



Cálculo de la rentabilidad económica en el empleo de técnicas de Ensayos No Destructivos (END) en un proceso productivo.

Apellidos, nombre	Fombuena Borràs, Vicent (vifombor@upv.es)
Departamento	Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales (DIMM)
Centro	Escuela Politécnica Superior de Alcoy (EPSA) Universitat Politècnica de València (UPV)

1 Resumen de las ideas clave

Los Ensayos No Destructivos (END) son una serie de técnicas encargadas de inspeccionar, testar o evaluar materiales, componentes, ensamblajes de discontinuidades y diferencias de estructura o composición química sin llegar a romper o hacer inservible de la pieza o sistema analizada¹. Dicho de una forma mucho más sencilla: se trata de una serie de técnicas que cuando han finalizado, la pieza puede continuar siendo usada.

Comparadas con otros tipos de ensayos, las técnicas END no realizan el test sobre un limitado número de muestras (lote), sino que pueden llevarse a cabo sobre la totalidad de la producción e incluso con piezas puestas en servicio.

Hoy en día, los END son test usados en la manufactura, fabricación y evaluación de inspecciones y piezas en servicio, con el fin de asegurar la integridad y la seguridad del producto, así como el proceso de transformación con el objetivo de conseguir una reducción de costes de producción y aumento de la calidad.

Es en este último aspecto donde el presente artículo hace hincapié: en las ventajas económicas que aporta la aplicación de END en procesos productivos. Para ello, en primer lugar, se realizará una breve descripción de las principales ventajas económicas directas e indirectas y, en segundo lugar, se realizará una evaluación numérica de aplicación de END en diferentes escenarios reales de un proceso productivo.

2 Introducción

La calidad de un producto es uno de los factores de mayor peso a la hora de adquirirlo según la opinión de los consumidores. Según la ISO 9000, la calidad es "el gran conjunto de características inherentes que cumple con los requisitos, entendiéndose como requisito aquellas necesidades o expectativas creadas de manera implícita u obligatoria"².

La calidad de un producto debe servir, sobre todo a las pequeñas y medianas empresas, como símbolo de diferenciación respecto a sus competidores. Durante las últimas décadas, los controles de calidad llevados a cabo mediante END han servido para testar procesos, piezas finalizadas e incluso piezas puestas ya en servicio. Los END pueden ser utilizados para asegurar la calidad de las materias primas y de procesos de unión y posterior montaje. Una vez las piezas están puestas en servicio, las inspecciones mediante END puede ser usadas como métodos para determinar la continuidad de una pieza, determinando su integridad, utilidad e incluso seguridad para el público.

Los cinco métodos más usados dentro de los END son el test de Partículas Magnéticas, Líquidos Penetrantes, Radiografía Industrial, Ultrasonidos, y Test Electromagnético³. Estas técnicas, cada una con sus ventajas e inconvenientes, pueden ser aplicadas en diferentes puntos del proceso productivo y aportar una serie de ventajas económicas a tener en cuenta.

El presente artículo pretende mostrar mediante el cálculo de costes y beneficios en diferentes escenarios, las principales ventajas en la aplicación de Técnicas de Ensayos no Destructivos (END). En primer lugar, se citarán brevemente las principales ventajas tanto por reducción de coste como por aumento de valor añadido y calidad de

producto/proceso. En segundo lugar, se planteará un caso práctico con resolución numérica de diferentes escenarios.

3 Objetivos

La lectura de dicho artículo tiene como objetivos otorgar al lector los siguientes tres ítems:

- Interpretar la información que las técnicas de END pueden aportar en procesos productivos como herramientas de control de calidad.
- Identificar las principales ventajas directas e indirectas de aplicación de técnicas de END en controles de calidad.
- Calcular los principales costes y beneficios en diferentes escenarios planteados de un proceso productivo sobre el cual se aplican o no técnicas de END

4 Desarrollo

Aunque los END empezaron a aplicarse únicamente en sectores con elevado contenido tecnológico, como son el sector aeroespacial, aeronáutico, nuclear o militar⁴, la información que proporcionan y las ventajas desde el punto de vista económico, han contribuido a su expansión por múltiples sectores. Hoy en día, son una herramienta indispensable en controles de calidad tanto de procesos, como de productos.

Los END pueden aportar información relacionada con:

- Defectología: detección de heterogeneidades, evaluación de corrosión, deterioro ambiental, estudio de estado tensional, defectos en maquinaria, detección de fugas, rozamientos, puntos calientes, etc.

