

04,75,07

CNEA-AC 23/75

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

CURSOS DE RECICLADO

para

PROFESIONALES DE LA INDUSTRIA

E N S A Y O S N O D E S T R U C T I V O S

INTRODUCCION

Ing. Juan N. Báez

Instituto de Ensayos no Destructivos y Control de Calidad

Proyecto ARG/71/537 - PNUD

OIEA - UNIDO

Departamento SATI
Area Investigaciones, Desarrollo y Servicios

1975

E N S A Y O S N O D E S T R U C T I V O S

INTRODUCCION

Ing. Juan N. Baez

1.- Definición

Los ensayos no Destructivos (END) constituyen una disciplina tecnológica que comprende todos los métodos de ensayo que permiten el examen o inspección de materiales, productos piezas y equipos sin modificar sus condiciones de uso ó capacidad de servicio en base a una filosofía de aplicación determinada por los conceptos fundamentales de la confiabilidad y condicionada por los factores economicos inherentes a la actividad industrial y por aquellos que hacen a la garantía de calidad.

Una característica distinta de los END es que usualmente determina las condiciones de aptitud del material ó pieza ensayada mediante la evaluación de características ó propiedades que no estan relacionadas en forma directa con aquellas que determinan su aptitud para el servicio. Por ejemplo la distribución del campo magnético en una barra de acero no condiciona su aptitud para resistir esfuerzo de fatiga pero la observación de una distorsión localizada del campo magnético puede revelar la presencia de una grieta superficial que sí resulta decisiva para un esfuerzo de fatiga.

Con esta característica distintiva los END permiten detectar y/o evaluar: discontinuidades físicas, variaciones de composición, estructuras internas, estado superficial propiedades mecánicas y dimensiones.

2.- Antecedentes y evolución:

Si bién desde épocas remotas se conocen algunos métodos para ensayar materiales o productos sin modificar sus condiciones de uso el desarrollo de los END como disciplina tecnológica es muy reciente. Se inicia a principios de siglo con la incorporación de métodos basados en la aplicación elaborada de conocimientos fundamentales de la física. Al uso exitoso y rentable de los rayos X y de las partículas magnéticas se suma luego la aplicación de la energía ultrasónica. Durante la segunda guerra mundial, ante los requerimientos de una producción masiva se aumentan las necesidades de control de calidad produciéndose una acentuada aceleración en el desarrollo de los métodos de END. Hasta ese entonces y a pesar de su ya amplia aplicación,

los END son considerados simplemente como un conjunto de técnicas auxiliares de la inspección.

En las dos últimas décadas la aceleración del desarrollo tecnológico: automatización industrial, transporte aéreo masivo, industria nuclear, navegación espacial, modifican dramáticamente los conceptos de rentabilidad, seguridad y confiabilidad planteando una infinidad de nuevos problemas en torno de los ensayos no destructivos transformados entonces en una verdadera disciplina con una filosofía definida que la ubica como el principal elemento para asegurar el control de la calidad tecnológica. El END se constituye también en un auxiliar importante en la investigación de los materiales. Son principalmente la industria nuclear y la navegación espacial, las que el plantear nuevos y sofisticados problemas provocan el desarrollo de nuevas técnicas y métodos. Pero la industria convencional a su vez recibe el aporte de la experiencia recogida en el desarrollo de aquellos métodos cada vez más complejos y puede incorporar así ensayos no destructivos y nuevos métodos de control de calidad cuyo estudio y desarrollo no podría financiar por sí sola. END constituye uno de los ejemplos más claros de la contribución de los desarrollos de las industrias de avanzada sobre las industrias convencionales.

En las actuales circunstancias el campo de aplicación de los ensayos no destructivos aparece tan sorprendentemente amplio y su influencia en el control de calidad tecnológica tan decisiva que asistimos a un verdadero desarrollo explosivo de los mismos.

Es así como el END ha entrado a formar parte de la Ciencia de los Materiales en cuanto es utilizado para ayudar a conocer el comportamiento y propiedades de los materiales. Participa del Control de Procesos cuando sus métodos son aplicados para medir variables a fin de realimentar información al proceso para mantener la producción dentro de especificaciones. Se integra como parte importante no solo en el Control de Calidad de productos sino en los programas de garantía de calidad en las más complejas construcciones. Es finalmente herramienta fundamental para asegurar la fiabilidad de materiales y componentes.

Vemos entonces que a lo largo de tres ó cuatro décadas el arte de ensayar materiales sin destruirlos se ha convertido en una verdadera disciplina tecnológica, indispensable herramienta en la producción y en la investigación. Los END en su gran variedad de métodos y técnicas son aplicados universalmen

te para detectar y evaluar, variaciones de estructura, cambios localizados de composición, variaciones en acabados superficiales, grietas y otras discontinuidades físicas, cambios de espesor en paredes o recubrimientos, propiedades mecánicas y prácticamente todas aquellas características que definen la calidad y confiabilidad de un producto industrial.

En esta evolución, producto de una real exigencia del desarrollo tecnológico, han participado técnicos y profesionales de todo el mundo y es hoy día soportada por el esfuerzo de innumerables instituciones, laboratorios y empresas que ofrecen su esfuerzo creativo a un mercado en plena expansión tanto en su aspecto cuantitativo como cualitativo.

3.- Objetivos de los END en la Industria

¿Pero cuales son los objetivos que se persigue con la aplicación de los END en la Industria? Es claro que estos objetivos deben responder a reales necesidades si, como hemos dicho, su aplicación se encuentra en plena expansión. Veamos cuales son estos objetivos y encontraremos entonces su directa relación con necesidades ampliamente reconocidas.

Desde un punto de vista general los objetivos perseguidos por el END se pueden agrupar en la siguiente forma:

- Asegurar la calidad tecnológica de los productos, materiales ó equipos aumentando su confiabilidad.
- Prevenir accidentes y asegurar vidas humanas.
- Producir beneficios económicos.
- Contribuir en la investigación y desarrollos tecnológicos.

Pasemos ahora a considerar cada uno de estos puntos por separado.

3.1- Asegurar Calidad Tecnológica

En relación directa con el uso a que está destinado y con el valor de inversión que presupone, a cualquier producto ó equipo se le exige una determinada confiabilidad de uso. Dada la complejidad creciente de equipos y accesorios de la vida diaria una moderada exigencia de confiabilidad en un equipo puede significar una elevada exigencia para sus componentes críticos. En efecto por ejemplo, para asegurar una probabilidad de falla menor que 1 en 10 en un equipo con 100 componentes críticos será necesario asegurar que en dichos componentes, la probabilidad de falla sea menor que 1 en 1000 por cuanto

la confiabilidad del conjunto será el producto de las confiabilidades de cada componente.

Pero si bien el público no espera de los equipos que compra una duración ilimitada exige un razonable periodo de uso sin fallas y un producto que tenga una probabilidad de falla de 1 en 10, es decir un factor de confiabilidad de solo 0,9 va a tener rápidamente una mala reputación en el mercado. Hemos dado el ejemplo de un producto que tiene 100 componentes pero si nos detenemos a pensar en la complejidad de artículos de uso corriente tales como el automovil, televisor, calculadora, etc., vemos que para mantener factores de confiabilidad usuales en ellos, la de los componentes debe ser mucho más elevada. La industria moderna logra esos elevados factores de confiabilidad, que hacen a la calidad del producto, como consecuencia de su capacidad para desarrollar correctos diseños, producir materiales apropiados, conducir correctamente los procesos de elaboración (fundición, forja, laminación extrusión, soldadura, etc.), ejecutar con precisión los procesos de maquinado y de ensamblado. Pero también como consecuencia de la capacidad de la empresa para establecer un programa de garantía de calidad que involucra el control de calidad, la inspección y los ensayos no destructivos que son los que realmente pueden ser utilizados para evaluar los componentes que serán utilizados, comparandolos con los patrones de calidad prefijados.

La aplicación de los END por si mismos no mejoran la calidad de un producto pero su inclusión entre los múltiples factores enumerados contribuye a asegurar un nivel de calidad y por lo tanto la confiabilidad del producto. Es por ello que toda industria moderna aplica END para cumplir con el objetivo fundamental de asegurar la calidad tecnológica de lo que compra y de lo que produce.

3.2- Prevención de Accidentes y Asegurar Vidas Humanas

Nos hemos referido a que un objetivo de los END es el de asegurar la calidad tecnológica aumentando por lo tanto la confiabilidad con las consiguientes consecuencias económicas. Pero la confiabilidad en muchos equipos tiene además una importante consecuencia desde el punto de vista de la seguridad personal. En la vida contemporánea el público ve expuesta su integridad física en forma directa o indirecta por el uso diario de innumerables artefactos y equipos.

La confiabilidad en dichos elementos se torna en un problema de seguridad. El objetivo primordial de los END es entonces

en muchos casos la prevención de accidentes y asegurar vidas humanas.

