

Fatiga en los Materiales

El comportamiento de los materiales metálicos en régimen estático es ampliamente conocido y la totalidad de las propiedades necesarias para el diseño están perfectamente caracterizadas (por ejemplo: esfuerzos de fluencia, resistencia a la ruptura, elongación, módulo de Elasticidad, etc.). Desde el punto de vista de diseño estático es suficiente con estos datos de partida para realizar proyectos, ya que se conocen las características de los materiales. Sin embargo, cuando una pieza se somete a esfuerzos variables por efecto de que las fuerzas actuantes lo hagan, o por movimientos de la propia pieza, tanto los procedimientos de diseño estático como las propiedades estáticas del material pierden su valor, debido a que las piezas fallan por haber sufrido un determinado número de ciclos de trabajo. En general, las fallas se producen muy por debajo de los esfuerzos que se pueden considerar aceptables en diseño estático y de forma repentina, sin sufrir ninguna deformación que advierta acerca del fallo del material.

Este fenómeno por el cual los materiales pierden resistencia cuando están sometidos a ciclos de esfuerzos variables en el tiempo, se denomina, "*Fatiga*". Esta ocurre porque hay deformaciones plásticas cíclicas que provocan cambios irreversibles en la dislocación de la micro estructura de los materiales.

En 1860, Wöhler desarrolló diversas máquinas de ensayo para el estudio sistemático del fenómeno. De los ensayos de Wöhler, se pueden extraer dos conclusiones:

- la primera que las fuerzas necesarias para provocar la ruptura con cargas dinámicas son inferiores a las necesarias en el caso estático, y
- la segunda que existe un umbral por debajo del cual las probetas no se rompen, de hecho se conoce como el *límite de fatiga*.

El fenómeno de fatiga se produce por lo general en zonas donde el material es más propenso a sufrir deformaciones plásticas, esto se debe a la presencia de efectos como: las inclusiones, porosidades o concentraciones de esfuerzos, los cuales aumentan las probabilidades de formación de fisuras o micro grietas por el efecto cíclico de cargas.

En las zonas donde se inicia la formación de grietas, los materiales pueden soportar cargas mientras no sea excedido el límite elástico de esfuerzo, de lo contrario, se produce una deformación localizada. En este último caso la grieta puede ser tratada como una perturbación si sus efectos son mínimos, pero si el ataque es severo bajo la acción de esfuerzos aplicados se puede llegar a formar una zona plástica donde la fragilidad de la misma conduce a la propagación de grietas y falla de las piezas o estructuras mecánicas. Se han realizado análisis microscópicamente, los cuales expresan que los efectos de la fatiga en las fibras de la zona de fractura evidencian la formación de núcleos en el origen de los bordes de grano y planos de deslizamiento.

Etapas del Proceso de Fallas por Fatiga

La historia de una grieta que se desarrolla en un componente sometido a fatiga tiene típicamente tres etapas: una de iniciación, una de propagación estable y finalmente una propagación acelerada que conduce a la falla del componente.

- Etapa I, corresponde a una fase donde se producen los primeros cambios microestructurales, con aumento de la densidad de dislocaciones y formación de microfisuras y posterior localización de las zonas con daño irreversible.
- Etapa II, en esta se inician las macrogrietas y la formación de fisuras con tamaños similares al tamaño de grano del material, con tendencia a la propagación total de las grietas.

– Etapa III, se produce un proceso de propagación inestable, provocando la fractura o fallo total de la pieza. La magnitud de la concentración de deformación plástica en el extremo de la grieta controla el radio de crecimiento de la misma.

La duración de cada una de las etapas descritas anteriormente puede variar considerablemente en función del tipo de material, carga aplicada, geometría, temperatura e irregularidades. A menudo resulta difícil distinguir estas etapas antes mencionadas.

Variación de los Esfuerzos

Para realizar cálculos de fallas por fatiga, es necesario conocer que cuando se produce una variación de los esfuerzos a los que esta sometida una fibra cualquiera de una pieza, bien sea por cambio de las fuerzas a las que esta sometida o por un cambio de posición con respecto a las cargas.

La variación de los esfuerzos en función del tiempo, viene definida por las componentes de esfuerzos en base a una forma senoidal. Tales componentes se detallan en la *figura 2.4* y están expresadas por los esfuerzos máximos (σ_{\max}), mínimos (σ_{\min}), alternos (σ_a), medios (σ_m) y el intervalo de esfuerzos (σ_r). A continuación se muestran las expresiones que permiten determinar las componentes

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

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

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

En las piezas sometidas a cargas variables se puede producir cuatro tipos de situaciones de variaciones de esfuerzos (ver *figura 2.5*), a continuación se detallan:

a–) Esfuerzos alternante puro, en esta situación por lo general el esfuerzo medio (σ_m) presenta igual a cero y la variación de esfuerzo se produce en ambas direcciones, es decir, se producen esfuerzos a tracción y compresión con igual magnitud pero con dirección distinta.

b–) Esfuerzo fluctuante, en este caso los valores de los esfuerzos máximo y mínimo no son iguales y se producen en una sola dirección. En algunos casos los esfuerzos pueden estar en distintas direcciones y se tendrán combinaciones de esfuerzos a compresión y tracción respectivamente.

c–) Esfuerzos intermitentes, se producen cuando el esfuerzo mínimo es igual a cero y la incidencia de las cargas es solamente a compresión o tracción.

d–) Esfuerzo irregulares o aleatorios, ocurren cuando las frecuencias de los esfuerzos no siguen un comportamiento senoidal y la distribución de los esfuerzos es de forma desordenada o aleatoria.

La secuencia de aplicación de cargas puede ser más compleja, razón por la que es preciso acudir a técnicas simplificadas de modelos matemáticos o de control de ciclos que traduzcan un espectro de cargas reales en otro simplificado para tratarlo de forma numérica sin que el tiempo requerido para su resolución sea extenso.