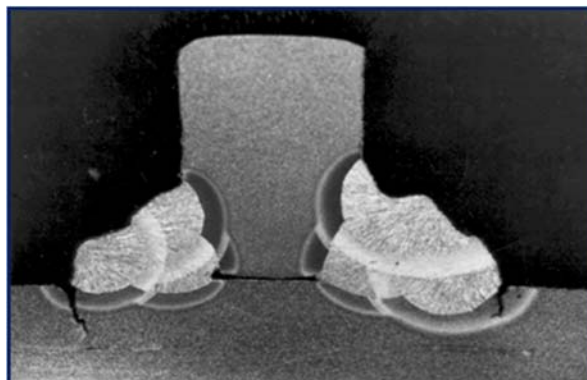


Figura 1. Imagen de radiología industrial aplicada para determinar la defectología de una unión soldada.

- Caracterización de materiales: determinación de propiedades químicas, mecánicas, estructurales y tecnológicas, determinación de propiedades físicas, elásticas y electromagnéticas y problemas de transferencia de calor.

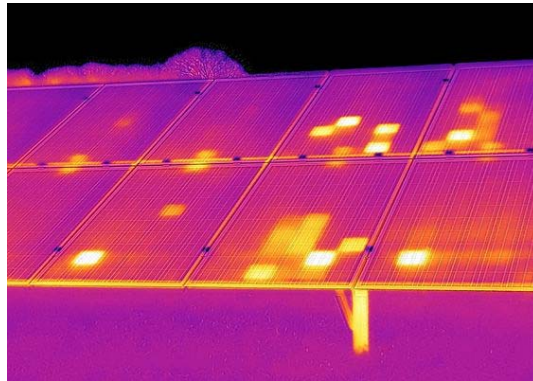


Figura 2. Imagen de termografía infrarroja aplicada a la determinación de problemas de transferencia de calor en paneles solares.

- Metrología: control de espesores, medida de recubrimientos, capas de óxido, dimensiones, niveles de llenado, etc.



Figura 3. Representación de control de espesores mediante ultrasonidos.

Toda esta información que son capaces de proporcionar las técnicas de END aportan un conocimiento sobre los procesos productivos y los productos que se pueden transformar en importantes ventajas tanto técnicas, tecnológicas como económicas.

Desde el punto de vista económico, la aplicación de END en diferentes puntos del proceso productivo puede ayudar a una disminución de coste (ventajas directas) y a un aumento de la calidad (ventajas indirectas). A continuación, se describen brevemente cada una de ellas.

- Las ventajas directas de aplicación de END son aquellas que se transmiten directamente en una reducción del coste tanto del producto como del proceso productivo. Esta reducción del coste puede ser obtenida si las técnicas END son aplicadas como técnicas de control de calidad en la recepción de materia prima para un posterior proceso productivo. Los END detectan la materia prima defectuosa, no entrando esta al proceso productivo y produciendo únicamente productos 100% conformes. Por otra parte, el hecho de que la materia prima defectuosa sea detectada antes de entrar al proceso productivo, ayuda a la optimización del tiempo de máquina, siendo este tiempo ocupado completamente por la materia prima conforme, con lo cual, la productividad aumenta.

- Por otra parte, la aplicación de END en un proceso productivo también repercute en una serie de ventajas indirectas, no tangibles directamente por una reducción del coste del producto o del proceso, pero sí influyentes sobre el valor de mercado del producto. Los controles de calidad mediante END contribuyen a aumentar el valor añadido del producto procesado mediante un aumento de la homogenización y calidad del producto. La elaboración de únicamente productos conformes es una garantía de seguridad y fiabilidad para clientes. Además, los END pueden ayudar a determinar posibles deficiencias en el diseño productivo, en sistemas de procesamiento, de ensamblaje en tecnologías de la unión, envasados, etc. Con esta información, la toma de decisiones oportunas para subsanar estas deficiencias repercute en un aumento de la calidad del producto.

Para que todo proceso de aplicación de técnicas de END sea rentable económicamente deberá realizarse un cálculo del coste de implementación. Deberá buscarse siempre un equilibrio entre el coste de implementación de la técnica escogida de END y los beneficios e información que aporta. Como aspecto positivo está, como se ha descrito anteriormente, la reducción del coste y el aumento del valor añadido. Como aspecto negativo está el coste de implementación de la técnica. La búsqueda de equilibrio deberá atenderse a la búsqueda de la calidad ideal para obtener un máximo beneficio (punto Q2, Figura 4).