Para ejemplificar sobre la importancia de este objetivo basta con referirnos a las consecuencias que para un avión en vuelo tendría una falla en el comando de los timones o en el sistema de inyección de combustible. De estos elementos puede depender la vida de un centenar de personas.

El END cumple en este caso una función doble, en primer lugar debe asegurar que cada pieza crítica en cuestión tenga la confiabilidad de uso requerida por el diseñador, en segundo lugar debe permitir la verificación periódica de que dicha confiabilidad no ha variado con el uso, es decir que la pieza mantiene su integridad original.

El ejemplo citado lleva implícita una premisa de orden general para el correcto mantenimiento no sólo de equipos y plantas industriales o de uso público, sino también para equipos de uso particular: la seguridad personal está supeditada en la mayoría de los casos, a una inspección correcta y periódica de los equipos y maquinarias en uso. En estos casos el END es irremplazable e inexcusable. Un simple examen periódico del gancho de un puente grúa, mediante partículas magnéticas ó líquidos penetrantes puede detectar fisuras de fatiga antes de que su propagación pueda producir rotura en servicio con el consiguiente peligro para el personal de la planta. Lamentablemente por desconocimiento de las posibilidades de uso de los END este tipo de examen preventivo no es común en las plantas industriales.

3.3- Producir Beneficios Económicos

Si bién la razón más importante del uso del END es la seguridad, no es menos cierto que la causa más común de dicho uso reside en la obtención de un beneficio económico.

La fuente de éste beneficio no siempre es un hecho tangible, sino que puede residir también en un hecho tan abstracto como la satisfacción del cliente.

Una industria que hace un buen uso del END en su control de calidad, introducirá en su producción un valor adicional medido por un "crédito de calidad" que su clientela o el mercado le reconoce. El usuario siempre discrimina entre diferentes niveles de calidad. El END puede entonces producir un valor agregado al producto, que el usuario esta dispuesto a pagar.

Pero sin duda son los beneficios económicos directos y tangibles que el correcto uso de los END producen durante el proceso productivo los que determinan la expansión constante de sus aplicaciones.

Los END aplicados al control de los insumos de una planta industrial permitirá que solo ingresen a las líneas de producción aquellos que están dentro de los límites fijados por los patrones de aceptación. Aplicados en las etapas intermedias de la producción permitirán eliminar aquellos componentes semielaborados que han recibido un procesamiento defectuoso. En ambos casos si los métodos o técnicas aplicadas son las adecuadas se habrá producido un beneficio económico directo derivado de dos circunstancias: disminución de costos de elaboración de material defectuoso y aumento de la capacidad de producción de la línea.

Otras fuentes de beneficios originados en el uso de los END residen en:

- a) Posibilidad de modificar diseños reduciendo secciones de material o reemplazando procesos si se usan métodos de END que permitan aplicar mejores coeficientes de seguridad.
- b) Reducción de los costos de puesta a punto de la fabricación de nuevos productos mediante la detección, localización y evaluación de fallas inherentes al proceso o al diseño sin necesidad de destruir la producción.

3.4- Contribuir al desarrollo de la tecnología

Un objetivo de los END que tiene actualizada importancia es su contribución al desarrollo de nuevas técnicas y productos industriales.

Dentro de la propia planta industrial la información que brindan los END en su aplicación en control de calidad, puede ser utilizada para mejorar diseños, corregir métodos de producción o modificar especificaciones del diseño.

Por sus propias características los END son una herramienta importante en el desarrollo de nuevos productos facilitando o haciendo posible la evaluación de la influencia de distintos parámetros y niveles de defecto que definen el patrón de calidad para la producción. Por ejemplo al encarar la producción de una nueva pieza en fundición, se puede ensayar el comportamiento en servicio de piezas en las cuales se conozca la ubicación, forma y tamaño de distintos defectos; evaluar la frecuencia y magnitud

de tales defectos en relación con las variables de las distintas coladas; para luego mediante la aplicación de un correcto análisis de diseño y procesos, definir los patrones de defectos aceptables. Este procedimiento es actualmente utilizado por los departamentos de desarrollo de las empresas modernas para garantizar la fiabilidad de sus nuevos productos.

Otro de los objetivos de la aplicación de los END en la investigación y desarrollos para la industria es el estudio de la correlación entre propiedades físicas y mecánicas de los materiales para mejorar sus aplicaciones ó desarrollar nuevos productos.

4.- Los END en tecnología de calidad

En cualquier país industrial o que pretende serlo se debe prestar especial atención a todo lo relativo a la producción y utilización de los materiales. El correcto manejo de todos los factores que concurren en esta producción y utilización de los materiales así como en la elaboración de los productos intermedios y terminales es lo que podemos designar como la tecnología de la calidad.

La tecnología de calidad comienza con el conocimiento de las propiedades y comportamiento de los materiales (2). Se continúa con las complejas tareas de compatibilizar las importantes interrelaciones entre el diseño, las propiedades inherentes de los materiales y los procesos de fabricación, tratamientos y montajes. Finaliza con la certificación final de que el producto cumple con las especificaciones de calidad que aseguran la confiabilidad prevista. En la actualidad las tradicionales tareas de "inspección", "control de calidad", "ensayos mecánicos", "ensayos no destructivos" sólo tienen un significado productivo si se encuadran como parte integrada al contexto global de la Tecnología de Calidad que sintéticamente hemos descripto.

Dentro de la Tecnología de Calidad el END es un instrumento de gran importancia siempre que sea aplicado en íntima relación con los demás factores. El END debe estar vinculado al conocimiento del comportamiento de los materiales en servicio y a la interpretación del significado de los defectos y otras variaciones en las propiedades. Esto significa que deben existir medios adecuados de comunicación entre los especialistas en diseño, en tecnología de los materiales y en ensayos. Es necesario además que los responsables de END reciban en forma adecuada la información ganada en otros sectores del Control

de Calidad (Ensayos físicos, Inspección en línea de fabricación, etc.) Esta realimentación de información asegurará la correcta orientación y aplicación de los END.

La aplicación efectiva de los END implica que tanto los operadores como el personal de supervisión y dirección esten dotados de los conocimientos, integridad y capacidad de juicio que son esenciales para interpretar las indicaciones de los ensayos y los sistemas de ensayo con sus requerimientos especiales en cuanto a métodos, equipos, procedimientos registros, certificaciones, especificaciones y patrones de referencia. No es conveniente nunca presumir que un método, ó sistema de aplicación de un ensayo es apropiado, sino que siempre debe ser demostrado y asegurado por una inspección calificada y una revisión de los factores pertinentes y de la idoneidad del personal. El personal de operación y de supervisión debe ser probadamente competente en el conocimiento de los materiales; métodos de fabricación y montaje, requerimientos de servicio del componente en ensayo, confidencia y reproducibilidad de los resultados y registros.

Para facilitar la comprensión de la interrelación de los END con todos los factores enunciados dentro de la tecnología de la calidad (3) podemos referirnos al esquema expuesto en la figura 1.

Vemos que utilidad del END no depende solo de sus condiciones operativas (equipos, técnicas, operadores, standards de referencia, etc.) sino también del conocimiento de los materiales y de la interpretación del significado de las fallas. El producto final de todas estas actividades desarrolladas en armónica interrelación es el seguro de una calidad tecnológica y el diseño del standard correspondiente.

