

CAPÍTULO III:

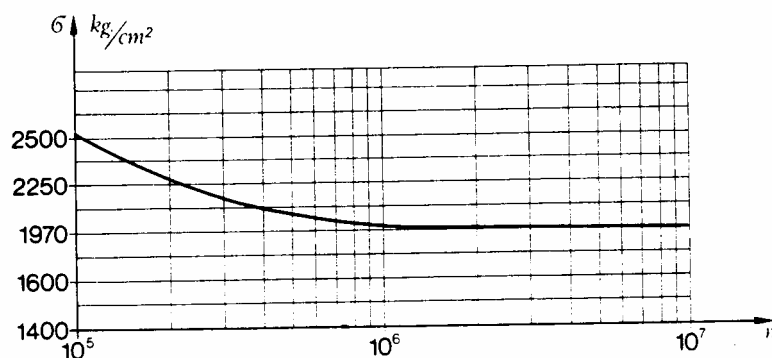
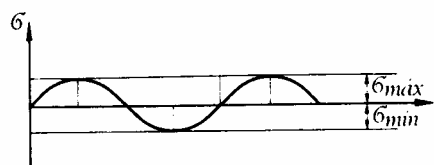
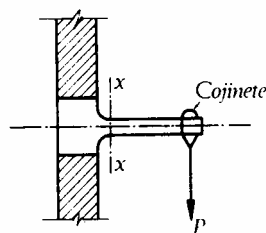
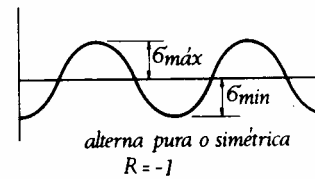
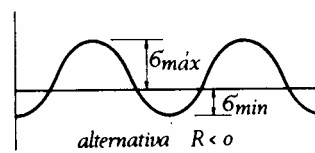
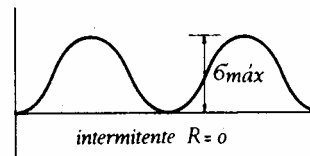
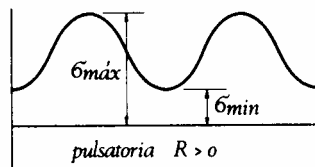
DISEÑO DE PIEZAS DE ACERO A FATIGA

3.1. GENERALIDADES

La ASTM define la fatiga como “el proceso de un localizado, permanente y progresivo cambio estructural sufrido por un material sujeto a condiciones que le producen tensiones y deformaciones en uno o varios puntos y que puede conducir a la producción de grietas o a la rotura después de un número suficiente de fluctuaciones”.

Se ha comprobado que materiales dúctiles sometidos a esfuerzos cíclicos mucho menores que el nivel de su resistencia estática pueden fallar por fatiga.

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



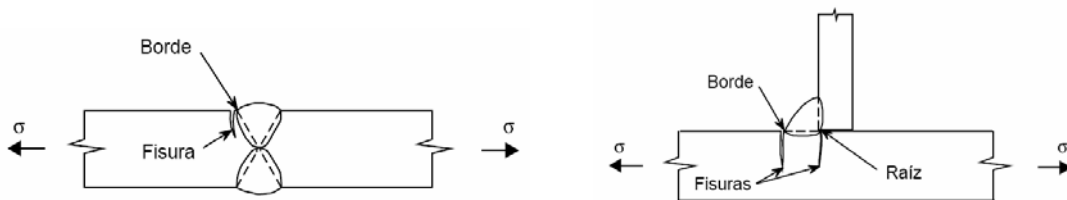
3.1.1. Naturaleza de la fatiga

La fatiga es el mecanismo mediante el cual las fisuras se incrementan en una estructura. El crecimiento tan sólo se produce bajo tensiones cíclicas. La rotura final se produce normalmente en zonas sometidas a tensión de tracción cuando la sección transversal reducida se hace insuficiente para soportar la carga máxima sin que se produzca la rotura. En condiciones de servicio normales, las fisuras no se propagan mientras la carga sobre la estructura sea estacionaria.

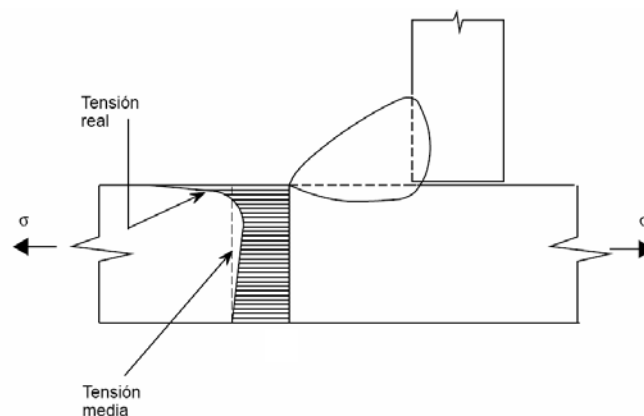
En las estructuras metálicas soldadas, es casi seguro que las roturas de fatiga empezarán a propagarse a partir de las soldaduras y no desde otras uniones, debido a que:

*Por una parte la mayoría de los procesos de soldadura dejan discontinuidades a partir de las que pueden propagarse las fisuras. Como resultado de ello, el período inicial, que normalmente es necesario para que aparezca una fisura en un material forjado, es o muy corto o inexistente. Las fisuras pasan la mayor parte de su vida propagándose.

*Además la mayor parte de las soldaduras estructurales presentan un perfil sin pulir. Normalmente, los cambios acusados de dirección se localizan en los bordes de las soldaduras a tope y en los bordes y primeros cordones de las soldaduras en ángulo.



Estos puntos ocasionan concentraciones de tensión locales. Por lo tanto, las pequeñas discontinuidades cercanas a estos puntos reaccionarán igual que si se encontraran en un elemento sometido a mayor tensión y se propagarán con más rapidez.



3.1.2. Proceso de rotura por fatiga

El origen de rotura por fatiga es una fisura minúscula que va extendiéndose progresivamente hasta el instante en que no existe suficiente metal sano en la sección para soportar el esfuerzo aplicado; se produce entonces la rotura instantánea por deformación plástica o por fragilidad, de acuerdo con las propiedades del metal y su sensibilidad al efecto entalla una vez formada la fisura.

El estudio de la mecánica de fractura muestra que la velocidad de crecimiento de una fisura es proporcional a la raíz cuadrada de su longitud, con la misma fluctuación y el mismo grado de concentración de tensión. Por esta razón, las fisuras de fatiga pasan la mayor parte de su vida en forma de fisuras muy pequeñas difíciles de detectar. Tan sólo en las últimas etapas de su vida comienza la fisura a causar una pérdida significativa del área resistente. Esto plantea problemas para la inspección de estructuras en servicio.

