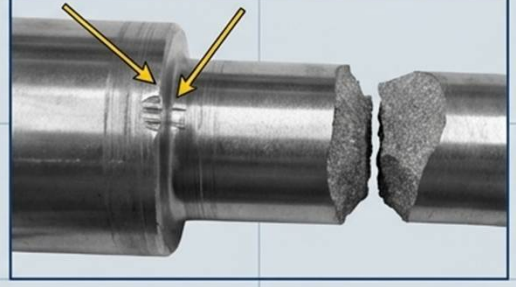
System Discontinuity Map

DISEÑO



- Cambios rápidos en sección transversal, chaveteros, orificios.
- Elementos rodantes/deslizantes (engranes, rodamientos) bajo alta presión constante.
- Consecuencia: Esfuerzos de contacto que causan picaduras o astilladuras.

FABRICACIÓN



- Marcas de herramientas, estampados, raspaduras, rebabas.
- Diseño defectuoso de juntas.
- Ensamble inapropiado u otros errores mecánicos.

COMPOSICIÓN DEL MATERIAL

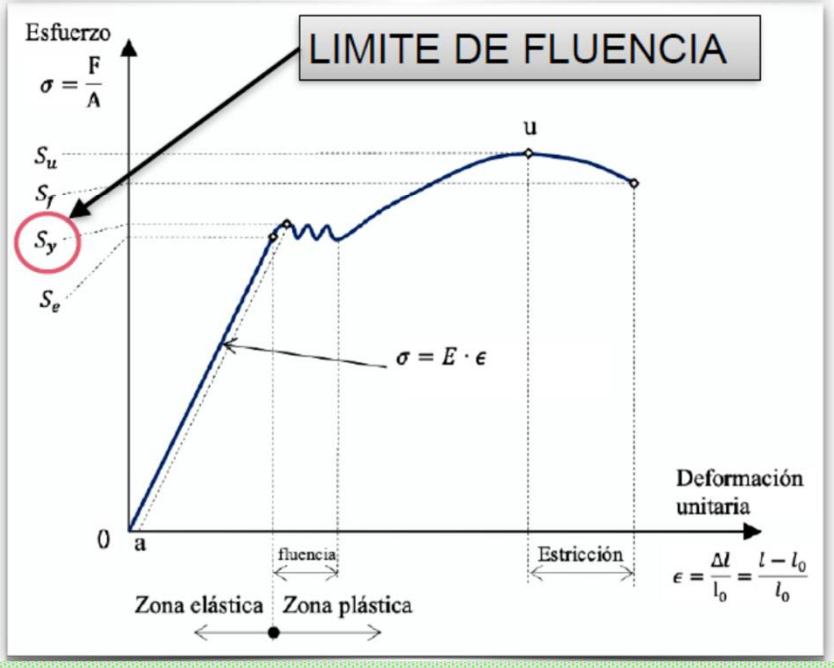


- Discontinuidades tras laminado, forjado o fundido.
- Inclusiones de material extraño y huecos.
- Segregaciones de aleación y precipitaciones de partículas duras.

Gemini Notebook

Como se llama el gráfico mostrado en esta diapositiva? Y en qué otra materia se estudió?

Diagrama esfuerzo-deformación



Cuando se somete a un elemento de acero a un esfuerzo simple (en este caso tracción), de forma lenta y hasta alcanzar la rotura de la probeta, se traza un diagrama similar al mostrado (fuera de escala para percibir los puntos característicos)

La condición para que se produzca la falla estática:

1. **Un esfuerzo de tensión suficientemente grande.**

Recordemos que cuando se supera EL LIMITE DE FLUENCIA la pieza comienza a sufrir daños permanentes.

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS



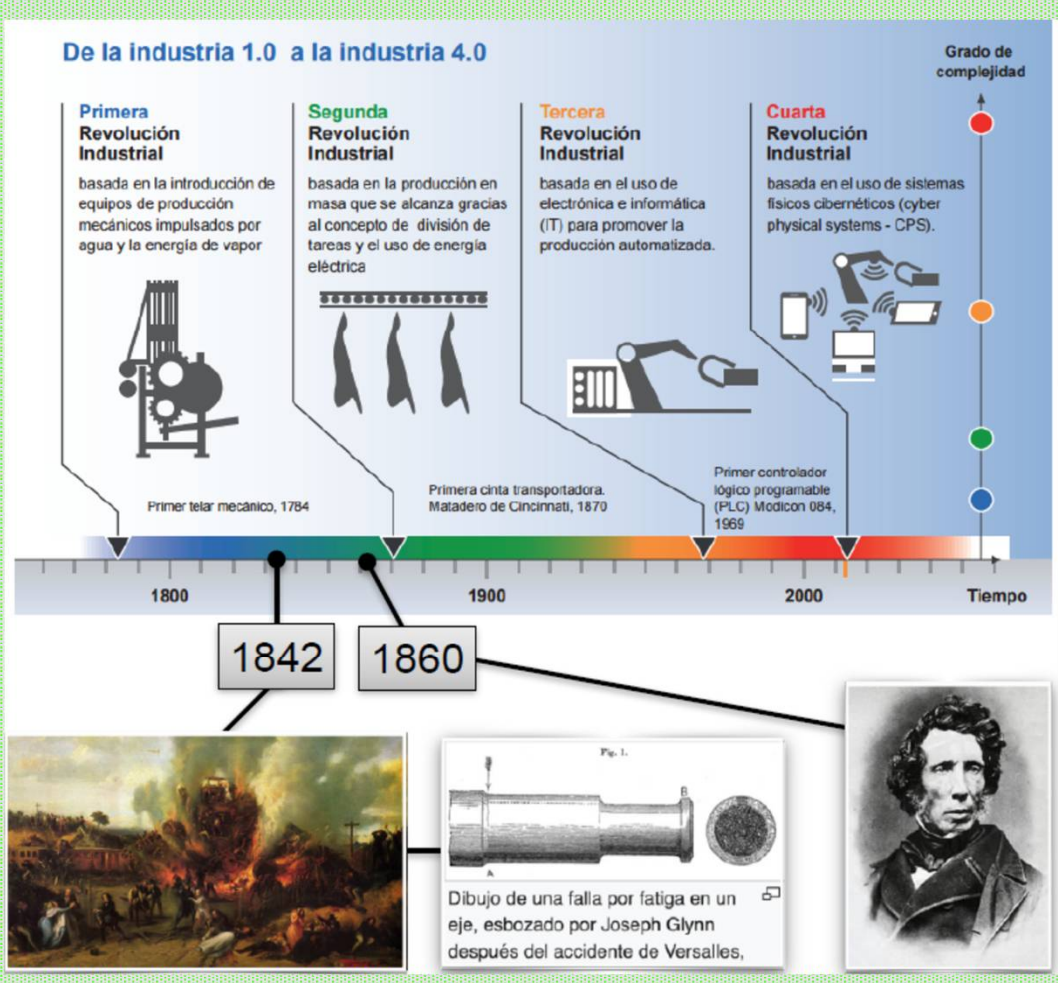
GRABADO DEL AÑO 1842: accidente ferroviario en Versalles, Francia

17:42

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS



Dibujo de una falla por fatiga en un eje, esbozado por Joseph Glynn después del accidente de Versalles,

Nos remontamos a mediados de la primera Revolución Industrial, donde se produce en Francia un grave accidente ferroviario. (Año 1842)

Luego de las investigaciones, se determina que se fracturaron los ejes de la locomotora, y se relacionaba con el esfuerzo variable.

Esta es la primer falla por fatiga registrada en la historia

En 1860, el ingeniero alemán August Wöhler desarrolló diversos ensayos, de los cuales extrajo dos conclusiones, la primera, que las fuerzas necesarias para provocar la rotura con cargas dinámicas eran muy inferiores a las necesarias en el caso estático, y la segunda, que existía un umbral por debajo del cual las probetas no se rompían (límite de fatiga).

17:42

La vida a fatiga se puede definir como el **"fallo debido a cargas repetitivas ... que incluye la iniciación y propagación de una grieta o conjunto de grietas hasta el fallo final por fractura"** (Fuchs, 1980)

'La fatiga es el proceso de cambio estructural permanente, progresivo y localizado que ocurre en un material sujeto a tensiones y deformaciones VARIABLES en algún punto o puntos y que produce grietas o la fractura completa tras un número suficiente de fluctuaciones (ASTM)'

Tres factores se requieren para que se dé una falla por fatiga:

1. **Un esfuerzo de tensión suficientemente grande.**
2. **Una variación de esfuerzo de suficiente amplitud.**
3. **Un número de ciclos de aplicación de la carga elevado.**

La rotura por fatiga comienza en puntos arbitrarios como deslizamiento en planos de corte de los cristales cuando están orientados de manera que pueda ocurrir.

Las piezas rotas por fatiga presentan en su superficie de rotura dos zonas características : Una zona lisa de fina estructura y brillante y una zona de cristales grandes .

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

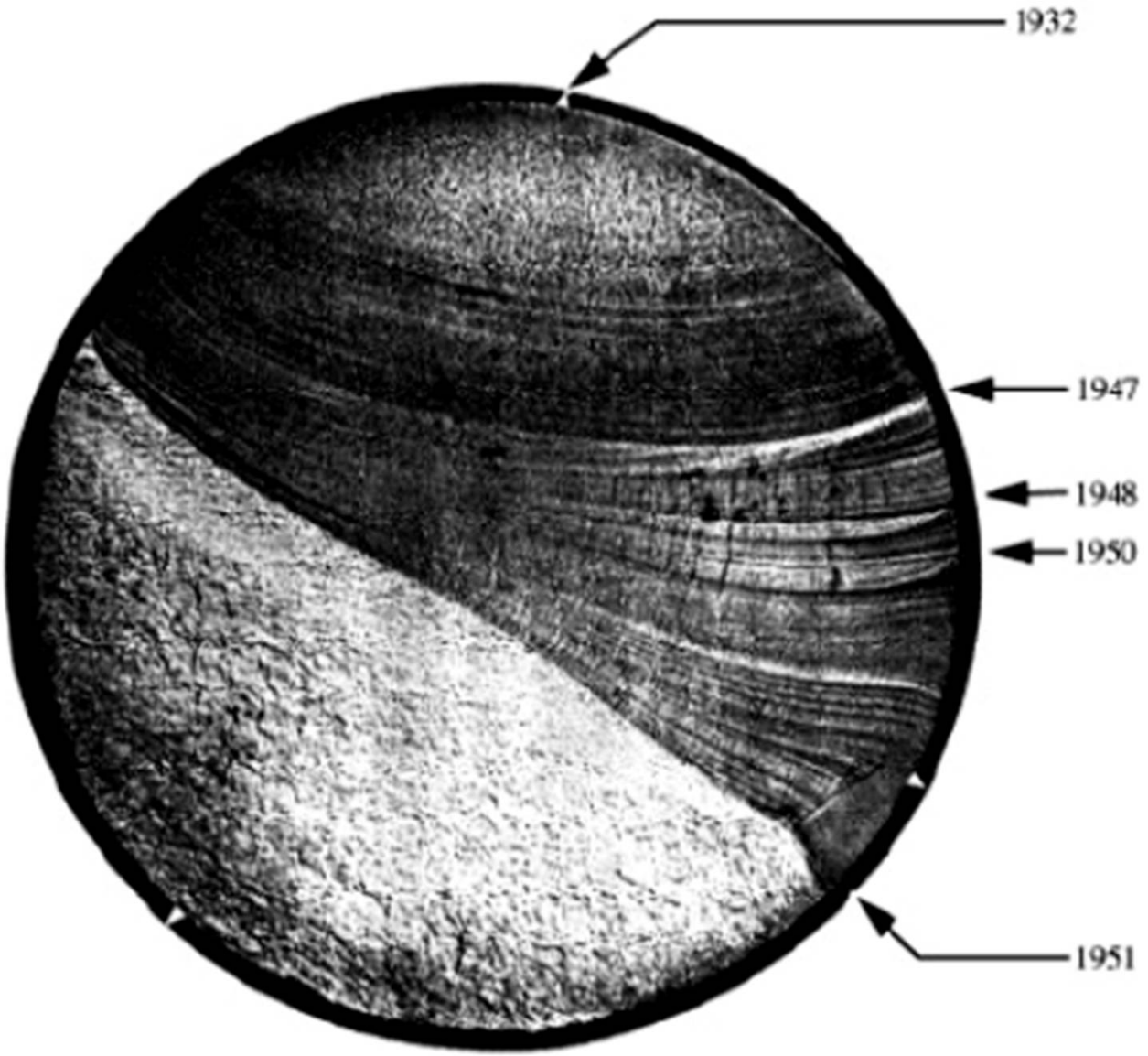


Fig. 8.3 Típico ejemplo de la rotura del eje de un motor, ocurrida por vibraciones de torsión. (Tomado de F. R. Hutchings y P. M. Unterweiser, 1981. Reproducido por cortesía de ASM International®. Todos los derechos reservados. www.asminternational.org).