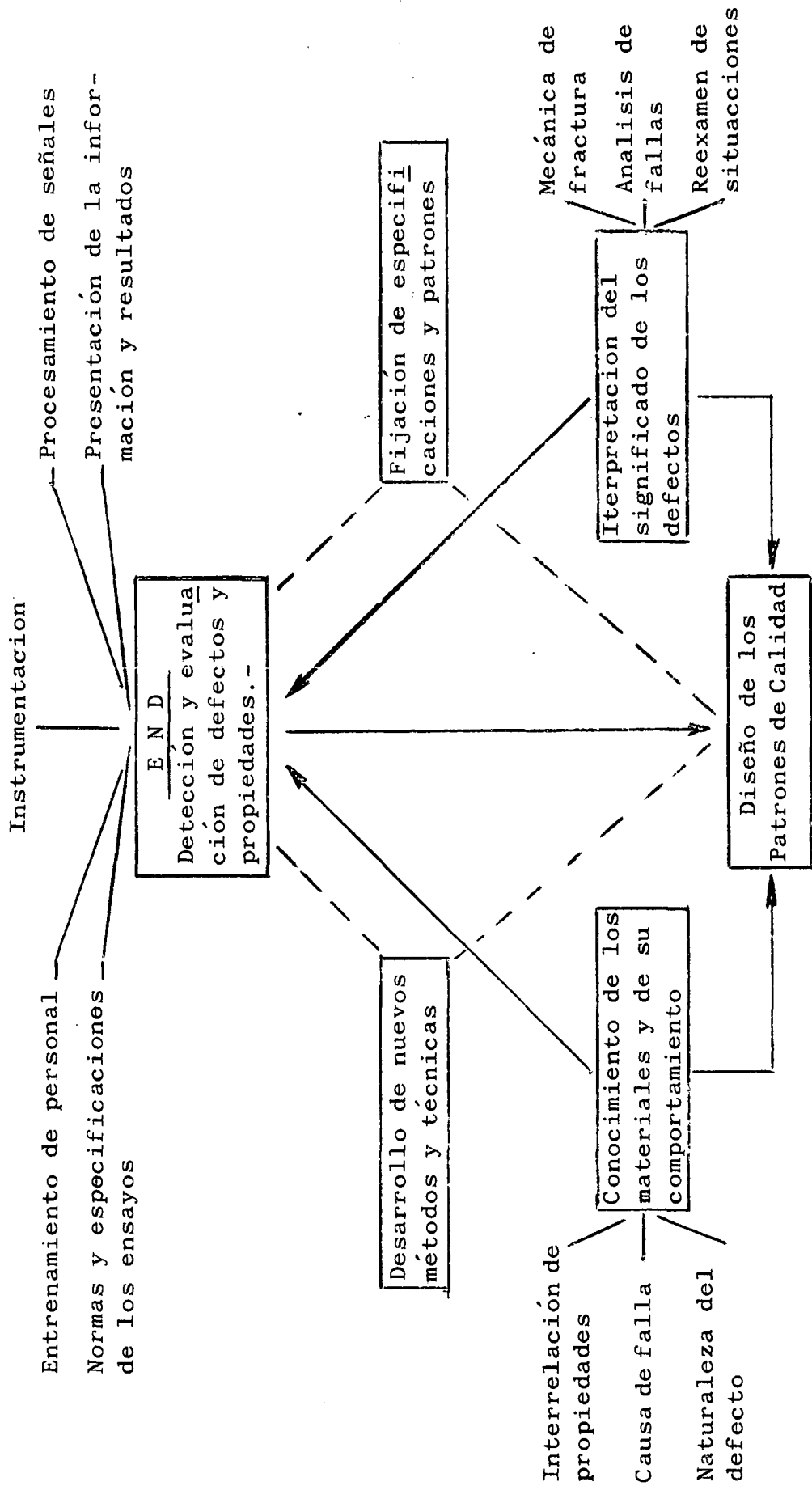


Fig.1: Ensayos no Destructivos en tecnología de calidad (R.S.Sharpe,ref.3)

5.- El END en mantenimiento de planta

Un área de interés especial para el END lo constituye el mantenimiento de planta. La magnitud, complejidad y costo de las grandes plantas industriales, la cantidad de vidas humanas involucradas en los medios de transportes, exige de ingeniería de mantenimiento una especialización y un celo desconocido hasta hace pocos años. El END por definición resulta la herramienta más eficaz para obtener información sobre el estado y confiabilidad de equipos y componentes en servicio.

En Mantenimiento de planta son de aplicación directa prácticamente todos los métodos usuales de END (radiografía, i. visual, tintas penetrantes, partículas magnéticas, electromagnéticos, etc.) pero en muchos casos resulta necesaria una adaptación ó el desarrollo de técnicas específicas.

El grado de aplicación de los END en el mantenimiento de plantas industriales es muy variable dependiendo no sólo de condiciones técnicas tales como complejidad de equipos, costo de paradas imprevistas, factores de seguridad requeridos, exigencias ambientales y de procesos impuestos a los materiales etc., sino que depende mucho de la capacidad y organización de la empresa, como así también de su política de seguridad laboral ya sea de propia iniciativa ó por imposición de las autoridades.

En todos los casos el correcto uso de los END para obtener los fines propuestos requiere como mínimo las siguientes condiciones:

- Una sección ó grupo de trabajo con personal permanente con capacidad para: programar los END a aplicar en las inspecciones; preparar los procedimientos de ensayo; operar los métodos de ensayo y/o supervisar la ejecución de ensayos contratados a terceros; analizar y evaluar la información obtenida en los ensayos.
- La disponibilidad de instrumental y accesorios requeridos por los métodos de ensayo a aplicar en buenas condiciones de calibración y uso ó en su defecto posibilidad de contratación de servicios a terceros que garanticen su prestación en calidad y oportunidad requeridos.
- Especificaciones, patrones de referencia y normas de aceptación que permitan tomar decisiones con respecto a la continuidad en servicio, reparación ó reemplazo del componente inspeccionado.

La aplicación de los END en mantenimiento de planta se ha generalizado en prácticamente todas las industrias pero es especialmente aplicado en Centrales Nucleares, Talleres Aeronáuticos, Destilerías y Plantas Petroquímicas, Centrales Termicas, Ferrocarriles, donde además de su uso se promueve el desarrollo de nuevas técnicas para atender los problemas específicos que en cada una de ellas se plantean.

6.- Criterios economicos en END

El END no es una tarea improductiva ni de menos valor que el "trabajo directo".

El END no es una operación de laboratorio como sería por ejemplo el ensayo de tracción para determinar propiedades mecanicas. El END es un trabajo de planta.

Estas afirmaciones son correctas en la mayor parte de los casos especialmente cuando el END está constantemente integrado dentro del proceso productivo y sirve al control y mantenimiento de los standards de calidad fijados. El valor agregado puede estar dado como ya vimos por la confiabilidad de uso que asegura a la pieza o producto, o por la disminución de costos de producción.

La confiabilidad de un producto para su uso específico debe ser asegurada y difundida por el fabricante. Alternativamente el fabricante debe responsabilizarse ante el cliente por el cumplimiento de las especificaciones y tolerancias a las que contractualmente se haya comprometido.

Por ello su función en la industria moderna no está reducida al simple hecho de "aceptar" o "rechazar" sino que cumple con una función mucho más compleja y concurrente con el objetivo de reducir costos de producción y perdidas y asegurar la utilidad del producto.

6.1- Relación entre calidad y costos

Los requerimientos del servicio determinan el nivel de calidad aceptable el cual a su vez dicta el grado de control necesario durante el proceso de fabricación para obtener dicha calidad al menor costo. Para obtener el menor costo de fabricación el control debe comenzar con la inspección del material que se recibe, ó antes durante el control de la fundición ó el forjado, o tal vez antes aún con la inspección de palanquilla y laminados. Esto conduce necesariamente a justa

tificar un balance económico del costo de la inspección en relación con los beneficios que se obtendrán al disminuir costos de fabricación de material defectuoso ó rechazar productos terminados.

El costo total integrado de un componente desde el material hasta el fin de su vida útil se forma a partir del costo de material, al cual se van sumando los siguientes costos ó valores agregados: mantenimiento y valuación de stocks, costos de fabricación, costos reemplazo de componentes defectuosos incluyendo seguros y compensaciones exigidas por el cliente, costos de mantenimiento y servicio. Cada una de estas etapas estan influidas a su vez por los costos de inspección y ensayos. En la Fig.2 se da un esquema que trata de ilustrar sobre la forma en que pueden influir el control de calidad constituido por la inspección y los ensayos dentro de los cuales el END cumple el importante rol que hemos descripto en páginas anteriores.

Se puede observar que directa o indirectamente las exigencias de calidad influyen en todas las etapas de formación de costos. Esta influencia no puede ser obviada, aunque si disminui da su incidencia cuando se programa un adecuado control de calidad y correcto uso del END. Efectivamente si se pretende disminuir su incidencia en el costo de materia prima ocurrirá que en la etapa de fabricación por ejemplo aumentarán los costos en proporciones mayores que los correspondientes ahorros obtenidos previamente por cuanto se tendrá que procesar material que luego debe ser rechazado. En cambio una inspección a nivel apropiado puede disminuir el costo de fabricación en mayor proporción.

Los costos necesarios para asegurar calidad varían de un producto a otro pero oscilan normalmente entre el 5 y el 20 % del costo total. Esta incidencia para un mismo producto dependerá logicamente de una correcta aplicación del control de calidad. Esto último significa que se debe lograr un equilibrio entre lo que se gana mediante el control de calidad (los ensayos aplicados en el momento oportuno salvan costos de fabricación) y el incremento de costos debido a ello. Si consideramos las curvas de la Fig. 3 se puede observar que la curva de costos totales de manufactura tienen un mínimo que corresponde a un determinado nivel de calidad y que es función de diversas variables: costos de materiales defectuosos, reparaciones, reemplazos, costos de servicio, etc., por una parte y costos de control de calidad por otro.

