

La fatiga: Principal causa de falla de los elementos mecánicos

José Wilches Balseiro *

Junto con la cerámica, el uso de los metales fue uno de los grandes saltos o avances tecnológicos de la humanidad, lo que mejoró sustancialmente su capacidad productiva y de supervivencia, en cuanto pudo proveerse de herramientas mucho más eficaces —en términos de esbeltez de filo y capacidad de trabajo sin rupturas— que las de piedra y hueso utilizadas en edades más tempranas. Sin ellos nuestra civilización sería inconcebible, pues la transformación masiva de la energía —fundamento material del mundo moderno— sería prácticamente imposible sin los materiales metálicos, únicos por su capacidad de absorber sin falla gran cantidad de energía por unidad de área o volumen.

Aun hoy, a pesar de todos los esfuerzos en la creación de todo tipo de nuevos materiales no metálicos —poliméricos, cerámicos, compósitos— hay áreas, como la de transmisión de elevadas potencias a bajas y altas temperaturas, donde los metales no tienen competencia y donde, por consiguiente, es mandatorio su uso en la fabricación de los equipos correspondientes.

Sin embargo, a pesar de su tenacidad o alta capacidad de absorber energía sin fracturarse —lo que se traduce en altos niveles de esfuerzo para producir su falla— los componentes metálicos se rompen o fracturan, de un modo instantáneo o progresivo, cuando se someten a la acción de cargas estáticas y/o dinámica.

Hace tiempo que la ingeniería resolvió el problema de diseñar estructuras contra la falla bajo carga estática a temperatura ambiente, con base en que los niveles de esfuerzo que sólo producen deformaciones elásticas garantizan la estabilidad de la estructura. Más aun, teniendo en cuenta la ductibilidad de los metales y su habilidad para ganar resistencia por deformación plástica, ésta podría permitirse en cierta magnitud sin que ello lleve necesariamente a una falla instantánea. Igual cosa no puede decirse sobre el diseño de componentes sometidos a cargas dinámicas, pues, al contrario de las estáticas, su aplicación repetitiva o fluctuante a través del tiempo, aun cuando el esfuerzo nominal resultante sea menor que el de fluencia, induce cambios estructurales internos en el material, originando microfisuras que al propagarse llevan a una fractura progresiva de tipo frágil, conocida como **fractura por fatiga**, que puede ocurrir durante el servicio normal, sin sobrecargas excesivas y bajo condiciones normales de operación.

¿Qué factores contribuyen a que un material presente susceptibilidad a este tipo de falla? En general, el área de la

* Ingeniero Metalúrgico. Experiencia Análisis de falla en componentes metálicos. Postgrado en Metodología de la Investigación de la enseñanza universitaria. Actualmente profesor de las cátedras: Procesos de fabricación, Tratamientos térmicos, Corrosión y Jefe del Departamento de Diseño del Programa de Ingeniería Mecánica.

pieza donde se inicia la fisura por fatiga corresponde a aquella donde, por alguna razón, el esfuerzo logra niveles superiores al de fluencia, produciéndose una deformación plástica en frío, localizada y cíclica, en correspondencia con la naturaleza del esfuerzo, lo cual genera acritud o pérdida de ductibilidad en ese lugar y, por consiguiente, con el transcurrir del tiempo se produce una microfactura frágil que una vez formada puede propagarse bajo la acción del esfuerzo.

Los factores o razones que inciden directamente en la elevación local de los esfuerzos y, por tanto, en la etapa de inicio de la fatiga suelen ser de tipo geométrico, mecánico, metalúrgico, de tamaño y ambiental.

Factores geométricos. Aspectos de forma, tales como los cambios bruscos de sección, aristas y esquinas vivas o sin radio, bordes de agujeros, rugosidades superficiales, marcas de maquinado, deformaciones superficiales, etc., pueden actuar como concentradores de los esfuerzos haciendo que en dichos lugares se alcancen valores de hasta tres (3) y más veces el nominal.

Factores mecánicos. Las sobrecargas frecuentes, la presencia de tensiones residuales y el tipo de carga (impactos, desbalanceos, vibraciones, etc.) pueden contribuir al agrietamiento prematuro y progresivo de los componentes.

Factores metalúrgicos. En este caso es preciso considerar por lo menos tres niveles:

1. Aquellos aspectos de tipo estructural inherentes a la naturaleza propia de los sólidos policristalinos, como el ca-

rácter aleatorio de la orientación de los planos atómicos dentro de cada grano y la mayor o menor presencia de dislocaciones, hacen que la resistencia varíe de un grano o cristal a otro y promueven la iniciación de microgrietas en aquel o aquellos cristales de mínima resistencia.

2. Aquellos aspectos de tipo estructural derivados del procesamiento del material y/o de la manufactura de la pieza como los poros, cavidades de contracción e inclusiones no metálicas, pueden servir de concentradores de las tensiones.
3. Asimismo, las heterogeneidades de tipo químico o estructural como las segregaciones, el cambio de tamaño de grano y de fase debido a calentamientos durante la fabricación, el ensamble de las partes o el servicio, pueden dar lugar a alteraciones de la resistencia del material en las áreas afectadas.

El factor tamaño. A mayor tamaño de la pieza, y bajo las mismas condiciones de esfuerzo, aumenta el volumen del material bajo esfuerzo, y, por tanto, la probabilidad de encontrar en él zonas defectuosas o de baja resistencia que lleven a la iniciación de grietas de fatiga.

Factores ambientales. La naturaleza del medio en que se desempeña el componente (contaminantes, temperaturas bajas o altas, humedad, etc.) puede contribuir a crear problemas de corrosión o a deteriorar las propiedades mecánicas del material (fragilización, pérdida de resistencia, por ejemplo), favoreciendo así la iniciación de grietas de fatiga.

Como puede verse, son muchos los

factores que propician la iniciación de grietas de fatiga en los metales, por lo que resulta prácticamente imposible predecir eventos de esta naturaleza, y mucho más diseñar y fabricar elementos mecánicos totalmente seguros contra este tipo de falla.

Sin embargo, siempre será posible mejorar la resistencia y durabilidad de los componentes metálicos que trabajan en condiciones de fatiga, si se tienen en mente los factores mencionados y se aplican los correctivos a través de todas y cada una de las etapas o fases en la vida de la pieza: desde un **diseño** del componente que tenga muy en cuenta los factores de tipo geométrico y de tamaño, una **selección del material** con base en una previa verificación de sus propiedades mecánicas —en lo posible de su tenacidad a la fractura— y una inspección no destructiva

para determinar tamaños máximos tolerables de defectos presentes; pasando por un seguimiento durante las fases de **manufactura y ensamble** para minimizar la inclusión de nuevos defectos, una vigilancia permanente durante el **desempeño** para evitar sobrecargas, minimizar vibraciones y evitar ambientes peligrosos; hasta, en la eventualidad de una **falla**, realizar un análisis de ésta para identificar sus causas últimas y tenerlas en cuenta para el rediseño del componente.

En consecuencia, la filosofía de considerar el análisis de falla como criterio retroalimentador del diseño —aparte de los relativos a la economía, seguridad, funcionalidad y presentación del producto— permite reducir los riesgos de fallas futuras. En otros términos, mejorar sistemáticamente la confiabilidad de los elementos de construcción mecánica.