



Calidad de fabricación y su contribución a la fiabilidad

ENUSA goal is to have the best reliability of fuel bundles in operation.

We are focus in all characteristics associated to pellets uniformity in fuel rods as average U-235 enrichment and gadolinium percentage without deviant pellets; no presence of broken pellets (cracks, chips, end capping), no gaps, stack length and plenum length. It is important to guaranty fuel rod hermeticity, then all welds are NDT (UT and RT) inspected leak testing, visual and eddy current inspections are performed to control tube quality. At fuel bundle assembly we need to reduce any damage that will generate problem in operation related to fretting or debris. Then a good set up of assembly equipment and a detailed D&V of fuel bundles are performed.

El objetivo de ENUSA es tener la mayor fiabilidad de los combustibles en operación. Estamos focalizados en todas las características asociadas con la uniformidad d las pastillas dentro de la barra combustible como son el enriquecimiento medio, y el porcentaje de gadolinio, sin pastillas desviadas, ausencia de pastillas rotas (grietas, picaduras, end capping) y huecos además del control de longitudes (columna y plenum). Controlamos la hermeticidad de la barra, mediante controles de soldaduras por END (UT, RT) integridad del tubo por fugas e inspecciones de la superficie de la barra con corrientes inducidas y control visual. En el montaje del conjunto combustible es importante reducir cualquier daño que nos induzca un fallo por vibración en operación (fretting o debris) por lo que se realiza un alineamiento de los equipos y un control DyV del combustible.

OBJETIVO

El objetivo de ENUSA Industrias Avanzadas, S.A. es destacar ante nuestros competidores por la calidad de nuestros productos. ENUSA es pionera en España en la implantación de grupos de mejora utilizando la metodología Seis Sigma y hemos intentado siempre utilizar las mejores tecnologías disponibles en fabricación e inspección para entregar un producto final a nuestros clientes robusto y fiable.

Este artículo presenta los últimos avances realizados en ENUSA en equipos de fabricación e inspección realizados con el objetivo de tener menos de un fallo en operación por millón de barras fabricadas.

En fabricación de pastillas se ha implantado la inspección visual automática de pastillas con el objetivo de eliminar errores humanos en la inspección del acabado superficial de éstas. En proceso se ha trabajado en la automatización del manejo de las pastillas con la incorporación de robots en prensas, una nueva prensa con controles de densidad incorporados y en el control de proceso detallado en prensas, controles visuales y de densidad. En la etapa de mezclado se ha avanzado en el

uso de mezclas con proporciones de U_3O_8 y aditivos más uniformes con lo que se mejora la homogeneidad de las características físicas y químicas de las pastillas.

En fabricación de barras se ha trabajado en la instalación de soldaduras con Soft Start para evitar los picos de tensión en inicio y evitar problemas de contaminaciones de wolframio. En los equipos de inspección se ha incluido la inspección radiográfica con soporte digital, la inspección por ultrasonidos de alta frecuencia de las soldaduras circulares, modernizada la inspección de fugas y la inspección con gamma scanner, y también se ha incluido la inspección de barras terminadas por corrientes inducidas para detectar defectos superficiales significativos.

En el proceso de fabricación se han eliminado las bandejas de transporte de acero inoxidable y se han mejorado los sistemas de movimiento de barras con lo que ha conseguido una mejora importante en el acabado superficial de las barras.

En fabricación e inspección del montaje de conjuntos combustibles el trabajo se ha focalizado en un control de proceso detallado con un control de las puestas a punto de los equipos de

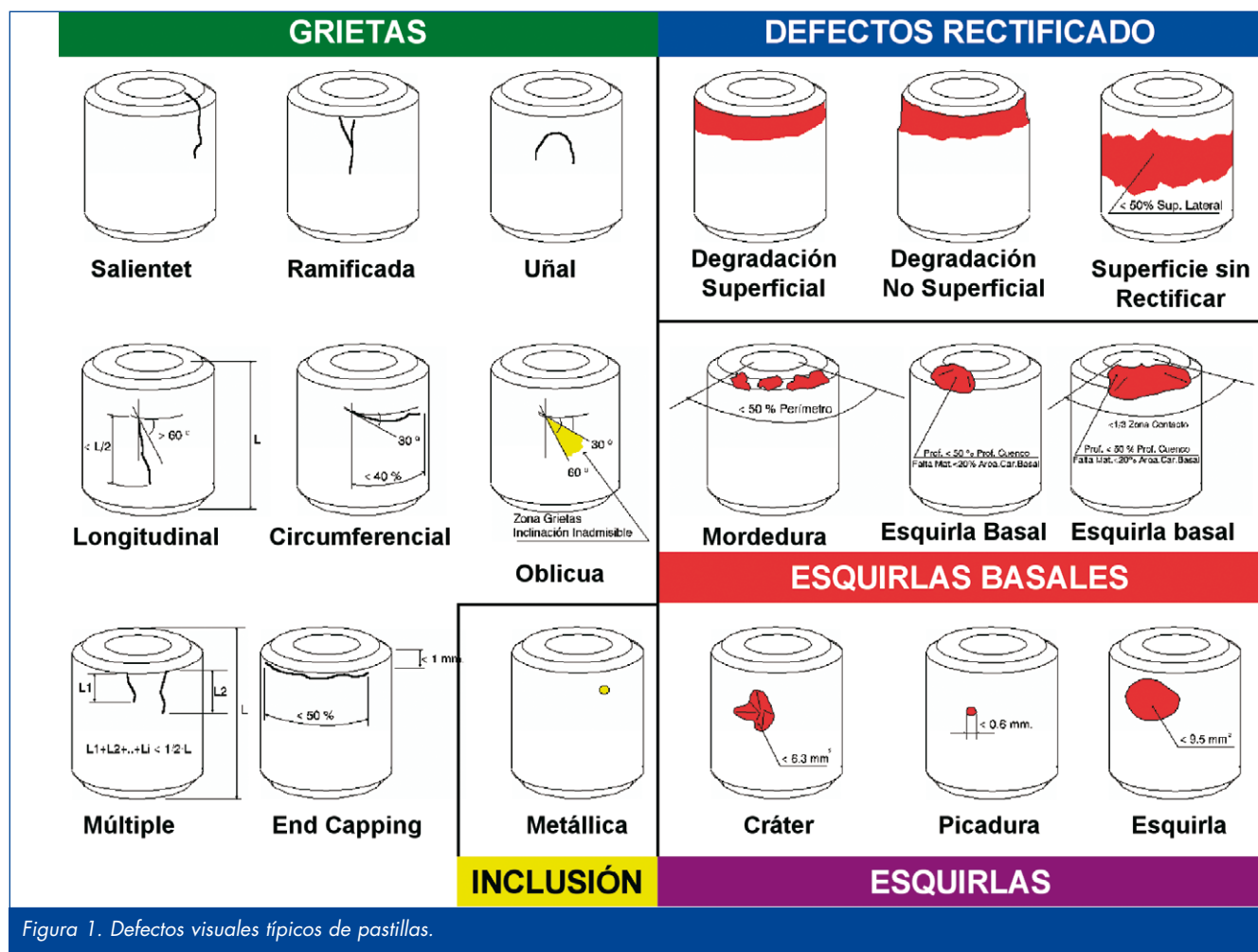


Figura 1. Defectos visuales típicos de pastillas.

