

LA FÁBRICA DE JUZBADO: UNA RESPUESTA A LOS RETOS DEL MERCADO DE FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE

INTRODUCCIÓN

La Fábrica de Juzbado (Salamanca) propiedad de la Empresa Nacional del Uranio, S.A. (ENUSA) inició sus actividades en el año 85. En ese momento los productos a fabricar eran en combustible PWR, 17x17 Standard y en BWR, GE-7, con matriz 8x8, tubos "non-barrier".

Las características principales de la Fábrica en aquel entonces eran:

- Líneas de fabricación cerámica independientes para procesos PWR y BWR
- Dos tipos de polvo diferentes: ADU e IDR
- Procesos diferentes de soldadura, carga de barras y montaje final
- Gestión manual de la trazabilidad y tratamiento de datos.

Durante los años siguientes, de acuerdo con la demanda del mercado, la Fábrica de Juzbado fue acometiendo la fabricación de los diferentes tipos de combustible:

PWR (17x17 STD, 17x17 OFA, 14x14 HIPAR) y BWR (GE-7, con matriz 8x8, tubos "barrier" y "non-barrier", GE-8, con matriz 8x8, tubos "barrier").

La continua evolución en el diseño de los elementos combustibles, la realidad de trabajar con 2 tecnologías y la dimensión de la Fábrica, creaban dificultades en un mercado tan competitivo.

ENUSA aceptó el desafío y se preparó para ofrecer los productos más avanza-

dos dentro de la más alta fiabilidad e incrementar el valor añadido en su proceso de fabricación. Todo ello mediante un programa formativo y de inversiones, que aprovechando el conocimiento de las 2 tecnologías, permitiera la flexibilidad de sus procesos y equipos, mejorando la calidad de su fabricación y su producto.

ENUSA, en estos últimos años, ha trabajado junto con sus socios tecnológicos W y GE, [así como con empresas japonesas de fabricación de combustible] en la revisión de sus sistemas, equipos y procesos, aplicados a la Fábrica de Juzbado. Esta revisión ha permitido conseguir una fábrica de alta capacidad tecnológica manteniendo la flexibilidad y dinamismo de una pequeña fábrica volcada en un servicio personalizado al cliente.

Los principales desarrollos realizados en estos últimos años se resumen a continuación.

ÁREA CERÁMICA

FABRICACIÓN DE PASTILLAS UO₂

El polvo ADU o IDR era utilizado de acuerdo con los requisitos de su especificación sinterizándose en atmósfera de hidrógeno húmedo o seco y rectificándose en húmedo o seco dependiendo del tipo de polvo a utilizar.

De esta situación en los últimos años se ha conseguido la total intercambiabilidad de las líneas para poder procesar polvo ADU o IDR, en cada una de las 3 líneas de producción cerámica.

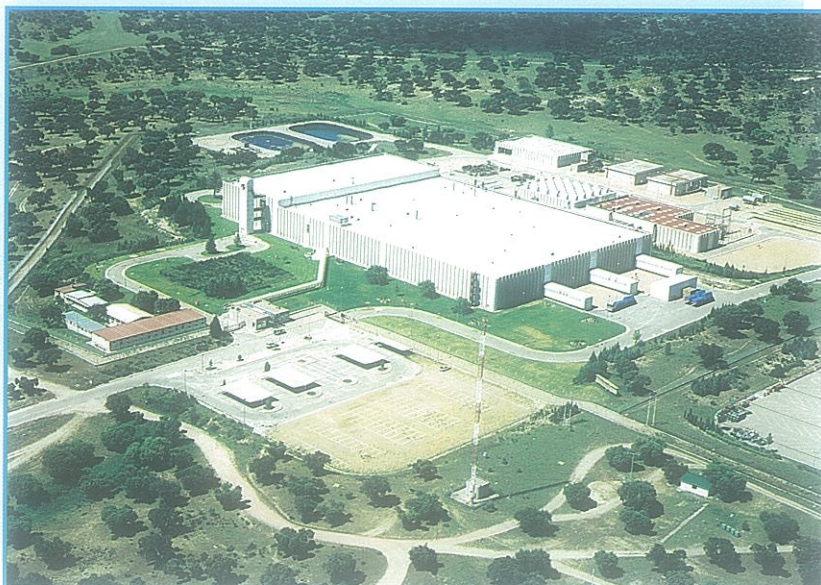
Para ello se han unificado los equipos de mezclado y preensado, obteniendo una homogeneidad de resultados, una normalización del proceso y una mejora en el sistema de alimentación, que ha conseguido reducir mantenimiento y homogeneizar las características de los lotes.