*El fallo por fatiga se produce si se dan simultáneamente:

- Tensiones de tracción elevadas
- Variación de la tensión con el tiempo
- Número de ciclos de carga suficientemente largo.

*El proceso de rotura por fatiga es progresivo y comprende:

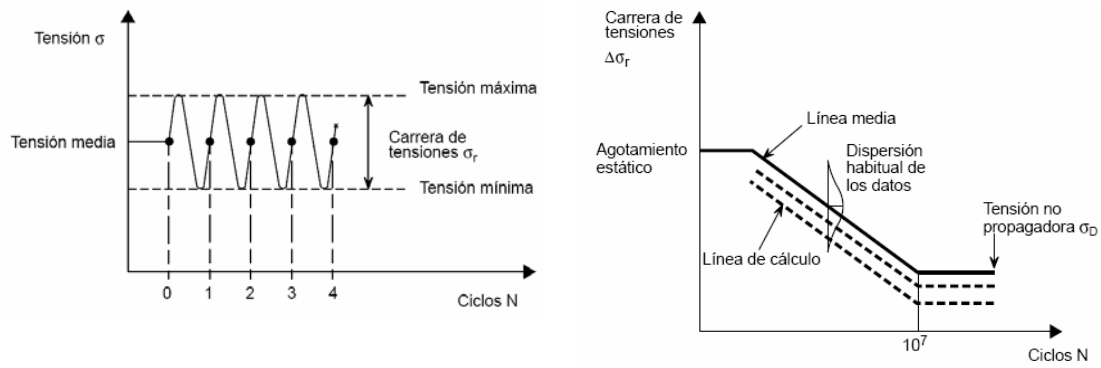
- Fase de iniciación de la grieta. En piezas lisas, sin apenas entallas y solicitadas por cargas reducidas puede suponer un 90% de la vida.
- Fase de propagación. Iniciada la grieta, se propaga reduciéndose la sección resistente. Las tensiones en el frente de grieta aumentan acelerando el proceso.
- Fase de rotura. Cuando la sección es insuficiente rotura “sin aviso”

3.1.3. La resistencia a fatiga

La resistencia a la fatiga de un componente se define como el rango de tensión ($\Delta\sigma_R$) que, fluctuando a una amplitud constante, origina el agotamiento de dicho componente tras un número especificado de ciclos (N). El rango de tensión es la diferencia entre los puntos máximo y mínimo del ciclo. El número de ciclos hasta la rotura es lo que denominamos resistencia o vida a la fatiga.

La expresión que relaciona N y $\Delta\sigma_R$ (ecuación dada en donde a y m serán conocidos para cada tipo de componente), suele representarse, para mayor comodidad, en escala logarítmica como una línea recta. Su representación gráfica se denomina la curva S-N.

$$\log N = \log a - m \log \Delta\sigma_R$$



Esta relación se limita a la rotura estática que se produce cuando se supera la resistencia límite del material cuando el número de ciclos es bajo. En resistencias a fatiga superiores a los 5-10 millones de ciclos, los rangos de tensión son demasiado pequeños para permitir el crecimiento bajo una carga de amplitud constante. Este límite se denomina de tensión no propagadora $\Delta\sigma_D$, ya que para rangos inferiores las fisuras no se propagarán.

3.1.4. Factores que influyen en la resistencia a fatiga

- *Tensión media: Cuando es de tracción disminuye la resistencia a fatiga.
- *Efecto entalla: Por la falta de homogeneidad, la existencia de defectos macroscópicos superficiales, la presencia de roscas, taladros, soldadura, cambios de sección, etc.
- *Tamaño: Las piezas de mayor tamaño son más sensibles al efecto entalla debido a la mayor probabilidad de que existan puntos débiles o defectos.
- *Acabado superficial: Cuanto más rugosas son las superficies rugosas más sensibles son. Además los defectos y entallas superficiales son más perjudiciales que los internos
- *Tratamientos superficiales: Algunos tratamientos como el martilleado, el granallado o el laminado en frío generan tensiones de compresión aumentando la resistencia a fatiga.
- *Temperatura: A bajas temperaturas los metales suelen aumentar su resistencia a fatiga aunque por otro lado se hacen más sensibles a la rotura frágil.
- *Corrosión: La corrosión progresa más rápidamente con cargas de amplitud variable. La presencia de corrosión provoca entallas y mordeduras.
- *Tipo de acero: Los de alta resistencia son más sensibles al efecto entalla por lo que su resistencia a fatiga es menor en términos relativos.

Conviene mencionar que la resistencia a la fatiga es independiente de la frecuencia con la que se aplica la carga cíclica y que el hecho de que existan periodos de reposo entre las aplicaciones hace que la resistencia a la fatiga aumente.

3.2. TIPOS DE CARGAS DINÁMICAS

- *Viento: La acción dinámica del viento puede provocar vibraciones de magnitud variable a las estructuras sobre las que incide, en particular a las muy esbeltas.
- *Tráfico de vehículos y ferroviario: Provoca vibraciones en los puentes y los túneles.
- *Oleaje: Da lugar a acciones dinámicas. La magnitud de la fuerza depende de las características de las olas, su forma, su tamaño y la profundidad del objeto impactado.
- *Acción de las personas: Es una consecuencia de movimientos rítmicos continuos como el hecho de caminar sobre una pasarela, correr, bailar, saltar o desfilarse.
- *Maquinaria: En general las máquinas en su funcionamiento pueden provocar distintas fuerzas dinámicas dependiendo de su aplicación, condiciones de operación y grado de mantenimiento. Dependen fundamentalmente del tipo de movimiento de la máquina. Los desequilibrios, desalineamientos, etc. son también fuente de vibraciones.
- *Otras cargas: Terremotos. Explosiones. Impactos.

En la mayoría de las situaciones mencionadas las estructuras se verán sometidas a ciclos de tensión no constante que habrá que analizar convenientemente para su tratamiento.

