

ANÁLISIS DE FALLAS DE MATERIALES EN LA INDUSTRIA NAVAL

*Ernesto Zumelzu Delgado
Ingeniero Civil Metalúrgico*

Introducción

El profesional ingeniero ha ido evolucionando, hasta llevar a cabo hoy en día obras íntegras de funcionamiento técnico, con conocimientos y habilidades procedentes de las más diversas disciplinas, pero con un fin muy particular, cual es: Dar origen a un nuevo tipo de creatividad técnica que muestre las direcciones del desarrollo y que preste cada vez más atención al hombre y a su entorno.¹ Es así como el deterioro de materiales, su contaminación e impacto en el ambiente exigen nuevos desafíos profesionales, de tal forma que la ingeniería, aplicando el potencial del saber interdisciplinario y de la experiencia, alcance soluciones efectivas en este campo.

En el estudio de deterioros, el término "falla" se considera, como concepto técnico, la cesación de una función o utilidad de los materiales.² De ahí la necesidad e interés de investigar la ocurrencia de una falla y realizar un análisis posterior, para determinar el origen o causas que la determinaron y posteriormente iniciar acciones correctivas para prevenir, por ejemplo, fallas similares.

Este análisis es de particular importancia en la industria naval, por cuanto las condiciones

de operación de artefactos e instalaciones requieren de materiales sometidos a estrictos controles de calidad e inspecciones periódicas, considerando además que las condiciones de servicios son complejas y con ambientes muy agresivos.

Fallas frecuentes de materiales en la industria naval son, por ejemplo: Fracturas de planchas y estructuras de aceros en embarcaciones, por soldaduras deficientes; fatiga en cables submarinos; fatiga y corrosión en plataformas petroleras; corrosión galvánica en ejes portahélices; corrosión bajo tensión en estructuras submarinas; cavitación en propulsores; fractura por *creep* en turbinas; fractura frágil en calderas de alta presión; desgaste en componentes de compresores; distorsiones estructurales en puertos, etc.

El presente artículo tiene, entonces, como objetivos básicos analizar sucintamente los factores que participan en el origen de las fallas de materiales y conocer técnicas de inspección y evaluación, de tal forma que el profesional de ingeniería pueda prevenir y en lo posible controlar los daños involucrados en embarcaciones, componentes, equipos e instalaciones navales.

¹ G. Wolf: "El ingeniero en la industria: Evolución de un profesional", *Sulzer Technical Review*, 1988.

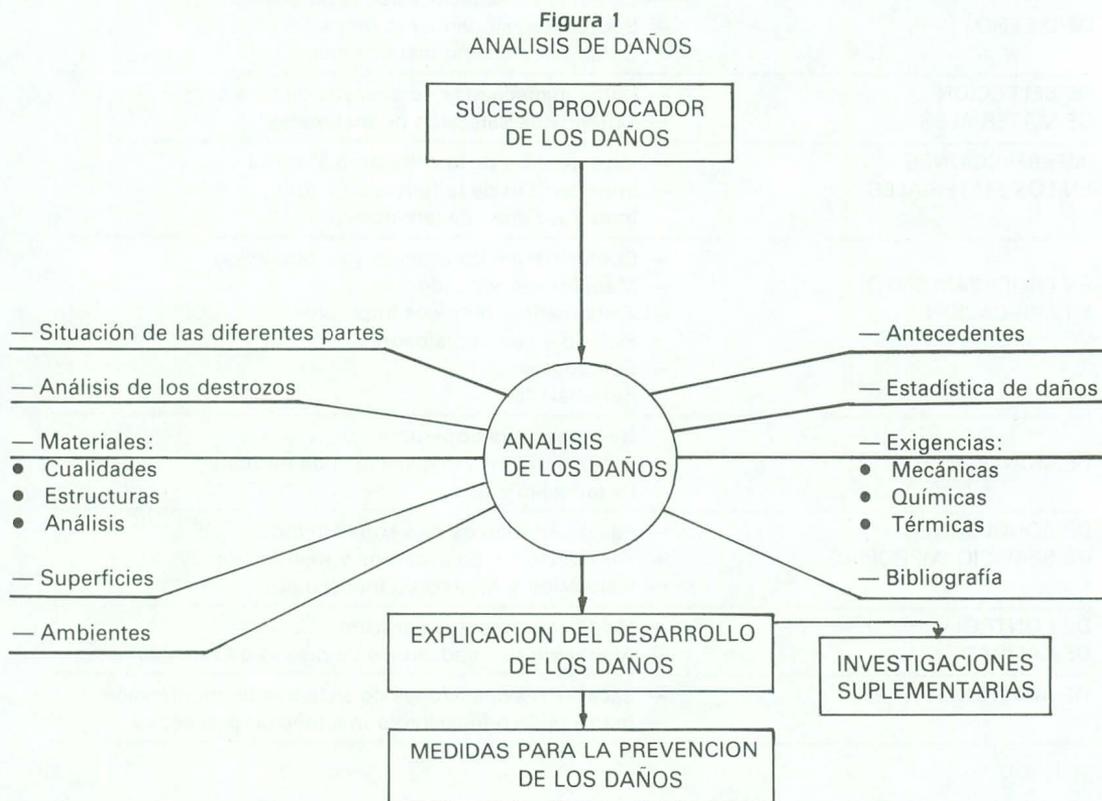
² "Failure analysis and prevention", *Metals Handbook*, American Society for Metals, vol. 10, novena edic., 1985, pp. 10-26.