17:42

¿Dónde se inicia una falla por fatiga?

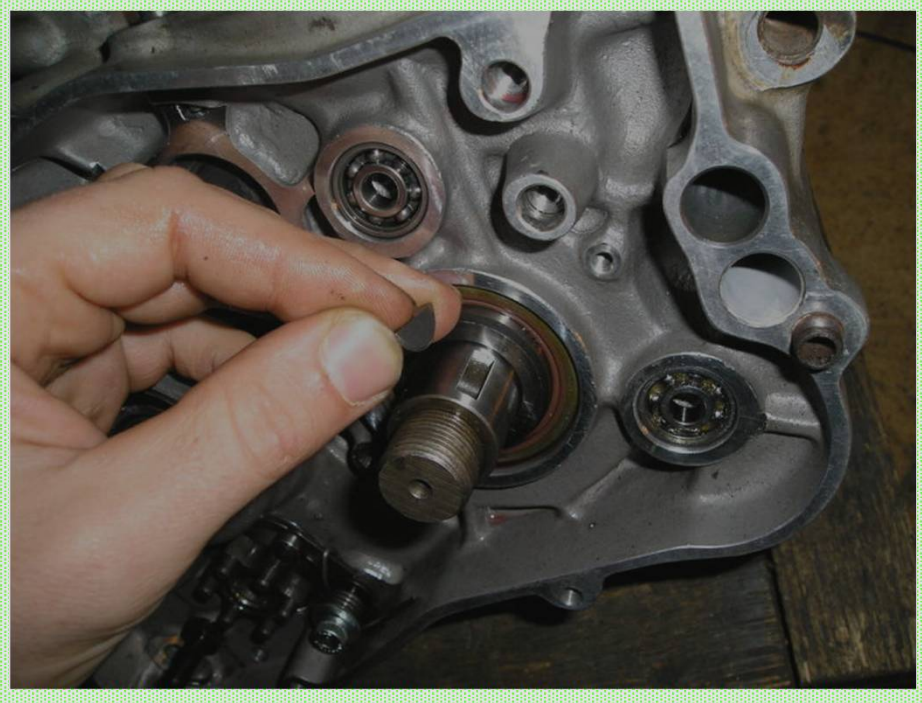
La falla por fatiga se debe a la formación y propagación de grietas. Por lo general, una grieta de fractura se inicia en una discontinuidad del material donde el esfuerzo cíclico es máximo. Las discontinuidades pueden surgir debido a:

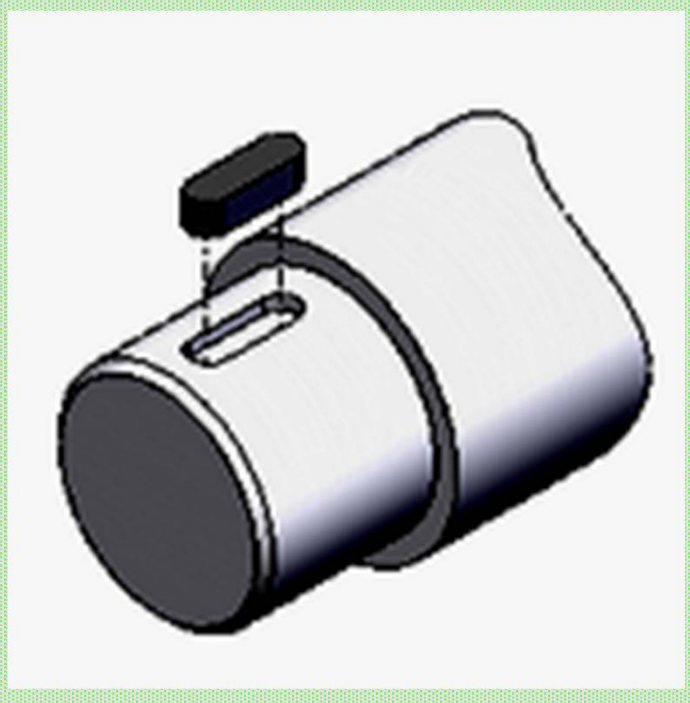
- El diseño de cambios rápidos en la sección transversal, chaveteros, orificios, etc., donde ocurren concentraciones del esfuerzo.
- Elementos que giran y/o se deslizan entre sí (rodamientos, engranes, levas, etc.) bajo presión alta constante, lo que desarrolla esfuerzos de contacto concentrados por debajo de la superficie, los cuales pueden causar picaduras o astilladuras después de muchos ciclos de carga.
- Falta de cuidado en las ubicaciones de estampados, marcas de herramienta, raspaduras y rebabas; diseño defectuoso de juntas; ensamble inapropiado; y otros errores de fabricación.
- La propia composición del material después de su proceso de laminado, forjado, fundido, estirado, calentado, etc. Surgen discontinuidades microscópicas y submicroscópicas, en la superficie o por debajo de ella, así como inclusiones de material extraño, segregaciones de aleación, huecos, precipitaciones de partículas duras y discontinuidades cristalinas.

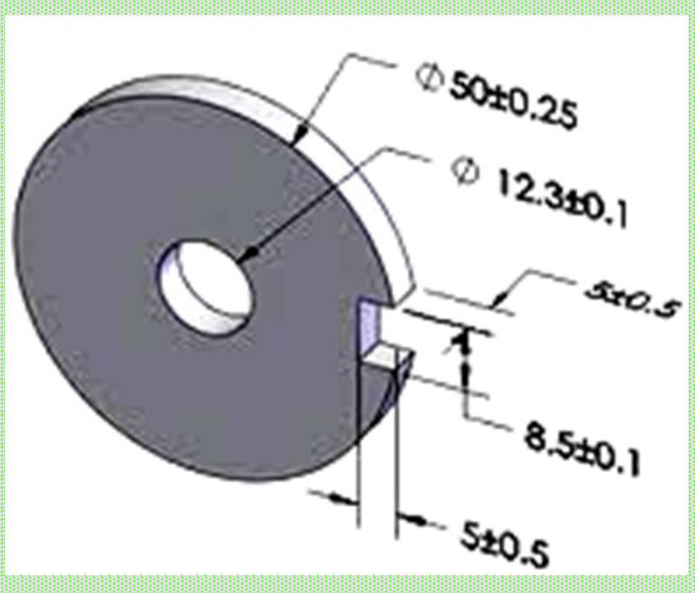
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

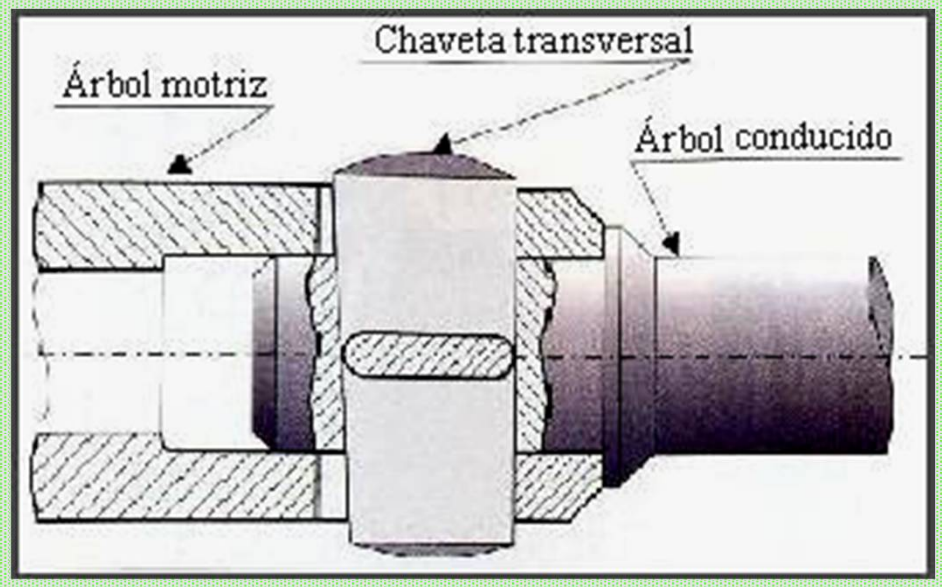
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS









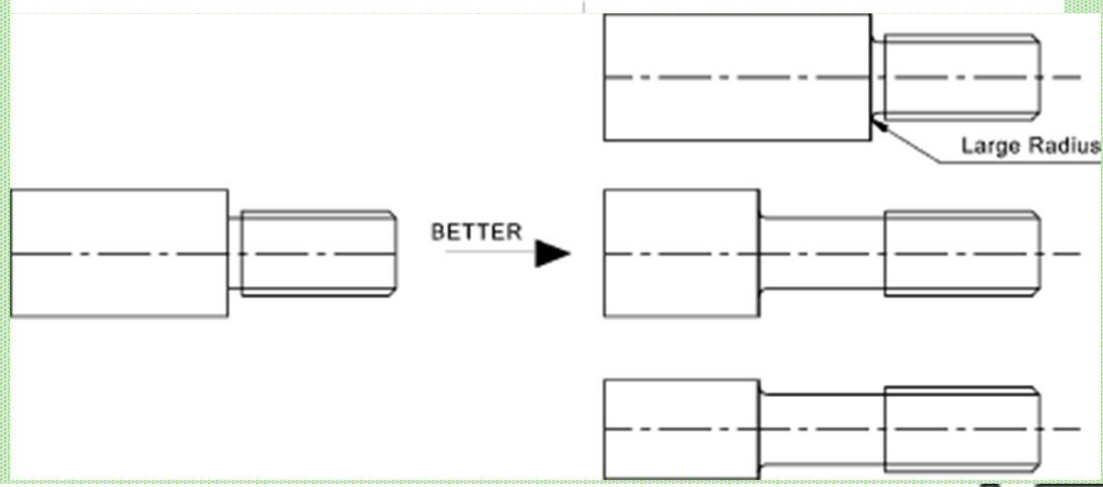
17:42

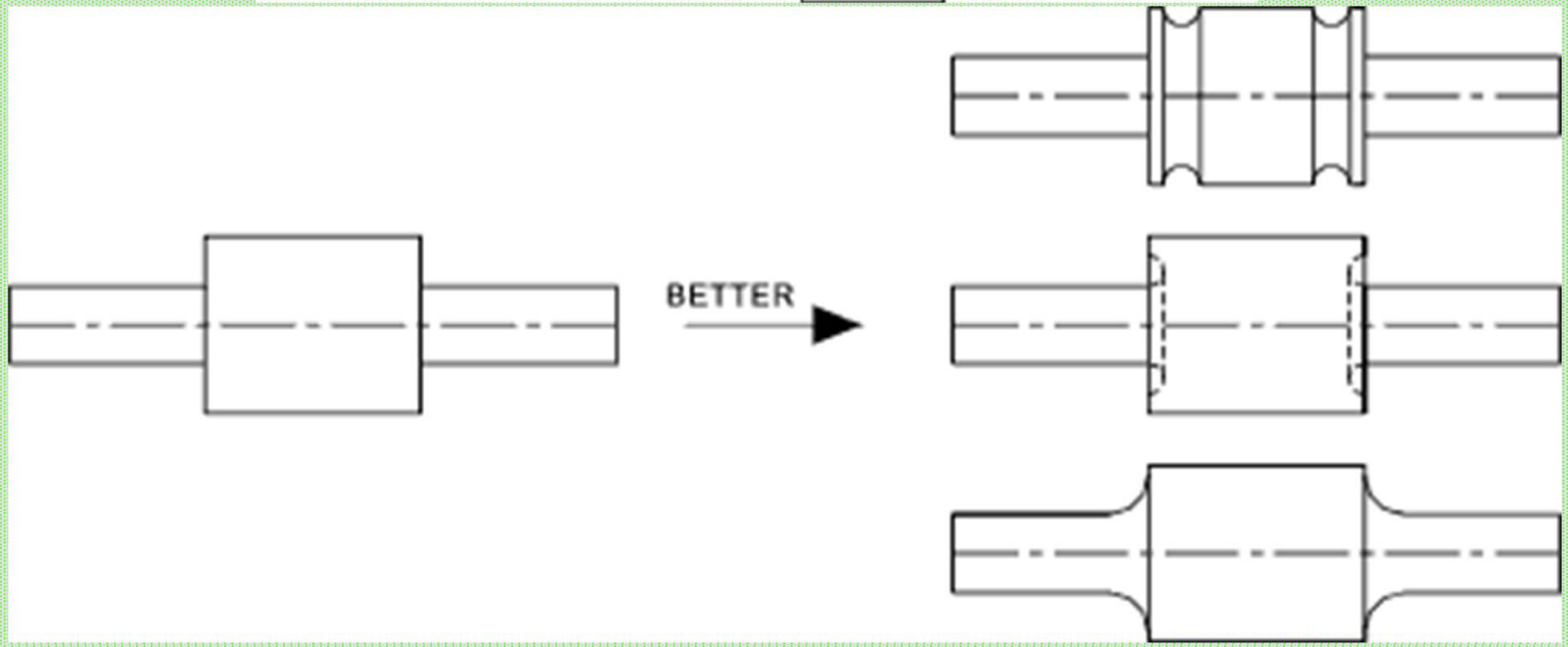
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