montaje y de la alineación de estos. Los equipos de inspección se han mejorado en software (contorno, inclinación, canales) y en los sistemas de iluminación en fabricación e inspección.

PASTILLAS

Entre los equipos y procesos mejorados en el área de pastillas vale la pena destacar los siguientes:

Nueva prensa en UO₂

En la línea tres de fabricación de pastillas se ha incorporado una nueva prensa y la prensa existente se ha utilizado como pre prensa en la línea de gadolinio.

La nueva prensa es mucho más rápida y dispone de un sistema automático de control de la densidad en verde de las pastillas, con lo que se puede controlar mucho mejor el proceso de fabricación, mejorando la calidad y productividad de la línea.

Control de prensas

En la fabricación de las pastillas los parámetros de prensado son los más importantes pues de ellos depende la

calidad final del producto. Un prensado con condiciones deficientes de ajuste de matrices y punzones así como de las presiones de los compensadores puede dar lugar a un gran rechazo por acabado visual en las pastillas rectificadas. También una densidad de prensado (densidad en verde) fuera del objetivo deseado daría lugar a densidades de pastillas rectificadas fuera de límite de especificación con el rechazo total del lote. Por lo tanto el control de proceso de este equipo se centra en estos puntos. Se realiza un control de la densidad en verde por cartas de control con límites determinados para cada mezcla prensada por el ingeniero de proceso. También se realiza un tests de burbuja sumergiendo las pastillas en alcohol lo que permite detectar la presencia de grietas en las pastillas de una forma temprana.

Por último en este área se realiza el control de los punzones que determinan el acabado de las caras laterales de las pastillas, se mide el chaflán y cuenco generado por cada punzón y gracias a las caratas de control realizadas podemos conocer la evolución de estos y substituirlos antes de que se deterioren.

Inspección visual de pastillas automática

Durante la fabricación de Elementos Combustibles en ENUSA, uno de los controles que se realizan a las pastillas combustibles, consiste en la inspección Visual de la Integridad Superficial.

Los defectos principales son faltos de material y grietas, producidas por tensiones mecánicas durante las etapas de fabricación y manipulación. En menor medida pueden aparecer picaduras o inclusiones, así como defectos de rectificado. En la tabla siguiente pueden verse los defectos contemplados y sus dimensiones admisibles.

Esta inspección se realiza a cada pastilla, por lo que resulta una labor tediosa, dado el elevado número de unidades que se fabrican, alrededor de 300 pastillas/minuto. La inspección es también laboriosa, puesto que los defectos admisibles son de pequeñas dimensiones.

Actualmente esta delicada labor se realiza con inspectores cualificados, que inspeccionan bandejas con unas 1500 pastillas, examinando toda su superficie desde diferentes puntos de vista, y retiran manualmente las pastillas

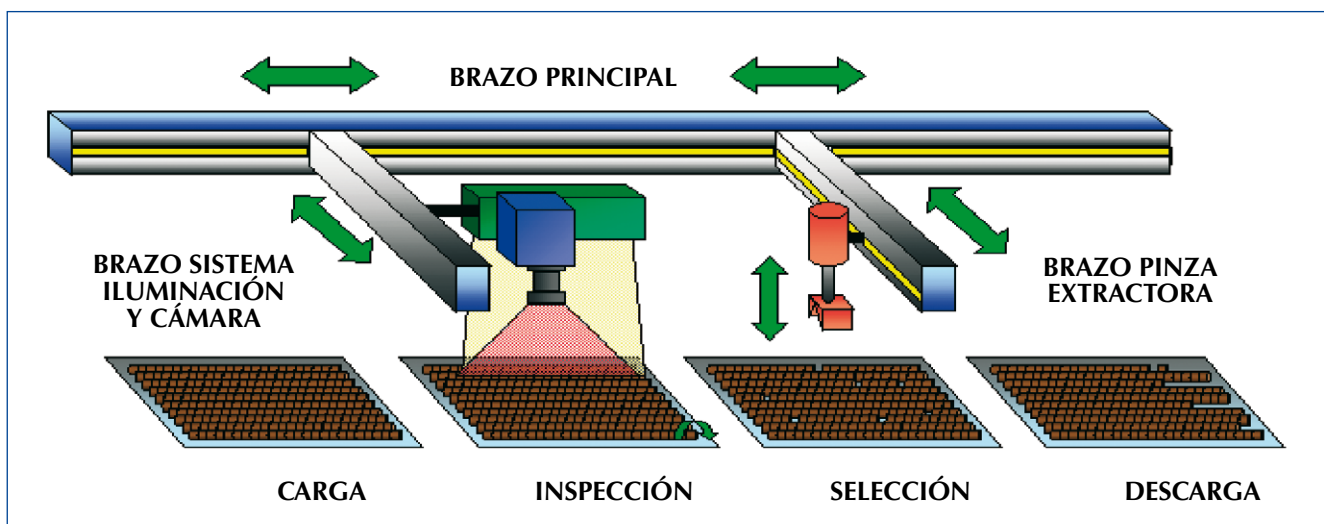


Figura 2. Esquema de la IAP, Inspección automática de pastillas.

rechazables, de acuerdo con los patrones visuales establecidos.

Desde 1999 ENUSA ha instalado y puesto en producción un equipo de Inspección visual automática de pastillas (IAP).

El equipo consta de un área de inspección y una de extracción. Un robot cartesiano con dos brazos gemelos independientes montados sobre un mismo eje se encarga de realizar ambas

labores, de acuerdo con las instrucciones del PC que coordina el sistema.

