FATIGA · CURVA S-N · LÍMITE DE FATIGA · GOODMAN · CONCENTRACIÓN DE TENSIONES · DOCUMENTO DE REFERENCIA · PÚBLICO

Diseño a fatiga

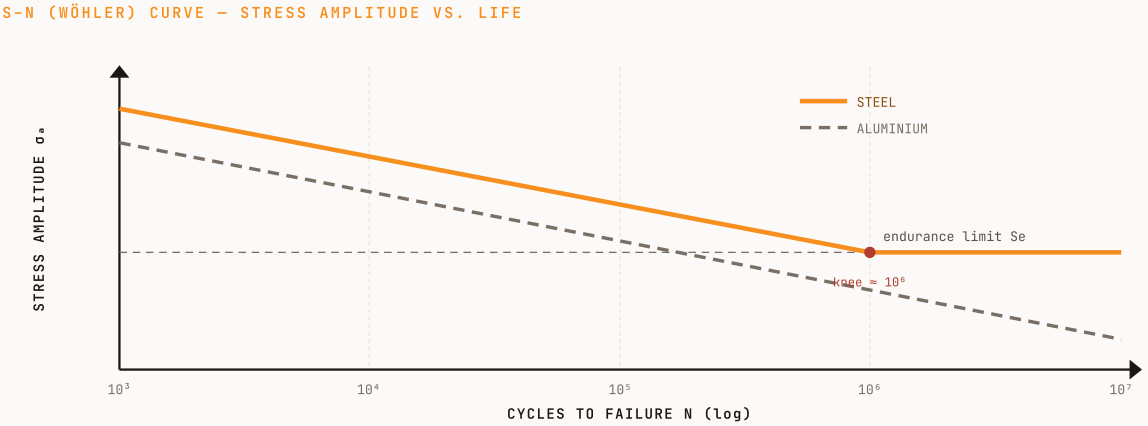
Diseñar frente al fallo por cargas cíclicas: la curva S-N y el límite de fatiga, los factores de Marin que lo reducen, la corrección por tensión media (Goodman) y las entallas donde realmente nacen las grietas.

REVISIÓN	PUBLICADO	RESPONSABLE	COMPLEMENTO
1.0	June 2026	Ingeniería Ideambox	Referencia en PDF

RESUMEN

La mayoría de las piezas mecánicas que se rompen en servicio lo hacen por fatiga: se agrietan bajo tensiones cíclicas muy inferiores a su resistencia estática. La fatiga depende de la *amplitud* de tensión (y de la tensión media), se origina en los concentradores de tensiones y es extremadamente sensible al acabado superficial. Esta guía recoge el procedimiento de diseño para fatiga de alto número de ciclos.

La sección 1 explica qué es la fatiga. La sección 2 trata la curva S-N y el límite de fatiga. La sección 3 presenta los factores de Marin, que reducen el límite de fatiga de laboratorio a uno real. La sección 4 trata la corrección por tensión media (Goodman / Gerber / Soderberg). La sección 5 trata la concentración de tensiones y la sensibilidad a la entalla. La sección 6 recoge reglas de diseño y una lista de comprobación.



LA CURVA S-N. LOS ACEROS PRESENTAN UN LÍMITE DE FATIGA, UNA TENSIÓN POR DEBAJO DE LA CUAL FUNCIONAN INDEFINIDAMENTE; EL ALUMINIO Y LA MAYORÍA DE LAS ALEACIONES NO FÉRREAS SIGUEN DESCENDIENDO, POR LO QUE SE ESPECIFICAN PARA UN NÚMERO FINITO DE CICLOS. EL ACABADO SUPERFICIAL, EL TAMAÑO Y LAS ENTALLAS REDUCEN EL LÍMITE REAL.

ÍNDICE

1. Qué es la fatiga
2. La curva S-N y el límite de fatiga
3. Factores modificadores del límite de fatiga (factores de Marin)
4. Corrección por tensión media
5. Concentración de tensiones y entallas
6. Reglas de diseño y lista de comprobación

1. Qué es la fatiga

Una pieza cargada de forma repetida puede agrietarse y romper con una tensión muy inferior a su límite elástico. La grieta se inicia en un concentrador de tensiones, crece un poco en cada ciclo y finalmente la sección restante rompe de forma súbita. El motor es la **tensión alterna**, modificada por la **tensión media**.

1.1 Términos

Amplitud de tensión σ_a	La mitad del rango de tensión, $(\sigma_{max} - \sigma_{min})/2$: el principal motor de la fatiga
Tensión media σ_m	$(\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$: una tensión media de tracción acorta la vida
Relación de tensiones R	$\sigma_{min} / \sigma_{max}$ (R = −1 alternada pura, R = 0 pulsatoria)
Límite de fatiga Se	Amplitud de tensión que un acero soporta indefinidamente (>10^6–10^7 ciclos)
Curva S-N	Amplitud de tensión frente a ciclos hasta rotura (log-log), obtenida en ensayos de flexión rotativa
Kt / Kf	Factor de concentración de tensiones geométrico / a fatiga en una entalla

La fatiga de alto número de ciclos (>10^3 ciclos, régimen elástico) se trata con el enfoque S-N / límite de fatiga descrito a continuación. La fatiga plástica de muy bajo número de ciclos requiere métodos deformación-vida (fuera del alcance de esta guía).