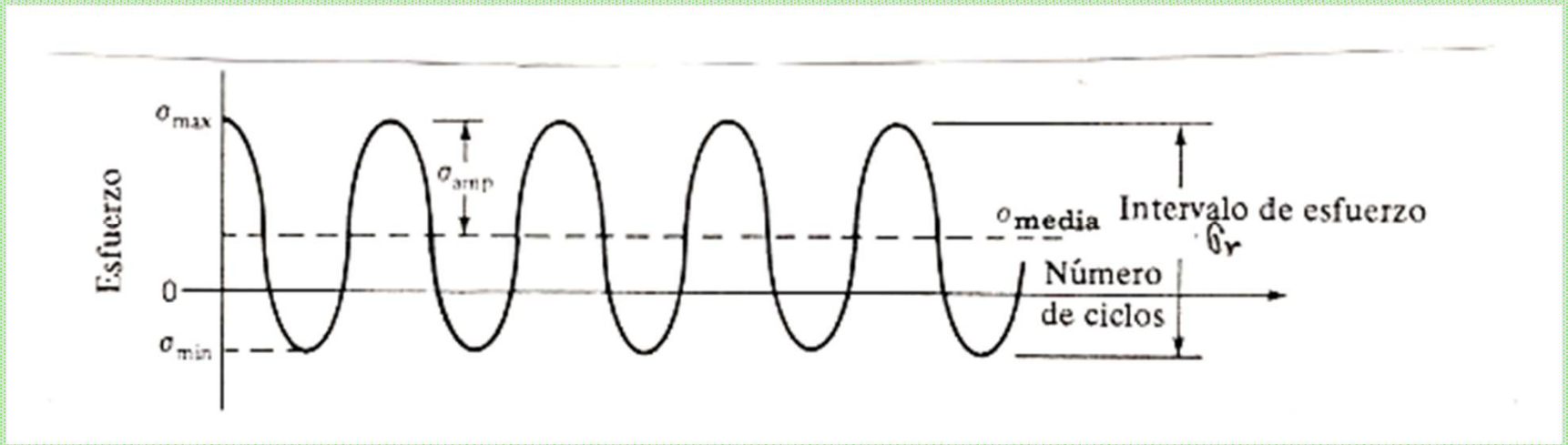
Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS







El número de ciclos para iniciar una grieta por fatiga es la duración hasta la iniciación de la fatiga Ni. El período de crecimiento de la grieta desde la iniciación hasta la longitud crítica se llama duración de propagación Np. La duración total es la suma de estas dos duraciones.



$$\text{Intervalo de esfuerzo: } \sigma_r = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$

El esfuerzo medio:

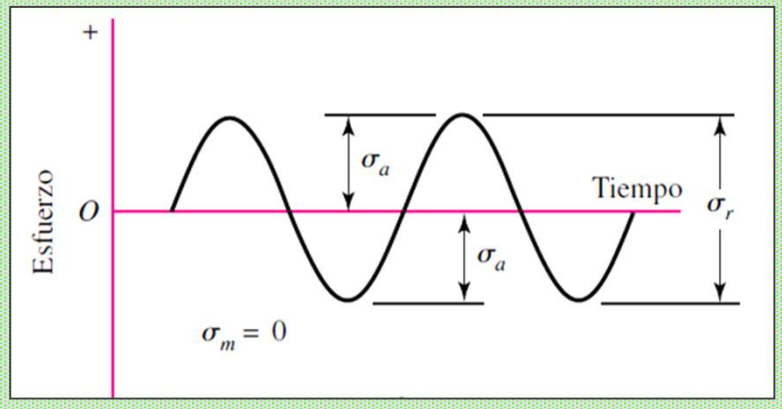
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

La amplitud del esfuerzo:

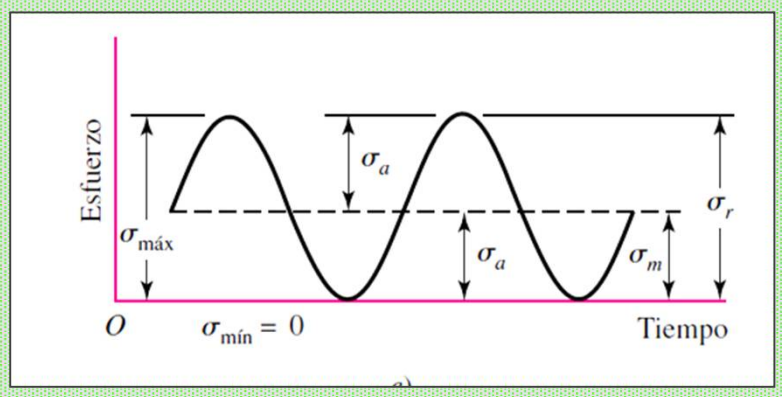
$$\sigma_m = \left| \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \right|$$

Una consideración importante en el análisis de la fatiga es la cantidad relativa de esfuerzos de tracción y compresión que se mide por la relación R.

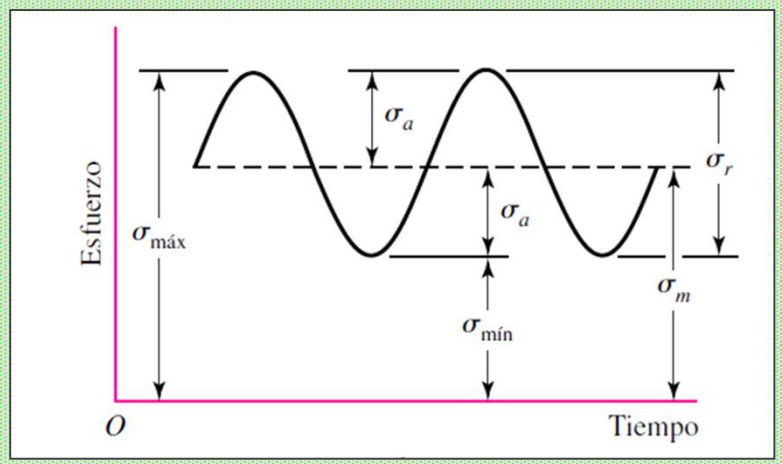
$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$



Esfuerzo alternativo puro



Esfuerzo pulsante puro



Esfuerzo pulsante con tensión mínima mayor que 0

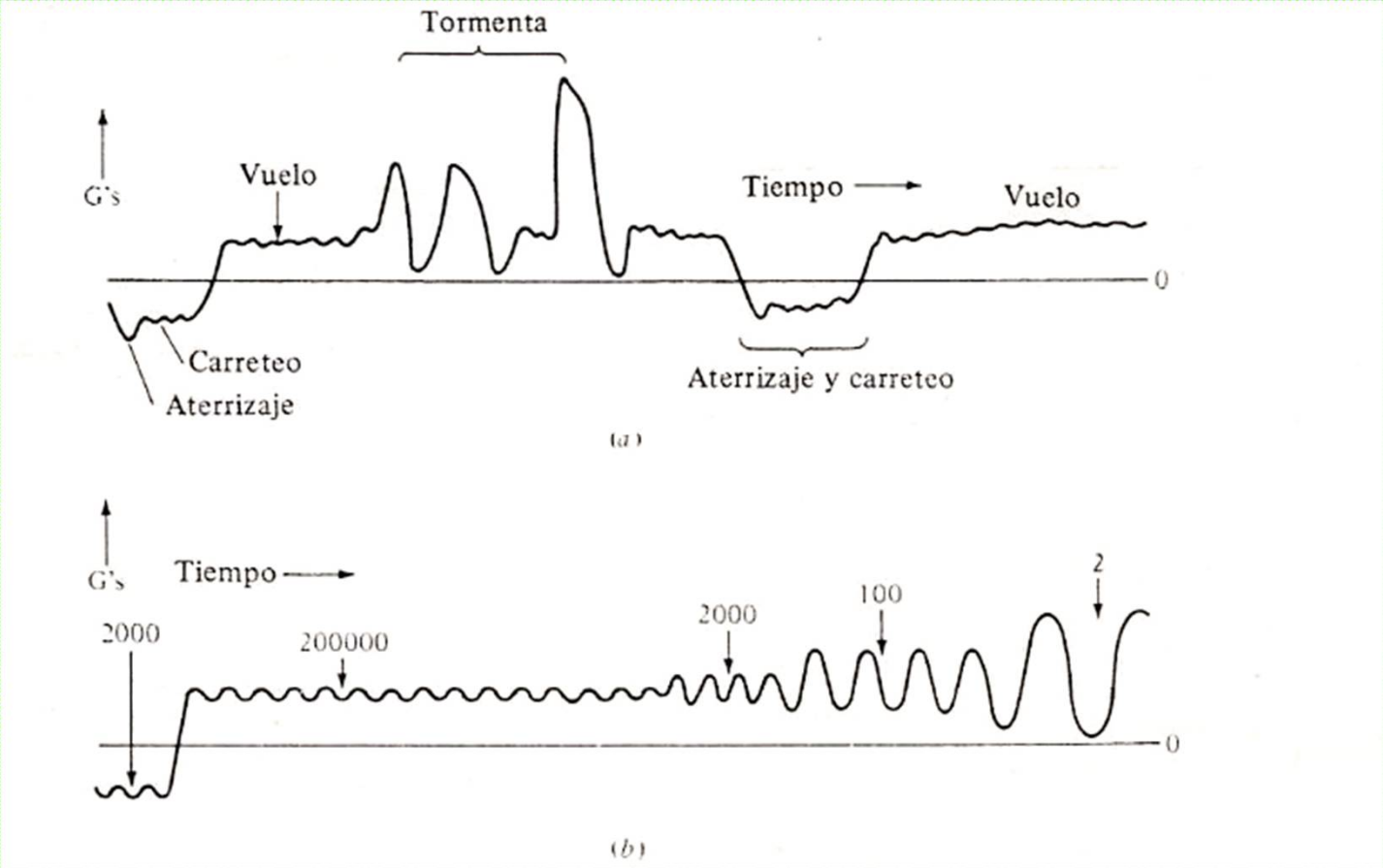
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

CARGAS DE AMPLITUD VARIABLE (ALEATORIA)

La probabilidad de que se repita la misma secuencia y magnitud de los intervalos del esfuerzo durante un lapso es muy pequeña, por eso son ALEATORIAS



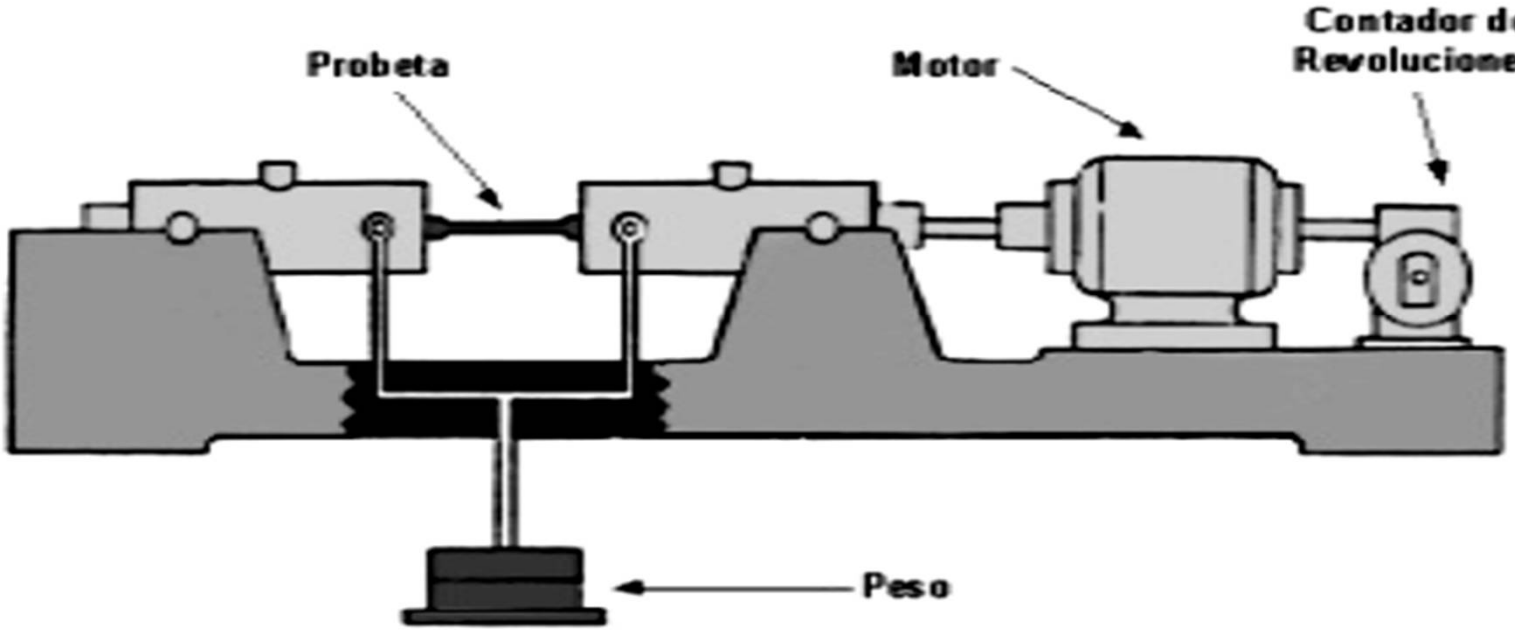
Representación gráfica de la carga de fatiga de amplitud variable y la carga simplificada para análisis

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

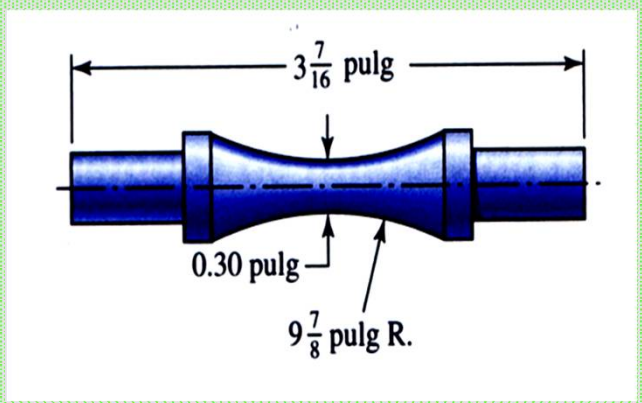
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

RESISTENCIA A LA FATIGA Y LIMITE DE FATIGA



Máquina de probeta rotatoria de Moore para ensayo a Fatiga



En esta máquina la muestra se somete a flexión pura (sin cortante transversal) mediante pesos. La pieza de prueba, como la que se muestra en la figura, se maquina y se pule con mucha meticulosidad, con un pulido final en una dirección axial para evitar rayaduras circunferenciales.

