

| | |
|------------------------|------|
| C. N. E. A. Biblioteca | |
| ARCHIVO PUBLICACIONES | |
| Nº | AÑO |
| | 1979 |

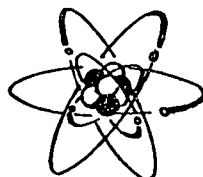
04. 79. 14

NACIONES UNIDAS



PROGRAMA DE LAS N. N. U. U.
PARA EL DESARROLLO

REPUBLICA ARGENTINA



COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
C. N. E. A.

ORGANIZACION DE LOS ESTADOS AMERICANOS



O. E. A.

I CONFERENCIA REGIONAL SOBRE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

CENTRO CULTURAL GRAL SAN MARTIN
11 al 15 de Junio de 1979

ANALISIS DE FALLAS

VASSALLO, Daniel I.

(CNEA, Argentina)

BUENOS AIRES
Argentina

ANALISIS DE FALLAS

Las fallas son acontecimientos indeseables y lo que es más grave, inevitables. Los inconvenientes de diversa índole asociados a fallas ha llevado al desarrollo de una serie de tecnologías para disminuir al máximo su incidencia. A pesar de ésto es prácticamente imposible su eliminación total debido al antieconómico costo de los controles que sería necesario implementar para alcanzar ese fin.

Para aplicar las técnicas tendientes a aumentar la confiabilidad (control de calidad o mantenimiento preventivo, por ejemplo) las industrias cuentan con personal y equipos destinados específicamente a esas actividades. Asimismo existen empresas dedicadas al asesoramiento o la realización de ese tipo de tareas.

No pasa en general lo mismo en lo referente al análisis de fallas. Existe una escasa actividad organizada alrededor de esos problemas y esto se manifiesta por ejemplo en la escasez de personal especializado en el tema, o destinado a esa actividad y en otros aspectos tales como la existencia de una no abundante literatura, la falta de una revista especializada, la escasez de congresos o reuniones científicas dedicadas al tema, la prácticamente inexistencia de cursos sobre la materia.

La causa de esto debe buscarse en lo que puede considerarse como falta de sistematicidad del problema por una parte y a su aparente menor incidencia económica.

Sin embargo, el análisis de fallas, lo mismo que las técnicas de prevención de fallas tienen el mismo objetivo de evitar la aparición o la repetición de este tipo de problemas. Ambas dan información valiosa sobre el comportamiento de equipos y componentes susceptibles de ser generalizadas más allá de los casos particulares que se pueden presentar.

Este es un aspecto del análisis de fallas que no es suficientemente tenido en cuenta y es consecuencia de considerar, en general, a las fallas como fenómenos inevitables, aislados, circunscrip

tos a una pieza o equipamiento determinado, en lugar de tomarlo como un elemento o un aspecto conectado a otros, relacionados todos con la faz productiva de un proceso y capaces de ser asimismo una fuente de conocimientos.

En realidad las diferentes fallas que se producen en una instalación no son totalmente aisladas del contexto en que se producen, sino que guardan una cierta relación con algunos de los aspectos de la instalación misma, por ejemplo con el diseño, o con la confiabilidad del equipamiento, o con los controles de la operación o el mantenimiento. Esto generalmente pasa desapercibido, pero se hace más evidente cuando comienzan a aparecer fallas repetitivas en un mismo equipo o instalación. Sin embargo, en fallas que ocurren en diversos equipos pueden establecerse vinculaciones de las cuales extraer conclusiones que mejoren el comportamiento de la instalación. Por ejemplo fallas de corrosión en dos equipos diferentes pueden, luego de un análisis en conjunto estar indicando que no existen medidas generales apropiadas para combatir ese tipo de problemas o que la selección de materiales puede necesitar una revisión. En algunos casos un análisis de este tipo ha llevado a modificaciones de diseño de significación económica realmente considerable.

Otro ejemplo que pone de manifiesto la relación entre fallas y operación es la aparición cíclica de fallas. En ciertas industrias es notable la repetición de un mismo tipo de fallas en períodos de tiempo más o menos fijos. Esto se debe a que ciertas medidas precautorias introducidas para evitar algún tipo de falla dejan de ser tenidas en cuenta por un efecto de relajamiento de los requerimientos de operación.