Análisis de daños

El deterioro de materiales implica abordar, como un conjunto, diferentes disciplinas para encontrar la solución de muchos de estos problemas que se presentan en la industria; más aún

cuando las fallas producen daños o contaminaciones en procesos, sistemas de ingeniería y en el ambiente.

La figura 1 describe en general los factores y parámetros que se deben considerar en el análisis de daños: Con aspectos del suceso pro-



vocador, el análisis respectivo, la explicación del desarrollo de los daños y las medidas para la prevención de estos. Sin embargo, dicho análisis se puede centrar desde el punto de vista de las características del material, de las condiciones de diseño y de las exigencias de servicio que permitan una mayor vida útil.

De esta forma, se puede decir que el análisis de fallas es un proceso de estudio y recolección de antecedentes que evidencian la ocurrencia de una falla, lo cual se encara usando métodos analíticos, algunos de los cuales son la microscopía, la fotografía, ensayos no destructivos y metalografía. El proceso es usado generalmente con dos distintos enfoques:³

- a) Primeramente, algunos efectúan intencionalmente ensayos destructivos, bajo las condiciones de servicio y operación del

material, sometiendo las partes o componentes a condiciones de trabajo extremas, de forma de localizar las zonas de bajo potencial de resistencia y así prevenir las actuales fallas en servicio.

- b) El otro enfoque estándar usado en el análisis de fallas es, como se ha dicho, identificar las causas de servicio impropias que producen la falla en el material.

El objetivo fundamental en ambos casos será entonces determinar los factores responsables de la futura ocurrencia de fallas y en qué medida pueden ser prevenidos.

Fuentes fundamentales de fallas

Las fuentes fundamentales de fallas incluyen muchos aspectos, los cuales pueden

³ I.A. Nelson: "The final anality tool: Failure analysis", revista *Manufacturing Engineering*, Nov. 1982, p. 1013.

Tabla 1
FUENTES FUNDAMENTALES DE FALLAS

Deficiencias	Fuentes
DE DISEÑO	<ul style="list-style-type: none"> — Entalladuras mecánicas — Cambios en especificaciones de diseño — Sobredimensionamiento de partes — Criterios de diseño insuficientes
DE SELECCION DE MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> — Datos inadecuados de ensayos de tensiones — Criterios de selección de materiales⁴
IMPERFECCIONES EN LOS MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> — Imperfección de la estructura atómica — Imperfección de la fundición y forja — Imperfecciones de laminación
EN PROCESAMIENTO Y FABRICACION	<ul style="list-style-type: none"> — Conformación en caliente y su operación — Maquineado y pulido — Tratamientos térmicos impropios — Piclado y electroplateado — Soldaduras — Retrabajados
DE MONTAJE	<ul style="list-style-type: none"> — Negligencia del operador — Especificaciones inadecuadas de montaje — Desalineamientos
DE CONDICIONES DE SERVICIO IMPROPIAS	<ul style="list-style-type: none"> — Puesta en marcha de varios equipos — Paralizaciones de procesos y mantención — Inspección y monitoreo inadecuado
DE CONTROL DE CALIDAD	<ul style="list-style-type: none"> — Modificaciones de operación — Alteración de condiciones de diseño o funcionamiento
DE MANTENCION	<ul style="list-style-type: none"> — Escasas reevaluaciones de sistemas de mantención — Inadecuada o inexistente mantención preventiva

presentarse incluso como condición de muchas circunstancias. Sin embargo, las más importantes fuentes son las descritas en la tabla 1 (arriba).