Ing. Carlos Barrera

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Se necesita un elevado número de ensayos por la propia naturaleza estadística de la fatiga.

El primer ensayo se hace con una tensión que es ligeramente inferior al límite de rotura por tracción del material. El segundo se realiza con una tensión un poco inferior. Se continua con este proceso y luego se grafican los resultados en un diagrama.

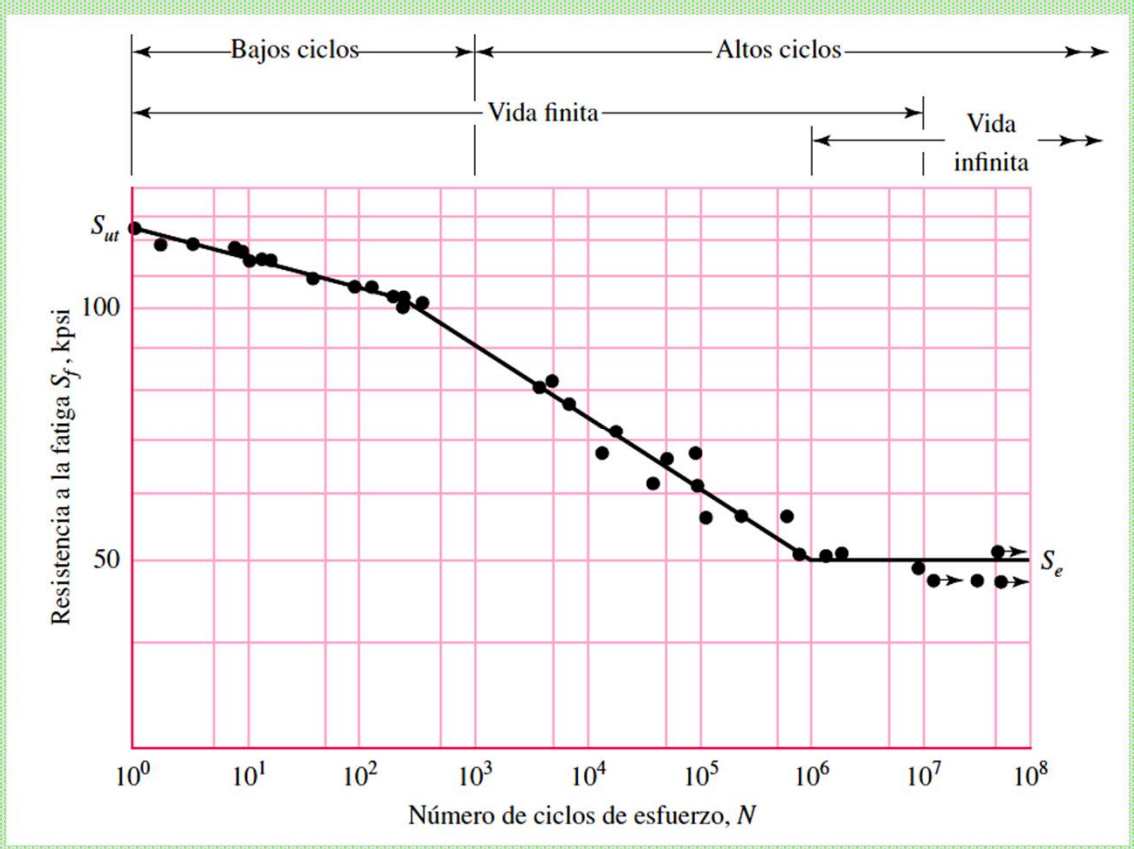


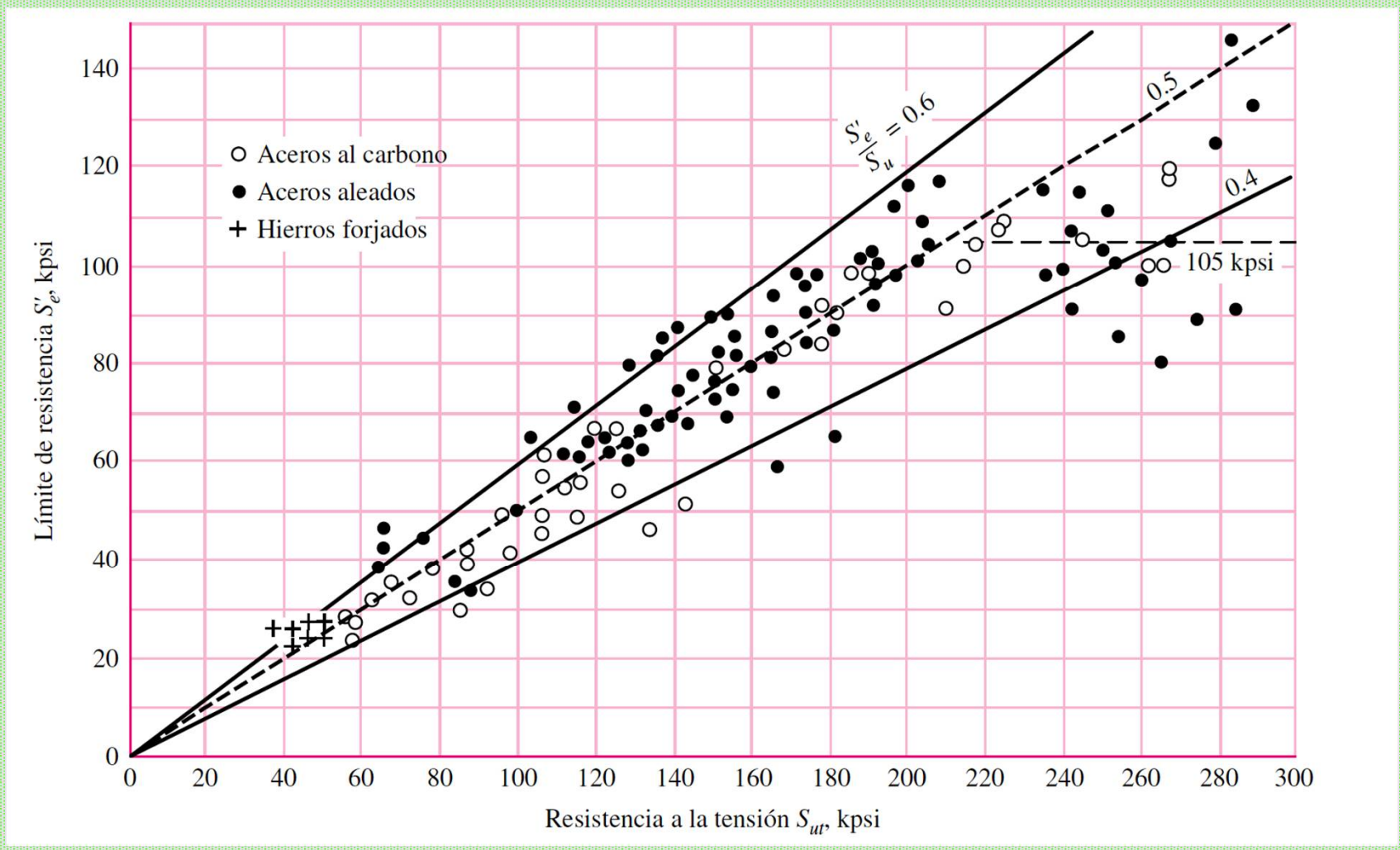
Diagrama *S-N que se graficó* a partir de los resultados de ensayos a la fatiga axial completamente invertido. Material: acero SAE 4130 normalizado. *Sut = 116* kpsi; *Sut = 125 kpsi.*
(fuente: Diseño en Ingenieria Mecanica – Shigley ed 8va)

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

El límite de resistencia a la fatiga varía desde aproximadamente 40 hasta 60% de la resistencia a la tensión para aceros, y hasta alrededor de 210 kpsi (1450 MPa). Comenzando en alrededor de S = 210 kpsi (1450 MPa), la dispersión parece incrementarse.

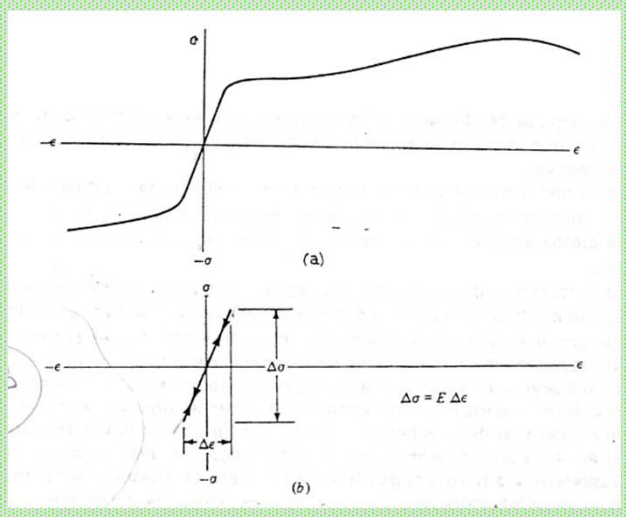


Ing. Carlos Barrera

LIMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi } (1\,400 \text{ MPa}) \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1\,400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Una falla por fatiga casi siempre da comienzo en una discontinuidad, como un chavetero, rebaje, muesca, grieta u otra área de alta concentración de tensiones. Cuando el valor del esfuerzo en la discontinuidad excede al límite elástico del material se presenta la deformación plástica.



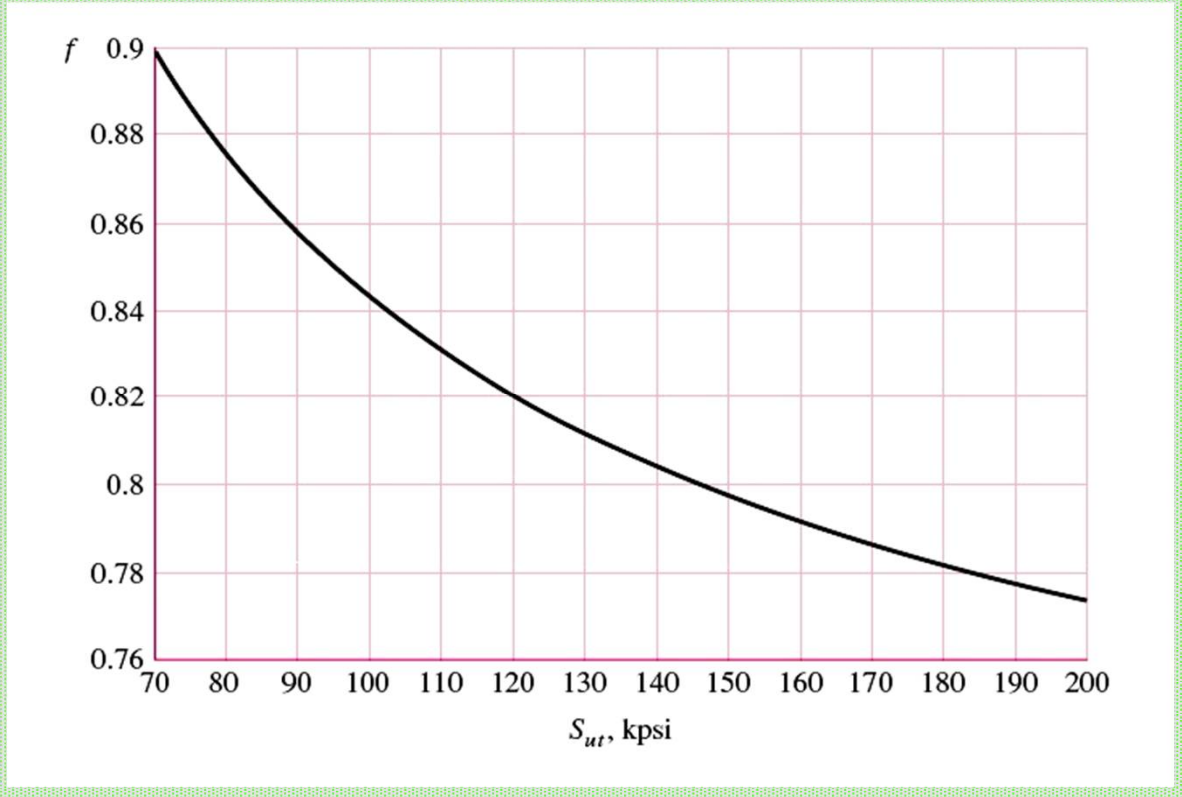
a) Curva general esfuerzo-deformación unitaria
b) Carga cíclica elástica.