En el área de inspección se colocan unas 1.500 pastillas, que son giradas por un sistema de rodillos. El sistema de adquisición de imágenes recorre en zigzag la superficie de las pastillas, inspeccionando cada vez grupos de 7 pastillas. Este sistema está formado por una fuente de luz halógena con fibra óptica y una cámara lineal, montados sobre uno de los brazos del robot, y que examinan los niveles de grises de cada generatriz explorada. Mediante el giro de los rodillos se consigue el desarrollo de la superficie de cada pastilla. El PC umbraliza la imagen recibida, identifica defectos, decide la disposición de cada pastilla inspeccionada y memoriza sus coordenadas para la selección posterior.

Simultáneamente a la inspección, en el área anexa se desarrolla la labor de extracción. Sobre las 1500 pastillas previamente inspeccionadas una pinza montada sobre el segundo brazo del robot segrega las pastillas rechazadas, de acuerdo con las coordenadas transmitidas.

Se logra una capacidad de inspección en torno a las 300 pastillas/minuto, suficiente para poder atender una de las Líneas de Rectificado de Pastillas.

Se dispone de un sistema automático de VT, lo que garantiza unos niveles de objetividad que hacen que sea una inspección más robusta que la efectuada por un inspector.

Al ser una máquina no necesita tiempos de adaptación al ambiente, y puede trabajar indefinidamente sin afectar a la calidad de la inspección.

Aporta más información sobre el producto, ya que no sólo da disposición de acuerdo a los límites, sino que clasifica los defectos, dice sus dimensiones, etc.

Presenta unos niveles francamente buenos de error tipo I (α) (1%) y error tipo II (β) (0.5%) comparados con los que puede ofrecer un inspector para este caso concreto de aplicación.

BARRAS COMBUSTIBLES

En la fabricación de barras combustibles nucleares se utiliza un programa de inspección con Tecnología de Ensayos No Destructivos muy estricta para la aceptación del producto. El proceso de fabricación de barras se muestra en el diagrama de la Figura 3.

Los tubos vienen certificados por el suministrador de acuerdo a planes específicos de calidad.

Las soldaduras son TIG con electrodo de W-Th en atmósfera de He. La fuente de alimentación es una Centaur 150 con Soft-Start que nos permite iniciar la soldadura con una tensión reducida con lo conseguimos una estabilidad mucho mayor en el proceso y un menor deterioro de los electrodos. Los parámetros de soldadura están cualificados y permiten un proceso muy estable.

La soldadura del tapón inferior puede ser inspeccionada por Ultrasonidos para controlar su integridad (poros, espesor, falta de penetración, grietas,...) o por Radiografía según sean las especificaciones del producto. Finalmente, se realiza la inspección Dimensional y Visual para controlar aspectos superficiales.

Los tubos aceptados se cargan con pastillas de UO_2 o $\text{UO}_2 + \text{Gd}_2\text{O}_3$ que han sido inspeccionadas en diámetro 100 % por un Micrómetro Láser e inspeccionadas al 100 % visualmente para detección de imperfecciones superficiales.

A continuación, se realiza la soldadura final se presuriza con helio y se

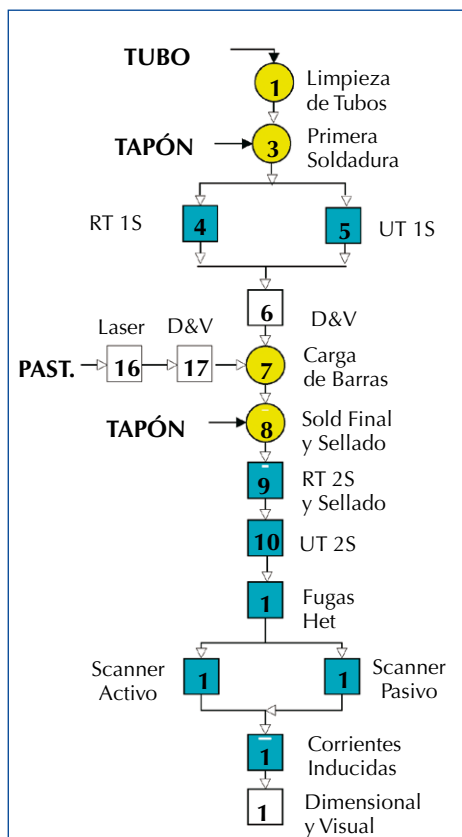


Figura 3. Diagrama de proceso de fabricación de barras.

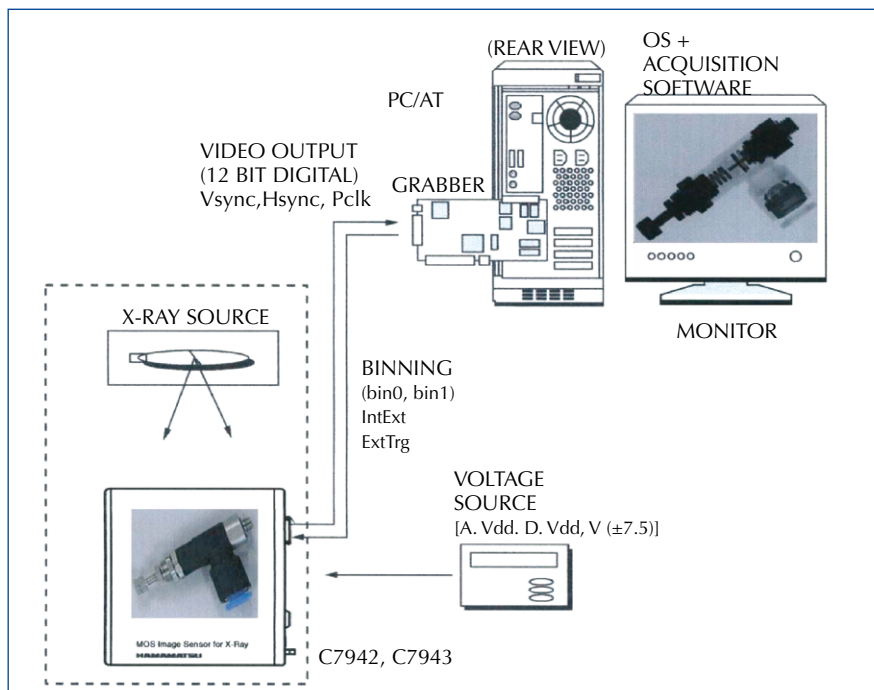


Figura 4. Esquema del equipo de Radiografía Digital.

hace la soldadura de sellado. Posteriormente la barra pasa a la inspección final donde se inspeccionan por Ultrasonidos o Radiografía (al igual que en primera soldadura). Las soldaduras de sellado se inspeccionan por Radiografía a la vez que se inspeccionan las características de soldadura final. Entonces se realiza inspección de Fugas de Helio para controlar la hermeticidad de la barra.