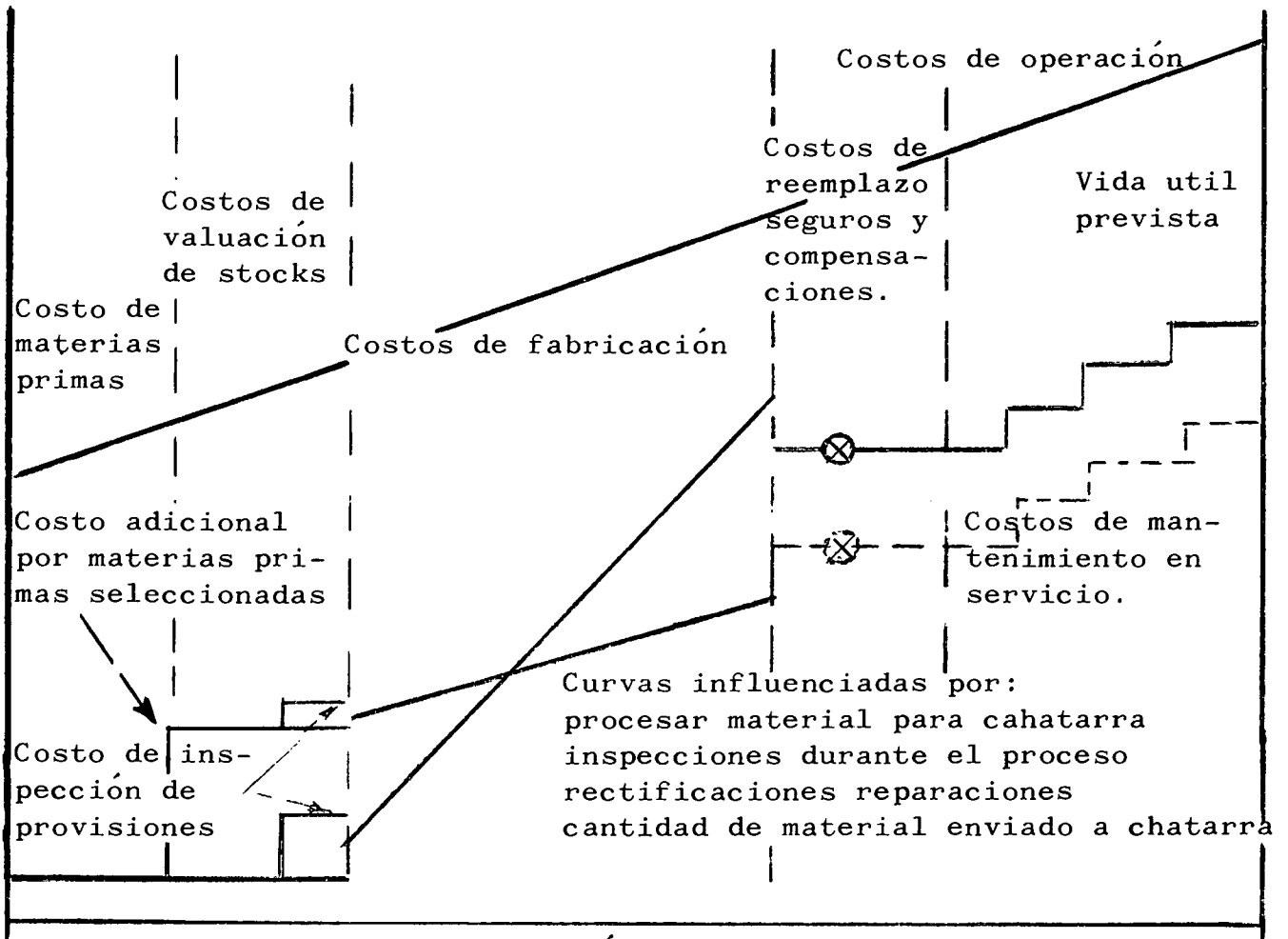


Fig. 2 : Proceso de formación de costos en piezas y componentes

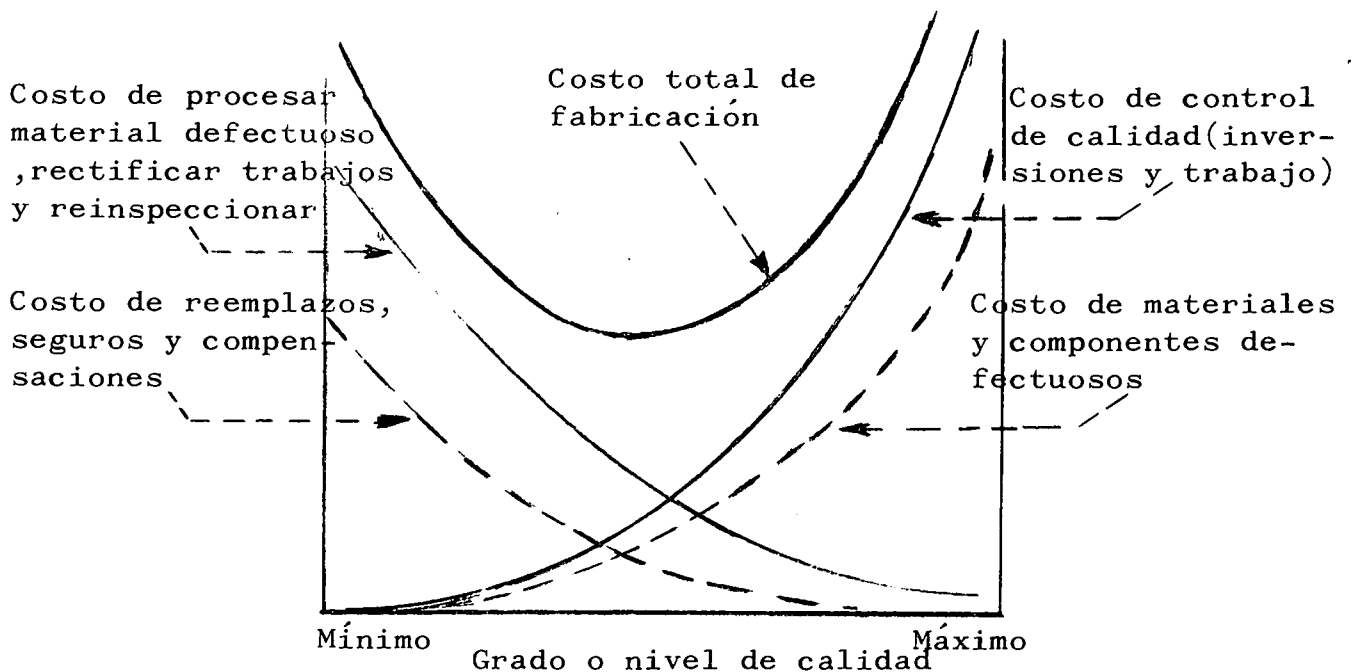


Fig.3 : Influencia del nivel de calidad en el costo de fabricación.-

6.2- Relaciones entre valor y costo de la Inspección

Un análisis que incluya una correcta estimación de costos y beneficios de las operaciones de inspección representa una ayuda necesaria para establecer el alcance, oportunidad y extensión de las inspecciones aunque no siempre se le presta la debida atención. Generalmente se limita a evaluar el costo de las operaciones de inspección, raras veces se hace un atento análisis estadístico de los beneficios, es decir el valor, de dichas operaciones. Sin embargo la relación costo-valor obtenido es la clave del beneficio neto determinante de las decisiones sobre la aplicación de las inspecciones según un criterio económico adecuado.

A menudo el inspector se encuentra frente a la necesidad de justificar la inspección de materias primas o productos semiterminados. La dirección gerencial puede no estar advertida o enterada de las actuales reducciones de costo que pueden ser obtenidas por la inspección en las primeras etapas.

La justificación de la inspección de materias primas y productos semiterminales está basada en una ó más de las siguientes razones:

- 1- Cortar costos de procesado de material que será rechazado más tarde en la inspección final.
- 2- Aumento en la producción cuando el porcentaje de rechazo en la inspección final se reduce al mínimo.

Si el costo de inspección de material y producto semiterminado es de por ejemplo 1 % del costo de procesado total del producto, cuando el rechazo de productos terminados a causa de falta de inspección inicial e intermedio, sea mayor que el 1 % de los productos terminales se justifica la realización de dichas inspecciones ya que cada pieza o producto salvado del rechazo por encima de ese 1 % será beneficio neto producido por la inspección.

El costo de inspección debe significar un porcentaje del costo de producción del componente, inferior al porcentaje de componentes que se rechazarían sin dicha inspección. Cuando el costo de inspección es superior a dicho porcentaje solo se justifica mantenerla si el balance global de costos y beneficios indica otro tipo de beneficios compensatorios producidos por la inspección tales como aumento de la capacidad real de producción.

El aumento de la capacidad de producción implica disminuir la incidencia de los costos fijos (amortización de equipo, administración, edificios, etc.) en el costo del producto y obtener así un aumento de los beneficios netos. Si este aumento de producción es debido a la introducción de la inspección en los materiales y productos en proceso de elaboración está claro que los beneficios obtenidos se deben computar como el valor de la inspección al hacer el balance de costos-beneficios.