Limite de resistencia a la fatiga para la probeta

Una región de fatiga de bajos ciclos se extiende desde N = 1 hasta casi 10^3 ciclos. En esta región la resistencia a la fatiga S_f sólo es un poco menor que la resistencia a la tensión S_{ut} . El punto inicial, es decir la ordenada al origen, corresponde a la resistencia última del material S_{ut} . Esta tensión corresponde a la rotura del material para el ensayo estático.

Cuando N= 1000 ciclos, la tensión límite de fatiga se determina como:

- $S_{f10^3} = S_{ut} \cdot f$



Podemos calcular el limite de fatiga para cualquier valor entre 1 y 1000 ciclos con la siguiente ecuación:

$$\bullet S_{f1\ldots10^3} = S_{ut} \cdot N^{(\log f)/3}$$

Se puede calcular el limite de fatiga para cualquier valor entre 10^3 y 10^6 ciclos con la siguiente ecuación:

$$\bullet S_{f10^3\ldots10^6} = a \cdot N^b$$

$$\bullet a = \frac{(f \cdot S_{ut})^2}{S`_e} \qquad \bullet b = -\frac{1}{3}\log\left(\frac{f \cdot S_{ut}}{S`_e}\right)$$

También, con un determinado esfuerzo aplicado completamente invertido a una probeta, podemos determinar cuantos ciclos podrá sobrevivir antes de manifestar signos de falla. Esta cantidad de ciclos la calculamos como:

- $$N = \left(\frac{\sigma'_a}{a}\right)^{1/b}$$

Factores Modificadores: La Ecuación de Marín

Transición de la probeta ideal de laboratorio a la realidad operativa del elemento de máquina.

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_e'$$

Variable Legend

- S_e : Límite de fatiga en el elemento de máquina real.
- S_e' : Límite de fatiga en la probeta de laboratorio.
- k_a : Factor de acabado superficial.
- k_b : Factor de tamaño.
- k_c : Factor de confiabilidad (estadística).
- k_d : Factor de temperatura.
- k_e : Factor de concentración de tensiones.
- k_f : Factor de efectos diversos (entorno).

Gemini Notebook

FACTORES QUE MODIFICAN EL LIMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA

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

S_e : Límite de fatiga en el Elemento de Máquina

S'_e : Límite de fatiga en la probeta.

k_a : Factor de acabado superficial.

k_b: Factor de tamaño.

k_c : Factor de confiabilidad.

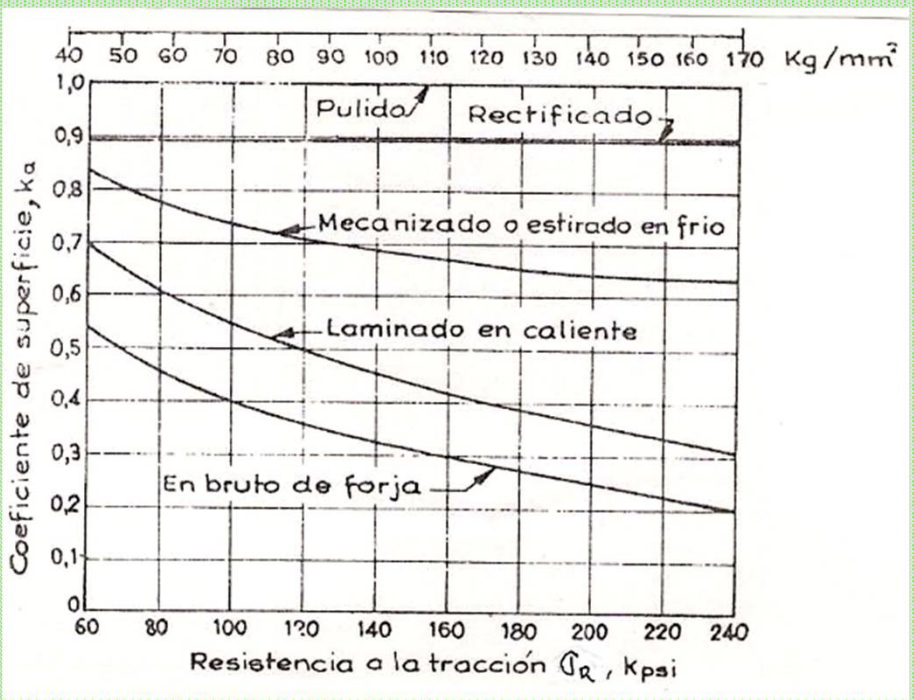
k_d : Factor de temperatura.

k_e : Factor modificativo por concentración de tensiones.

k_f : Factor de efectos diversos.

Factor de Superficie

El factor depende de la calidad del acabado y de la resistencia de rotura.



$$k_a = a \cdot (S_{ut})^b$$

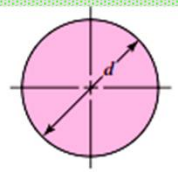
Terminación Superficial	Factor *a*		Exponente *b*
	S_{ut} en kpsi	S_{ut} en MPa	
Rectificado	1,34	1,58	-0,085
Mecanizado o laminado en frio	2,70	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Forjado (en bruto)	39,9	272	-0,995

Factor de Tamaño

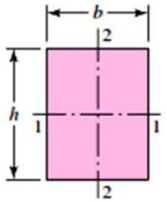
Los resultados para flexión y torsión para ejes cilíndricos, rotatorios:

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

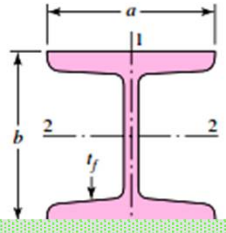
Cuando se utiliza una sección no circular, se emplea una dimensión efectiva



$$A_{0.95\sigma} = 0.01046d^2$$
$$d_e = 0.370d$$



$$A_{0.95\sigma} = 0.05hb$$
$$d_e = 0.808\sqrt{hb}$$



$$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.10at_f & \text{axis 1-1} \\ 0.05ba \quad t_f > 0.025a & \text{axis 2-2} \end{cases}$$

Factor de Confiabilidad

Aún bajo condiciones de prueba bien controladas, las inevitables variaciones en la preparación de las probetas, ocasionarán que los resultados obtenidos en las pruebas para determinar el límite de resistencia a la fatiga varíen.

$$K_c = 1 - 0{,}08\ D$$

D: variable estandarizada (factor de multiplicación de la desviación).

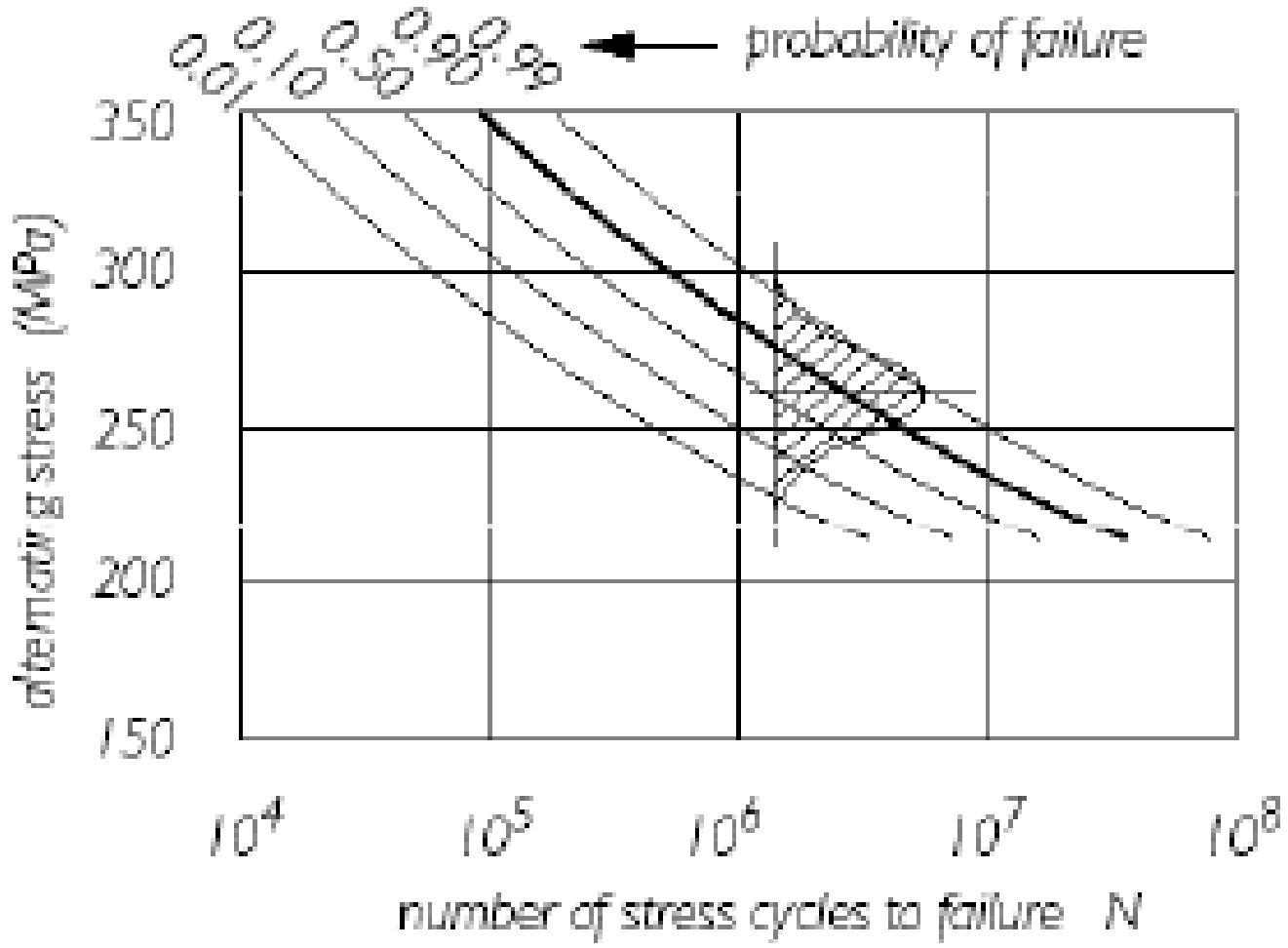
FACTORES DE CONFIABILIDAD k_c, CORRESPONDIENTES A UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE 8% DEL LÍMITE DE FATIGA

Confiabilidad R	Variable estandarizada D	Factor de confiabilidad k_c
0.50	0	1.000
0.90	1.288	0.897
0.95	1.645	0.868
0.99	2.326	0.814
0.999	3.091	0.753
0.999 9	3.719	0.702
0.999 99	4.265	0.659
0.999 999	4.753	0.620
0.999 999 9	5.199	0.584
0.999 999 99	5.612	0.551
0.999 999 999	5.997	0.520

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS



Factor de Carga

Los ensayos sobre probetas en laboratorio se hacen sobre una probeta rotatoria, con cargas de flexión repetida invertida. Para otros casos, deben aplicarse los siguientes factores:

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

Los coeficientes anteriores se usan únicamente cuando están presentes esfuerzos puros (cuando solo hay un esfuerzo aplicado). Si se presentan esfuerzos combinados, dichos coeficientes son contemplados en la ecuación de Von Misses, por lo tanto:

- $k_c = 1$

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Factor de temperatura

La temperatura cambia todas las propiedades mecánicas de un material y la existencia de un esfuerzo induce a un flujo plástico en el material

$$K_d = \begin{cases} 1{,}0 & T \leqslant 450\ ^{o}C\ (840\ ^{o}F) \\ 1 - 5{,}8\ (10)^{-3}\ (T - 450) & 450\ ^{o}C < T \leqslant 550\ ^{o}C \\ 1 - 3{,}2\ (10)^{-3}\ (T - 840) & 840\ ^{o}F < T \leqslant 1020\ ^{o}F \end{cases}$$

Temperatura °C	*kd*
20	1
50	1,01
100	1,02
150	1,025
200	1,02
250	1
300	0,975
350	0,943
400	0,9
450	0,843
500	0,768
550	0,672
600	0,549

Factor de efectos diversos

CORROSIÓN: Disminuye la resistencia a la fatiga. Se debe al desbastado o picadura de la superficie causado por el material corrosivo.