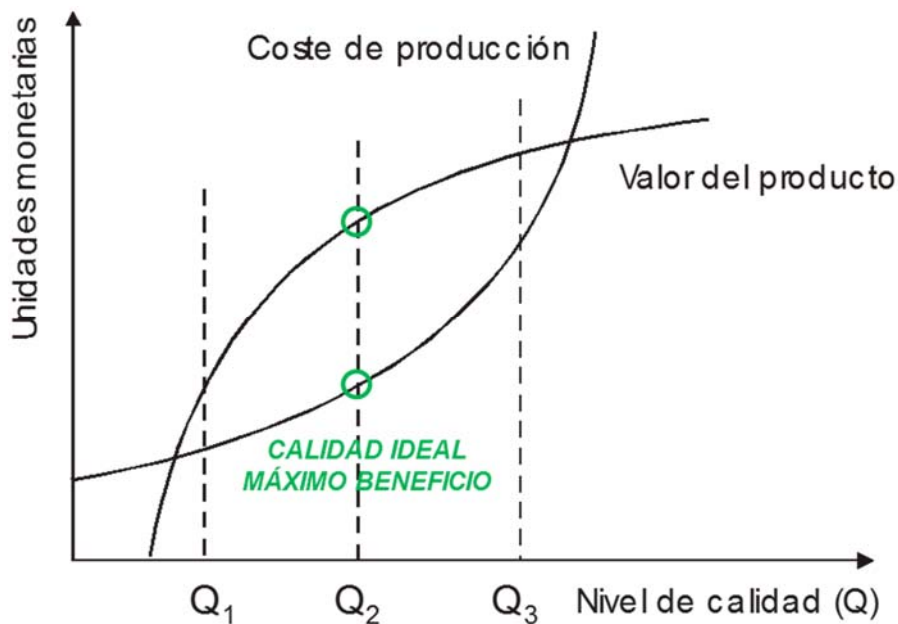


Figura 4. Representación del coste de un producto en función de la calidad.

Una vez descritas la información y las ventajas económicas que los END son capaces de aportar, demostrémoslo mediante la resolución de un ejemplo práctico.

4.1 Cálculo de la rentabilidad económica en el empleo de técnicas de END en proceso productivo.

Se plantea el cálculo de la rentabilidad (costes vs beneficios) en diferentes escenarios de aplicación o no aplicación de END para el siguiente proceso productivo:

Nuestro proceso industrial consta de una máquina que es capaz de fabricar un máximo de 100 unidades por día. Si se tiene en cuenta el coste de la materia prima empleada y el coste del tiempo de máquina, cada unidad cuesta 100€. Se sabe que nuestros clientes nos rechazan el 2% de estas unidades al considerar la materia prima utilizada defectuosa. Cada unidad tiene un precio de venta al público de 200€.

Se plantean los dos siguientes escenarios:

1. No se aplica ningún tipo de control de calidad mediante END.
2. Se lleva a cabo un control de calidad de la materia prima recibida mediante la técnica de END de ultrasonidos. Se calcula que la inspección de cada una de las unidades mediante ultrasonidos tiene un coste de 2€.

Se pide estimar la rentabilidad diaria en cada uno de los dos escenarios mostrados.

4.1.1 Cálculo de la rentabilidad del primer escenario.

Determinemos en primer lugar cuales son los costes diarios que tendremos en el primer escenario:

Concepto	Unidades	Coste (€)	Total (€)
Coste de fabricación	100	100	10.000
Coste de inspección	-	-	-
Coste Total			10.000 €

Tabla 1. Costes de producción planteados en el primer escenario (sin controles de calidad).

Tal y como se ha planteado en el enunciado, en este primer escenario no se aplica ningún control de calidad mediante END, por lo que los costes de inspección son 0€. Hay que tener en cuenta que se han fabricado 100 unidades, pero el 2% de estas son defectuosas y son devueltas por nuestros clientes. Por tanto, solamente son válidas y vendidas 98 unidades. Calculemos ahora los ingresos obtenidos:

Concepto	Unidades	Coste (€)	Total (€)
Ingresos por ventas	98	200	19.600
Coste Total			19.600 €

Tabla 2. Beneficios por ventas planteados en el primer escenario (sin controles de calidad).

Por tanto, en el primer escenario se obtiene un beneficio neto que resultará de la resta entre los ingresos por ventas y los costes de producción. El balance final será:

Costes totales (€)	Ingresos Totales (€)	Beneficios (€)
10.000	19.600	9.600

Tabla 3. Balance del primer escenario (sin controles de calidad).

4.1.2 Cálculo de la rentabilidad del segundo escenario.

En el segundo de los escenarios se ha planteado la utilización de una técnica de ultrasonidos para determinar la materia prima en el momento de adquirirla y por tanto evitar que entre a nuestro proceso productivo. La materia prima defectuosa detectada es del 2%, por lo tanto, estas unidades son rechazadas y solamente entran al proceso productivo 98 unidades válidas. Como se comentaba en el enunciado la inspección de cada materia prima mediante ultrasonidos tiene un coste de 2€ por unidad. Determinemos en primer lugar cuales son los costes diarios que tendremos en este escenario:

Concepto	Unidades	Coste (€)	Total (€)
Coste de fabricación	98	100	9.800
Coste de inspección	100	2	200
Coste Total			10.000 €

Tabla 4. Costes de producción planteados en el segundo escenario (aplicación de control de calidad mediante ultrasonidos).

