

COMBUSTIBLE

ESCÁNER PASIVO PARA LA INSPECCIÓN DE BARRAS DE COMBUSTIBLE



ADRIÁN AHUFINGER MUÑOZ
Ingeniero de Calidad
ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS S.A.,
S.M.E. (GRUPO SEPI)

El escáner pasivo para la inspección de barras de combustible, fabricado por Tecnatom, que se pone en marcha este mismo año en la Fábrica de Elementos Combustibles de ENUSA (Juzbado), es un nuevo equipo de inspección basado principalmente en tecnología de espectrometría gamma y equipos de corrientes inducidas, capaz de medir diversas características de las barras de combustible de UO_2 y $\text{UO}_2/\text{Gd}_2\text{O}_3$. A pesar de tratarse de un equipo de por sí complejo, su principio de funcionamiento es sencillo. Éste hace pasar barras de combustible a velocidad uniforme a través de las líneas de inspección y produce señales que son analizadas mediante algoritmos automáticos para la obtención de medidas y la búsqueda de defectos.

Los motivos principales para apostar por un nuevo escáner pasivo frente a un escáner activo van desde la mejora en la capacidad de detección hasta el impacto en la seguridad de la instalación y los trabajadores, el impacto medioambiental y el impacto económico.

INTRODUCCIÓN

Desde hace 35 años, la Fábrica de Combustibles de ENUSA (Juzbado) dispone de un escáner activo de barras combustibles para la inspección del 100% de la producción de barras de UO_2 (95% de la producción total). Este escáner se compone de equipos de inspección basados en espectrometría gamma y de un equipo de corrientes inducidas.

La denominación de “activo” hace referencia a un tipo de tecnología la cual necesita de una fuente de neutrones que incremente la actividad de radiación gamma de las pastillas de UO_2 que se encuentran en el interior de la barra de combustible para obtener así un mayor nivel de señal de enriquecimiento. Este escáner activo, cuyo bloque de detección gamma cuenta con 12 detectores de NaI, incorpora una serie de fuentes de Cf-252 que, debido al decaimiento de este isótopo potente emisor de neutrones (vida media de 2.6 años), deben ser recargadas periódicamente.

Además, la fábrica de Juzbado también dispone de un escáner pasivo (que no cuenta con una fuente radiactiva para la detección gamma) operativo que se utiliza para inspeccionar todas las barras de producto de $\text{UO}_2/\text{Gd}_2\text{O}_3$ que se corresponden aproximadamente a un 5% de la producción anual, ya que su capacidad de producción está limitada por el número de detectores gamma y, por lo tanto, su velocidad de inspección.

En este artículo se describen los motivos de ENUSA para apostar por un nuevo escáner pasivo de doble línea para inspeccionar el 100% de la producción, es decir, tanto barras

de UO_2 como barras de $\text{UO}_2/\text{Gd}_2\text{O}_3$. También se enumeran los equipos de inspección que lo conforman, y se detallan las funcionalidades que permitirán aportar un alto valor añadido al producto fabricado requerido por los clientes.

ESCÁNER PASIVO FRENTE A ESCÁNER ACTIVO

ENUSA es una empresa comprometida con la mejora continua desde el punto de vista de la calidad, la producción, el desarrollo y la seguridad. Gracias a esta filosofía se pueden identificar claramente las razones por las que ENUSA ha decidido apostar por un nuevo escáner pasivo de doble línea para la inspección de barras de combustible. Este escáner ha sido fabricado por Tecnatom y puesto en marcha conjuntamente entre ambas empresas colaboradoras.

Entre todas las mejoras que ofrece este cambio tecnológico, se destacan tres:

• Eliminación de las fuentes de Cf-252

- El Cf-252 es un potente isótopo radiactivo emisor de neutrones. Esto supone un riesgo para las personas y todos los seres vivos por lo que es imprescindible extremar la precaución en la instalación.
- A causa del Cf-252, las barras de combustible de UO_2 que salen del escáner activo tienen una mayor radia-

ción gamma, por lo que se deben dejar reposar durante unos minutos con el objetivo de minimizar las dosis que reciben los trabajadores (principio ALARA).

- Debido al decaimiento de su actividad, las fuentes de Cf-252 necesitan ser recargadas periódicamente (cada 1-2 años) para mantener una señal de enriquecimiento óptima para la inspección.