Al paso del tiempo cualquier parte fallará cuando se someta a esfuerzos repetidos en una atmosfera corrosiva.

RECUBRIMIENTO ELECTROLITICO: Disminuye la resistencia a la fatiga hasta en un 50%.

METALIZADO: Provoca imperfecciones superficiales que pueden iniciar grietas.

CORROSIÓN POR FROTAMIENTO: Están las uniones por tornillo, los ajustes de las pistas de los cojinetes, las masas de ruedas. El proceso genera decoloración superficial picaduras y finalmente fatiga.

Factor de concentración del esfuerzo

La existencia de irregularidades, discontinuidades como orificios, ranuras o muescas incrementa los esfuerzos teóricos en la proximidad de la discontinuidad. Cualquier discontinuidad en una parte de la máquina altera la distribución del esfuerzo. A estas discontinuidades se las denomina intensificadores del esfuerzo, mientras que a las regiones en las cuales se producen se les llama **áreas de concentración del esfuerzo**.

Se emplea un factor teórico o geométrico de la concentración de esfuerzos Kt

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0} \qquad K_{ts} = \frac{\tau_{max}}{\tau_0}$$

Para fatiga:

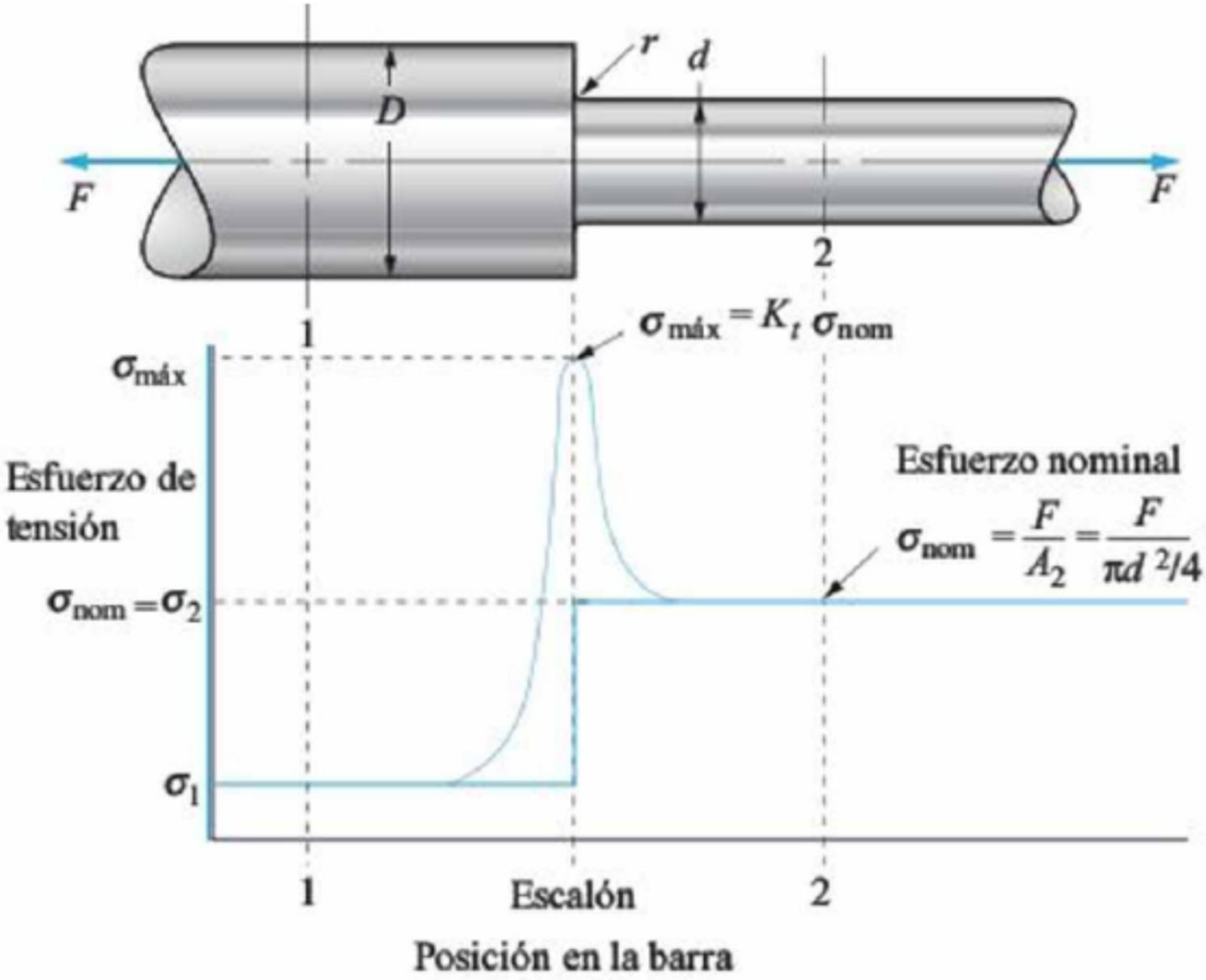
$$\sigma_{max} = K_f \sigma_0 \quad \text{or} \quad \tau_{max} = K_{fs} \tau_0$$

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Ejemplo de la influencia de un cambio de diámetro en una pieza cilíndrica sometida a tracción.



(fuente: Resistencia de Materiales – Mott - 5ta edición)

17:43

$$K_f = \frac{\text{Esfuerzo máximo en la pieza de prueba con muesca}}{\text{Esfuerzo en la pieza de prueba sin muesca}}$$

La sensibilidad a la muesca está definida por:

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1}$$

$$q_{\text{shear}} = \frac{K_{fs} - 1}{K_{ts} - 1}$$

En el trabajo de diseño, primero se calcula Kt teniendo en cuenta la geometría de la parte, luego se encuentra q y se despeja Kf.

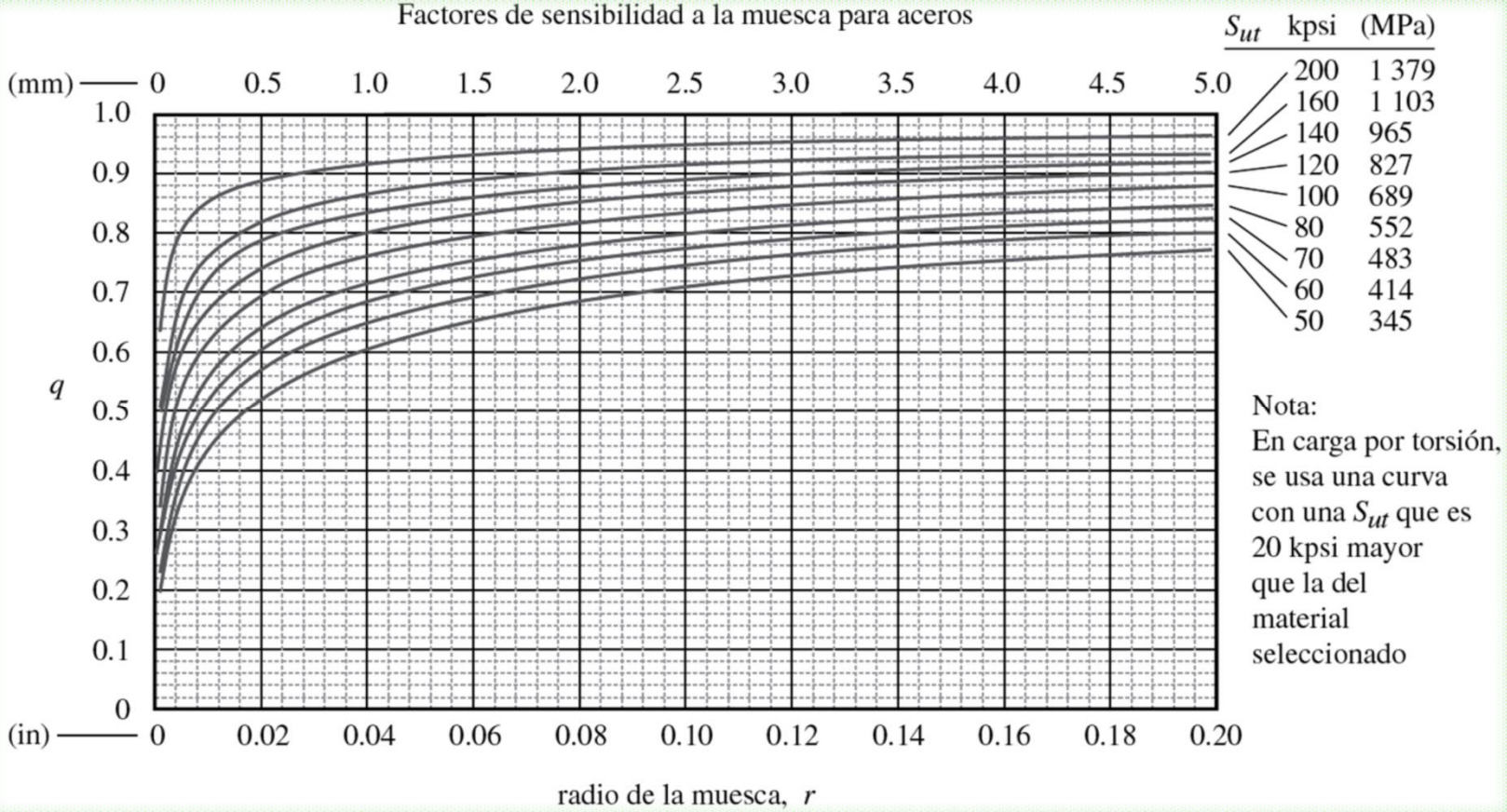
$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad \text{or} \quad K_{fs} = 1 + q_{\text{shear}}(K_{ts} - 1)$$

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Factores de sensibilidad a la muesca para aceros



Nota:
En carga por torsión, se usa una curva con una S_{ut} que es 20 kpsi mayor que la del material seleccionado

17:43

Esfuerzos Combinados

Cuando las piezas están sometidas a esfuerzos combinados, caso muy típico de arboles y ejes, se deben combinar los esfuerzos para obtener una tensión combinada. Para esto hacemos uso del análisis de la energía de la máxima distorsión de Von Misses (ver Diseño en Ingeniería Mecánica – Shigley ed 8va – capitulo 5.5 Teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles). Esta teoría combina los esfuerzos normales y esfuerzos cortantes de la siguiente manera:

$$\bullet \sigma_{combinado} = \sqrt{[\sigma]^2 + 3 \cdot [\tau]^2}$$

Aplicando la teoría de Von Misses a análisis de cargas alternantes y medias, obtenemos las siguientes ecuaciones:

$$\bullet \sigma'_a = \sqrt{\left[\left(K_f \cdot \sigma_{a(flexion)}\right) + \left(K_f \cdot \frac{\sigma_{a(axial)}}{0{,}85}\right)\right]^2 + 3 \cdot \left[\left(K_{fs} \cdot \tau_{a(torsion)}\right)\right]^2}$$

$$\bullet \sigma'_m = \sqrt{\left[\left(K_f \cdot \sigma_{m(flexion)}\right) + \left(K_f \cdot \sigma_{m(axial)}\right)\right]^2 + 3 \cdot \left[\left(K_{fs} \cdot \tau_{m(torsion)}\right)\right]^2}$$