En lo referente a la obtención de información a partir de fallas, es diferente la situación en que se encuentra el fabricante de un determinado bien que el usuario de ese bien. La utilización de las fallas como fuente de información apta para mejorar el comportamiento de sus productos finales es llevado a cabo normalmente por la industria. El caso es diferente para los usuarios de dichos productos que dispone de muchos menos conocimientos sobre el problema. Es frecuente que estos utilicen los servicios de consultoría del proveedor para analizar las fallas de un equipamiento. En ciertos casos sin em

bargo, las respuestas pueden no ser totalmente confiables como consecuencia del conflicto de tener que responder a una consulta y al mismo tiempo mantener un prestigio industrial. Esas consultas, por otra parte acrecientan el conocimiento del fabricante colocando aún más en posición de desventaja al cliente.

En calidad de usuarios, en grandes empresas es posible y conveniente contar con un equipo de personal preparado, capaz de realizar análisis de fallas. En este caso se dan las condiciones ideales para el análisis de fallas por cuanto existe la posibilidad de contar con mayor información sobre todas las circunstancias relativas a la falla y las mismas pueden ser analizadas a la luz de todos los antecedentes existentes. Esta información es importante en el desarrollo de proveedores.

En general, en empresas pequeñas no se dan estas condiciones, más aún teniendo en cuenta la inversión en equipamiento necesario para llevar adelante este tipo de trabajos. Esas empresas pequeñas pueden recurrir a laboratorios especializados. A veces, sin embargo, no se alcanzan todos los resultados esperables a causa de la manera esporádica como se plantean los problemas y la falta de continuidad.

Es deseable para evitar ésto, la existencia de una buena vinculación entre las industrias y los laboratorios que realizan análisis de fallas para poder realizar ese análisis global del problema de las fallas a que se ha hecho mención.

La CNEA está tratando de intensificar este tipo de vinculaciones que de hecho surgen de la consulta sistemática por parte de algunas industrias.

Las fallas no se anuncian, llegan de sorpresa, en el momento más inoportuno. Salvo en tecnologías muy avanzadas y en algunas convencionales (nuclear, aeroespacial, generación de energía) donde se prevén las medidas a tomar en caso de fallas, el natural optimismo del hombre las ignora.

Sin embargo, cuando ocurren, el primer objetivo a cumplir

en la emergencia es subsanar la falla para evitar en todo lo posible su incidencia negativa sobre la productividad. En estas circunstancias la causa de la falla aparece en general relegada a segundo plano. Sin embargo, luego, aparece la pregunta sobre la causa de la falla que debe ser contestada para evitar la repetición del suceso o para deslindar responsabilidades. En general, en el momento de ocurrir una falla, debido a la situación de emergencia, no se está en las mejores condiciones para realizar un análisis de falla y esto puede incidir negativamente en los resultados a alcanzar. Esta situación se empeora si, como consecuencia de la falla, se han producido pérdidas materiales considerables o de vidas humanas.

Para responder a la pregunta sobre causas de la falla se dispone de tres diferentes elementos de juicio.

El primer elemento de juicio es toda la información disponible sobre los antecedentes de la falla y del elemento fallado.

En general los accidentes ocurren en condiciones de "total normalidad" o bien durante cambios que han sido realizados "del mismo modo que siempre" o "siguiendo las prácticas de operación debidamente establecidas". Esto puede ser cierto o no. Una falla por fatiga puede aparecer súbitamente en un sistema operando normalmente, pero también es probable que a la introducción de ciertos cambios, no considerados relevantes y en consecuencia no tenidos en cuenta, sean las causas de la falla.

Esto ocurre por cuanto generalmente no está bien establecido qué se entiende por una modificación relevante. En consecuencia, la detección de estas modificaciones no es fácil.

Es por esta razón que debe hacerse un cuidadoso análisis de los antecedentes de la falla. Esto comprende: i-Condición de servicio en el momento de la falla, ii-Condición de servicio previas a la falla, iii-Manufactura e historia del componente, iv-Estudio mecánico del componente (diseño).

En algunos casos se tiene buena información sobre estos puntos. En otros se carece de ellos. Generalmente las deficiencias de diseño consisten en zonas de concentraciones de tensiones. Esta es

una de las más frecuentes causas de fallas. Asimismo cambios de diseño pueden introducir modificaciones perjudiciales. Cambios en las condiciones de servicio, por otra parte pueden hacer inadecuado un diseño que antes era apto.