Esto en ocasiones implica modificar la velocidad de inspección teniendo que recalibrar ciertos parámetros del escáner, lo que supone un hándicap para la productividad.

- El Cf-252 es una sustancia que se obtiene en laboratorios y que tiene un precio muy elevado, siendo la sustancia química más cara del planeta.

- Mejora de la capacidad de detección, estabilidad del equipo y falso rechazo**

- La capacidad de detección supone una mejora en la repetitividad de los resultados observados en las cualificaciones.
- La estabilidad del sensor de Gadolinio es una importante mejora respecto al que existe actualmente en el escáner pasivo antiguo.
- Se ha reducido el falso rechazo, observándose en algunos casos que es inferior al 1% respecto al 10-20% que se suele observar en el escáner activo para mismos diseño de producto.

- Actualización del equipo a nivel de operación, autómatas, hardware y software.** Al tratarse de un equipo nuevo, dispone de importantes mejoras respecto a los otros escáneres. Como es la monitorización de la velocidad, la corrección automática de uranio joven, herramientas de calibración de detectores, recirculación automática de barras sospechosas, herramientas de análisis offline, nuevos algoritmos de análisis, sistemas operativos actuales, etc.

En la Tabla 1 se recoge de forma resumida los equipos y elementos más importantes de cada escáner actualmente en fábrica.

EQUIPOS DE INSPECCIÓN DEL ESCÁNER PASIVO DE DOBLE LÍNEA

El escáner pasivo de doble línea para la inspección de barras de combustible de UO_2 y $\text{UO}_2/\text{Gd}_2\text{O}_3$ es el resultado de reunir todos los componentes necesarios para que, por sí sólo, sea capaz de sustituir a los dos escáneres de ENUSA actualmente en producción.

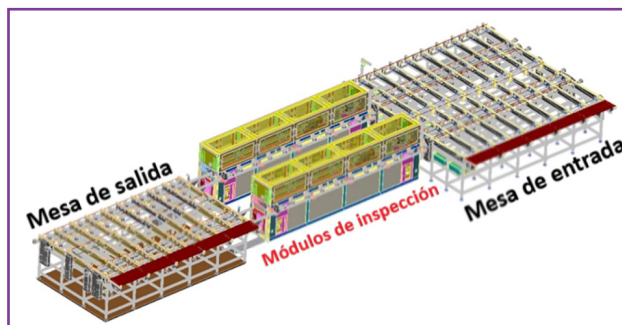


Figura 1. Esquema general del escáner pasivo de doble línea (Tecnatom).

En la Figura 2 se representa la distribución de los diferentes equipos de inspección de cada línea de inspección del escáner pasivo de doble línea.

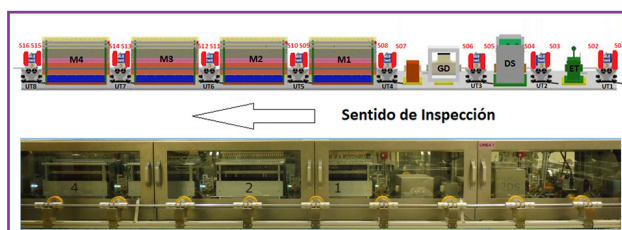


Figura 2. Esquema (arriba) e imagen (abajo) del módulo de inspección del escáner pasivo de doble línea.

En los siguientes apartados se describen todos los equipos de inspección de los que se compone el nuevo escáner pasivo de doble línea.

Equipo de corrientes inducidas (ET)

Equipo basado en tecnología del mismo nombre para la detección de defectos superficiales en el tubo tales como entallas, grietas, etc. Cuenta con un equipo electrónico multifrecuencia y una sonda envolvente por la que pasarán todas las barras de combustible.

En la Figura 3 se representa una imagen de un tubo patrón con defectos y su correspondiente señal en el escáner pasivo de doble línea.