Las prensas han sido dotadas con robots que incorporan los siguientes mecanismos:

- Sistema de transferencia de pastillas a la zona de pinzado.
- Sistema de transferencia de componentes del pallet de transporte (base de inoxidable, faldón lateral de inoxidable y placas de molibdeno).
- Estación de llenado de placas compuesta de base de sujeción de placa a llenar con control de alabeo, brazo robot cartesiano de tres ejes, pinza de trabajo.
- Sistema de transporte de pallets hacia sinterizado.
- Báscula de pesado de botes llenos con impresión de peso.
- Cerramiento bajo depresión.

Los hornos de sinterizado pueden trabajar en seco y húmedo, se ha instalado un

FI - Vista general de la Fábrica de Elementos Combustibles de ENUSA en Juzbado (Salamanca)



cuarto horno con el fin de evitar cuellos de botella en la fabricación.

Los hornos incorporan un sistema de captación de datos con las siguientes características:

- PLC de última generación que incorpora, además de las funciones de automatización del horno, funciones de conversión analógico digital de los parámetros del horno.
- Parámetros que se controlan:
 - Temperatura de las dos zonas de precalentamiento
 - Temperatura de las cuatro zonas de sinterizado
 - Grado de humidificación del hidrogeno
 - Caudal de hidrogeno al horno
- Captación de datos ajustable entre 0,1 y 10 minutos
- PC dedicado para el tratamiento local de los datos
- Salida de datos hacia el ordenador central para su almacenamiento y tratamiento posterior.
- Sistema de control de botes en el horno mediante lector de código de barras, control de la fila de botes en entrada y sincronización con la hora de apertura y cierre de puertas.

Las rectificadoras se han unificado a seco y procesan tanto polvo ADU como IDR, eliminando la generación de lodos.

El control de fabricación de pastillas se realiza mediante ordenador con entrada de datos e información sobre los procesos en tiempo real,

aplicándose control estadístico de proceso en las etapas de preensado, prensado y rectificado.

INSPECCIÓN DE PASTILLAS

Control de Porosidad

Debido a los requisitos en el control de porosidad de pastillas, ENUSA ha instalado en sus laboratorios una unidad para el análisis de imagen en pastillas. Mediante este nuevo equipo basado en técnicas de análisis computarizado de imagen, se controla, en las pastillas, la distribución de su tamaño de poros por medio de pantalla e impresora gráfica.

Robot Medidor de Densidad

De un control manual a la salida de los hornos se ha pasado a un manipulador mecánico, que alimentándose con una serie de pastillas, va tomándolas una a una, midiendo su peso mediante una balanza, su longitud y diámetro en una serie de puntos mediante un láser. El equipo graba los datos y recoge la trazabilidad del producto. El funcionamiento es totalmente automático, encargándose el robot de pedir y comprobar las verificaciones asignadas. Con él se logra una gran rapidez de medida, repetibilidad, precisión y posibilidad de conocer la disposición de producto en tiempo real.

Control de Diámetros

El control del diámetro de pastillas, se realizaba mediante el control estadístico de proceso, por muestreo, en tiempo real.

Esta técnica se ha sustituido por un control automatizado en la línea de pastillas al 100%. El sistema comprende un micrómetro láser que realiza 35 mediciones del diámetro de cada pastilla, comparando los valores máximos y mínimos con los límites establecidos en el plano, un ordenador y su automatismo de control.

El sistema tiene un mecanismo que expulsa automáticamente las pastillas fuera de tolerancia, y dispone de un sistema informático asociado que recoge la información de los diámetros de las pastillas, representándola sobre pantalla y enviándola al sistema informático central como registro traceable.

FABRICACIÓN DE BARRAS

FABRICACIÓN DE TAPONES

Complementando el primer torno de control numérico, se ha instalado, un segundo torno más avanzado para atender la demanda anual que requiere la fábrica. La capacidad de fabricación de tapones ha permitido optimizar su diseño, consiguiendo la flexibilidad necesaria para adaptar la geometría del tapón al proceso de soldadura.