El segundo elemento de juicio es la información accesible en la literatura técnica. En el tema hay dos tipos de bibliografía, por una parte la información básica relacionada con los fenómenos o mecanismos básicos por las que estas ocurren, como por ejemplo fatiga o corrosión. Por otra parte están los estudios de casos. La primera es fundamental, pero no siempre da respuestas al problema por la misma generalidad de su naturaleza. La otra es en general escasa y es muy poco probable encontrar un caso semejante a aquel por el cual se recurre a dicha literatura.

El tercer elemento de juicio de que se dispone es la falla misma. Ella tiene una gran cantidad de información muy valiosa aunque no siempre es fácil obtenerla, ya sea porque ha sufrido modificaciones que la vuelven inusable o bien por las dificultades técnicas de obtener esa información (caso por ejemplo de análisis químicos de productos de corrosión) o bien por las dificultades de interpretación.

El examen de la avería es el aspecto más específico del análisis de falla. Es gracias al desarrollo de nuevos instrumentos que este aspecto del problema está comenzando a conformar una especie de cuerpo de doctrina.

En efecto, hasta 1950-1960 sólo se contaba con la microscopía óptica para el análisis de fallas. Si bien era una herramienta poderosa no era suficiente. El microscopio óptico tiene muy poca profundidad de campo y es por eso que las superficies de los materiales deben estar pulidas para poder ser examinadas. Además existen problemas para la iluminación de muestras rugosas. En consecuencia sólo se pueden ver secciones metalográficas. Ahora bien, una falla ocurre en tres dimensiones. El examen de secciones transversales y superficies de fractura permite tener una idea más acabada de ese fenómeno tridimensional.

El advenimiento del microscopio electrónico permitió el examen de superficies de fractura. Se pudieron así caracterizar los diferentes tipos de superficies de fractura: frágiles, dúctiles, de

fatiga, etc. y las direcciones de propagación de las fisuras. Esto es de vital importancia por cuanto permite identificar el origen de la fisura y la causa de iniciación de la falla.

El microscopio electrónico se caracteriza por su alto poder resolvente frente al microscopio óptico y lo que es más importante aún, su gran profundidad de campo. Con el microscopio electrónico de transparencia se pudo realizar la caracterización de la mayoría de los tipos de fracturas. Tiene sin embargo el inconveniente de no poder examinar muestras opacas. Es necesario realizar una réplica si se desean observar materiales de este tipo. Esto tiene dos inconvenientes, en primer lugar la dificultad de preparación y en segundo lugar el que la réplica que se puede examinar tiene pequeñas dimensiones (aproximadamente 2 x 2 mm). Si se quiere examinar una fractura de dimensiones considerables se necesitan muchas réplicas y esto es una seria complicación por cuanto deben además conocerse la posición relativa de las diferentes réplicas si se desea conocer la dirección de propagación de la fractura.

El microscopio electrónico de barrido tiene todas las ventajas del de transparencia, es decir alto poder resolvente y gran profundidad de foco y la enorme ventaja de poder realizar exámenes de cuerpos opacos. En algunos instrumentos las muestras que se pueden introducir en la cámara de observación son bastante voluminosas.

A esto se agrega, además, la posibilidad de realizar análisis químicos cuali y cuantitativos por la técnica de análisis de energía dispersiva.

Otros instrumentos de gran utilidad son las microsondas electrónicas y laser. Ambos instrumentos pueden realizar análisis químicos localizados y son de gran sensibilidad.

Por último está la espectrometría de electrones Auger y la técnica ESCA (Espectrometría de electrones para análisis químicos) que permiten la realización de análisis químicos superficiales.

En el análisis de fallas se utilizan también otras técnicas tales como los ensayos mecánicos, el análisis químico, las técnicas de ensayos no destructivos. Dentro de este conjunto de técnicas se ha encontrado que la metalografía no destructiva es una herramienta de gran aplicación.