3.3. ESTRUCTURAS SUSCEPTIBLES DE SOPORTAR CARGAS DE FATIGA

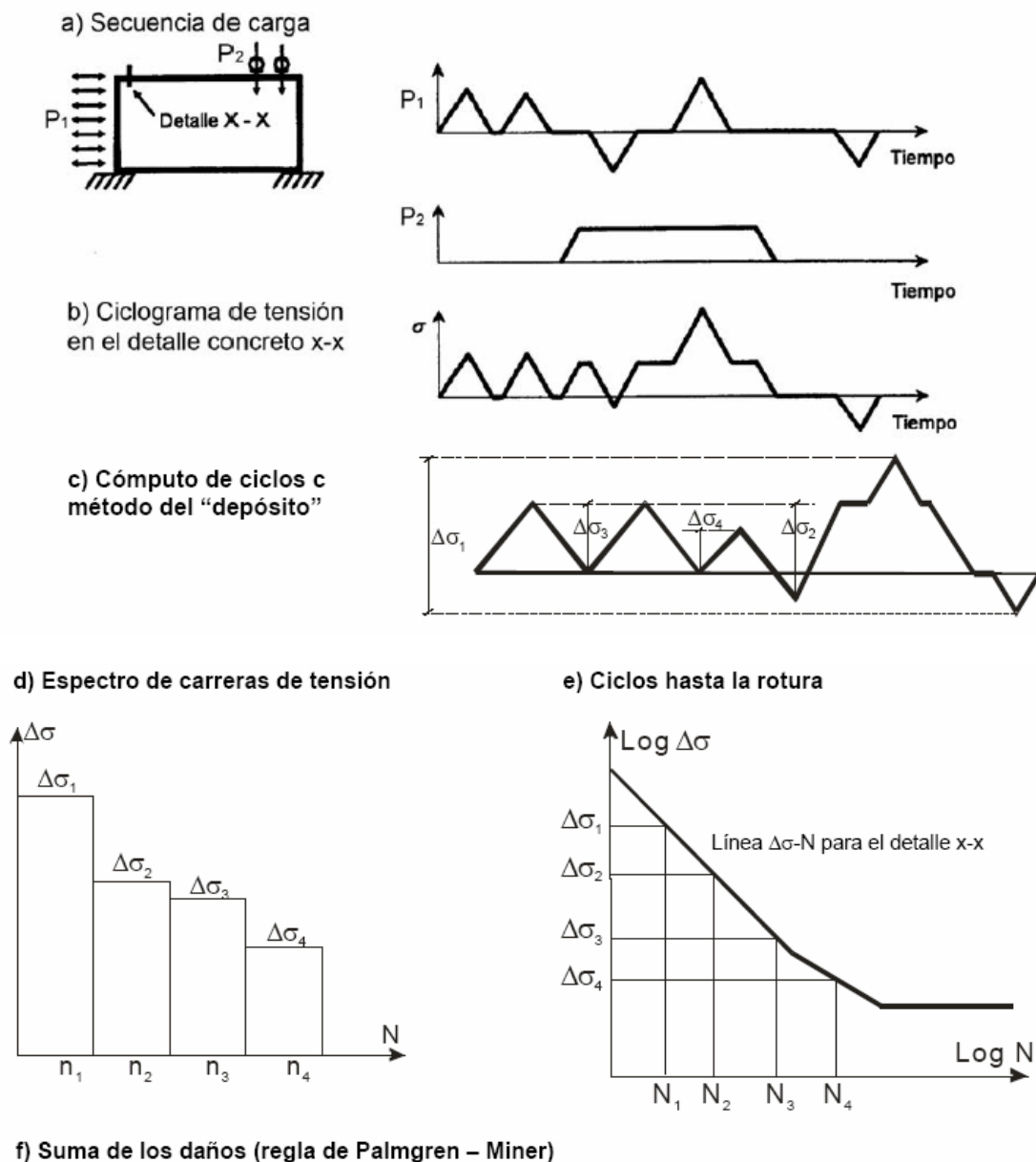
Muchas estructuras, tales como los clásicos pórticos de edificación, no experimentan la suficiente tensión cíclica como para sea necesario considerar sobre ellos problemas de fatiga. No es éste, sin embargo, el caso de otras estructuras, en las que la carga dinámica constituye una proporción mayor de la carga total tales como:

- *Puentes: Que se pueden ver sometidos entre otras a las acciones de viento y del tráfico. Los elementos más críticos en estas estructuras son el tablero y los cables de los tirantes.
- *Pasarelas peatonales: Sometidas a vibraciones por la acción viento y de las personas.
- *Grúas de exterior: En estos casos las acciones de tipo dinámico a tener en cuenta son el viento, el efecto de la carga móvil y los movimientos de rotación y de traslación.
- *Puentes grúa y sus vigas carrileras: Elementos sometidos a cargas móviles tanto gravitatorias como horizontales en dirección longitudinal y transversal.
- *Torres y chimeneas: La acción principal es el viento que puede producir vibraciones tanto en la dirección del viento como en la dirección perpendicular.
- *Plataformas Off-shore: Sometidas a los efectos del oleaje, las corrientes y el viento.
- *Aerogeneradores eólicos: Deben soportar efectos del viento y de la rotación de alabes.
- *Estadios deportivos y para conciertos: Desde el punto de vista dinámico se deben considerar el viento en los voladizos de las cubiertas y el efecto de las personas saltando.

3.4. MÉTODOS DE CÁLCULO CON CICLOS DE TENSIÓN NO CONSTANTE

3.4.1. Método de cálculo de la vida útil o vida segura

Método basado en el cálculo de daños durante la vida teórica de la estructura, utilizando datos del número de ciclos de ruina de límite inferior normalizados (curvas de fatiga asociadas a categorías de detalle) y un límite superior estimado de la carga de fatiga. Esto proporcionará una estimación conservadora de la vida a fatiga y la inspección en servicio no debe, normalmente, considerarse esencial para la seguridad.



$$D_L = \sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots \leq 1$$

En la figura anterior se describe el procedimiento básico a seguir con el método de vida útil. Para aplicarlo, deberá estar disponible en términos de secuencia y de frecuencia de carga la historia de servicio prevista de la estructura. Debe conocerse en términos del ciclograma de tensiones la respuesta en los puntos de iniciación potencial de la fisuración. Además deben estar disponibles en términos de curvas de fatiga, las características de resistencia a la fatiga en los puntos potenciales de iniciación de fisuras.