6.3- Nivel de calidad apropiado

Si analizamos el criterio económico para fijar el nivel de calidad óptimo tendremos que referirnos a la relación entre el costo de calidad y el valor del producto. Si asimilamos el nivel de calidad con las tolerancias de la pieza producida con respecto a una pieza de calidad ideal, se observa (Fig. 4) que los costos de producción aumentan en forma exponencial a medida que las tolerancias se hacen menores mientras que si consideramos el valor de la pieza ésta tiene un valor cero por debajo de una cierta tolerancia mínima. Al disminuir las tolerancias su valor aumenta rápidamente hasta llegar a un cierto límite que está dado por el destino y condiciones de uso de la pieza. Si se disminuyen las tolerancias por en cima de dicho límite el valor de la pieza se mantiene constante y sólo podrá aumentar en el mercado por razones subjetivas. Este valor límite de tolerancias está dado generalmente por el diseñador que ha previsto el destino y condiciones de uso. El fabricante tiende, por razones de orden práctico y económico a trabajar con tolerancias mayores de manera de situarse en el punto donde la diferencia entre costo y valor es máximo. Pero debe tener en cuenta que dentro de su fábrica por razones que hacen a la condición humana, el Dpto. de Control de calidad tratará de fijar las tolerancias en los valores fijados por el diseñador mientras que los responsables de producción tratarán de que sean aceptadas tolerancias mayores ubicándose por debajo de lo previsto por el diseñador.

No obstante, cuando hacemos estas consideraciones económicas sobre el costo del control de calidad debemos tener presente que las mismas no son válidas cuando una falla en el material o componente ó pieza considerado puede producir consecuencias catastróficas ó afectar la seguridad de las personas.

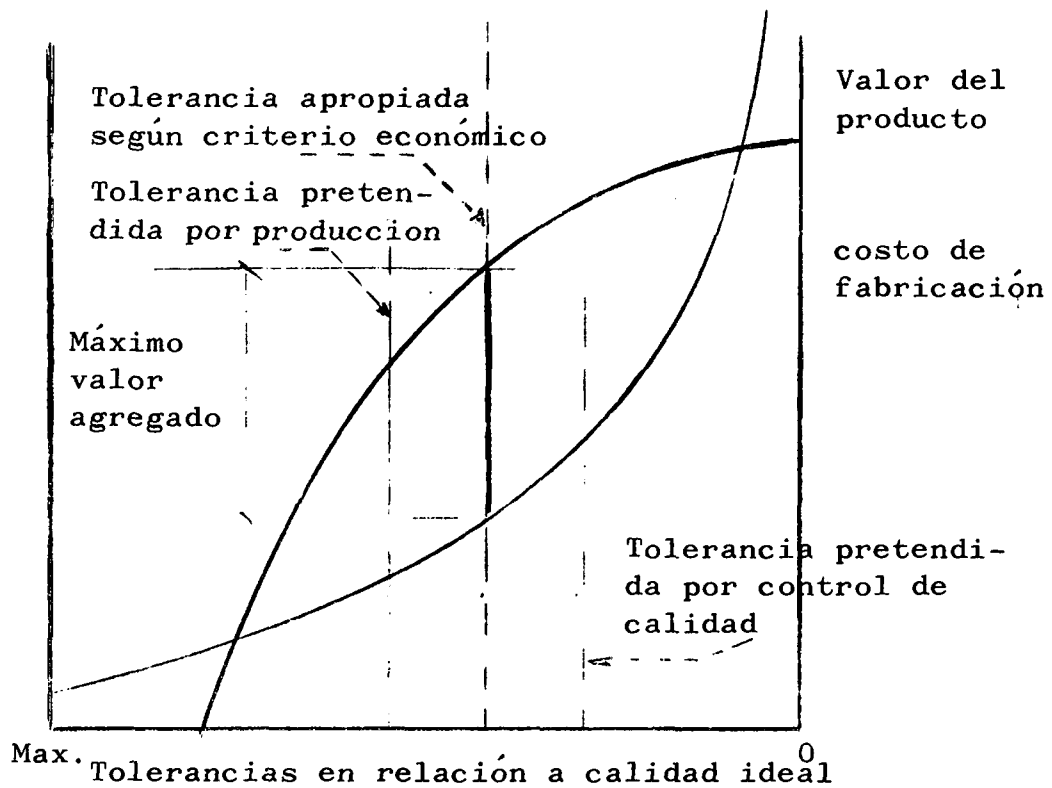


Fig.4: Nivel de calidad apropiado según criterios económicos

6.4- El costo de los END

En el análisis precedente sobre aspectos económicos de la aplicación de los END los mismos han sido tratados como parte integrante de las operaciones de inspección. Ahora nos ocuparemos del costo referido exclusivamente a la aplicación de los END.

En la ecuación económica del END tenemos dos factores principales: por una parte la disminución de costos de producción y aumento del valor del producto y por la otra el costo propio de la realización de los ensayos. La rentabilidad económica directa estará dada por el balance de los factores enunciados.

Los principales factores de costo del END son los siguientes:

1. Costos de operarios
2. Costos de materiales (película radiográfica, partículas magnéticas, etc.)

3. Costo de operación (electricidad, agua, repuestos, etc.)
4. Costos fijos (espacio en la fábrica, amortización de equipos, seguros, etc.)

La incidencia relativa ó absoluta de estos costos presenta importantes variaciones de un caso a otro. El costo de un END es diferente en cada caso considerado, influyendo en el mismo variaciones como las siguientes:

1. Cantidad de partes inspeccionadas.
2. El movimiento de las partes hasta y desde el equipo.
3. El manejo de las partes durante el ensayo.
4. La automatización del método.
5. La sensibilidad requerida.
6. La tolerancia permitida en la interpretación de la información.
7. El porcentaje de piezas defectuosas halladas.
8. El nivel del personal requerido.
9. Complejidad del equipo requerido.
10. Tiempo intrínseco para realizar el ensayo.

El análisis y evaluación de estos factores pueden ofrecer la forma de reducir prácticamente el costo de aplicación de los END en la inspección. Esto se aplica desde la selección de los métodos y técnicas de ensayo hasta la forma de presentación y evaluación de los resultados, pasando por el diseño de los procedimientos, organización de las operaciones y todas las demás etapas intermedias. Vale además tanto para el planeamiento de una nueva instalación de ensayo como para la modificación de instalaciones existentes ó de operaciones en práctica.

Cantidad de partes a ser inspeccionadas: la preparación y posicionado de las piezas para la inspección es importante en END, pero no todos los métodos tienen iguales requerimientos. Así el ensayo por líquidos penetrantes requiere una limpieza previa, que puede ser hecha en forma simultánea sobre gran número de piezas y no demanda prácticamente ningún tiempo de posicionado para el ensayo, en cambio un ensayo radiográfico no exige limpieza previa pero puede demandar un tiempo importante el posicionado de la fuente, pieza y film radiográfico. Si se debe efectuar la radiografía de un número grande de pie

zas iguales será más económico emplear (si el rango de espesores lo permite) radiografía gamma con un radioisotopo apropiado que permite disponer el ensayo de manera de efectuar la exposición simultánea de muchas piezas, en lugar de un equipo de rayos X convencional que permitiría exponer sólo un par de piezas por vez según su tamaño.

El traslado del componente hasta el lugar del ensayo puede ser un costo importante, en estos casos resulta más económico el uso de equipos de ensayo portátiles que permitan el ensayo "in situ". En el caso de tener que radiografiar grandes componentes mediante radiografía de alta energía se deberá calcular el costo de traslado del componente al lugar de inspección ya que por razones de seguridad radiografica y características de los equipos la radiografía de grandes espesores debe hacerse en instalaciones especiales.

Para reducir costos será siempre importante hallar soluciones adecuadas para el manejo de las piezas durante el ensayo ya que la rapidez y precisión con que se haga este manejo reducirá sensiblemente el tiempo de ensayo.

La posibilidad de automatizar el ensayo puede resultar en una reducción de costo por unidad ensayada que permita la inspección del 100 % de las piezas, especialmente si se introduce el ensayo en línea de producción. Ejemplos de este tipo son la inspección ultrasonica de palanquilla en caliente sobre el mismo tren de laminación, o la inspección de tubos de acero para la industria del petróleo mediante el método de detección de flujo magnético disperso.

Los factores que pueden incidir mucho en el costo del ensayo son la sensibilidad de detección y la tolerancia en la interpretación del resultado. En el primer caso resulta obvio que no se debe trabajar con sensibilidades mayores que las especificadas. Con respecto a las tolerancias podemos referirnos como ejemplo al caso de inspección ultrasonica según se deba trabajar sobre la base de un nivel de señal de defecto con indicación auditiva de pasa-no pasa o que se debe evaluar el area aproximada del defecto mediante la interpretación de las indicaciones del osciloscopio. Es evidente que en este segundo caso el costo del ensayo será mucho mayor debido a mayor especialización requerida con el operador y mayor tiempo de ensayo.