Para el control de calidad de los tapones se ha incorporado un equipo automático de inspección por visión artificial, al control automático de los requisitos geométricos de plano, por cada diferente diseño de tapón.

CARGA DE BARRAS BWR

Se ha puesto en servicio una segunda línea de carga de 25 tubos, aumentando la productividad y la calidad del producto, al automatizar la introducción de las pastillas por vibración en lugar de realizarlo manualmente.

PROCESO DE SOLDADURA Y SELLADO

ENUSA ha realizado un gran esfuerzo, en los últimos años, para garantizar la hermeticidad en la fabricación de barras. Para ello, junto con sus socios tecnológicos, ha revisado todos sus procesos, renovando sus equipos de acuerdo con las recomendaciones procedentes de estas revisiones.

De los equipos más importantes está la incorporación de analizadores de oxígeno en todos las estaciones de soldadura. Este equipo elimina los problemas de corrosión en soldadura debido a la contaminación por aire, al controlar el nitrógeno en cámara de soldadura a través del oxígeno, con niveles inferiores a 10 ppm en un 100% del producto.

Asimismo, todas las estaciones de soldadura incorporan un sistema automático de registro de voltaje e intensidad, obteniendo datos cada 3 milisegundos y estableciendo límites para un estricto control de proceso en tiempo real.

INSPECCIÓN DE BARRAS

Equipo de Ultrasonidos

El equipo de ultrasonidos con tres palpadores, instalado recientemente, es una mejora significativa con respecto al anterior de dos palpadores, pues el uso de un tercer palpador de 50 Mhz con posibilidad de modificar el ángulo de incidencia y el desplazamiento permite aumentar la capacidad de detectabilidad de grietas en soldadura.

El equipo está provisto de un PC, una unidad VAX-station y un autómatas que permite realizar la evaluación automática completa de una soldadura en 40 segundos, dando lugar a un aumento de productividad del 50% sobre el dos palpadores. El equipo guarda las imágenes de la soldadura provenientes de los tres palpadores para posterior evaluación y estudio, permitiendo realizar las soldaduras con nuevos límites a posteriori. Adicionalmente y complementando la inspección

FII - Fábrica de Juzbado. Fabricación de pastillas de óxido de uranio



por ultrasonidos, ENUSA mantiene la inspección por Rayos-X, para controlar aquellos defectos difícilmente localizables por U.T.

En este momento ENUSA está trabajando en la adaptación del equipo de inspección por U.T. para el control de soldaduras PWR.

Gamma Scanner

En relación con el equipo GAMMA-SCANNER (control del enriquecimiento en la barra combustible) ENUSA ha puesto en marcha las mejores y más avanzadas técnicas que permitan una mayor capacidad de detección y una mayor versatilidad y rendimiento.

Para ello, ha modificado el sistema de detección, pasando de 2 a 3 detectores de INA y de 8 a 12 fotomultiplicadores, mejorando y adaptando el sistema electrónico e informático asociado.

Corrientes inducidas para Calidad Superficial

Se ha incorporado en los equipos de inspección final de barras combustibles un detector de corrientes inducidas que trabaja con una bobina diferencial a elevada frecuencia (del orden de 3 Mhz) con el objeto de detectar defectos superficiales en las barras de combustible. Permite detectar defectos tales como rayaduras (longitudinales y transversales) y picaduras o taladros de dimensiones consideradas críticas. La velocidad de inspección no está limitada por sí mismo y depende del sistema de transporte que lo maneja. Se obtienen registros gráficos de cada barra y conectado a un PC graba la señal digital para futuras revisiones.

MONTAJE FINAL

FABRICACIÓN DE ESQUELETOS PWR

ENUSA ha diseñado, construido y cualificado nuevos equipos de fabricación de esqueletos con sistemas inteligentes y de control de posición por sistema CNC capaz de generar diferentes programas para cada tipo de esqueletos (esqueletos de diferente longitud, matriz y posicionado de rejillas).

FABRICACIÓN DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES PWR

ENUSA en estos últimos años ha cambiado sus equipos de montaje, por equipos con sistemas inteligentes controlados por CNC (Sistema de Control Numérico), motores BRUSHLESS de C.C. y movimiento por "tuerca/husillo-sin fin", que realizan automáticamente la secuencia de carga programada, disminuyendo las vibraciones de las barras durante su introducción en el esqueleto y controlando los esfuerzos durante la carga.

INSPECCIÓN DE CONTORNO PWR

Este sistema se ha equipado con la última generación de PLC's CNC's, sin elementos de control electromecánico, además de software de control SCADA en el ordenador local y comunicación con el ordenador central, para la transferencia de ordenes de trabajo y procedimientos de inspección por cada tipo de combustible.

FABRICACIÓN DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES BWR

Este equipo garantiza la calidad y fiabilidad en el manejo e introducción de barras para el montaje del Elemento Combustible BWR. El equipo incorpora un avanzado PLC, así como controles de posición por CNC, programa de trabajo sobre WINDOWS, pantalla táctil para diálogo interactivo con el operador, ordenador local, capacidad de identificación de cada barra, posicionado automático de las barras en 3 coordenadas y capacidad de carga automática para diferentes longitudes de barra. El equipo está conectado con el sistema informático central, estableciéndose una comunicación para el control del estado de las barras a procesar y su registro.

MANEJO AUTOMÁTICO DE BARRAS

ENUSA ha desarrollado y puesto en servicio un sistema para el manejo automático de barras que ha permitido aumentar la calidad de las barras.

En la Línea BWR se sigue manteniendo el manejo de barras mediante bandejas. Las barras se transportan de una estación a otra en 3 tipos diferentes de bandejas, realizándose automáticamente la carga y descarga de las barras de los 3 diferentes tipos.

En la Línea PWR, tanto los tubos como las barras se transportan mediante transportadores continuos horizontales, con entrada y salida automática a los equipos y sin necesidad de bandejas transportadoras. Además se han unificado las líneas de 1ª soldadura PWR y tubo guía para poder atender tanto una mayor producción, como a diferentes diseños, al mismo tiempo.

FABRICACIÓN DE BARRAS DE GADOLINIO

ENUSA desde Julio del año 95, ha puesto en marcha una nueva línea para la fabricación de

barras de gadolinio, tanto para proyectos PWR como BWR.

Las instalaciones para la fabricación de barras de gadolinio se han localizado en un área de nueva construcción, dentro de la nave principal de fabricación, con acceso de materiales y personas totalmente independientes del resto de las áreas de fabricación cerámica.

La planta de fabricación de barras de gadolinio procesa polvo de óxido de uranio IDR e incorpora todas las mejoras realizadas en estos últimos años en la fábrica de Juzbado, tanto en sus sistemas y procesos, como en sus equipos.

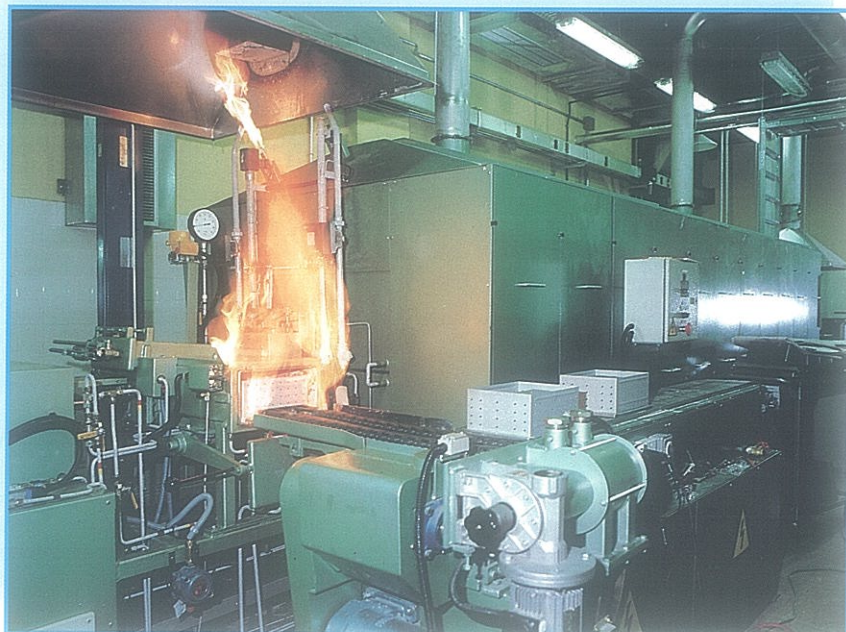
Esta nueva línea incluye todos los procesos de fabricación necesarios, desde la recepción de polvo de óxido de uranio, y de gadolinio, hasta la presurización y sellado final de las barras combustibles.

En la planta se localiza también un área de clasificación y embidonado de residuos generados en el proceso de fabricación, con objeto de independizar el tratamiento de residuos del área cerámica de UO₂.

Como parte de la fabricación de barras de gadolinio, se incluyen los equipos de ensayo no destructivo relativos al control de contenido y homogeneidad del óxido de gadolinio en polvo mediante un equipo de fluorescencia de Rayos-X. Para la inspección de barras de Gadolinio se utiliza un Explorador Gamma Pasivo, este equipo está compuesto por un densitómetro consistente en una fuente de Am-131 y un detector gamma del que se obtienen las medidas de huecos entre pastillas y longitud de plenum y para combustible. Seguidamente tiene el detector de U-235 consistente en 32 detectores gamma del tipo BGO conectados en serie, con esta parte se mide el enriquecimiento en la columna combustible y la presencia de pastillas desviadas en U-235.

Por último el equipo se completa por un detector de corrientes inducidas en un campo magnético creado con un imán permanente. Con este

FIII - Fábrica de Juzbado. Homo de sinterizado



F IV - Fábrica de Juzbado. Torno de tapones.



equipo se mide el contenido en gadolinio de la columna combustible y las pastillas desviadas en Gd. también tiene capacidad para detectar pastillas rotas, variaciones en diámetro y en densidad.

Con objeto de mantener una total independencia entre las áreas de fabricación cerámica de UO_2 y de Gd_2O_3 , la zona nueva ha sido diseñada con servicios independientes. Disponiendo de sala de máquinas, instalaciones de ventilación y aire acondicionado, vestuarios propios, y definiéndose un movimiento de materiales, que garantiza la imposibilidad de retorno hacia el área de UO_2 .

PLANTAS PILOTO

Para las actividades de desarrollo de nuevos procesos y el estudio de nuevos productos, se han instalado 2 nuevas plantas piloto; una para fabricación de pastillas y otra para soldadura de barras e inspección por ultrasonidos.

Mediante estas plantas piloto, ENUSA puede realizar actividades de investigación y desarrollo en sus procesos y productos, sin interferir en las actividades de fabricación.

SISTEMAS INFORMÁTICOS

En estos años ENUSA ha desarrollado su propio sistema informático de control. ENUSA ha adoptado un sistema que unifica su utilización para combustible, tanto PWR como BWR.

El proyecto PATMAN (Proyecto de Automatización de la Trazabilidad y control del Material Nuclear) gestiona la fabricación desde la recepción del Óxido de Uranio y diferentes compo-

nentes, hasta el envío del Elemento Combustible.

El proyecto recoge y gestiona, en tiempo real, la información generada en todos los puestos de trabajo de la Fábrica donde se maneja material nuclear o componentes, controlándose en cada fase del proceso que el producto está liberado de las etapas de fabricación anteriores. Dependiendo de los programas, el sistema gestiona estos datos según las diferentes necesidades, tales como:

- Control de Material Nuclear
- Salvaguardias
- Control de la producción
- Control de la Calidad de pastillas, barras y Elementos Combustibles

- Control de Recepción de polvo de UO_2 y componentes
- Trazabilidad
- Documentación de envío
- Gestión de trazabilidad de componentes
- Control y trazabilidad de calibres e instrumentos de control

Una de las aplicaciones del programa informático es la información periódica a enviar a EURATOM. Esta información se suministra una hora después de ser solicitada. Juzbado ha sido la primera fábrica europea capaz de enviar la información por línea telefónica utilizando un programa JIP compatible desarrollado por EURATOM.

Entre otras ventajas, el sistema PATMAN permite la reducción del inventario y preinventario, la transmisión de datos al instante de las oficinas técnicas al taller, el seguimiento en tiempo real del proceso de fabricación e inspección, tanto desde la Fábrica de Juzbado como desde las oficinas de ingeniería en Madrid y envío de listas de planos, especificaciones y materiales desde Madrid a Juzbado.

ACTIVIDADES DE I+D

ENUSA en su afán de incorporar técnicas avanzadas a la fabricación e inspección de elementos combustibles, está trabajando para, buscar nuevas tecnologías de fabricación y de ensayos no destructivos e incorporar la robótica y la automatización a sus procesos.

En este doble compromiso, se han diseñado 4 proyectos para su aplicación, en un futuro cercano, a la Fábrica de Juzbado. Estos proyectos son:

APLICACIÓN DE LA VISIÓN ARTIFICIAL A LA INSPECCIÓN SUPERFICIAL DE PASTILLAS DE UO_2

Con este proyecto se pretende evaluar la capacidad de la técnica de visión artificial para la detección de defectos superficiales, mediante la ejecución de un prototipo que permita su aplicación en condiciones reales.

El proyecto permitirá:

- Adaptar la capacidad de captación de imágenes a las condiciones de reflexión de la pastilla a inspeccionar.
- Definir una iluminación capaz de matizar, para su captación por las cámaras, los diferentes tipos de defectos que presentan aspectos diferentes de profundidad, anchura, superficie y rugosidad.
- Conseguir procesar las imágenes y tomar decisiones de aceptación y rechazo, incluyendo la expulsión de pastillas rechazadas.

APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LÁSER A LA SOLDADURA TUBO/TAPÓN EN BARRAS COMBUSTIBLES

Este proyecto pretende evaluar las ventajas que presenta el haz láser de Nd:YAG de concentración y control de la energía aportada por el rayo láser mediante, la ejecución de ensayos en una estación piloto de soldadura construida al efecto.

El proyecto permitirá evaluar:

- La capacidad del haz láser para conseguir la suficiente penetración transversal de la soldadura.
- La capacidad de trabajar con altas energías y a altas presiones de cámara sin que se produzca plasma en torno al haz láser.
- La obtención de un rendimiento de calidad y de producción similar o superior al de la tecnología TIG.

SOLDADURA CIRCULAR TIG A ALTAS PRESIONES

El proyecto en curso pretende buscar técnicas de colimación y concentración del arco en la soldadura TIG que permitan disminuir las dimensiones del haz y el volumen de la masa fundida para que el proceso de solidificación pueda realizarse a altas presiones interiores en la barra.

INCORPORACIÓN DE LA ROBÓTICA Y AUTOMATIZACIÓN A LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN

Este proyecto pretende buscar la aplicabilidad de robots y manipuladores comerciales a los procesos de manutención, paletización y ensamblaje utilizados en la fabricación de elementos combustibles.

El proyecto se ha iniciado con la ejecución de un prototipo para paletizar el contenedor de pastillas utilizado en el sinterizado de las pastillas prensadas.

Dicho proyecto continuará en los próximos años buscando la aplicación de robots y manipuladores comerciales a las fases de fabricación relativas al Montaje del Elemento Combustible.

GESTIÓN DE CALIDAD

Como complemento a su Programa de Garantía

FABRICACIÓN DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

Acumulado a 31 Octubre 1997

PRODUCCIÓN ACUMULADA (t U)

2.021

NÚMERO DE ELEMENTOS

PWR			BWR	
17 x 17	12 ft	2.664	8 x 8	1.594
17 x 17	14 ft	251	9 x 9	1.348
14 x 14		114	10 x 10	302
15 x 15		92	TOTAL	3.244
TOTAL		3.121		

de Calidad, ENUSA inició a partir de 1990, un proceso de mejora permanente de calidad. Como consecuencia de la aplicación de dicho proceso se materializan las áreas de actuación que podemos clasificar en las siguientes:

CERTIFICACIÓN ISO 9001

Los sistemas de garantía de calidad de ENUSA están aprobados por clientes y organismos reguladores de España, Francia, Alemania, Bélgica, Suecia y Finlandia, así como por General Electric y Westinghouse.

Dichos sistemas fueron adaptados a la normativa ISO 9001, de modo que en 1995, AENOR emitió la certificación correspondiente para todas las actividades de ENUSA relacionadas con el diseño y fabricación de elementos combustibles.