Todas las unidades producidas mediante este sistema son óptimas, por lo que nos garantizamos una homogenización del producto y un aumento de la calidad y del valor añadido, aumentando la confianza de nuestros clientes al no rechazar unidades no válidas. Calculemos ahora los beneficios obtenidos.

Concepto	Unidades	Coste (€)	Total (€)
Ingresos por ventas	98	200	19.600
Coste Total			19.600 €

Tabla 5. Beneficios por ventas planteados en el segundo escenario (aplicación de control de calidad mediante ultrasonidos).

No obstante, si realizamos el balance total en este escenario, vemos como a pesar de haber aumentado la homogeneidad y posiblemente la confianza de nuestros clientes, el balance de beneficios/costes es el mismo, debido al coste de implementación del control de calidad mediante ultrasonidos:

Costes totales (€)	Ingresos Totales (€)	Beneficios (€)
10.000	19.600	9.600

Tabla 6. Balance del segundo escenario (aplicación de control de calidad mediante ultrasonidos).

Por tanto, según lo planteado parece ser que, aunque hayamos aumentado la calidad de nuestro proceso, hayamos producido únicamente unidades válidas y hayamos evitado las devoluciones de nuestros clientes, el coste de implementación de la técnica de END hace que el balance económico sea idéntico. No obstante, hay que tener en cuenta que la máquina de nuestro proceso productivo tiene una capacidad máxima de producción de 100 unidades por día. Por lo que en el segundo escenario la máquina no está trabajando al 100% de su capacidad. Finalmente planteamos un tercer escenario con aplicación de control de calidad mediante ultrasonidos y trabajando a máxima producción de máquina.

4.1.3 Cálculo de la rentabilidad del tercer escenario.

En el tercer escenario se plantea trabajar a plena capacidad de máquina. Para ello será necesario que entren al proceso productivo 100 unidades validadas mediante ultrasonidos. Recordemos que, si el 2% de la materia prima es defectuosa, para que entren al proceso productivo 100 unidades óptimas, deberán inspeccionarse un mínimo de 103 unidades.

Concepto	Unidades	Coste (€)	Total (€)
Coste de fabricación	100	100	10.000
Coste de inspección	103	2	206
Coste Total			10.206 €

Tabla 7. Costes de producción planteados en el tercer escenario (aplicación de control de calidad mediante ultrasonidos y trabajo a plena capacidad).

Determinemos ahora los ingresos si las 100 unidades producidas son válidas y, por tanto, vendidas:

Concepto	Unidades	Coste (€)	Total (€)
Ingresos por ventas	100	200	20.000
Coste Total			20.000 €

Tabla 8. Beneficios por ventas planteados en el tercer escenario (aplicación de control de calidad mediante ultrasonidos y trabajo a plena capacidad).

El balance económico total de este tercer escenario será:

Costes totales (€)	Ingresos Totales (€)	Beneficios (€)
10.206	20.000	9.794

Tabla 9. Balance del tercer escenario (aplicación de control de calidad mediante ultrasonidos).

Finalmente vemos como la aplicación de una técnica de END repercute en un mayor beneficio (194 € por día de producción).

5 Conclusiones

Las técnicas de Ensayos No Destructivo ofrecen una serie de ventajas económicas tanto directas (reducción de coste) como indirectas (aumento de la calidad). Mediante la resolución de un caso práctico se ha demostrado como el uso de una técnica de END como control de calidad a la recepción de la materia prima, contribuye a un aumento del beneficio total optimizando el tiempo de máquina y evitando la entrada de materia prima defectuosa al sistema productivo. Además, se consigue incrementar el valor de mercado de nuestro producto, debido al aumento de la calidad, homogenización del producto y mayor conocimiento sobre el proceso.

6 Bibliografía

- [1] <https://www.asnt.org/MinorSiteSections/AboutASNT/Intro-to-NDT>
- [2] ISO 9000 Quality Management ISO. ISO. 2016
- [3] Nondestructive Testing Handbook (1994), Volume 2: Liquid Penetrant Tests. American Society for Nondestructive Test.
- [4] Rosado, L. S.; Santos, T. G.; Piedade, M.; Ramos, P. M.; Vilaça, P.; (2010) Advanced technique for non-destructive testing of friction stir welding of metals, Measurement, Vol. 43, 8, 1021-1030.
- [5] González, R. (2012) Costes de calidad vs Costes de no calidad. <http://www.pdcahome.com/1957/costes-de-calidad-vs-costes-de-no-calidad/>