Para controlar las características internas de la barra se emplean dos equipos:

- Scanner Activo para inspeccionar barras de UO_2 , con una fuente de Californio
- Scanner Pasivo con un detector de Gadolinio para inspeccionar barras de $UO_2 + Gd_2O_3$.

Estos equipos controlan longitudes de barra, plenum, y zona de la colum-

na; huecos, contenidos medios de material físil y Gd_2O_3 ; y pastillas desviadas de enriquecimiento y gadolinio.

Finalmente, se realiza la inspección Dimensional y Visual para controlar defectos superficiales en la barra. Un sistema de Corrientes Inducidas se ha incorporado como soporte a la inspección Dimensional y Visual para chequear defectos superficiales como rayaduras e imperfecciones superficiales.

Soldaduras control de proceso

Los procesos de soldadura están cualificados en un rango de parámetros que nos permiten obtener una alta calidad. Estos parámetros se programan en unos equipos con autómatas de control y una fuente de alimentación Centaur 150 que nos garantizan su repetibilidad. Estas fuentes se han modificado incluyendo un sistema SOFT START que permite que la tensión ne-

cesaria para iniciar el arco sea mucho menor y además de reducir las interferencias en alta frecuencia producidas por la fuente elimina el deterioro del electrodo reduciendo la generación de inclusiones de Wolframio desde el electrodo. El sistema de control de la soldadura corta el ciclo de esta al tener cualquier contacto electrodo pieza por lo que se elimina esta fuente de contaminación.

El set up de la máquina se controla por overchecks y por la inspección detallada del primer lote a cada cambio de máquina.

Ensayo de Radiografía

El Ensayo de Radiografía se realiza con un equipo Phillips 320 kV. Se ensayan 25 o 50 soldaduras al mismo tiempo utilizando un bloque corrector. Las películas empleadas son AGFA D2 o KODAK R de muy alta sensibilidad. EL nivel de calidad es ASTM 2-2T con densidades entre 2 y 3. Se realizan dos ó tres exposiciones de las barras girándolas.

Los parámetros de proceso para conseguir los requisitos de calidad se controlan a través del voltaje entre 250 y 265 kV, intensidad sobre 11 mA, tiempo entre 1.2 y 2 minutos y pantalla de plomo para disminuir la radiación indeseable. La calidad de la película se controla 100 % midiendo la densidad y con indicadores de calidad.

La sensibilidad de este método garantiza la detección de poros de aproximadamente 0,25 mm de diámetro, pequeñas inclusiones de wolframio, undercutting, faltas de penetración,

Para controlar el desarrollo del proceso se miden semanalmente el velo (densidad de una exposición), índice de velocidad y contraste y se representan en un gráfico de control.

Actualmente estamos terminando la cualificación de un equipo de radiografía digital, que elimina la placa radiográfica y el proceso de revelado con todos los líquidos y residuos peligrosos generados. Con este sistema conseguimos una importante mejora medioambiental.

El sistema de radiografía digital consiste en un panel con detectores C-MOS de 80 micras. Tamaño que nos permite alcanzar con facilidad los niveles de calidad especificados. La configuración esquemática se presenta en la Figura 04.- Esquema del equipo de Radiografía Digital. En la Figura 05.- Radiografía digital de Defectos PWR se presenta una imagen radiográfica donde podemos ver que el nivel de calidad 2-2T es claramente perceptible y una imagen típica de una soldadura PWR.

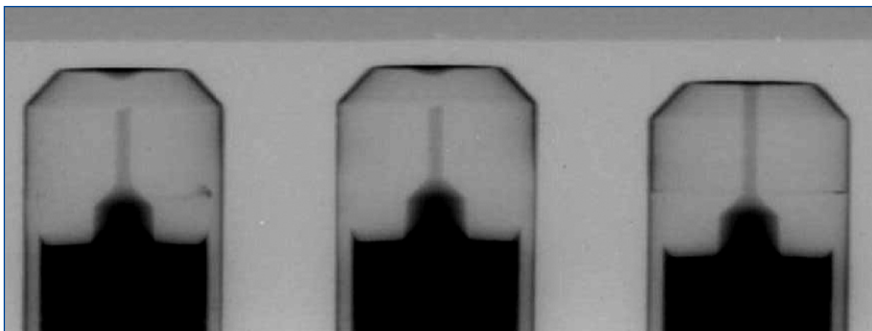


Figura 5. Radiografía Digital de Defectos PWR.

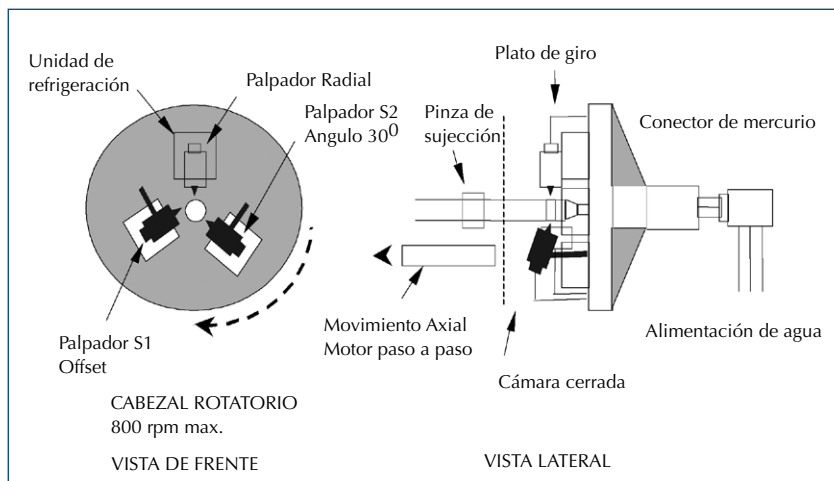


Figura 6. Esquema del equipo de Ultrasonidos.