Fallas específicas de materiales

El análisis de una falla estructural o parte metálica requiere identificar el tipo de falla. Estas pueden ocurrir por uno o más mecanismos, incluyendo daño de superficies, tales como corrosión o desgaste, distorsión elástica o plástica y fractura. Algunos elementos a considerar en la fractura son: Condiciones de carga, velocidad de crecimiento de las fisuras y apariencia macroscópica y microscópica de las superficies de fractura.

Analistas de fallas,⁵ por otra parte, clasifican las fracturas a escala macroscópica, como: Fractura dúctil, fractura frágil, fractura fatiga y fracturas resultantes de efectos combinados de tensiones y ambiente. Este último grupo incluye corrosión bajo tensión y fragilidad metal líquido, fragilidad intersticial por hidrógeno, corrosión, fatiga y ruptura por esfuerzos, especialmente a altas temperaturas. Una clasificación muy sintetizada sobre los tipos de fallas de materiales se señalan en la tabla 2.

Partes de un análisis de fallas

Dependiendo de la naturaleza de una falla específica, las principales partes de un análisis que

⁴ E. Zumelzu: "Nuevos materiales en la industria naval, *Revista de Marina* N° 4/1988, pp. 420-425.

⁵ *Ibid.*

Tabla 2
TIPOS DE FALLAS DE MATERIALES^{6, 7}

Fallas	Tipos
FRACTURA	— Fractura dúctil — Fractura frágil — Fractura dúctil a frágil — Fractura por fatiga
FLUENCIA	— Por creep o fluencia lenta. Rupturas por esfuerzos — Fatiga a bajos y altos ciclos. Fatiga térmica — Sobrecargas en tensiones y combinaciones de estos por el ambiente
CORROSION MACROSCOPICA	— Galvánica; en placas; por hendidura; picado; erosión; catastrófica; selectiva; biológica
CORROSION MICROSCOPICA	— Corrosión intergranular — Corrosión bajo tensión — Corrosión fatiga
SOBRECALENTAMIENTOS	— De Operación. En tratamientos térmicos y forjas
DESGASTE Y FRICCION	— Desgaste adhesivo, abrasivo, erosivo, corrosivo — Erosión-corrosión. Superficies fatigadas. Frotamientos
SOLDADURA	— Fallas superficiales, subsuperficiales y de diseño
DISTORSION O DEFORMACIONES	— Distorsión plástica y elástica. Distorsión con fractura, de trinquete. Inelástico cíclico.
CAVITACION	— Cavitación-erosión. Cavitación creep

llevan a determinar su origen o causas y prevención,⁸ son las siguientes;

- a) Reunión de antecedentes y exámenes preliminares (historia de servicio e inspección visual).
- b) Ensayos no destructivos por inspecciones de películas magnéticas, líquidos penetrantes, electromagnéticas, ultrasónicas, radiografías y análisis experimentales de fotoelasticidad y *strain gages*.
- c) Ensayos mecánicos y análisis químico de dureza, tenacidad o impacto; composición química, productos de corrosión, etc., respectivamente.
- d) Exámenes micro y macroscópico. Microscopía metalográfica, *scanning* o transmisión electrónica y observaciones macroscópicas con magnificación de 1-100 diámetros o aumentos, respectivamente.
- e) Determinación de mecanismos de falla, es

decir, determinar el tipo de fractura o falla del material.

- f) Ensayos simulados bajo condiciones de servicio, *test* específicos, como ser, en celdas electroquímicas, en túneles de viento aerodinámicos, canales de prueba hidrodinámicos y ensayos tribológicos (desgaste, fricción y lubricación).
- g) Análisis de toda la evidencia, en que se persigue analizar todas las partes anteriores en su conjunto, formular conclusiones, hacer un informe escrito, incluyendo recomendaciones.