Se comprobarán en primer lugar los emplazamientos de iniciación potencial de fisuras por fatiga en aquellas zonas de la estructura que contengan las fluctuaciones más altas de tensiones y/o las concentraciones más importantes de tensiones. El procedimiento básico incluye las siguientes etapas:

- a) Secuencia de carga. Se debe obtener una estimación del límite superior de la secuencia de cargas de servicio para la vida prevista de la estructura. Definición del registro elemental de cargas repetido n veces en la vida de la estructura
- b) Ciclograma de tensión. Deberá estimarse la historia o ciclograma de tensiones resultante en los puntos de iniciación potencial de fisuras que se vayan a comprobar. Cuando se utilicen las tensiones nominales, se modificará el ciclograma en toda zona de concentración de tensiones geométricas que no esté ya incluida en la categoría del detalle mediante un factor de concentración de tensiones.
- c) Cómputo de ciclos. El ciclograma de tensiones debe reducirse a un número de ciclos equivalente (n_i) de carreras de tensión ($\Delta\sigma_i$) diferentes utilizando una técnica de cómputo de ciclos.
- d) Espectro de carreras de tensión. Los ciclos deben clasificarse en orden descendente de amplitud $\Delta\sigma_i$ para formar un espectro de carreras de tensión, donde $i=1, 2, 3$, etc., para las bandas del espectro.
- e) Ciclos hasta la rotura. Una vez categorizado el detalle, para la categoría del detalle y la carrera de tensión de cálculo $\Delta\sigma_i$ apropiadas, se determinará el número de ciclos de ruina N_i .
- f) Mediante la regla de Palmgren-Miner se calculará el daño total D_L para todos los ciclos, siendo

$$D_L = \sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots \leq 1$$

- g) Finalmente se calculará la vida útil T_S a partir de la vida de cálculo T_L y del daño total D_L .

$$T_S = \frac{T_L}{D_L}$$

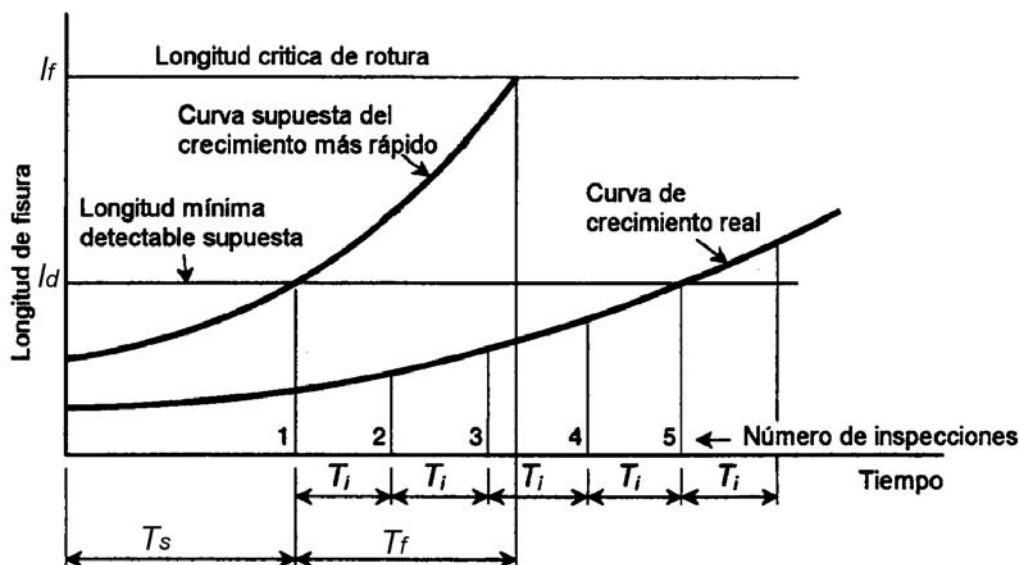
En caso de que la vida útil T_S sea inferior a la vida de cálculo T_L deberá recalcularse la estructura o el elemento en cuestión buscando reducir los niveles de tensión o bien se procederá a cambiar el detalle por otro que presente una categoría superior.

3.4.2. Método de cálculo de la tolerancia al daño

Este método se basa en limitar el crecimiento de la fisuración por fatiga mediante un programa de inspección obligatorio. De modo que una vez que la fisura ha alcanzado un tamaño prefijado, la pieza en cuestión debe ser reparada o bien sustituida. El método de la tolerancia al daño puede ser adecuado en situaciones en las que una estimación de la vida útil muestra que la fatiga tiene un efecto significativo sobre la economía del cálculo. Aunque el método está previsto para obtener un riesgo de rotura comparable al que se ha supuesto para el cálculo de la vida útil, puede sin embargo producir un riesgo más alto de pérdida temporal de la aptitud para el servicio de la pieza o detalle en cuestión.

El método de la tolerancia al daño se aplicará en los emplazamientos de potencial iniciación de fisuras que estén en una superficie o próximos a una superficie fácilmente accesible en servicio cuando el daño total D_L por la regla de Miner sea mayor de 1. La estrategia de inspección tendrá en cuenta los aspectos:

- 1º) El procedimiento se aplicará en cada detalle de potencial iniciación de fisuras en el que la vida útil T_s sea inferior a la vida de cálculo T_L .
- 2º) Existirá un manual de mantenimiento en donde se especifique que la primera inspección de cada detalle de iniciación potencial deberá tener lugar con anterioridad a que haya finalizado la vida útil.
- 3º) El manual deberá especificar que las inspecciones siguientes se realizarán a intervalos regulares T_i siendo $T_i \leq 0,5 \cdot T_f$ y T_f (la figura siguiente muestra la estrategia de inspección en el método de tolerancia al daño) el tiempo calculado para que una fisura, que se ha iniciado en el detalle, crezca desde una longitud de superficie detectable l_d hasta una longitud crítica de rotura l_f .



4º) La longitud mínima supuesta de fisura superficial expuesta debe tener en cuenta la accesibilidad del emplazamiento, el estado o condición probable de la superficie y el método de inspección. Salvo que se realicen ensayos específicos para demostrar que se pueden detectar longitudes más cortas con una probabilidad superior al 90%, el valor supuesto para l_d no será inferior al indicado en la tabla. Si no hubiera un acceso total, deberá añadirse a los valores una longitud imprecisa de fisura.

Método de inspección	Emplazamiento de la fisura		
	Superficie lisa plana	Superficie rugosa exterior del cordón	Ángulo vivo, talón o borde de soldadura
Visual, con ayuda de ampliación	20	30	50
Ensayos por líquidos penetrantes	5	10	15
Nota – Los valores anteriores suponen un acceso próximo, buena iluminación y la eliminación de los recubrimientos superficiales			

5º) Cuando se utilizan espesores elevados y cuando el emplazamiento de iniciación está sobre una superficie inaccesible pueden llevarse a cabo ensayos por ultrasonidos para detectar y medir las fisuras antes de que alcancen la superficie accesible.

6º) El valor de l_f será tal que la sección neta sea capaz de soportar los esfuerzos estáticos de tracción.