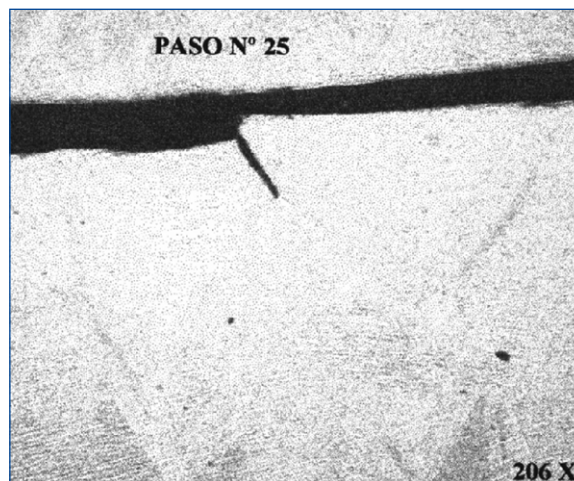


Figura 7. Metalografía de GBS.

En una siguiente fase y gracias a la digitalización de la imagen y a los programas de análisis de imagen procederemos a cualificar la interpretación automática de la radiografía del sellado.

Este sistema nos permite eliminar la subjetividad humana en la interpretación radiográfica, aumentando la fiabilidad del método.

Inspección por Ultrasonidos

El equipo de Ultrasonidos utilizado para inspeccionar soldadura circular consiste básicamente en tres palpadores de 50 MHz de frecuencia montados sobre una cabeza rotatoria. El sistema de UT está electrónicamente sincronizado y obtiene 750 datos por revolución y palpador. Se obtienen ocho imágenes de aproximadamente 100.000 puntos de datos para cada soldadura.

El equipo de Ultrasonidos utilizado para inspeccionar soldadura circular consiste básicamente en tres palpadores de 50 MHz montados sobre una cabeza rotatoria. El sistema de UT está electrónicamente sincronizado y obtiene 750 datos por revolución y palpador. Se obtienen ocho imágenes de aproximadamente 100.000 puntos de datos para cada soldadura.

La cabeza rotatoria, los palpadores y los generadores de alta frecuencia se controlan con un encoder que activa los pulsos del equipo para cubrir todo el volumen de la soldadura. Las señales se tratan electrónicamente con varias tarjetas que envían señales al PC. Después de la recolección de datos, todos los valores se transmiten a una estación VAX donde se representa la configuración de la soldadura en varias imágenes. Imágenes de espesor, tamaño de poro, profundidad de poro, tamaño de grieta (2) y profundidad de grieta (2) son presentadas y evaluadas por el ordenador para obtener la disposición de

la soldadura. Adicionalmente se imprime un informe resumen de la evaluación de la soldadura.

La posición de los palpadores es la siguiente:

- Un palpador en posición perpendicular sobre la soldadura para inspeccionar espesor, porosidad y penetración axial.
- Segundo palpador está desplazado de la posición perpendicular para inspeccionar grietas en dirección longitudinal.
- Un tercer palpador situado a 30 grados con respecto a la dirección perpendicular para inspeccionar grietas en dirección transversal.

Con este equipo se consigue una resolución de 0,05 mm para tamaño de poro, y para espesor y penetración una precisión del orden de 0,005 mm y 0,05 mm respectivamente. La detección de grietas depende básicamente de su orientación, sin embargo, la posición del palpador asegura una alta capacidad de detección de grietas que se forman en esta soldadura.

El sistema de UT se calibra automáticamente y se verifica utilizando patrones con defectos naturales.

Las imágenes típicas de UT de tres palpadores (S1 Amp, S2 Amp y espesor se representan en la Figura 08.- Imágenes de Ultrasonidos).

Actualmente hemos modernizado la electrónica de la adquisición de la señal integrando un sistema MIDAS de Tecnatom que a través de una tarjeta digitalizadora de 500MHz permite tener las señales necesarias y pasar al VAX los mismos datos que daba el sistema anterior para su valoración automática.

En estos momentos estamos en fase de cualificación y desarrollo de un nuevo software sobre PC que permita eliminar el hardware VAX.

Ensayo de Fugas

El equipo de fugas es un detector de fugas de helio por espectrometría de masas con un sistema de bombas de vacío auxiliar. Las barras se introducen en cámaras de acero inoxidable donde se consiguen vacíos mayores de $0,5 \times 10^{-5}$ mbar.