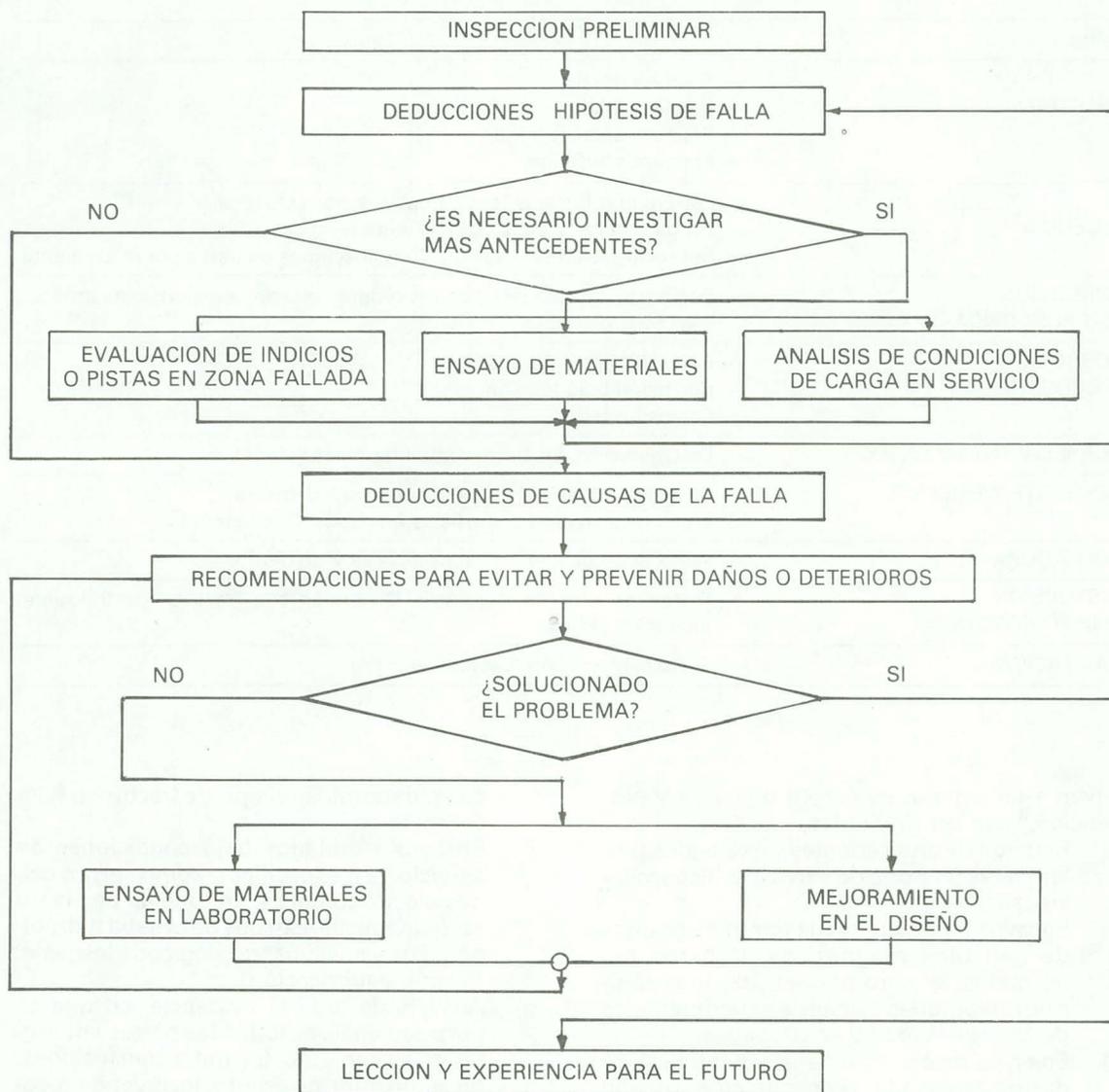
Dichas experiencias recomiendan estrategias para abordar el análisis de fallas de materiales e informar sobre él. La figura 2 describe un procedimiento simple y práctico que permite examinar de buena forma obras y artefactos de ingeniería que han presentado fallas.

⁶ "Failure analysis, *cit.*

⁷ M. Fontana y N. Greene: *Corrosion engineering*, Ed. McGraw Hill, 1978, 2ª edición, pp. 84-88.

⁸ A. Grögl: "Failure analysis a route to improved product anality", *Sulzer Technical Review*, vol. 3, 1986, pp. 22-23.

Figura 2
PROCEDIMIENTOS PARA ANALISIS DE FALLAS



Conclusiones

1. Lo principal es tener conocimiento de las características de los materiales que se están usando en los equipos, instalaciones y artefactos marinos, conocer sus limitaciones, fortalezas físicas, mecánicas, químicas y sobrediseños. La ocurrencia de fallas puede de hecho ser vista como una oportunidad de resolver problemas, los cuales si se repiten pueden resultar en consecuencias mucho más severas.

2. En cualquier análisis de fallas es importante conocer las circunstancias que originaron

la falla; sólo de esta forma, además de un enfoque técnico, permitirá comprender los factores adversos involucrados, lo que ayudará a tomar medidas preventivas para controlar o minimizar las fallas de materiales.

3. Es altamente conveniente que exista una adecuada comunicación entre los usuarios de los equipos, el constructor, jefes de mantención y los especialistas en materiales; la mutua colaboración no sólo permitirá detectar los problemas, sino también encontrar soluciones adecuadas y reales. ★