7º) El valor de T_f se obtiene mediante cálculo basado en los principios de la mecánica de la fractura y/o mediante ensayos utilizando el mismo material. Las velocidades de propagación de las fisuras registradas entre las longitudes de fisura l_d y l_f deben ponderarse por el factor de ensayo de fatiga.

8º) El manual de mantenimiento deberá especificar las acciones a emprender en el caso de que se descubra una fisura por fatiga durante una inspección de mantenimiento regular del modo siguiente:

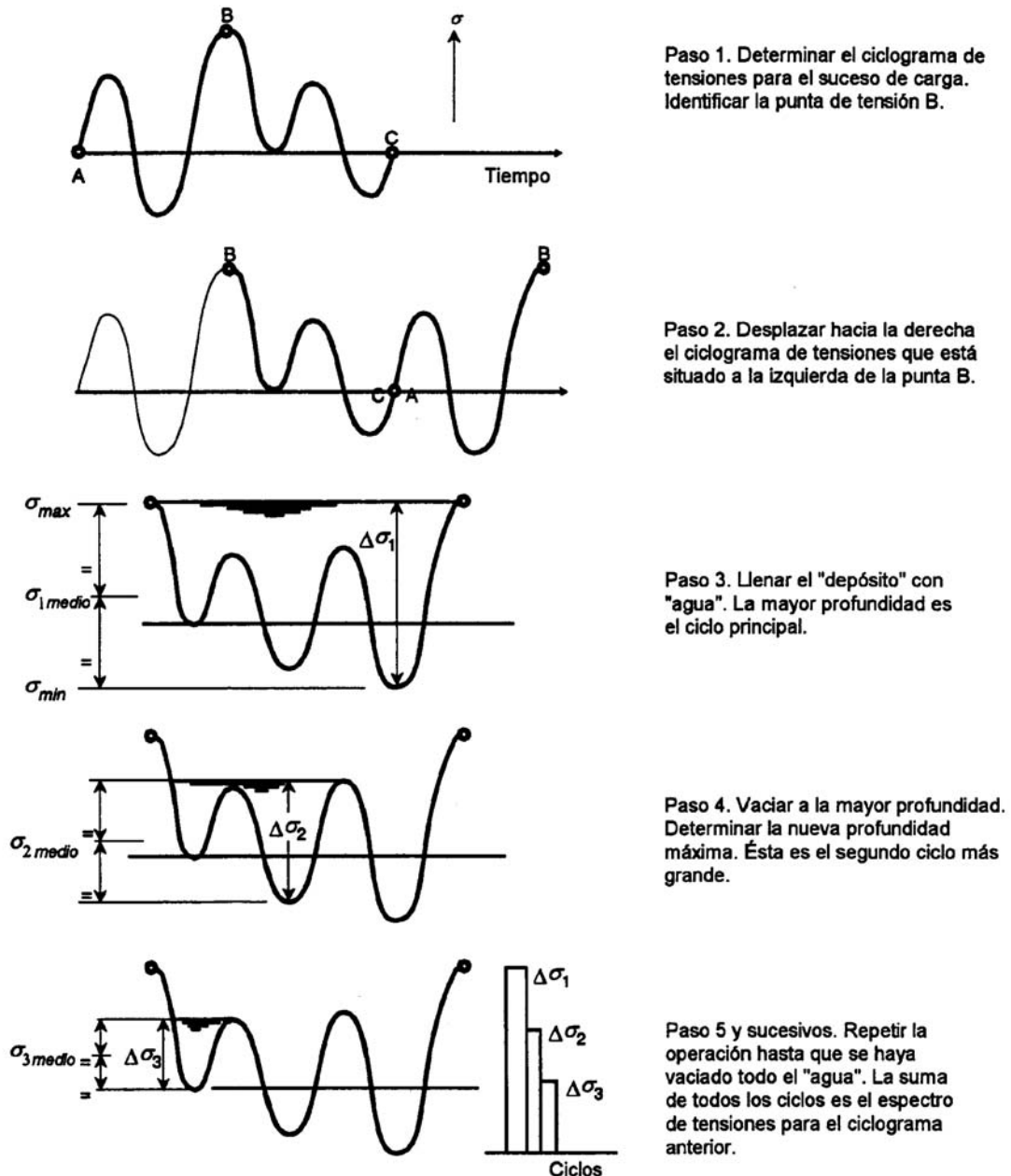
- Si la longitud de fisura medida es inferior a l_d , no es necesaria ninguna acción reparadora.
- Si la longitud de fisura es superior a l_d , deberá evaluarse el componente sobre una base de aptitud para el empleo de la estructura sin necesidad de reparación o sustitución. Si la explotación es prolongada, deberá aumentarse la frecuencia de inspección en el emplazamiento en cuestión.
- Si la longitud de fisura medida supera a l_f , la estructura debe ser puesta fuera de servicio.

3.4.3. Cálculo asistido por ensayos

Se aplica cuando los datos necesarios de carga, de respuesta, de resistencia a la fatiga o de crecimiento de la fisura no están disponibles en normas u otras fuentes. También si la geometría es tan compleja como para que las estimaciones de los esfuerzos o campos de tensiones locales no queden cubiertos por los métodos prácticos de cálculo. Los ensayos pueden realizarse en condiciones controladas sobre estructuras completas de prototipo o de producción o sobre partes componentes de estas estructuras.

3.5. ESPECTROS DE TENSION

Un espectro de tensión, es el registro de ocurrencia de todas las amplitudes de variación de tensión nominal producida por una secuencia de carga. Los espectros de tensiones deben obtenerse en base a una estimación realista de las solicitaciones, teniendo en cuenta los efectos asociados al servicio y condiciones ambientales que actúan sobre la estructura durante el periodo de referencia.