Densitómetro (DS)

Equipo basado en espectrometría gamma que dispone de dos fuentes de radiación gamma de Am-241 (vida media de 432 años) distribuidas perpendicularmente entre sí y enfrentadas a un detector gamma de Germanato de Bismuto (BGO). La señal resultante es la media de las dos señales

Característica	Escáner Activo	Escáner Pasivo	Escáner Pasivo Doble Línea (Tecnatom) (por línea)
Fuentes radiactivas Cf-252	✓	-	-
Equipo de CCII para defectos superficiales	✓	✓	✓
Densitómetro	✓	✓	✓
Sensor de Gadolinio	-	✓	✓
Módulo gamma	12 detectores	32 detectores	126 detectores
Monitorización de la Velocidad de Inspección	-	-	✓
Velocidad de inspección	120-180 mm/s	20-30 mm/s	60-100 mm/s
Porcentaje producción	95 %	5 %	100 %

Tabla 1. Equipos y componentes de cada escáner de Juzbado.

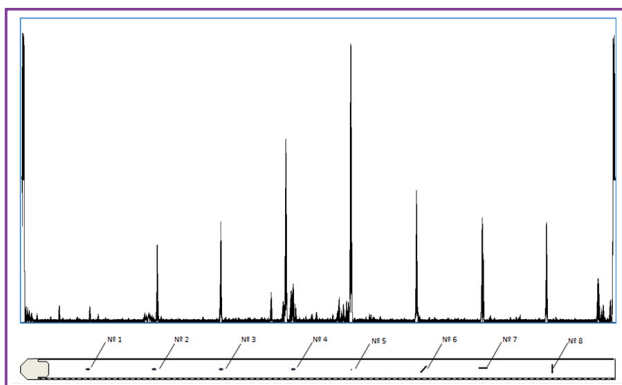


Figura 3. Croquis de tubo patrón con defectos (abajo) y señal correspondiente del equipo de corrientes inducidas (arriba).

individuales. La señal será máxima cuando no haya barra entre las fuentes y detectores y disminuirá según la densidad de la barra y su interior.

Este equipo mide características mecánicas de la barra como longitud de barra, longitud de columna, longitud de plenum, longitud de zona de compresión de muelle (diseños GNF2), presencia de muelle y detección de huecos en la columna de pastillas.

En la Figura 4 se representa una imagen de una barra patrón de tecnología PWR con huecos y su correspondiente señal en el escáner pasivo de doble línea.

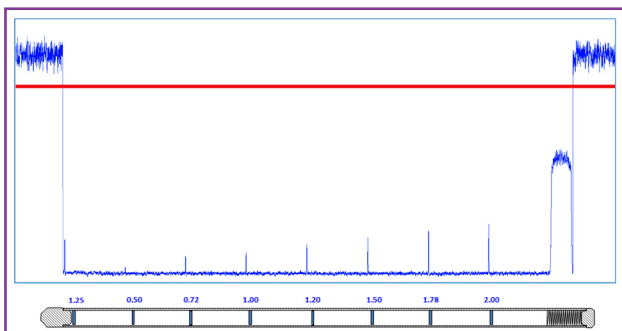


Figura 4. Croquis de barra patrón con huecos (abajo) y señal correspondiente del densitómetro (arriba).

Sensor de Gadolinio (GD)

Equipo de corrientes inducidas que permite detectar variaciones en el contenido de Gd_2O_3 en pastillas puesto que esta sustancia tiene una alta susceptibilidad magnética en comparación con el UO_2 , por lo que variaciones de Gd_2O_3 se verán reflejadas en la señal que produce el sensor. La sonda dispone de un imán permanente para eliminar las posibles variaciones en la señal provocadas por las propiedades magnéticas del Gadolinio.

Este equipo mide longitudes de columna activa y zonas de Gadolinio, pastillas desviadas en Gadolinio y falta de material en pastillas (picos negativos de pastilla desviada de Gadolinio). Además existe un módulo complementario que permite la distinción de picos positivos en la señal por desviación de contenido de Gadolinio o presencia de partículas metálicas en pastillas.

En la Figura 5 se representa una imagen de una barra patrón de tecnología PWR con desviaciones de contenido de



Figura 5. Croquis de barra patrón con pastillas desviadas de Gadolinio (abajo) y señal correspondiente del sensor de Gadolinio (arriba).

Gadolinio en pastillas y su correspondiente señal en el escáner pasivo de doble línea.

Módulos de detección gamma (M1-M4)

Cada uno de los módulos está compuesto por 32 detectores gamma BGO, a excepción del módulo M1 que aporta 30, debido a que los otros dos se corresponden con los del densitómetro. Sumando 126 detectores gamma por línea en total.