Existe una cierta metodología en el examen de la falla. Lo primero que se debe realizar es una cuidadosa descripción y colección de las características de la falla. Esto debe hacerse mediante fotografías, dibujos o croquis. En algunos casos esto es fundamental y debe ser hecho lo más rápidamente posible por cuanto las reparaciones posteriores pueden eliminar toda esa información. Simultáneamente a continuación se realiza un primer examen macroscópico a ojo desnudo o con una lupa, de los elementos de juicio de que se dispone y se realizan ensayos con técnicas no destructivas.

A continuación, luego de haber realizado en forma exhaustiva las operaciones anteriores, se debe pasar al examen de especímenes. Esta etapa es la que brinda en general la mayor cantidad y más útil información, como se vió anteriormente. En algunos casos confirma en forma definitiva suposiciones hechas en las etapas anteriores. Por esta misma razón y por el hecho que en esta etapa se alteran las pruebas de la falla es que la decisión sobre los especímenes a examinar es crítica. En algunos casos se tarda más en decidir la toma de muestra que en obtener los resultados. Por otra parte, para decidir los exámenes a realizar se debe tener una idea previa sobre el tipo de falla o la zona donde se originó. Un juicio equivocado puede aconsejar un corte precisamente en la zona donde se originó una fisura y de este modo destruir la evidencia de la causa del origen de la rotura.

La etapa siguiente es el examen microscópico (microscopía óptica y/o electrónica) de la muestra. En forma paralela se realizan ensayos mecánicos, físicos y químicos para verificar si el material cumple especificaciones.

En forma simultánea la información proveniente de esas observaciones y ensayos es analizada. A partir del primer elemento de juicio a que se ha hecho mención, se tiene una idea sobre la causa de la falla. De un repertorio de posibles causas se desechan aquellas que parecen imposibles y se priorizan las causas más probables, de acuerdo a la información de que se dispone. Estas causas posibles son hipótesis de trabajos que se van modificando a medida que la investigación avanza. No se puede prescindir de ellas y se necesita ser muy juicioso en el manejo de las mismas. Una hipótesis equivocada puede llevar a considerar necesario una serie de verificaciones

que en definitiva sólo servirán para demostrar su falsedad.

Según la importancia de la falla o de la instalación puede ser aconsejable o necesario ensayar las otras posibles causas de falla para verificar si la respuesta es negativa. Muy frecuentemente en una falla intervienen más de un factor desencadenante y esto se puede poner en evidencia realizando esos análisis complementarios.

En algunos casos, sin embargo, en que la más probable hipótesis sea de difícil investigación puede ser más conveniente llegar al resultado por exclusión de las otras causas posibles. Esto puede ser aconsejable en aquellos casos, por ejemplo en que la evidencia puede haberse alterado por el tiempo transcurrido entre la falla y el análisis o por la manipulación que ha sufrido el material y es frecuente cuando el resultado depende de análisis químicos de resultados inciertos en especial por dificultades en la toma de muestra.

La priorización de las hipótesis de trabajo, es como se ve, un punto importante en el análisis de fallas, por cuanto puede definir el tiempo necesario para llegar al resultado final o aún al resultado mismo. Es frecuente que entre las personas que forman el equipo que investiga una falla surjan diferentes apreciaciones sobre la misma. Esto es comprensible cuando el mismo fenómeno se analiza desde la perspectiva de experiencias profesionales diferentes. Existe una natural tendencia a aferrarse a las hipótesis personales. Esto es conveniente por cuanto permite profundizar el análisis siempre que no se caiga en posiciones extremas, en especial cuando se analizan los aspectos menos ponderables del problema. Es en este caso cuando se necesita apelar al máximo sentido crítico en el análisis de esos imponderables.

A partir de la información que se va recogiendo se refuerzan un cierto número de hipótesis y se relegan otras. Se realizan cálculos o experiencias complementarias hasta llegar a un convencimiento de la o las causas de la falla. A partir de ese resultado el paso siguiente es finalizar el caso realizando las recomendaciones pertinentes para evitar la repetición de la falla.

En conclusión se puede decir que para realizar este tipo de actividades se necesita un correcto enfoque del problema y las

técnicas adecuadas para resolverlo. Un correcto enfoque incluye considerar la falla no como un accidente fortuito sino dentro del marco más general de la operación del sistema del cual el elemento fallado forma parte. Entre las técnicas adecuadas, las que dan información sobre las características de las fallas son las que, al arrojar luz sobre los mecanismos de las mismas, permiten en forma más directa la individualización de su origen.