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

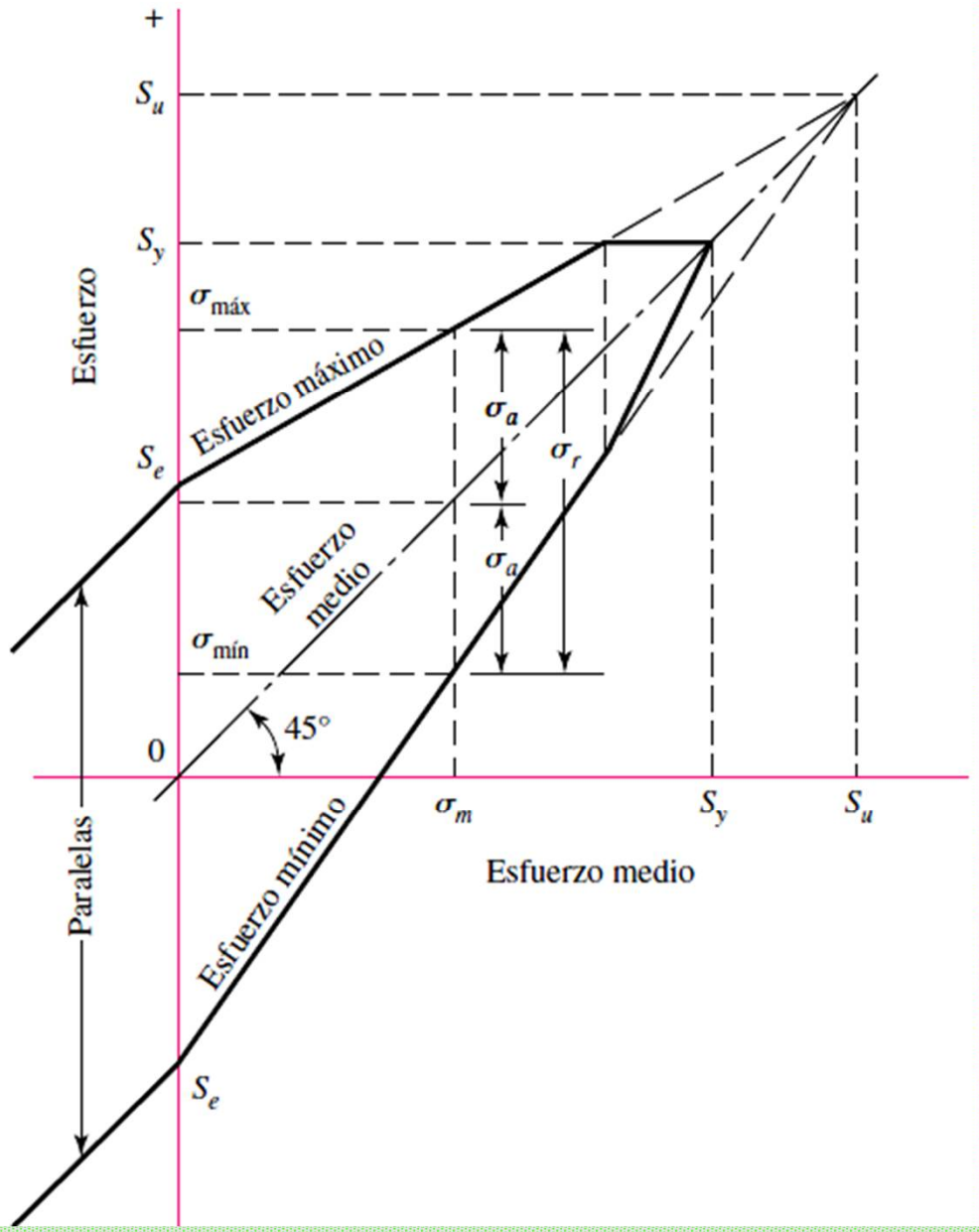
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

CRITERIOS DE FALLA POR FATIGA

Figura 6-24

Diagrama de Goodman modificado que muestra todas las resistencias y los valores límite de cada una de las componentes del esfuerzo para un esfuerzo medio particular.



17:43

Verificación de los esfuerzos de fatiga aplicados a una pieza

Con toda la información podremos realizar una verificación para comprobar que el elemento de maquina estudiado no fallará ante esfuerzos de fatiga. Resumimos la información:

- Limite de fatiga para la pieza S_e
- Limite de fluencia y rotura del material de la pieza S_y y S_{ut}
- Factores de concentración de tensiones a la fatiga K_f.y K_{fs}.
- Esfuerzos de flexión, axiales y torsionales (medio y alternantes) s'_a y s'_m

Existen 5 criterios utilizados para verificar un elemento de maquina cuando esta sometido a esfuerzos de fatiga. Estos criterios se denominan: Soderberg, Goodman, ASME Eliptica, Gerber y fluencia.

A continuación se mencionan las formulas y luego la grafica que se construye.

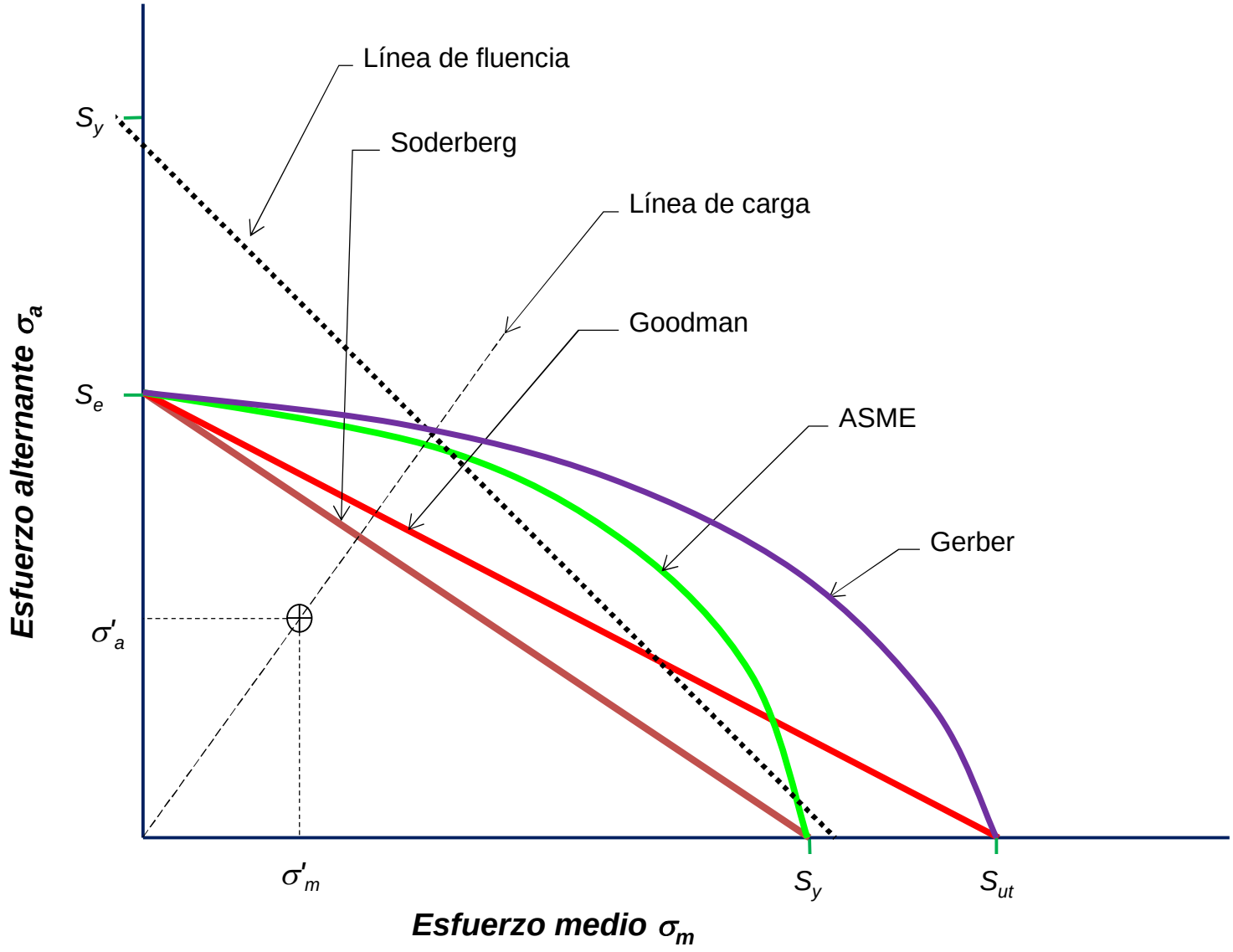
Se define como *n* al factor de seguridad contra la falla por fatiga, y como subíndice se señala el criterio usado:

Criterio	Ec. de la recta	Factor de seguridad
Soderberg	$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y} = \frac{1}{n_{so}}$	$n_{so} = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y}}$
Goodman	$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n_{go}}$	$n_{go} = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}}$
ASME Elíptica	$\left(\frac{n_{as} \cdot \sigma'_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{n_{as} \cdot \sigma'_m}{S_y}\right)^2 = 1$	$n_{as} = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma'_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma'_m}{S_y}\right)^2}}$
Gerber	$\frac{n_{ge} \cdot \sigma'_a}{S_e} + \left(\frac{n_{ge} \cdot \sigma'_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$	$n_{ge} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{S_{ut}}{\sigma'_m}\right)^2 \cdot \frac{\sigma'_a}{S_e} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot \sigma'_m \cdot S_e}{S_{ut} \cdot \sigma'_a}\right)^2}\right]$
Fluencia	$\sigma'_a + \sigma'_m = \frac{S_y}{n_{fl}}$	$n_{fl} = \frac{S_y}{\sigma'_a + \sigma'_m}$

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS



DAÑO POR FATIGA ACUMULADA

El daño causado por la aplicación de esfuerzos cíclicos, se acumula por la adición de cada período en que actúen dichos esfuerzos.
El concepto es que el material cambia después del daño acumulado por los esfuerzos cíclicos y exhibe una curva distinta.
Se han planteado muchas teorías acerca del daño acumulado.

TEORIA DE PALMGREN-MINER

Esta teoría afirma que la fracción de daño a cualquier nivel de esfuerzo, es linealmente proporcional a la razón entre los números de ciclos de operación y el número total de ciclos que ocasionaría la falla a ese nivel de esfuerzo.
La falla ocurrirá siempre que:

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \cdots + \frac{n_i}{N_i} = C$$

n: Número de ciclos de esfuerzo aplicados
N: vida o duración correspondiente a ese nivel de esfuerzo.
C: Constante obtenida por experimentos.

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

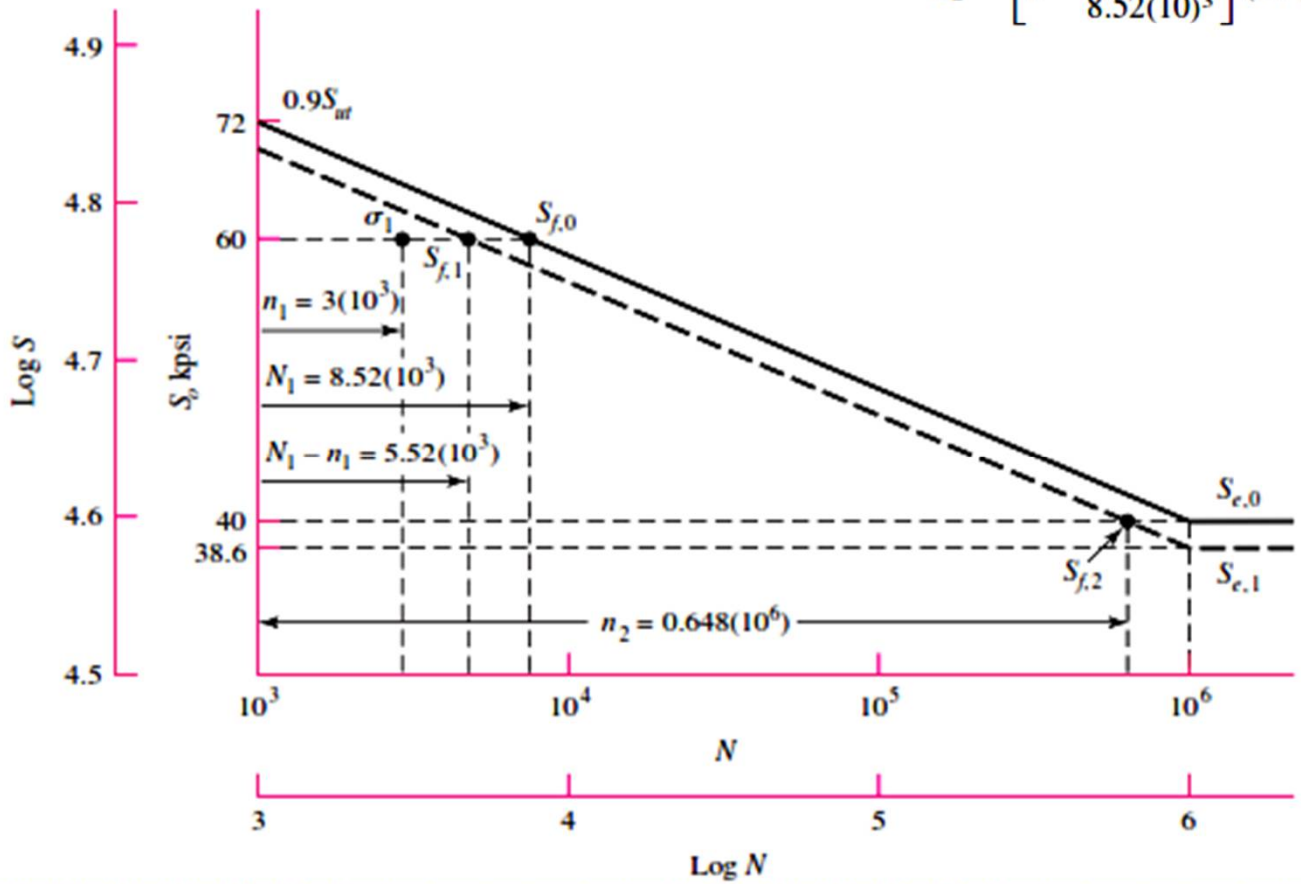
Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

$$\sum_{i=1}^{i=K} \frac{n_i}{N_i} = 1$$

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} = 1$$

$$n_2 = \left(1 - \frac{n_1}{N_1}\right) N_2$$

$$n_2 = \left[1 - \frac{3(10)^3}{8.52(10)^3}\right](10^6) = 0.648(10^6) \text{ cycles}$$