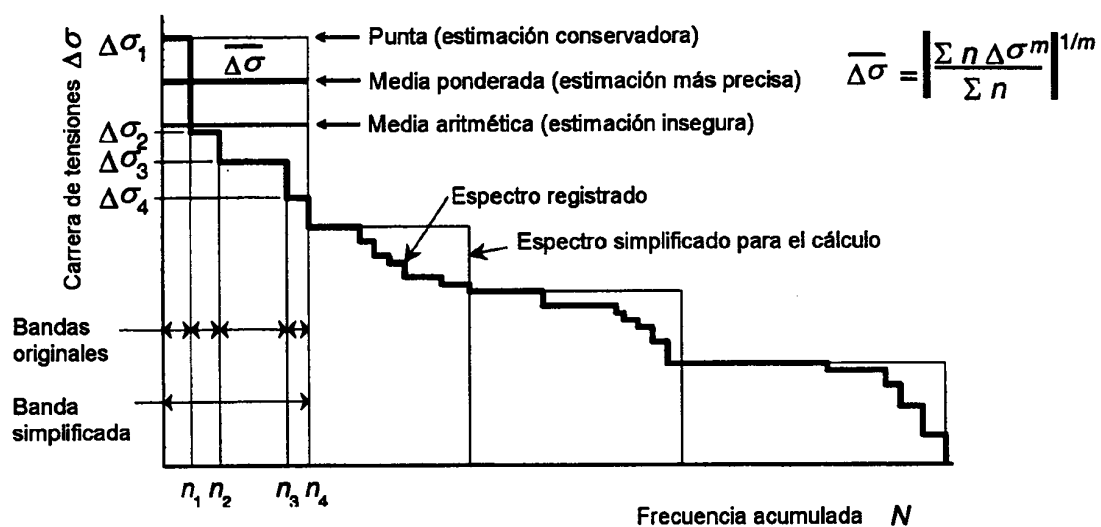


MÉTODO DEL "DEPÓSITO" PARA EL CÁLCULO DE CICLOS

Se debe prestar especial atención cuando las frecuencias de carga estén próximas a las frecuencias propias de la estructura. Asimismo se tendrán en cuenta los posibles cambios en las condiciones de servicio. Las fisuras por fatiga rara vez se origina en el metal base, sino que con frecuencia se localizan en las uniones soldadas. Es por ello que en la comprobación a fatiga, las uniones son puntos críticos.

El computo de ciclos es un procedimiento para la distribución de una historia o ciclograma de tensiones complejo en un espectro conveniente de ciclos en términos de carrera de tensión $\Delta\sigma$, un número de ciclos n y, si es necesario, una relación R de tensiones. Para ciclogramas de tensión cortos, donde los sucesos de carga simples se repiten un número de veces, se recomienda el método del “depósito”. Para ciclogramas de tensiones largos, tales como los que se obtienen de medir deformaciones en estructuras reales se recomienda el método de “recogida de lluvia”.

La catalogación de los ciclos en orden decreciente de amplitud $\Delta\sigma$ se traduce en un espectro de tensiones. Para facilitar el cálculo puede ser necesario simplificar un espectro complejo en menos bandas. Un método conservador es agrupar bandas juntas en grupos más amplios que contienen el mismo número total de ciclos, pero cuya amplitud es igual que la de la banda más alta del grupo. De modo más exacto, la media ponderada de todas las bandas de un grupo puede calcularse utilizando la potencia m , donde m es la pendiente inversa de la curva $\Delta\sigma-N$, que se vaya a utilizar. Téngase en cuenta que la utilización de un valor medio aritmético resulta insegura.



ESPECTRO SIMPLIFICADO DE CARRERAS DE TENSIÓN

3.6. COMPROBACIÓN A FATIGA

Esta comprobación se llevará cabo en todos los puntos donde pudiera producirse el fallo por fatiga. Se distingue entre las situaciones con esfuerzos de amplitud constante y aquellas en que el componente se encuentre sometido a ciclos de tensión no constante.

*Esfuerzo con amplitud constante. Se deberá verificar:

$$\Delta\sigma \leq \Delta\sigma_R$$

$\Delta\sigma$ carrera de tensión aplicada al detalle particular

$\Delta\sigma_R$ resistencia a fatiga para el número de ciclos N de vida teórica. Se obtiene de la curva asociada al detalle constructivo particular.

*Esfuerzos de amplitud variable. En estos casos se utiliza la teoría del daño acumulado, pudiendo presentarse a su vez dos situaciones:

a) La carrera de tensión máxima es inferior al límite de fatiga a amplitud constante $\Delta\sigma_D$. En estas situaciones no es necesaria ninguna verificación a fatiga.

b) En caso contrario se utilizará la ya comentada regla de Palmgren-Miner. La relación básica N_i - $\Delta\sigma_i$ de cálculo a fatiga para números de ciclos menores de $5 \cdot 10^6$ se define por la ecuación:

$$\sum_i \left(\frac{n_i}{N_i} \right) < 1 ; \quad N_i = 2 \cdot 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_i \gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf}} \right)^{m_I}$$

n_i número de ciclos real para la amplitud de tensión $\Delta\sigma_i$

N_i número de ciclos de rotura para una amplitud de tensión constante a partir de la curva de fatiga.

$\Delta\sigma_c$ valor de referencia de la resistencia a fatiga a $2 \cdot 10^6$ ciclos, en función de la categoría del detalle

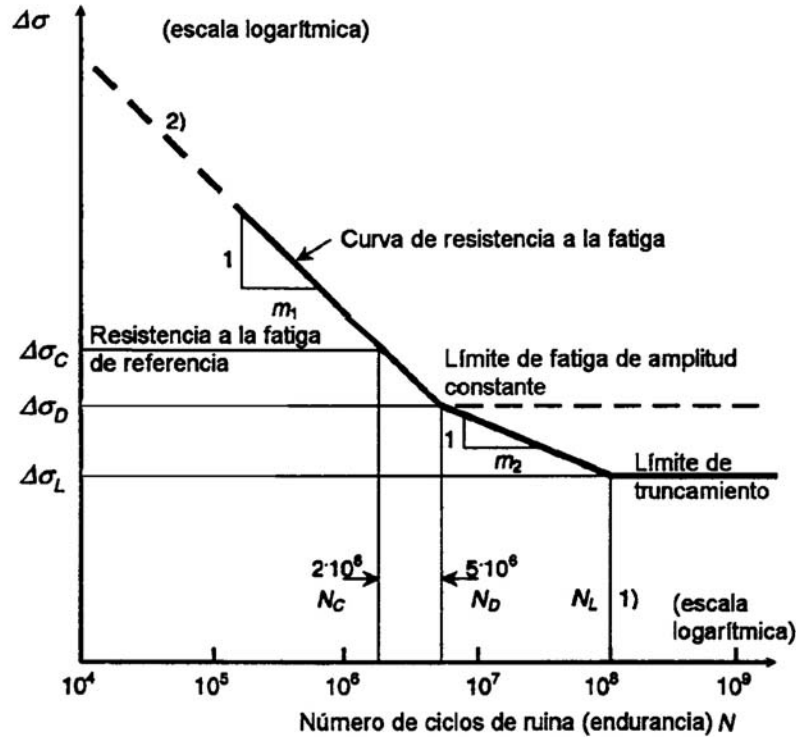
$\Delta\sigma_i$ carrera de tensiones principales en el detalle

m_I pendiente inversa de la curva $\Delta\sigma$ - N para menos de $5 \cdot 10^6$ ciclos. Depende de la categoría del detalle

γ_{Ff} coeficiente de seguridad para incertidumbres en el espectro y en el análisis de respuesta (1,0 a 1,5)

γ_{Mf} coeficiente de seguridad para incertidumbres en los materiales y en la ejecución (valor normal: 1,0)

La relación $\Delta\sigma$ - N queda descrita por la denominada categoría del detalle con dos cifras $\Delta\sigma_c$ - m_I , donde $\Delta\sigma_c$ representa en N/mm^2 la resistencia a fatiga para $2 \cdot 10^6$ de ciclos y m_I es la pendiente inversa de la curva.



Aunque suponemos que los ciclos de tensiones por debajo del límite de fatiga a amplitud constante $\Delta\sigma_D$ no provocan daño, hay que tener en cuenta que si se producen ciclos ocasionales por encima de dicho valor $\Delta\sigma_D$, que pudieran provocar la propagación de fisuras, junto con un elevado número de ciclos por debajo del valor límite, éstos podrían llegar a ser perjudiciales al favorecer la propagación de las fisuras provocando el daño en la estructura. Es por ello que la pendiente logarítmica inversa m_2 de las curvas básicas $\Delta\sigma$ - N entre $5 \cdot 10^6$ y 10^8 ciclos debe cambiarse a m_2 (ver figura). Siendo $m_2 = m_1 + 2$ para un espectro general. El valor de la carrera de tensiones $\Delta\sigma_L$ para 10^8 ciclos se denomina límite de truncamiento. Se admite que los ciclos por debajo de dicho límite no son perjudiciales.

Como vía alternativa de comprobación a fatiga, podemos obtener una tensión equivalente a amplitud constante $\Delta\sigma_e$ y verificar que para la curva de fatiga apropiada al detalle estructural se cumpla:

$$\Delta\sigma_e \leq \Delta\sigma_R \quad \text{siendo} \quad \Delta\sigma_e = \left(\frac{\sum_i n_i \cdot \Delta\sigma_i^{m_1}}{\sum_i n_i} \right)^{\left(\frac{1}{m_1} \right)}$$

$\Delta\sigma_e$ valor de la tensión equivalente a amplitud constante

Los rangos de tensiones aplicadas bien sean normales ó tangenciales no deben superar los valores límite superior correspondientes que se indican.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}; \Delta\sigma \leq 1,5 f_y \\ \Delta\tau = \tau_{\max} - \tau_{\min}; \Delta\tau \leq 1,5 \frac{f_y}{\sqrt{3}} \end{array} \right\}$$

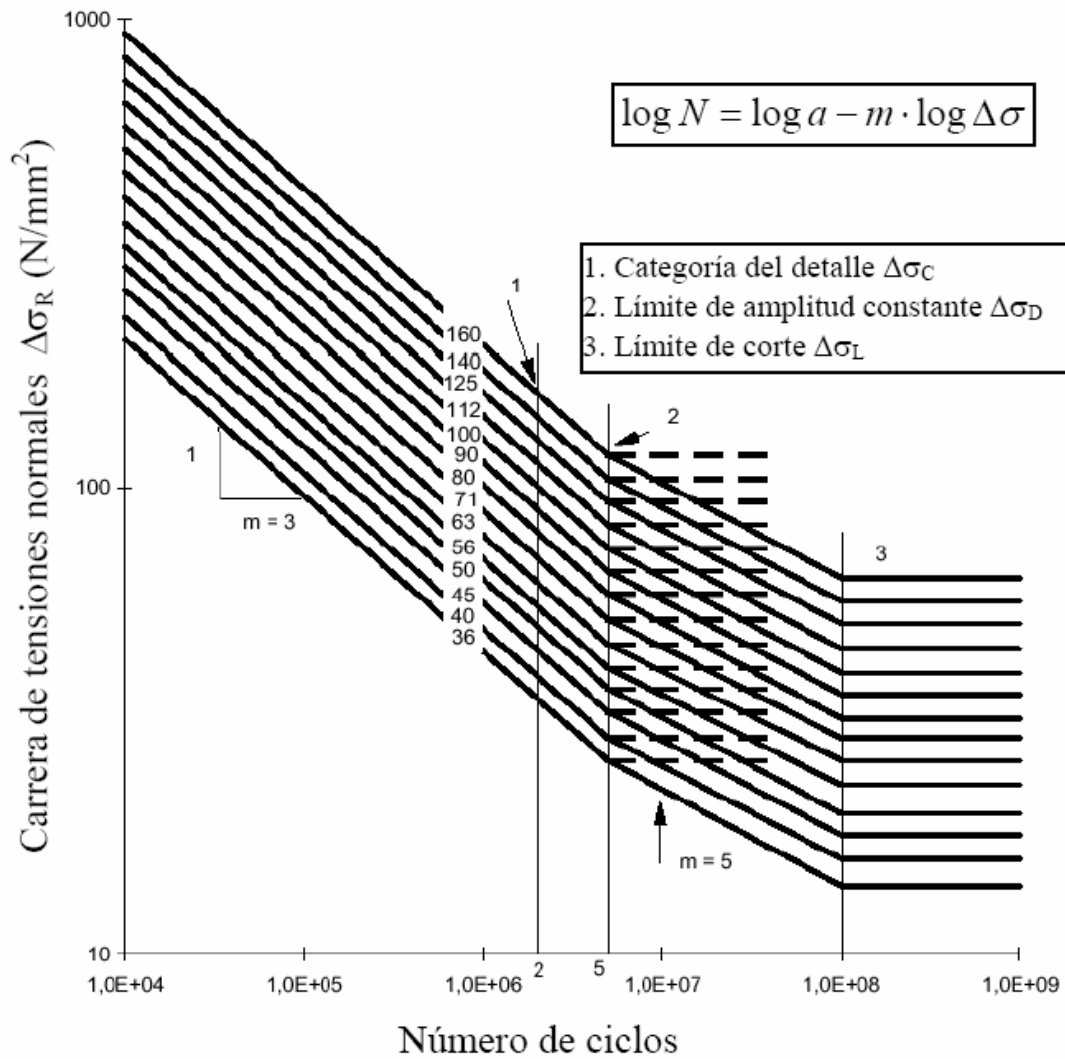
En las tablas siguientes se dan los coeficientes parciales de seguridad para la resistencia a fatiga propuestos en la parte 1-9 del Eurocódigo 3. Asimismo se recogen los coeficientes k_1 aplicables a los nudos de estructuras de celosía en los que las barras son tubos de sección circular o rectangular, cuando se lleva a cabo un análisis de esfuerzos admitiendo que los nudos son idealmente flexibles y que no hay esfuerzos de flexión.