2. La curva S-N y el límite de fatiga

Al representar la amplitud de tensión frente a los ciclos hasta rotura se obtiene la curva S-N (de Wöhler):

- Los **aceros** tienen un **límite de fatiga**: un codo hacia 10^6 ciclos por debajo del cual la vida es prácticamente infinita. La estimación de laboratorio es `Se' ≈ 0.5 · Sut` (limitado a ~700 MPa si Sut > ~1400 MPa).
- El **aluminio y la mayoría de las aleaciones no férreas no tienen un verdadero límite de fatiga**: la curva sigue descendiendo, por lo que se especifican para una vida finita (p. ej., resistencia a la fatiga a $5{\times}10^8$ ciclos).
- La zona de vida finita, entre ~10^3 y 10^6 ciclos, es aproximadamente lineal en escala logarítmica; se interpola en ella para una vida objetivo.

`Se'` corresponde a una probeta de laboratorio pulida. La pieza real siempre es más débil, y para eso sirven los factores de Marin.

3. Factores modificadores del límite de fatiga (factores de Marin)

Reducen el límite de laboratorio a un valor de diseño: `Se = ka · kb · kc · kd · ke · Se'`.

FACTOR	TIENE EN CUENTA	VALOR TÍPICO
ka — superficie	acabado (las grietas nacen en la superficie)	rectificado ~0.9, mecanizado ~0.7–0.8, laminado en caliente ~0.5–0.7, bruto de forja ~0.3–0.5
kb — tamaño	las secciones grandes fallan antes (flexión/torsión)	~1.0 (d ≤ 8 mm) hasta ~0.75 (grandes); axial = 1.0
kc — tipo de carga	flexión frente a axial frente a torsión	flexión 1.0, axial 0.85, torsión 0.59
kd — temperatura	variación de la resistencia con la temperatura	~1.0 cerca de la temperatura ambiente
ke — fiabilidad	dispersión para un % de supervivencia mayor	`50% 1.00, 90% 0.90, 99% 0.81, 99.9% 0.75`

El acabado superficial (ka) suele ser la mayor reducción individual: una superficie bruta de forja o corroída puede reducir el límite de fatiga a la mitad. Por eso las piezas críticas a fatiga se rectifican, se pulen o se granallan. El factor de superficie normalizado es `ka = a · Sut^b` (a, b según el acabado; Sut en MPa).

4. Corrección por tensión media

Una tensión media de tracción reduce la amplitud admisible. σ_a y σ_m se combinan con uno de estos criterios:

CRITERIO	ECUACIÓN	USO
Goodman (modificado)	$\sigma_a/Se + \sigma_m/Sut = 1/n$	Por defecto para materiales poco dúctiles / diseño conservador
Gerber	$\sigma_a/Se + (\sigma_m/Sut)^2 = 1/n$	Aceros dúctiles, menos conservador (se ajusta a los ensayos)
Soderberg	$\sigma_a/Se + \sigma_m/Sy = 1/n$	El más conservador; protege también frente a la fluencia

Aquí **n** es el coeficiente de seguridad a fatiga. Goodman es la opción habitual por defecto. Comprobar siempre también la fluencia estática con la tensión máxima (σ_max ≤ Sy/n).

5. Concentración de tensiones y entallas

Las grietas de fatiga nacen en los **concentradores de tensiones**: radios de acuerdo, agujeros, chaveteros, roscas, resaltes, marcas de herramienta. El factor geométrico **Kt** multiplica la tensión nominal; el efecto *a fatiga* es `Kf = 1 + q(Kt - 1)`, donde **q** (sensibilidad a la entalla, 0–1) aumenta con la resistencia del material y con el radio de la entalla.

- Aplicar Kf a la tensión
  alterna
  (y a menudo también a la media) en la comprobación de Goodman.

- Un **radio de acuerdo** generoso es la mejora a fatiga más barata: las esquinas interiores vivas son fábricas de grietas.

- Las roscas, los chaveteros y los bordes de ajustes a presión son puntos clásicos de iniciación: mantenerlos fuera de las zonas más solicitadas o detallarlos con cuidado (roscas laminadas, gargantas de alivio con radio).

6. Reglas de diseño y lista de comprobación

- **Redondear todas las esquinas interiores**: maximizar los radios de acuerdo en resaltes y cambios de sección.
- **Mejorar la superficie** donde la tensión es alta: acabado fino y granallado / rodillado superficial para introducir tensiones residuales de compresión (aumentan notablemente la resistencia a la fatiga).
- **No acumular concentradores de tensiones**: no situar un agujero en un radio de acuerdo de una zona muy solicitada.
- **Mantener baja la tensión media**: la precarga, la compresión residual y la carga simétrica ayudan.
- **Usar el detalle adecuado en las soldaduras**: los pies de cordón son entallas severas; amolar/martillear los pies y emplear detalles de unión clasificados a fatiga.
- **Lista de comprobación de diseño:** obtener σ_a y σ_m en la sección crítica → aplicar Kf → estimar Se = ka·kb·kc·kd·ke·Se′ → aplicar Goodman para obtener n a fatiga → comprobar la fluencia estática con σ_max → si el margen es escaso, actuar primero sobre el acabado superficial, los radios de acuerdo y las tensiones residuales.

Se complementa con las herramientas de Ideambox para muelles y uniones atornilladas, cuyos factores de fatiga aplican exactamente este enfoque de Goodman.

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/es/downloads/fatigue-design-primer/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact