

LA CALIDAD EN LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN

Antonino ROMANO y Felipe AGUIRRE

RESUMEN

El compromiso de Enusa hacia la calidad en el proceso de fabricación se concreta en la aplicación de las tecnologías más avanzadas de control de la calidad de producto utilizando tanto técnicas de inspección no destructivas, como por ejemplo la visión artificial, la radiografía digital y la inspección por ultrasonidos, como mecanismos de control estadístico de parámetros de proceso. Los inspectores de calidad del combustible están certificados por las principales organizaciones de calidad nacionales y reciben formación continua bajo un programa formal que garantiza en cada momento su cualificación. La fiabilidad del proceso de control de calidad se basa en una estrategia que prima la redundancia de los equipos de inspección críticos y la polivalencia del personal de inspección. Además, la mejora en la calidad de fabricación se realiza aplicando sistemáticamente la metodología seis sigma en proyectos de alto valor añadido que integran el conocimiento transversal de la empresa reafirmando la visión empresarial de que el negocio de combustible está basado en la calidad.

SUMMARY

Enusa commitment to quality in the manufacture process materializes in the application of the most advanced product quality control technologies such as not-destructive inspection techniques, like artificial vision, X-Ray or UT inspection, or process parameter statistical control systems. Quality inspectors are trained and certified by the main National Quality Organizations and receive periodic training under a formal company training program that constantly updates their qualification. Fabrication quality control reliability is based on a strategy that prioritizes redundancy of critical inspection equipments and inspection personnel knowledge polyvalency. Furthermore, improvement in fabrication quality is obtained by a systematic application of the six sigma methodology where added value is created in projects integrating crosscutting company knowledge, reinforcing the global company vision that the fuel business is based on quality.

**ANTONINO ROMANO**

es ingeniero nuclear por el Politécnico de Torino y doctor en Ingeniería Nuclear por el Massachusetts Institute of Technology. Es actualmente responsable del Departamento de Calidad de Producto de la fábrica de Juzbado. Experto internacional en combustible nuclear, es autor de más de 50 publicaciones sobre combustible y tecnología nuclear.

**FELIPE AGUIRRE ODIAGA**

es ingeniero Industrial por la ETSIT de Bilbao, Máster en Método de Elementos Finitos por la UNED, Nivel III en RT, VT y Nivel II en UT por la AEND. Es actualmente responsable del Departamento de Operaciones de la fábrica de Juzbado. Es uno de los autores de la patente de la máquina automática de inspección de pastillas y tiene una larga trayectoria en la inspección y fabricación de pastillas.

INTRODUCCIÓN

La calidad de producto es uno de los valores clave de Enusa cuya visión se basa en los pilares fundamentales de seguridad, calidad y capacidad productiva. En el proceso de fabricación de combustible de la fábrica de Juzbado, la calidad ha venido evolucionando desde el control por inspección de producto hasta el control estadístico de proceso, enriqueciéndose con la introducción del proceso de mejora seis sigma.

La innovación tecnológica es la base del desarrollo estratégico de Enusa. En calidad de fabricación esto se traduce en la introducción continua de equipos de inspección más eficaces, más automáticos y menos agresivos sobre el producto en controles estadísticos de proceso mas modernos e integrados y en la actualización sistemática de la formación y la certificación de los inspectores de calidad.

En este artículo, se describe la filosofía del control de calidad de fabricación de Enusa y se analizan las diferentes etapas del proceso de inspección de pastilla, de barras y de montaje de combustible. Además se describe la metodología seis sigma aplicada a la calidad de fabricación.

CONTROLES DE CALIDAD DEL PROCESO CERÁMICO

El proceso cerámico tiene como fin el obtener, a partir de las materias primas, pastillas sinterizadas y rectificadas con unas estrictas tolerancias dimensionales. La calidad de las materias primas es certificada por los propios proveedores, auditados periódicamente y centrados principalmente en garantizar la pureza químico-física del polvo de UO_2 . El polvo de UO_2 , es muestreado adicional-

mente por Enusa para certificar requisitos normativos por las características de la instalación, como son el contenido en humedad y el del isótopo ^{235}U .

El proceso cualificado (ver figura 1) consiste en una mezcla de polvo de UO_2 , polvo de U_3O_8 , polvo de Gd_2O_3 (sólo para las pastillas de Gadolinia) y formador de poros mediante una mezcladora orbital de tornillo sin-fin. Posteriormente se conforma una pastilla en una prensa que a continuación es desmenuzada en un granulador de vaivén. Este polvo granulado es acondicionado añadiéndole en un molino vibratorio un lubricante sólido de manera que se lubrica de forma interna y puede prensarse obteniendo una pastilla en verde. La pastilla en verde es sinterizada posteriormente en hornos de atmósfera controlada conteniendo H_2

principalmente. Finalmente las pastillas son rectificadas al diámetro requerido mediante una rectificadora sin centros.

La calidad del preensado se vigila mediante control de proceso por muestreo sobre la densidad de pastilla preensada. Esta densidad se determina de forma geométrica, a partir de su peso y dimensiones.

En la etapa de prensado se verifica la densidad de la pastilla, obtenida igualmente de manera geométrica. Además, se verifica sistemáticamente la integridad de la pastilla, sumergiendo en alcohol una muestra de producto y verificando la ausencia de burbujas que revelarían la existencia de grietas y anomalías en el prensado.

Tras el sinterizado, se muestrea cada bote de pastillas, y se determina la longitud, diámetro y densidad. Con la diferencia entre los valores obtenidos y esperados se corrigen sistemáticamente las mezclas posteriores.

En el rectificado el diámetro de cada pastilla es medido individualmente por un láser a lo largo de toda su longitud de manera que todas aquellas rechazables son automáticamente segregadas por un mecanismo.

Finalmente cada pastilla debe ser inspeccionada, en su integridad conforme a los patrones visuales establecidos, por inspectores visuales entrenados y cualificados. Además, se dispone desde 2002 de una máquina de inspección automática, la primera instalada en línea dentro de la industria de combustible nuclear (ver figura 2).

Por último, se realiza un muestreo para determinar una serie de análisis físico-químicos en el laboratorio químico de planta, que dispone de varios equipos como un espectrómetro de masa, ICPMS o equipos metalográficos.

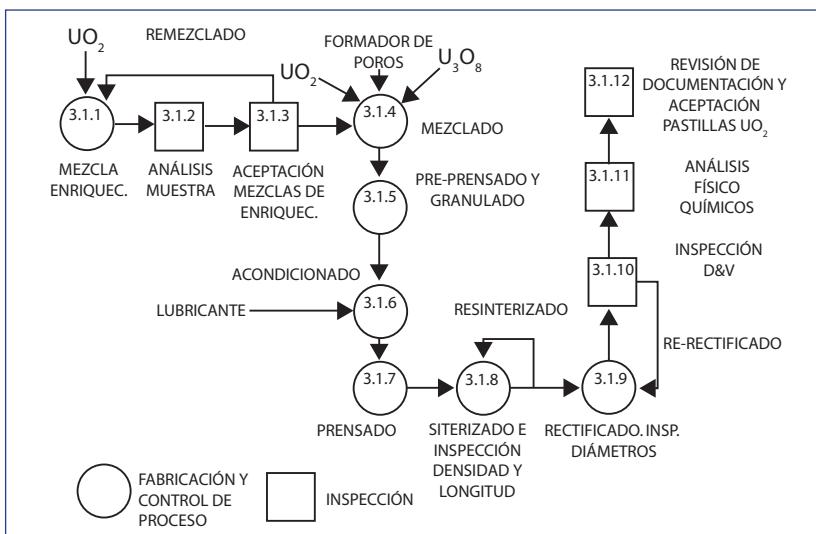


Figura 1. Diagrama de proceso de fabricación cerámica de pastilla.

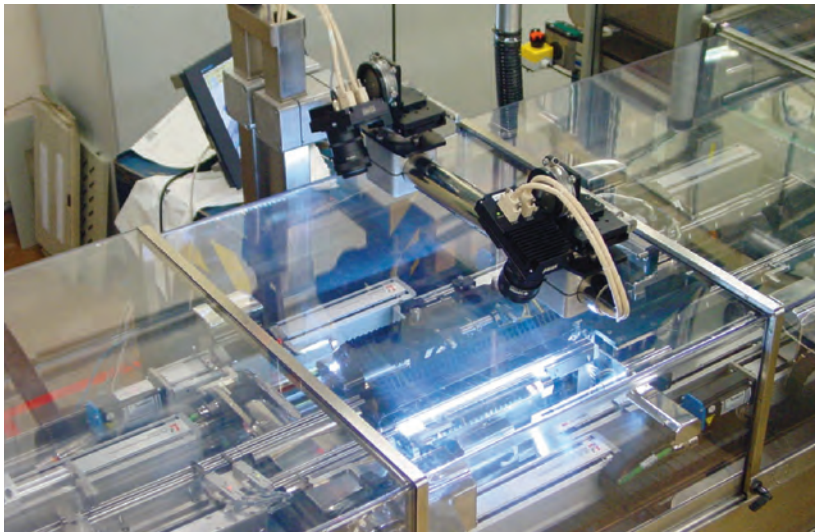


Figura 2. Equipo de inspección visual automática de pastilla.

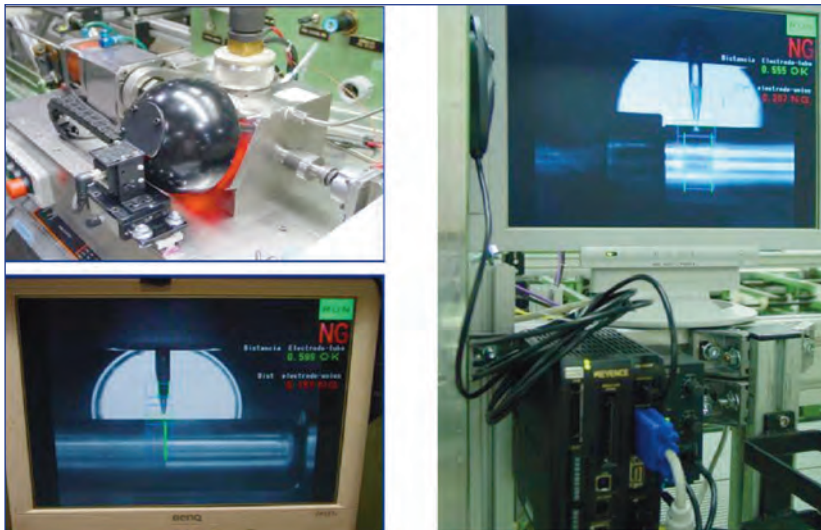


Figura 3. Control de posicionamiento de electrodos por visión artificial.

INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA DE BARRAS COMBUSTIBLE

El control de calidad de las barras combustible se realiza aplicando técnicas de inspección no-destructivas automáticas que controlan la integridad física y química de la barra combustible.

Los principales parámetros de calidad que se controlan son la presencia de defectos superficiales en la vaina, la integridad mecánica y química de la primera y segunda soldadura y la soldadura de sellado, la correcta presurización de la barra, y la geometría y propiedades físicas y nucleares de la columna de pastillas en el tubo combustible.

La calidad de la primera y segunda soldadura (figura 3) se certifica por medio de inspecciones con equipos de ultrasonidos (UT) (figura 4) que determinan la presencia de defectos de hasta fracciones de milímetros y la geometría y el espesor del cordón de soldadura. Además, una vez sellado el tapón superior, su integridad se verifica utilizando

un equipo de Rayos X (RX) digital. Este equipo detecta principalmente la presencia de impurezas en segunda soldadura y la integridad física de la soldadura de sellado (figura 5). Además, la estanquidad de la soldadura de sellado se verifica de forma redundante mediante un equipo de fugas que puede detectar variaciones mínima de presión de helio de la barra.

Los controles estadísticos de proceso de los equipos de soldadura se realizan a través de análisis periódicos de muestras de proceso de presión interna y de corrosión de primera y segunda soldadura.

A continuación las barras pasan por un escáner que por un lado detecta la posible presencia de inclusiones superficiales en el tubo y por otro, determina variaciones puntuales de densidad y de enriquecimiento de la columna de pastilla.

Finalmente, el proceso de inspección de barra termina con una inspección dimensional y visual realizada por inspectores cualificados que analizan la superficie de las barras en búsqueda de defectos superficiales, como entallas o grietas, coloraciones anómalas o defectos de decapado.

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE COMBUSTIBLE DURANTE EL MONTAJE

El proceso de montaje utiliza componentes cuya calidad está certificada, bien sea porque son subproductos fabricados por Enusa, o porque provienen de suministros exteriores, certificados por el propio fabricante y auditados y avalados por otras inspecciones de recepción redundantes.

Para esto se dispone de mármoles de inspección, con un numeroso surtido de calibres especiales, comparadores, reglas, proyector de perfiles, máquina óptica de medición y MMC tridimensional. Entre los controles que se realizan, destacan dos inspecciones visuales en diferentes etapas del proceso de la superficie del producto, para garantizar el cumplimiento de los requisitos, para los diseños PWR se realizan controles dimensionales sobre cada producto destinados a examinar el contorno y en algunos casos la verticalidad del conjunto (figura 6). En otros diseños se mide incluso el espaciado de canales entre las barras del elemento en alturas predefinidas, mediante sondas capacitivas. Para ello se miden secciones prefijadas del elemento con sondas LVDT de alta precisión.

En estos diseños se garantiza que al 100% de los combustibles se les ha realizado prueba funcional de la fuerza de extracción del cabezal superior, la inserción de dispositivos tapón y barras de control, por lo que la operación en central estará libre de fallos asociados a estas características.

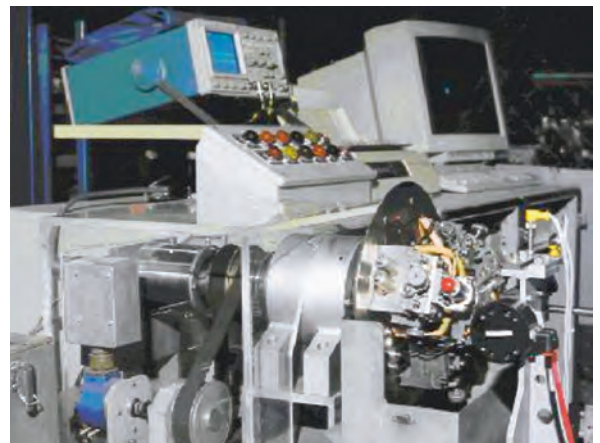


Figura 4. Equipo de inspección por ultrasonidos (UT).



Figura 5. Ejemplo de radiografías de soldadura de sellado de tapón superior.

METODOLOGÍA DE MEJORA CONTINUA DE LA CALIDAD

El desarrollo y el avance tecnológico en el control de calidad por sí solos no son suficientes para garantizar una mejora continua y duradera de la calidad del producto fabricado y en general de los procesos empresariales del negocio de combustible. Por ello, Enusa introdujo hace más de una década un procedimiento de mejora de sus procesos internos basado en la metodología seis sigma. Esta metodología se basa en el protocolo DMAIC y en el uso de cálculos estadísticos rigurosos aplicados a los procesos.

En base a la metodología DMAIC, en un proyecto seis sigma se define un problema a investigar o un proceso a mejorar y se realizan mediciones rigurosas para determinar la situación actual y debilidades del proceso en estudio. Mediante un análisis estadístico se identifican los principales factores críticos involucrados en el problema y se identifican las medidas más efectivas

para implantar la mejora. Finalmente, un proyecto seis sigma termina con una fase de control de la efectividad de las medidas introducidas.

La aplicación de la metodología seis sigma en calidad de fabricación se concreta en el control sistemático de indicadores de calidad estadísticos en cada área del proceso productivo. Estos indicadores miden la efectividad del proceso de fabricación comparando el número de errores realizado con el número total de errores potenciales de cada etapa del proceso de fabricación. Esta comparación se traduce en un indicador calculado en unidades sigma: seis sigma identifica la excelencia en calidad y es el objetivo a largo plazo de los procesos de fabricación.

CONCLUSIONES

La estrategia a futuro de la fabricación de combustible de Enusa prioriza la calidad de producto en todos los ámbitos del proceso productivo. La calidad del producto se garantiza mediante una combinación de controles de las pro-



Figura 6. Equipo de contorno de conjunto combustible.

piedades críticas del combustible, inspecciones manuales y automáticas, utilizando equipos de últimas generación de ensayos no destructivos, y análisis estadísticos de parámetros de proceso.

El proceso de inspección combina la aplicación de equipos automáticos, como UT, rayos X o corrientes inducidas e inspecciones visuales y dimensionales realizadas por inspectores cualificados y certificados, cuya formación se renueva anualmente dentro de un programa de entrenamiento formalizado en los procesos corporativos de la empresa.

La innovación tecnológica es un elemento de distinción de Enusa así como la mejora continua que se aplica a todos los procesos operativos a través de la metodología seis sigma. ■

CONVOCATORIAS 2010

Congresos, Cursos y Reuniones

20 SEPTIEMBRE
VALENCIA, ESPAÑA

ESPECIALISTA PROFESIONAL EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN INSTALACIONES RADIATIVAS Y NUCLEARES. ESPECIALISTA UNIVERSITARIO EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN INSTALACIONES RADIATIVAS Y NUCLEARES

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA y TITANIA
<http://especialistapr.blogs.upv.es>
especialistapr@upv.es

20 SEPTIEMBRE – 3 DICIEMBRE
SACLAY, FRANCIA

2010 INTERNATIONAL SCHOOL IN NUCLEAR ENGINEERING
CEA, INSTN, ENEN
<http://www-instn.cea.fr>

6-8 OCTUBRE
SANTIAGO DE COMPOSTELA,
ESPAÑA

36ª REUNIÓN ANUAL DE LA SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA
SNE
<http://www.reunionanualsne.es/>

2 – 3 NOVIEMBRE
PENRITH, CUMBRIA,
REINO UNIDO

UK DECOMMISSIONING & WASTE MANAGEMENT 2010
NUCLEAR INSTITUTE
Info: <http://ukdwm10.nuclearinst.com/ibis/ukdwm10/home>