El bloque gamma constituye una señal global de enriquecimiento compuesta por cada una de las señales de los 126 detectores gamma. Este alto número de detectores compensa la ausencia de una fuente de neutrones de $Cf-252$. Es por lo que, debido al número de señales que componen una sola señal conjunta, la sincronización de todas ellas es crítica y, en consecuencia, lo es la uniformidad de la velocidad del paso de las barras.

El sistema de detección gamma es capaz de medir la longitud de columna activa de pastillas, longitudes de zona de enriquecimiento, el porcentaje de enriquecimiento y detectar pastillas desviadas en enriquecimiento.

La Figura 6 se representa una imagen de una barra patrón de calibración de tecnología PWR con diferentes zonas de enriquecimiento y su correspondiente señal en el escáner pasivo de doble línea. Este tipo de patrones sirven para calibrar el equipo tanto en velocidad de inspección (longitudes) como en enriquecimiento (cuentas/s a porcentaje de enriquecimiento).

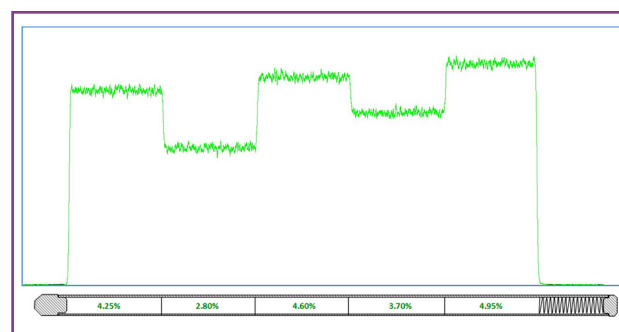


Figura 6. Croquis de barra patrón con zonas de diferentes enriquecimientos (abajo) y señal correspondiente de la señal gamma (arriba).

La Figura 7 se representa una imagen de una barra patrón de tecnología PWR con desviaciones de contenido de en-

riquecimiento en pastillas y su correspondiente señal en el escáner pasivo de doble línea.

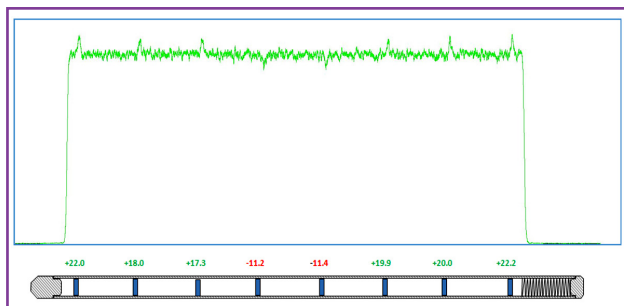


Figura 7. Croquis de barra patrón con pastillas desviadas en enriquecimientos (abajo) y señal correspondiente de la señal gamma (arriba).

Finalmente, cabe destacar que, todas las señales que genera el escáner pasivo de doble línea son analizadas mediante algoritmos automáticos al término del paso de cada barra. Además, cada línea de inspección contiene unos 300 parámetros editables, los cuales dependen del diseño, de la capacidad de detección y de los análisis de señal.

Sensores de barrera laser para la monitorización de la velocidad (S01-S16)

Estos 16 sensores de barrera permiten medir y monitorizar la velocidad del paso de la barra, es decir, la velocidad de inspección, que se trata de uno de los parámetros críticos de inspección.

CONCLUSIONES

Ante todo lo expuesto, se han identificado las ventajas que suponen para ENUSA y sus clientes la incorporación de un nuevo escáner pasivo de doble línea a la línea de inspección de barras de combustible fresco, que principalmente se recogen a continuación:

- Impacto en el ámbito de la seguridad de la instalación y los trabajadores. Impacto medioambiental y económico. Todo ello se ve favorecido gracias a la eliminación de las fuentes de neutrones de Cf-252.
- Mejora de prestaciones del escáner a nivel de detección/medición, repetitividad y eficiencia.
- Incorporación de elementos de control de la inspección y otras mejoras respecto a los equipos actuales.

Todo ello, tiene como resultado un importante valor añadido al producto fabricado desde el punto de vista de ENUSA y del cliente.

Finalmente, para obtener una visión general básica de los equipos que conforman este escáner pasivo de doble línea y su función, se ha podido presentar una interesante y breve descripción y demostración de cada uno de ellos. ■