Cuando mayor sea el porcentaje de piezas defectuosas que aparezcan en los ensayos mayor será el tiempo requerido ya que

la aparición de señal de indicación de defecto implica en el operador un tiempo adicional para su evaluación y comparación con el standard de aceptación antes de efectuar su rechazo. En relación con los puntos anteriores esta también el costo de la hora-hombre de acuerdo con el nivel de capacitación del operador que requiera el método de ensayo seleccionado.

Otro factor de costo que debe tenerse en cuenta es la complejidad del equipo requerido. Esta complejidad implica no sólo mayor costo de inversión sino además mayores costos de mantenimiento y en muchos casos un mayor nivel de los operadores.

Finalmente debemos considerar el tiempo intrínseco para realizar el ensayo. Este tiempo que no involucra las tareas de traslado y manejo de las piezas a ensayar, ni otras inherentes a preparación y posicionados, varía no sólo con el método sino también dentro de un mismo método con la técnica y procedimiento aplicado. Por ejemplo en radiografía con rayos gamma mientras el tiempo de procesado del film es casi siempre igual, el tiempo de exposición puede variar de 1 a 10 veces ó más aún de acuerdo a la intensidad y tamaño de foco del radioisótopo usado.

II.- LOS END EN LA EMPRESA MODERNA

En toda industria moderna el uso y extensión que se da a los END debe ser consecuencia de una definida política empresarial y no el resultado de una exigencia externa o de la iniciativa de algún departamento. Para obtener el máximo beneficio de la aplicación de los END es esencial definir una política empresarial apropiada con respecto a su uso. Esta política debe incluir:

- 1- Establecer las finalidades de la dirección para la operación de la división ó departamento de END.
- 2- La ubicación de los END dentro del organigrama de la empresa.
- 3- La organización y política del control de calidad.
- 4- Descripción del trabajo que corresponde a cada posición tanto en Control de Calidad como en END.

Las finalidades con que se establece los END en las distintas empresas varían no sólo con la política empresarial sino también con el tipo de industria. Así en las Industrias Petroquímicas el objetivo de la incorporación de END es el

de la seguridad, se lo ubica por lo tanto en relación con Inspección y Mantenimiento de equipos y con Diseño e Ingeniería de Planta. En las industrias de componentes para la industria automotriz, por ejemplo, la finalidad es el control de calidad, ubicandose en relación con el Dto. de Control de Calidad y con la Inspección. En cambio en acerías integradas las finalidades comprenden tanto el control de calidad como la seguridad, dando lugar a que puedan existir más de una sección o división de END según la finalidad perseguida.

Si consideramos la ubicación de los END dentro de la organización de la empresa, vemos que en los dos primeros casos considerados (Plantas Petroquímicas y Componentes para Automotores) la posición de la Sección o división de END así como su coordinación con los demás sectores queda fácilmente definida.

En casos como el de una Acería Integrada el problema de la ubicación de los END y sus relaciones con los demás sectores es más compleja y aparecen distintas alternativas dependiendo la solución de la política de la empresa tanto en relación con la calidad como con respecto a seguridad.

III.- LOS METODOS DE END

Los métodos de END se basan en la aplicación práctica de los conocimientos científicos logrados en el terreno de la física y de las demás ciencias naturales. Hasta el momento sólo utiliza, en forma habitual, una fracción de dichos conocimientos, tiene en desarrollo y experimentación una serie de métodos basados en principios no aplicados anteriormente y todavía dispone de una vasta reserva de conocimiento científico por aprovechar no solo en el desarrollo de nuevos métodos sino también para perfeccionarlos en sus técnicas de aplicación.

En los términos más generales posibles un método de END consiste en: aplicar un campo de energía ó un medio de prueba a la pieza ó material bajo ensayo; detectar las modificaciones sufridas en el campo de energía o medio de prueba en su interacción con la pieza ó material; evaluar el significado de dichas modificaciones y finalmente relacionarlas con la presencia de discontinuidades, variaciones de composición, estructura y/o propiedades.

De acuerdo con esta descripción los métodos de END pueden

ser agrupados en función del campo de energía o medio de prueba utilizado. A su vez cada método, que resulta seleccionado puede ser aplicado de forma diferente según las condiciones que se deben enfrentar. Esto da lugar a las distintas técnicas de aplicación de END. Un método como la radiografía puede ser aplicado según distintas técnicas como por ejemplo "radiografía gamma", "radiografía de alta energía", etc. Finalmente el detalle de los pasos o etapas de aplicación de la técnica y de interpretación y evaluación de los resultados constituye lo que se conoce como "procedimiento de ensayo".

En la práctica la aplicación del END implica la selección del método, la especificación de la técnica correspondiente y la descripción detallada del procedimiento de ensayo. El no cumplimiento de esta secuencia especialmente la falta o redacción incompleta del procedimiento de ensayo es bastante común en nuestro país y produce la mayor parte de los conflictos entre el fabricante y la inspección.

Ateniéndonos a la intención de dar una visión panorámica de los principales métodos de END haremos una descripción sucinta de los mismos, agrupándolos según el tipo de energía o medio de prueba utilizado.

1.- Métodos basados en la aplicación de Radiaciones Penetrantes:

Son aquellos que utilizan como campo de energía las radiaciones electromagnéticas ó corpusculares en rangos de energía que permiten su penetración a través de la materia. Entre los más usuales tenemos:

Radiografía.- Utiliza rayos X o rayos gamma para producir imágenes por transparencia sobre película fotográfica.

Xerografía.- Utiliza igual tipo de energía que la radiografía pero la imagen se obtiene sobre un dieléctrico.

Neutronografía.- Utiliza radiación de neutrones y previa conversión produce imagen sobre película fotográfica.

Fluoroscopia.- Radiación X ó gamma para producir imagen visible sobre placas fluorescentes.

2.- Métodos basados en vibraciones mecánicas:

Son aquellos que utilizan como campo de energía la propa

gación de ondas elásticas, detectando los fenómenos de reflexión, refracción, atenuación, resonancia y modos de propagación.

Ultrasonido: Utilizan energía ultrasónica excitable en cristales piezoelectricos. La detección se hace también con cristales piezoelectricos y mediante sistemas electrónicos se obtiene la visualización de las indicaciones en un tubo de rayos catódicos que da información sobre intensidad y tiempo.

Ensayos sónicos: Aplica ondas elásticas en el rango de frecuencia audible; detectando principalmente el fenómeno de atenuación acústica.

Emisión Acústica: Se basa en el recuento y análisis de las ondas elásticas emitidas por desplazamiento de dislocaciones durante la deformación o rotura de los materiales.

Análisis de Vibraciones: Consiste en el análisis de las vibraciones producidas por desplazamiento de masas o por fricción de materiales en máquinas rotativas ó alternativas.

3.- Métodos basados en electricidad y magnetismo:

Son aquellos que utilizan campos eléctricos, magnéticos ó la interacción de ambos en los fenómenos electromagnéticos.

Electricos: Consisten esencialmente en la detección y medición de variaciones de potencial eléctrico aplicado al material o pieza en ensayo.

Partículas Magnéticas: Consiste en la aplicación de un campo magnético en la pieza a ensayar y en la visualización de eventuales distorsiones ó campos de fuga mediante partículas magnéticas coloreadas o fluorescentes.

Magnéticos: Consiste en la aplicación de un campo magnético y en la evaluación de campos de fuga mediante detectores de magnetismo como por ejemplo transductores de efecto Hall.

Corrientes de Foucault

ó Eddy currents: Consiste en detectar las variaciones de impedancia reflejada, por efecto de la pieza bajo examen, en una bobina excitada por corrientes

te eléctrica de alta frecuencia.

Capacitivos: Se basan en la aplicación del efecto capacitivo, midiendo variaciones de capacidad eléctrica originados en modificaciones o variaciones de espesor del dieléctrico interpuesto entre el detector capacitivo y el material a ensayar.

4.- Métodos ópticos:

El diseño de estos métodos está basado en la utilización de la luz visible como campo de energía o medio de prueba.

Examen visual: Utiliza la vista como elemento de detección con o sin aplicación de elementos auxiliares tales como lentes, espejos, endoscopios.

Transmisión de imágenes: Aplica un elemento de detección intermediario entre la vista y la pieza en examen. Estos elementos pueden ser cámaras de filmación o de televisión operadas con control remoto.

Interferometría: Aplica los fenómenos de interferencia en rangos de longitud de onda correspondientes a la luz visible permitiendo detectar pequeños desplazamientos o deformaciones.

Replicas: Se basa en la reproducción fiel de la superficie a examinar mediante la utilización de un barniz o laca especialmente diseñado para permitir relevar detalles microscópicos.

5.- Métodos basados en energía térmica:

En estos métodos el campo de energía es la energía térmica y la información se obtiene a través de la evaluación de gradientes de temperatura.

Termografía: Utiliza sustancias químicas en forma de lápices o barnices que cambian de color o funden dentro de muy estrechos márgenes de temperatura.

Métodos Infrarrojos: Aplica la detección y medición de la radiación infrarroja para obtener indicaciones localizadas o mapas de temperatura mediante técnicas de barrido.