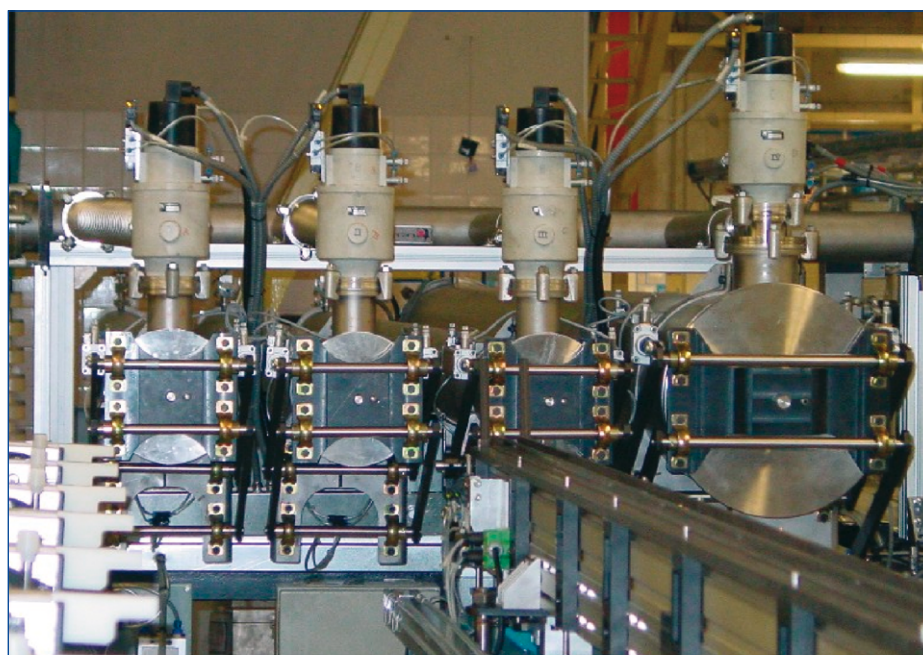
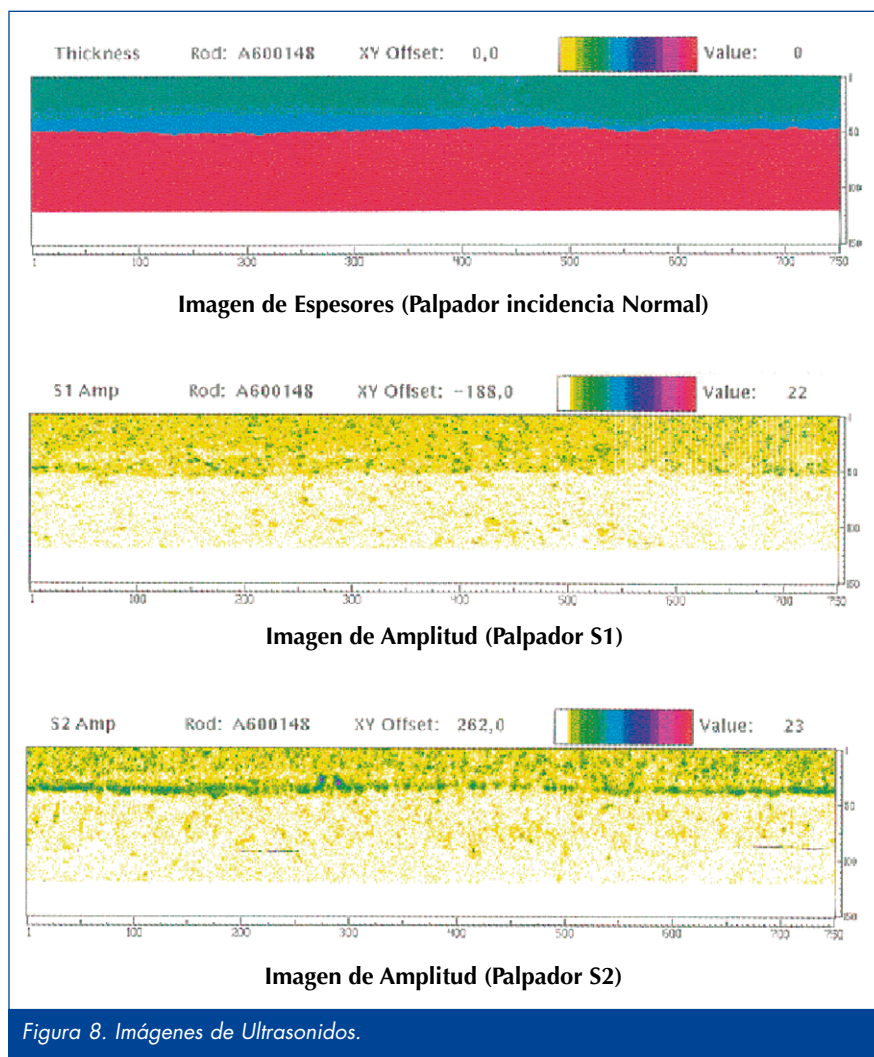
El espectrómetro de masas de helio es un Ultratest UL 500. Está conectado a cuatro cámaras de acero inoxidable donde se ensayan grupos de hasta 24 barras por cámara, excepto en una de las cámaras que pueden ensayarse grupos de 48 barras. Cada cámara se puede aislar para realizar un ensayo individual y discriminar grietas en barras. El sistema auxiliar de vacío está diseñado con bombas rotatorias y difusoras de aceite que son capaces de alcanzar un vacío de $0,5 \times 10^{-5}$ mbar en 30 minutos.

El sistema de fugas es capaz de detectar fugas del orden de 1×10^{-9} mbar x litro/seg. El límite de rechazo para esta inspección se ha fijado en $7,5 \times 10^{-9}$ atm cc/sec.

Desde 2003 tenemos un sistema automático de manejo de barras (Figura 09.- Detección de Fugas, sistema de manejo) que nos permite colocar las barras dentro de las cámaras sin utilizar bandejas y sin la intervención humana.

Scanner Activo

El Scanner Activo consiste principalmente en una fuente de neutrones de 1,8 mg máximo ^{252}Cf y tres detectores de $\text{In}(\text{Ti})$ con cuatro fotomultiplicadores por detector para controlar el contenido físil. Una fuente de Americio de ^{241}Am se emplea para controlar huecos en la columna y longitud de plenum o transmisión gamma. Este sistema está controlado por dos ordenadores que automáticamente calculan



parámetros de inspección de acuerdo al diseño de barra y condiciones básicas del equipo.

La capacidad de detección del sistema para una pastilla desviada individual de 10 mm de longitud es de 15 % relativo al valor nominal con un 95 % de probabilidad y un 95% de nivel de confianza y un falso rechazo menor del 5 %. La precisión para longitud de huecos les del orden de 0.1 mm. La precisión para otros parámetros geométricos (plenum, zonas y longitud de barra) se mueve alrededor de 1.0 mm.

El control de este equipo se realiza con barras patrón, caracterizadas en los defectos a medir, pastillas desviadas, huecos, longitudes etc. Con cada diez pasadas de estos patrones se determinan los parámetros de inspección y estos se verifican que están bien implementados con cartas de control sobre las características deseadas.

Scanner Pasivo y Detectores de Gadolinio

El Scanner Pasivo y los detectores de gadolinio se han desarrollado para controlar variaciones de gadolinio y ^{235}U en barras de gadolinio. Está equipado con 32 detectores de BGO para control de enriquecimiento; un densitómetro de ^{241}Am para controlar plenum y huecos; y un imán con bobina para controlar % de Gd_2O_3 por corrientes inducidas.

El sistema está controlado por un ordenador VAX que procesa todas las señales y genera parámetros de control.

Utilizando velocidad de inspección de 1 m/min, se consiguen las siguientes capacidades:

- Longitud (columna, barra, plenum) 1.0 mm con 95 % confianza.
- Detección de pastilla desviada individual de 10 mm de longitud con 12 % relativo de desviación con respecto al nominal con un 95/95 .
- Detección de una pastilla desviada de gadolinio de 10 mm de longitud con 0.5 de porcentaje de peso de Gadolinio con un 95/95.

El control del scanner pasivo se realiza del mismo modo que el del scanner activo

Inspección por Corrientes Inducidas

Sistema de Corrientes Inducidas para inspeccionar defectos superficiales en la barra. El sistema trabaja a 3Mhz con una caja de alarma y está preparado para detectar rayaduras de 0,10 mm de profundidad y agujeros de 0,5 mm de diámetro y 0,2 mm de profundidad.