Coeficientes parciales de seguridad para la resistencia a fatiga γ_{Mf}		
Concepto de fiabilidad	Consecuencias del fallo	
	Ligeras	Graves
Tolerancia al daño	1,00	1,15
Vida segura	1,15	1,35

Factores k_1 para nudos de celosía de tubos circulares				
Tipo de unión		Cordones	Montantes	Diagonales
Junta con holgura	Tipo K	1,5	1,0	1,3
	Tipos N /KT	1,5	1,8	1,4
Junta con solape	Tipo K	1,5	1,0	1,2
	Tipos N /KT	1,5	1,65	1,25

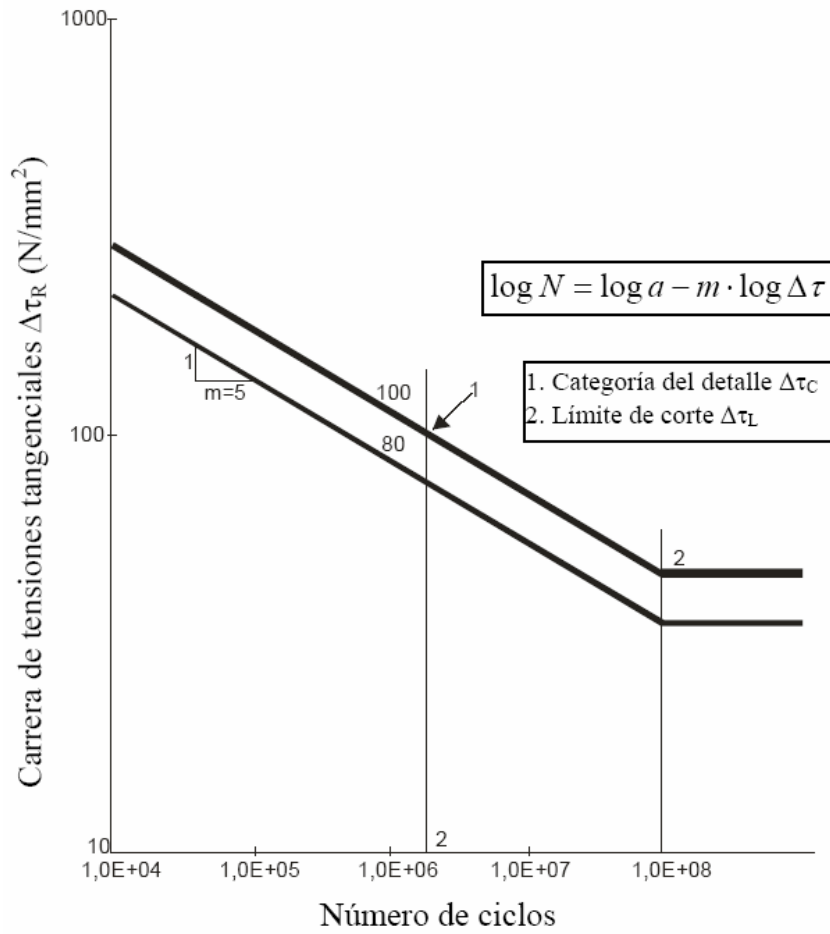
Factores k_1 para nudos de celosía de tubos rectangulares				
Tipo de unión		Cordones	Montantes	Diagonales
Junta con holgura	Tipo K	1,5	1,0	1,5
	Tipos N /KT	1,5	2,2	1,6
Junta con solape	Tipo K	1,5	1,0	1,3
	Tipos N /KT	1,5	2,0	1,4

3.7 CURVAS DE FATIGA PARA TENSIONES NORMALES



Categoría $\Delta \sigma_C$ (N/mm ²)	$\log a$ para $N \leq 5 \cdot 10^6$ ($m=3$)	$\log a$ para $N \geq 5 \cdot 10^6$ ($m=5$)	Carrera $\Delta \sigma_D$ ($N=5 \cdot 10^6$)	Carrera $\Delta \sigma_L$ ($N=10^8$)
160	12,901	17,036	117	64
140	12,751	16,786	104	57
125	12,601	16,536	93	51
112	12,451	16,286	83	45
100	12,301	16,036	74	40
90	12,151	15,786	66	36
80	12,001	15,536	59	32
71	11,851	15,286	52	29
63	11,701	15,036	46	26
56	11,551	14,786	41	23
50	11,401	14,536	37	20
45	11,251	14,286	33	18
40	11,101	14,036	29	16
36	10,951	13,786	26	14

3.8 CURVAS DE FATIGA PARA TENSIONES TANGENCIALES



$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_i \geq \frac{\Delta \tau_L}{\gamma_{Mf}} \rightarrow N_i = 2 \cdot 10^6 \left[\frac{\Delta \tau_C / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_i} \right]^5$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_i < \frac{\Delta \tau_L}{\gamma_{Mf}} \rightarrow N_i = \infty$$

Categoría $\Delta \tau_C$ (N/mm ²)	$\log a$ para $N < 10^8$ ($m=5$)	Carrera de tensión del límite de truncamiento $\Delta \tau_L$ ($N=10^8$)
100	16,301	46
80	15,801	36

3.9 CLASIFICACIÓN DE DETALLES ESTRUCTURALES A FATIGA

En el EC3 parte 1-9 y posteriormente en el CT-DB-SE-A y en la Instrucción de Acero Estructural EAE se recogen los detalles constructivos agrupados en lotes. La categoría del detalle estructural aplicable esta muy relacionada con:

- La dirección de la tensión fluctuante respecto del detalle.
- La ubicación de la zona de iniciación de la fisura en el detalle.
- La disposición geométrica y la proporción relativa del detalle.

Los grupos de detalles considerados son:

- Detalles constructivos no soldados
- Piezas armadas soldadas
- Soldaduras a tope transversales de fuerza
- Uniones que no transmiten cargas. Casquillos y rigidizadores soldados
- Uniones soldadas de fuerza
- Secciones tubulares ($t \leq 12,5mm$)
- Uniones de perfiles tubulares
- Rigidizadores trapezoidales de chapas ortótropas
- Rigidizadores abiertos en chapas ortótropas
- Unión de alas superiores a alma de vigas carril