6.- Métodos basados en el transporte de materia:

Se aplican los fenómenos fisico-químicos relacionados con la capilaridad, viscosidad, absorción, desorción, permeabilidad en líquidos y gases.

Líquidos penetrantes: El medio de prueba es un líquido coloreado o fluorescente que tiene propiedades de elevada penetración en grietas o defectos superficiales.

La detección se obtiene por contraste de color o fluorescencia previa extracción del líquido retenido usando un medio absorbente.

Exudación de gases: El transporte de un gas a través de poros o grietas del material se detecta del otro lado de la pared examinada por la formación de burbujas en un medio líquido o en una delgada capa de sustancia tensoactiva.

Partículas filtradas: El medio de prueba consiste en partículas suspendidas en un líquido y que son retenidas al filtrar el líquido a través de la pieza. Las partículas acumuladas en los defectos son visualizadas por su contraste de color o por fluorescencia.

7.- Métodos basados en energía mecánica:

En estos métodos se aprovechan propiedades mecánicas o esfuerzos mecánicos que excitan propiedades eléctricas o bien los efectos de un esfuerzo mecánico.

Dureza mecánica: Se aplica energía mecánica para provocar deformaciones locales que permiten evaluar dureza.

Rugosimetría: Se utiliza el efecto del desplazamiento de una pua que sigue el perfil y acciona un transductor (cristal piezo eléctrico o bobina inductiva) que produce una señal eléctrica proporcional al desplazamiento.

Extensímetros

eléctricos: Aplica el efecto de la deformación mecánica sobre la resistencia eléctrica en cierto tipo de conductores.

Triboelectricidad: Se aplica el fenómeno de producción de cargas eléctricas por frotamiento. El signo

de la carga desarrollada depende del tipo de material.

Lacas Frágiles: El medio de prueba son lacas especiales que adhieren perfectamente a la pieza en examen y se quiebran en los lugares en que esta se deforma cuando se la somete a un esfuerzo mecánico.

8.- Métodos basados en energía atómica y nuclear:

Son aquellos métodos que utilizan reacciones atómicas ó nucleares provocadas por la interacción de radiaciones nucleares con la materia.

Análisis por activación: El campo de energía aplicada es la radiación neutrónica que provoca reacciones nucleares en los elementos que componen el material analizado. Dichos elementos pueden ser entonces individualizados y cuantitativamente evaluados mediante espectrometría de la radiación de los radioisotopos producidos.

Microsonda electrónica: El campo de energía aplicada es un haz de electrones acelerados que excita radiación X característica en los elementos que componen el material bajo examen. La detección y espectrometría de dicha radiación permite individualizar y evaluar cuantitativamente dichos elementos. Técnicas de barrido permiten además obtener la distribución del elemento individualizado, en la zona en examen, sin destrucción de la muestra.

Retrodispersión Beta: El campo de energía aplicado es la radiación beta que provoca en el material radiación retrodispersa en función del número atómico de los elementos presentes y del espesor de material. La detección y evaluación de esta radiación permite determinar composición y espesor de recubrimientos.

La lista de métodos que hemos incluido en esta clasificación no pretende ser completa sino simplemente ilustrativa de la diversidad de métodos en aplicación.

IV.- PROBLEMAS QUE SON OBJETO DE LA APLICACION DE LOS END

Hemos descrito en páginas anteriores los objetivos gene

rales de la aplicación de los END creemos ahora oportuno señalar los problemas específicos que son objeto de la aplicación de los distintos métodos de END. Estos problemas pueden ser agrupados en la siguiente forma:

1.- Discontinuidades:

a) Según su forma;

puntuales
planares
volúmetricas

b) Según su posición;

superficiales
subsuperficiales
internas

2.- Composición

a) inhomogeneidad y segregaciones

b) composición química (detección y evaluación)

c) clasificación de materiales (identificación)

3.- Propiedades físicas y mecánicas

a) conductividad eléctrica

b) conductividad térmica

c) constantes dieléctricas

d) constantes elásticas

e) dureza

4.- Estado físico

a) Estructura metalográfica

b) Tamaño de grano

c) Acabado superficial

d) Detección de transformaciones de fase en metales y aleaciones

e) Textura

f) Tensiones residuales

5.- Dimensiones y ubicación

- a) Metrología;
 - espesores
 - diámetros
 - extensión
 - perfiles
- b) Posición de componentes
- c) Ubicación de inserciones
- d) Identificación dimensional

Estos son los principales problemas que pueden ser resueltos por la aplicación de alguno o varios de los métodos de END. Si analizamos los distintos tipos de problemas enumerados vemos que gran parte de ellos pueden encuadrarse dentro del problema general de detectar y evaluar defectos pero otros corresponden a la identificación y/o evaluación de composición y propiedades cuyas variaciones pueden constituir o no defectos.

Finalmente en otros casos corresponden a verificaciones de tolerancias dimensionales condiciones de ajuste, montaje o mantenimiento.

V .- SELECCION DE LOS METODOS DE END

Si analizamos los diferentes principios en que se basan los END y los comparamos con el tipo de problemas que deben resolver podemos sacar como primer conclusión que no existe un método de END en particular que pueda tener una aplicación universal. Los diferentes métodos de END son específicos para un determinado tipo de problemas. En muchos casos existe la posibilidad de aplicar más de un método con iguales resultados en cuanto a la información que se pueda obtener, en otros casos entre los varios métodos aplicables uno puede tener ventajas sobre los demás. Puede ocurrir también que la información que se desea, pueda obtenerse utilizando en forma complementaria más de un método aplicable ó que sea necesario pensar en el desarrollo de un método específico para obtener la información que se necesita.

No existe el método general de END que permita el examen de cualquier clase de material, parte o estructura, en cualquier condición de operación. Por el contrario cada especificación de END debe estar basada en un correcto conocimiento

de la naturaleza y función del material o parte a ser ensayada y de las condiciones en que prestará servicio a fin de poder seleccionar el método apropiado. La selección, programación y aplicación de los END en la industria es una función gerencial de importancia primordial en cuanto las decisiones que se tomen pueden tener un efecto vital no sólo en el aspecto técnico sino también en la productividad y rentabilidad, según ya hemos visto al analizar los aspectos económicos. Para seleccionar y especificar un ensayo útil y apropiado para una determinada parte o componente la ingeniería responsable de END necesita contar con información. Ingeniería de diseño debe suministrar los datos de carga en servicio, condiciones de operación, límites de aceptación de defectos o de variaciones de propiedades identificando las zonas de tensiones críticas así como los puntos y tipos de falla más probables. La ingeniería de materiales y proceso debe suministrar información sobre las propiedades mecánicas del material y contribuir a establecer las relaciones entre estas, los defectos producidos por el proceso, la aptitud de servicio y las propiedades y defectos que son medidos por los END.

Contando con esta información la ingeniería de END debe asumir la responsabilidad de especificar un método de sensibilidad y confiabilidad adecuada que permita correlacionar la información obtenida con la aptitud y confiabilidad de servicio.

Si la ingeniería de END encara su tarea de desarrollar poner a punto y especificar los métodos de ensayo sin contar con la información necesaria que hemos indicado se corre el riesgo de llegar a aplicar un método inútil si las propiedades que detecta no se correlacionan con aquellas que determinan su conformidad con el patrón de calidad establecido.

En la selección y especificación de los métodos y técnicas a aplicar se deben tener en cuenta los límites de sensibilidad y exactitud requeridos. Cada método y técnica de END además de ser específica para determinado tipo de problemas tiene sus propias limitaciones y alcances de sensibilidad. Por otra parte la sensibilidad adecuada para un determinado componente puede no ser suficiente para otro o aún para el mismo si se debe emplear en condiciones de servicio mucho más severas. Mayor sensibilidad y exactitud requiere en general equipamiento y operación más elaborados que resultan en mayores costos. Estos costos deben tenerse en cuenta al diseñarse cada aplicación. Un método debe ser abandonado en su aplicación si no es económicamente aceptable aún cuando técnicamente sea apropiado.

Seleccionar un método y su técnica de aplicación así como redactar las especificaciones del ensayo implica además tener en cuenta:

- tolerancias aceptables por diseño y exactitud del método de ensayo.
- las limitaciones que presenta la interpretación de los resultados. Por ejemplo una radiografía permite interpretar una indicación como la presencia de un poro gaseoso pero no da la profundidad a que se encuentra. En cambio ultrasonido puede indicar la profundidad del mismo defecto pero no permite discernir si se trata de un poro gaseoso ó una inclusión.
- las limitaciones por la geometría del ensayo.
- las limitaciones impuestas por las condiciones de accesibilidad.
- el tamaño y forma del componente.
- limitaciones debidas a las propiedades del material. Por ejemplo el método de partículas magnéticas no puede aplicarse sino a aquellos materiales que tienen propiedades ferromagnéticas.
- las limitaciones de las técnicas de barrido para cubrir áreas extensas en métodos que no obtienen información en forma panorámica.