El sistema trabaja automáticamente clasificando barras con señales supe-

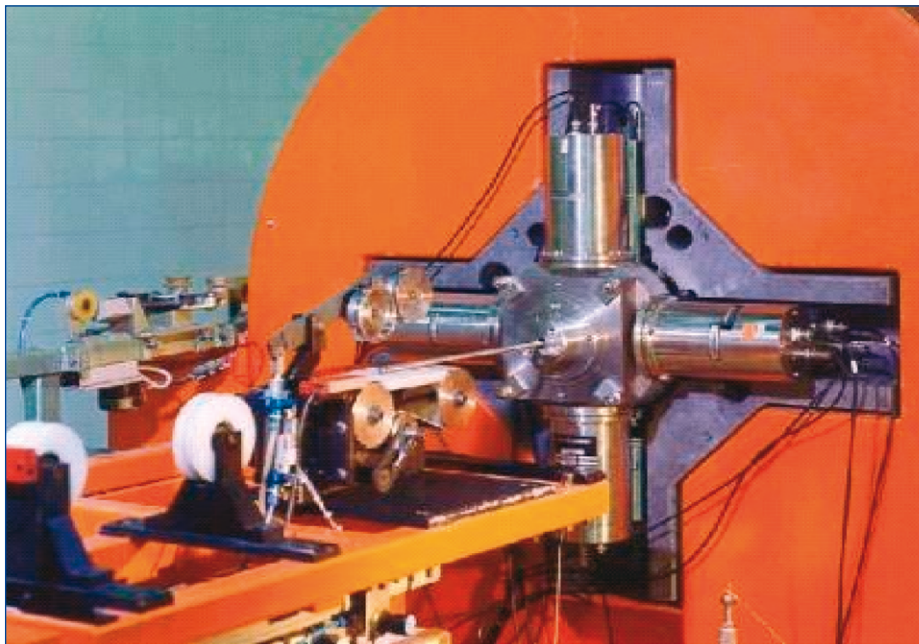


Figura 10. Foto del scanner activo.

riores al límite de rechazo. Esta inspección se emplea como complementaria a la inspección Dimensional y Visual donde todas las indicaciones de corrientes inducidas son revisadas y clasificadas.

Actualmente disponemos de dos equipos, uno por cada mármol de inspección. Un DEFECTOMAT con bobina diferencial colocado en la línea del scanner pasivo y un CIRCOGRAPH con dos sondas rotatorias situado en la línea del scanner activo. Ambos están preparados para detectar el mismo tipo de defectología.

Inspección Dimensional y Visual

La Inspección Dimensional y visual es la inspección más importante en la fabricación de barras. Se ha implementado una inspección detallada empleando iluminación por encima de 600 lux y con orientación especial para evitar brillos. Se emplean patrones visuales para caracterizar profundidad de rayadura y área afectada, coloraciones y defectos de soldadura.

Para asegurar la calidad de la inspección visual se ha implementado un programa de overcheck aleatorio con muestra ciegas a lo largo del proceso de inspección.

MONTAJE

ENUSA no fabrica componentes del conjunto combustible, si exceptuamos los tapones de zircaloy. Estos componentes se fabrican por proveedores cualificados de acuerdo a unas especi-

ficaciones y planos detallados y la calidad de estos se garantiza por un sistema de auditoría y una verificación en la inspección de recepción. En el proceso de montaje en ENUSA mantenemos la funcionalidad de estos componentes.

El ensamblaje de barras para conseguir un elemento combustible consiste en el montaje de un esqueleto en diseños PWR, formado por la unión de los cabezales, tubos guía y rejillas por medio de expansiones. En BWR las rejillas barras de agua y cabezales se montan en el combustible simultáneamente a las barras.

Estos montajes se realizan sobre útiles que permiten la posición correcta de estos componentes, así tenemos el COFAS en diseños BWR y el útil de esqueletos y útil de montaje en PWR. Estos útiles deben estar perfectamente alineados y las posiciones de su set up definidas para permitir un montaje sin problemas.

Una vez montados los elementos combustibles deben verificarse en contorno, canales, dimensional y visual.

Cualificación y Alineación de Útiles

Durante la cualificación de los equipos de montaje se determinan las secuencias de operación para proceder a un montaje sin tensiones. En el montaje de esqueletos se determina la secuencia de las expansiones. Siendo fundamental que al realizar estas la deformación realizada sobre cada tubo guía sea uniforme y por lo tanto que todos los diámetros de expansión estén en el mismo rango reducido. La alineación del equipo de fabricación de esqueletos nos permite garantizar la posición de las rejillas, no solo en dirección axial sino también en dirección radial, garantizando que estas están centradas y sin un giro sobre el plano de referencia.

La cualificación del equipo de montaje final PWR nos permite establecer la secuencia de carga de barras en el elemento. El balance de cargas de interior a exterior y de arriba-abajo, permite que el combustible montado no tenga defectos de torsión o virado debido a las tensiones residuales.

La alineación del cajón soporte con la barras la viga con el esqueleto y el útil tractor permite que el montaje sea suave y se reduzcan posibles interferencias y rayaduras en las barras combustibles.

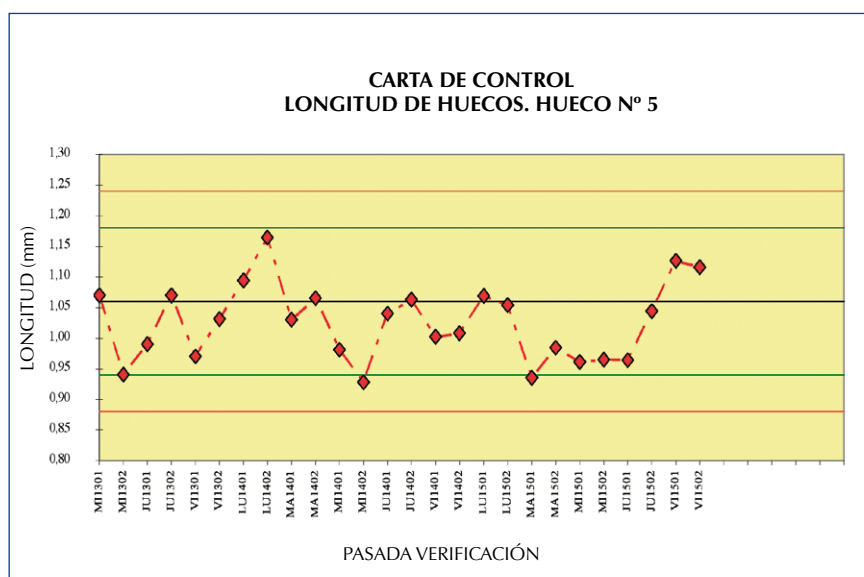


Figura 11. Carta de Control de longitud de plenum.