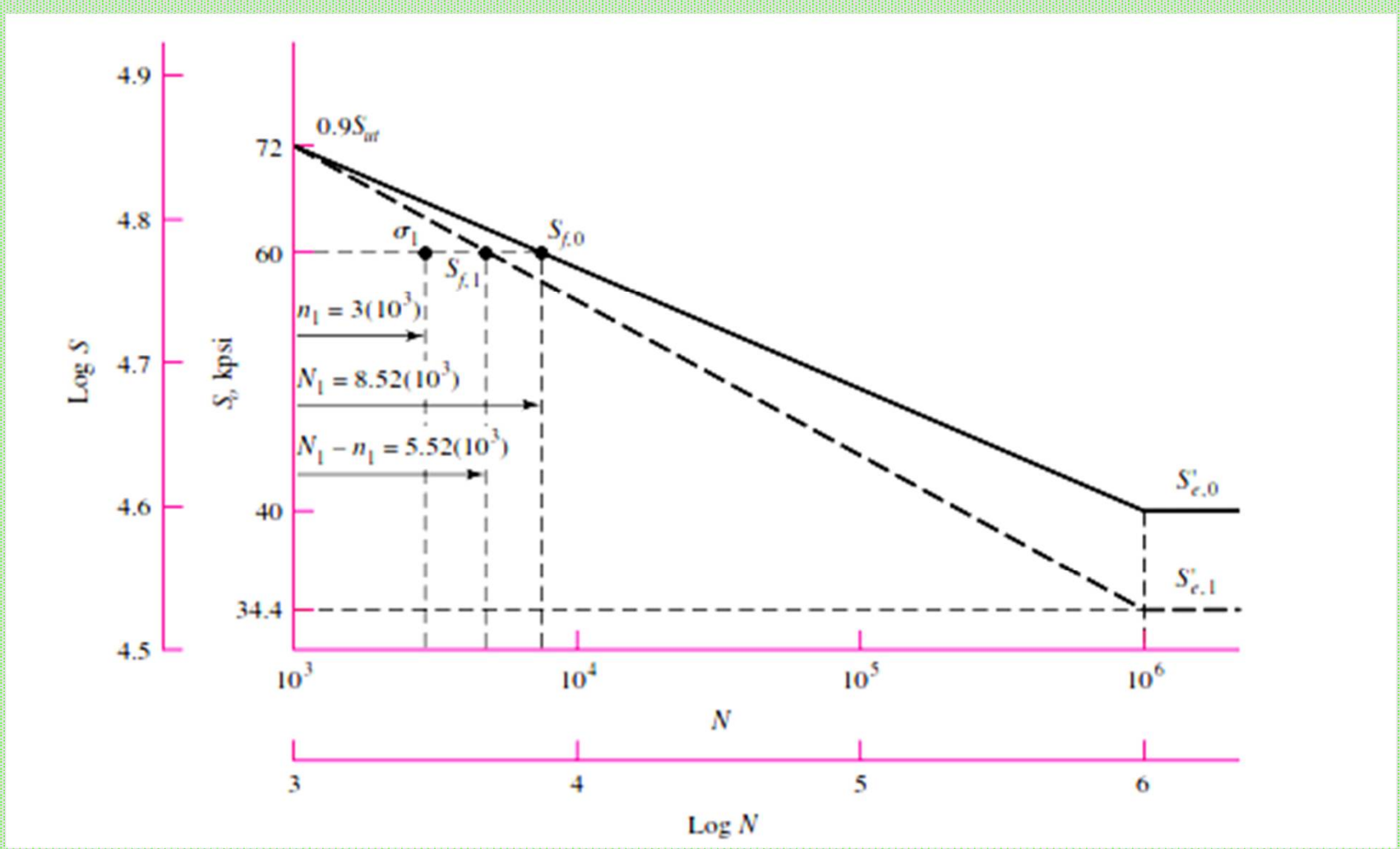
17:43

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

TEORIA DE MANSON



UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

RECOMENDACIONES DE DISEÑO Y MITIGACIÓN

Protocolos de Acción para Prevención de Fallas Cíclicas

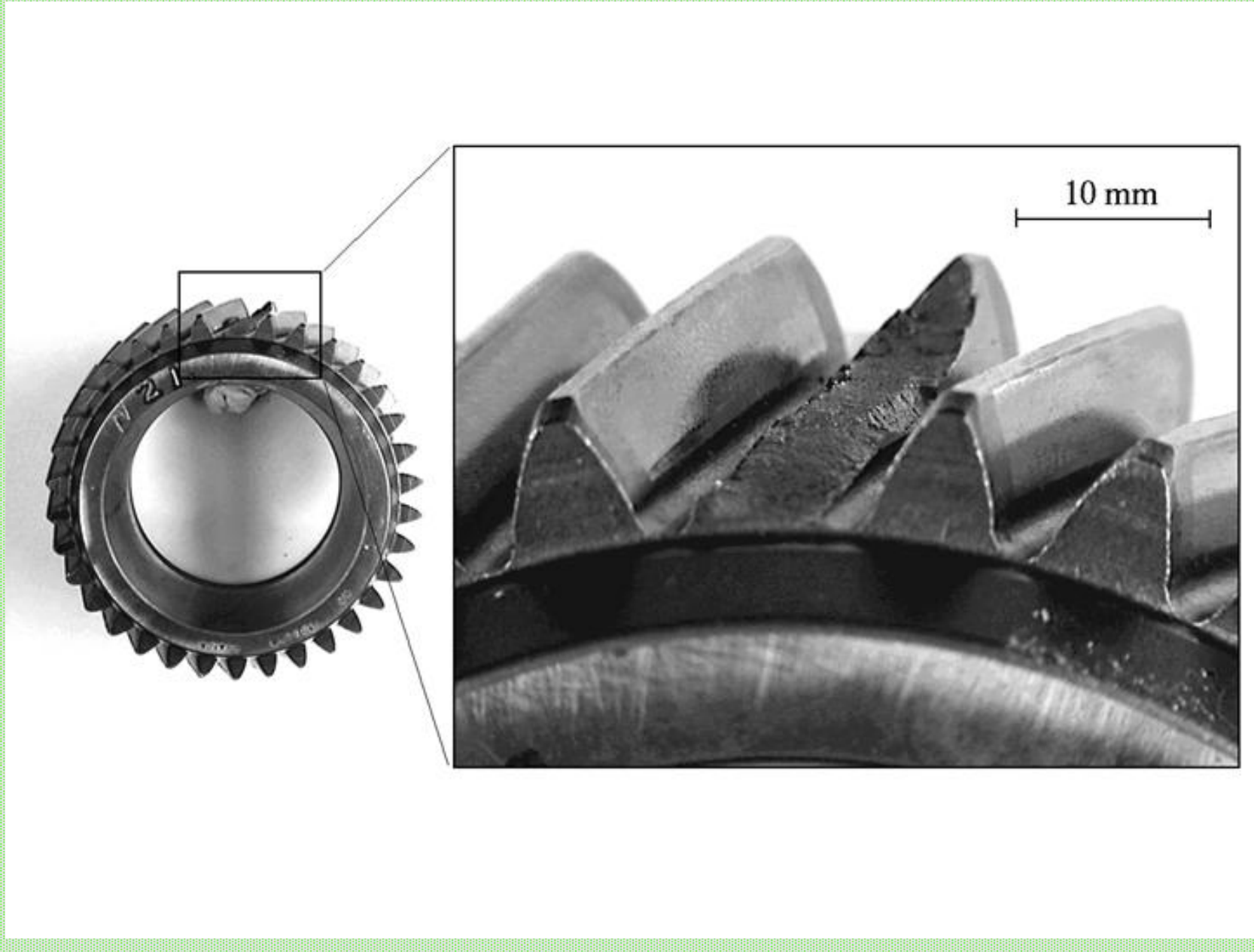
OPERACIONAL	Reducir las magnitudes de cargas cíclicas. Disminuir velocidades de rotación y establecer un plan de reemplazo regular.
GEOMÉTRICO	Eliminar concentradores de esfuerzo severos (esquinas vivas, cambios bruscos de sección). Sobredimensionar componentes para reducir la tensión base.
MATERIALES	Seleccionar aleaciones con alto límite de resistencia y tolerancia probada a cargas cíclicas.
SUPERFICIE	Especificar procesos que induzcan tensiones residuales compresivas: trabajo en frío, granallado (shot peening). Aplicar tratamientos térmicos: nitruración, carburización.
ENSAMBLAJE	Aplicar precargas controladas a las piezas (ej. uniones atornilladas) para convertir fluctuaciones cíclicas en cargas estáticas permanentes.

Gemini Notebook

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS



17:43

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS



17:43

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

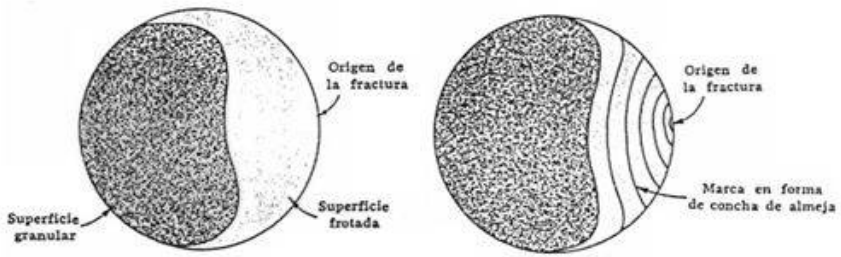
FACULTAD DE INGENIERÍA

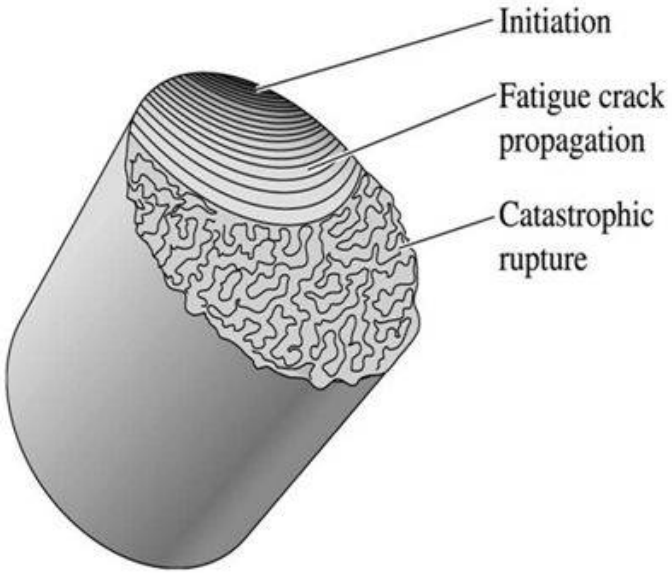
Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

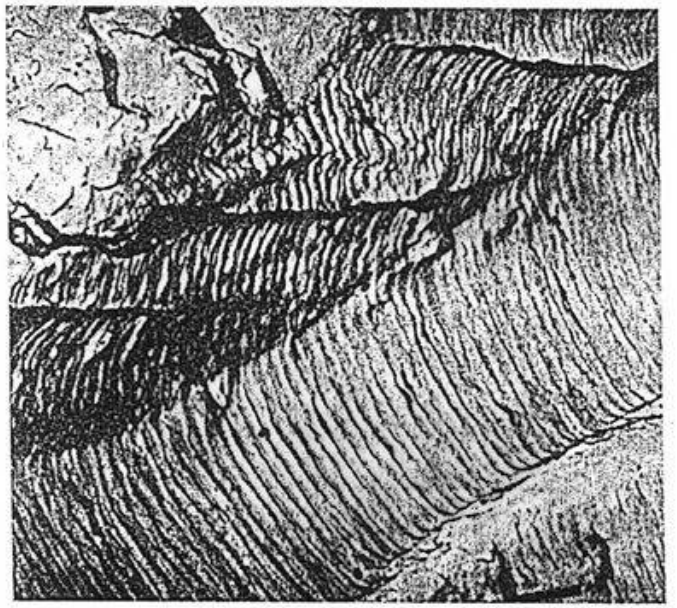


17:43

Superficie de Fractura por Fatiga (I)







Fractografía TEM mostrando *estrías de fatiga* en el Al.

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MÁQUINAS

BIBLIOGRAFÍA

Diseño en Ingeniería Mecánica	Shigley
Diseño en Elementos de Máquinas	Mott