Para brindar una información sobre las aplicaciones más generalizadas de los principales métodos de ensayo damos el cuadro de la figura 5 en el cual se indican distintas tecnicas correspondientes a un mismo método.

La figura 6 muestra una tabla que sirve de guía para la selección de métodos y técnicas de ensayo. Esta basada en una similar que figura en el Mc Master NDT Handbook, pag. 1-24 a 1-27 de la edición 1963.

VI.- ORIENTACION FUTURA EN END

Al hacer un análisis prospectivo del END debemos considerar separadamente dos aspectos bien diferentes:

a) Investigación y desarrollo de las técnicas de END en función de la ciencia de los materiales e industrias de avanzada tecnología.

b) Desarrollo y adecuación del END para implementación de la tecnología de calidad en el conjunto de la actividad industrial.

Con referencia al primer aspecto está claro que el problema central del END es la relación entre las propiedades físicas y el comportamiento en servicio de los materiales por lo tanto será necesario poner un esfuerzo considerable en la investigación básica. Al decir de Mullins hasta ahora solamente se ha rascado la superficie de la ciencia en la búsqueda de nuevos métodos de ensayo.

Se espera que gradualmente se incorporen a esta disciplina investigadores científicos principalmente del área de la ciencia de los materiales y físicos. Para que ello ocurra los académicos deben comprender que el END no es simplemente el examen radiográfico de soldaduras o la inspección ultrasónica buscando defectos sino que está interesado también en la naturaleza fundamental y el comportamiento de la materia. Los estudios que se conducen en la física del estado sólido son de principal interés para el desarrollo de nuevos métodos de END y a su vez estos métodos pueden contribuir en la realización de experiencias relacionadas con dichos estudios.

Las líneas principales según las cuales se desplaza actualmente el interés del END están referidas al desarrollo de métodos que no sólo informen sobre la presencia de defectos sino que además permitan su evaluación, manejo y procesamiento de la información.

En el terreno de los métodos de mayor interés actualmente en desarrollo debemos citar como ejemplos:

- Los ensayos de emisión acústica.
- La holografía acústica y óptica.
- Los métodos basados en radiación infrarroja.
- La radiografía de alta definición.
- La neutronradiografía.

Si consideramos el END dentro del Sector industrial convencional, debemos tener presente que el END ha tenido mala reputación en muchas industrias a causa de confusiones respecto a su función así como también por falta de adecuación de técnicas actuales y de calificación de personal. No obstante el uso indiscriminado de técnicas más sensibles, no es la respuesta a las actuales dificultades. La simple habilidad o capacidad para detectar fallas cada vez menores solamente agravará la resistencia del empresario a aplicar END.

Tal vez un camino adecuado para abreviar las actuales dificultades y ofrecer mejoras se encuentra desde el punto de vista del personal de investigación y desarrollo, responsable de la provisión de las herramientas que permitan al empresario obtener los apropiados niveles de calidad. En este sentido nosotros podemos extrapolar las tendencias en la investigación relevante para compararlos con los requerimientos futuros.

Dentro de una amplia perspectiva se pueden identificar, como lo expresó Sharpe en una reciente conferencia tres necesidades básicas a satisfacer en el futuro próximo:

- Mejor confiabilidad en las técnicas corrientes de inspección.
- Mejorar las condiciones de entorno para el uso de END.
- Mejores métodos para la aplicación de END.

Confiabilidad

El END debe ser seguro si desea cumplir su función de control de calidad. La tendencia actual es mejorar el diseño de los sistemas de manera de asegurar su confiabilidad principalmente haciendo que la interpretación de los resultados sea menos subjetiva. Para ello los instrumentos o equipos únicos se deben reemplazar por sistemas complejos que además de obtener la información, la registran y analizan.

La solución de los problemas del ruido de fondo, ya sea en Ultrasonido, o en radiografía (radiación dispersa) es otra de las metas que se trata de alcanzar.

Finalmente se espera obtener un mayor aumento en la confiabilidad mediante la mejora de diseño y standardización de instrumentos y equipos.

Condiciones de entorno

Como se dijo anteriormente el END constituye una parte fundamental en el control de calidad, pero su utilidad depende de sus interacciones con los otros factores que hacen a la tecnología de calidad. Esto indica que debe existir una correcta comunicación entre especialistas en diseño, en materiales y en ensayos. Dado que esto no se cumple normalmente en la práctica industrial, existe una tendencia actual a suplir esta falta mediante la acción de centros de investigación y desarrollo especializados en END que acuden en forma directa al estudio de problemas industriales.

Aplicaciones de END

Existe un marcado interés en el desarrollo de métodos automáticos de control que a su vez permitan la automatización de líneas de producción, con realimentación de la información ganada en etapas de inspección.

BIBLIOGRAFIA

- 1) R.C. Mc Master. "Non Destructive Testing Handbook". The Ronald Press Co. N.Y. 1963.
- 2) H. Sutton. "The Quest of Quality" British Journal of NDT Marzo 1970.
- 3) R.S. Sharpe "Non Destructive Testing, Research and Practice" Vol. 5 N° 5 Sept. 1972.
- 4) D. Vasallo y otros. "Observación de Elementos de Calderas por metalografía no destructiva". Metalurgia (ABS) Vol. 23 (1967)
- 5) L. Alvarez de Buergo, S. Perez Fernandez. "END en Centrales Nucleares". Asoc. Española para control de Calidad. Jornadas Nacionales de END. Madrid 1973.
- 6) J. H. Lambie. "Principles and Practice of NDT". Londres 1962.

Fig. 5 : PRINCIPALES METODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SUS APLICACIONES

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS		Problemas que constituyen el principal campo de aplicación	Ejemplos de aplicación típica
Metodos	Tecnica principal		
Examen Visual	Visión directa	Detección de defectos superficiales en producción.-	Inspección de uniones soldadas
	Transmisión de imágenes	Detección de corrosión, erosión, despastes, en mantenimiento	Inspección de mantenimiento en centrales nucleares.
	Replicas	Evaluación de rugosidad y de estructuras metalográficas.	Inspección de recalentadores de vapor en centrales térmicas
Líquidos penetrantes	Coloreados	Detección de defectos abiertos a la superficie, principalmente fisuras, en materiales no porosos, ferromagnéticos o no	Inspección de soldaduras en aceros austeníticos (detección de fisuras)
	Fluorescentes		Inspección de alabes de turbinas para detectar fisuras de fatiga
Partículas magnéticas	Coloreadas	Detección de defectos superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos.	Inspección de soldaduras en aceros
	Fluorescentes		Inspección de forjas de acero
Radiografía	Rayos X (50-400 kV)	Detección de discontinuidades internas en todo tipo de materiales.	Inspección de soldaduras en planta de fabricación.
	Rayos gamma		Inspección de soldaduras en montaje de obra. Inspección de fundiciones de grandes espesores (100 mm)
	Rayos X de alta energía (4-15 MV)		
Ultrasonido	Transmisión	Detección de discontinuidades internas y superficiales en materiales que transmiten ondas elásticas	Inspección de chapas colaminadas
	Pulso-eco		Inspección de soldaduras en chapas medianas y grandes espesores.
	Resonancia	Medición de espesores	Inspección continua de tubos de paredes delgadas.
Eddy - Currents	Bobina envolvente	Detección de defectos, evaluación de estructuras metalográficas y dimensiones en materiales metálicos.	Inspección continua de barras y tubos
	Bobina frontal		Inspección de cubiertas protectoras (anodizados, cobreados etc.)
Eléctricos	Corriente continua	Medición de profundidad de fisuras y de espesores	Inspección de cilindros de laminación en proceso de recuperación
	Capacitivos	Espesores en films no conductores. Dimensiones	Calibración de espesor en plásticos. Diámetro interno en tubos
Exudación de gases	Burbujeo	Detección de pérdidas mayores que 10^{-3} Torr.l/s	Inspección de tubos soldados en ensayo hidrostático.
	Pérdida de Helio	Detección de pérdidas menores que 10^{-6} Torr.l/s	Inspección de estanqueidad en recipientes de uso nuclear
Infrarrojo	Fotografía	Detección de desgaste en aislación térmica.	Inspección de cucharas de colada para detectar desgaste de refractario
	Barrido infrar.	Defectos de soldadura por "brazing" o colaminado.	Inspección de paneles "nido de abeja" en industria aeronáutica.
Microsonda	M. Electrónica	Composición elemental y distribución de elementos.	Análisis de inclusiones en aceros
	M. Laser	Composición elemental	Análisis no destructivo de aleaciones
Nuclear	Análisis por activación	Composición elemental	Análisis no destructivo en semiconductores (impurezas)
Lacas	Lacas frágiles	Distribución de tensiones y de deformaciones.	Estudios de correlación entre falla y concentración de tensiones.
	Fotoelásticas		