Figura 12. Datos de Enriquecimiento de barra patrón.

Inspección de inclinación y contorno

El equipo de inspección de contorno se ha actualizado cambiando el software de control y permitiendo a su vez el realizar la determinación automática de la medida de la inclinación del combustible. Figura 16.-Informe de inspección de contorno.

CONCLUSIONES

ENUSA tiene un producto de una gran calidad con el objetivo de que la fiabilidad de sus combustibles en operación sea lo más llevada posible. Para ello en ENUSA se disponen de equipos sofisticados de inspección no destructiva que permiten clasificar y eliminar cualquier defecto del proceso, pero también entendemos que lo más importante es fabricar con calidad, fabricar bien a la primera, para ello hemos implementado un plan de mejora continua con la metodología seis sigma y estamos centrándonos en los controles de procesos, verificando la puesta a punto de los equipos y realizando programas de overcheck que nos permitan mejorar la calidad obtenida.

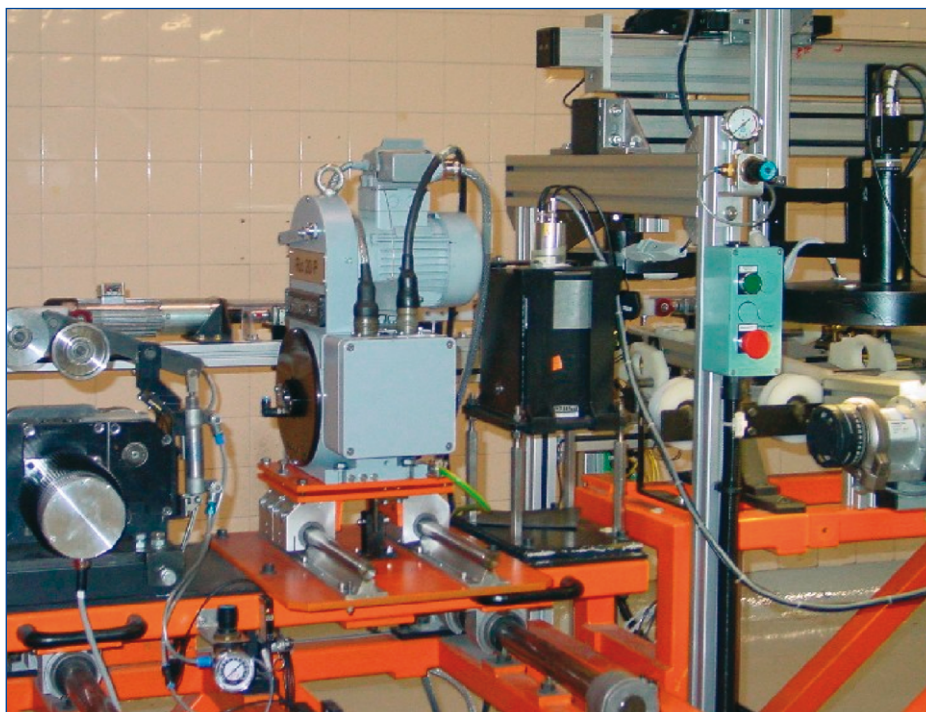


Figura 13. CIRCOGRAPH en scanner activo.



Figura 14. Mármol de inspección.



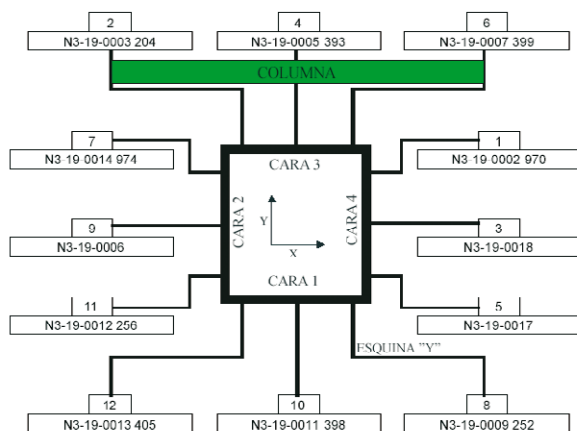
Figura 15. Útil de montaje de combustible.



Fecha Inspección / Inspection Date	06/05/2005 11:29:35
Inspector	ggs
Conjunto Combustible / Fuel Assembly	D4Y12

Producto / Product	Documento / Document	Rev.
COMB107G15	Plano / Drawing	COMB107H03 05
	Especificación / Specification	PRD - 3012/1/TTB 18

Otros documentos / Other documents		
Concepto / Concept	Valor / Value	Rev.
PL-FI	Y10-CC	00



(Criterio signos palpadores: Valor positivo hacia el elemento)
(Sensor sign criterium: Positive value inwards)

Datos del
Palpador
Sensor data

canal
Nº serie

Figura 16. Informe de inspección de contorno.



Antonio M. DOMINGO MOYA es Ingeniero Industrial en la especialidad Química por la U.P. Valencia. Es Quality Engineer por la ASQ (American Society for Quality) y Gestor de los Sistemas de Calidad por la AEC (Asociación Española de Calidad) reconocido como EOQ Quality System Mgr. En el Campo de los Ensayos No Destructivos es Nivel 3 en los métodos de Radiografía, Ultrasonidos, Fugas, Corrientes Inducidas e inspección Visual. Trabaja desde 1985 en ENUSA Industrias Avanzadas S.A. en el campo de la Calidad, actualmente es el Jefe de Ingeniería de Calidad de la fábrica de combustible Nuclear de Juzbado (Salamanca).



José Manuel JIMÉNEZ MIGUEL es Maestro Industrial en la especialidad Mecánica. Trabaja desde 1984 en ENUSA Industrias Avanzadas, S.A. en el campo de la Calidad, más concretamente en el área de los Ensayos No Destructivos. Es Nivel 3 por CERTIAEND en los métodos de Radiografía, Ultrasonidos, Fugas, Corrientes Inducidas e Inspección Visual. En 1994 participó como experto por la AIEA en el Proyecto del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares de México. Colabora como examinador del Organismo de Certificación de la AEND (Asociación Española de Ensayos No Destructivos). Es miembro de la ASNT (American Society for Nondestructive Testing). Actualmente es el Jefe de la Unidad de Producción de Barras Combustibles de la fábrica de combustible Nuclear de Juzbado (Salamanca).