PROYECTOS ESPECÍFICOS DE MEJORA DE CALIDAD

Son proyectos con objetivos concretos de mejora y relacionados con los aspectos relativos a procesos, a la cultura o al negocio. Como ejemplo de los proyectos desarrollados durante entre 1995 y 1997 están:

- Planificación de objetivos
- Mejora de Productividad
- Aplicación del QFD al diseño y fabricación
- Medición de la satisfacción de clientes
- Fabricación flexible
- Cadena Cliente-proveedor Internos
- Reestructuración y simplificación de los procedimientos operacionales

BENCHMARKING DE PROCESOS DE FABRICACIÓN

De cara a comparar los procesos de fabricación e inspección se han desarrollado entre los años 94 y 96 programas ESPECÍFICOS de identificación de los mejores métodos con las fábricas de combustible nuclear pertenecientes a las empresas siguientes:

- GENERAL ELECTRIC (USA)
- JAPAN NUCLEAR FUELS (Japón)

- BRITISH NUCLEAR FUELS (UK)
- WESTINGHOUSE (USA)

Entre los procesos que se han comparado para identificar las mejores prácticas deben destacarse los de fabricación de pastillas de óxido de uranio y de fabricación de barras combustible.

PROGRAMAS AVANZADOS DE CALIDAD (6-SIGMA)

En 1996, ENUSA ha iniciado la participación junto con General Electric (USA), en un programa avanzado de calidad denominado 6-SIGMA, que tiene como objetivo asegurar en un determinado plazo que los procesos medios producen menos de 3,4 defectos por cada millón de oportunidades. El programa consta de dos partes. La primera supone la formación teórico-práctica de los líderes del proyecto, que posteriormente en la segunda parte supervisarán la correcta aplicación de las técnicas y asegurarán su continuidad.

Están en marcha diversos proyectos de áreas de gestión y fabricación.

FORMACIÓN DE PERSONAL

La continua innovación en equipos, junto a los requisitos de una operación segura de la instalación y de calidad del producto, requiere de un importante esfuerzo sostenido en formación de personal. ENUSA presta una gran importancia a esta actividad dedicando un 3% de las horas productivas actuales a esta actividad.

Las áreas formativas para personal no titulado que mayor atención han recibido en los últimos años han sido:

- Seguridad nuclear, convencional y protección radiológica.
- Garantía de calidad en el puesto de trabajo.
- Aplicación de técnicas estadísticas.
- Utilización de herramientas informáticas.
- Técnicas avanzadas de ensayos no destructivos.
- Reciclaje continuo en inspección visual, dimensional y radiografías.
- Mecánica, electricidad, automatismo, neumática.
- Programación de PLC's.

RESUMEN

Esta modernización de sistemas, procesos y equipos en la fábrica de Juzbado, está permitiendo suministrar los productos más avanzados tecnológicamente, tales como:

- 17x17 AEF, con cabezal superior desmontable, rejilla de Zircaloy (baja caída de presión) rejilla inferior anti-debris, pastillas de porosidad controlada con o sin rejillas mezcladoras (IFM) y tubos con longitudes de 12 a 14 pies.
- 14x14 LO-LOPAR y 15x15, que incorporan todas las ventajas del 17x17 AEF.
- GE-11, con matriz 9x9, tubos barrier o non-barrier, classic o triclad, diferentes zonas axiales de gadolinia, diferentes zonas de enriquecimiento axial, cabezal inferior anti-debris y barras de longitud parcial.
- GE-12, con matriz 10x10, e incorporando las ventajas del GE-11.

ENUSA, ha suministrado más de 2000 toneladas de Uranio en EC's, según se indica en la Fig. 1 y además de abastecer el mercado español, lo hace en Francia, Bélgica, Suecia, Alemania y Finlandia. ENUSA participa en proyectos de investigación y desarrollo de fabricación y diseño de combustible, mereciendo destacar por su complejidad el proyecto de barras segmentadas, que pretende estudiar el comportamiento de aleaciones de circonio, distintos tipos de diseño de pastillas y diferentes procesos de fabricación de polvo de UO₂.



Jacinto MARICALVA GONZÁLEZ es Ingeniero Industrial (Especialidad Técnico Energético) por la ETSI de Madrid. Ha trabajado en el Banco Atlántico (Área Internacional y Control de Cambio), Ferrovial (Planificación y Control de Obras) y Foster Wheeler (Coordinador de Planificación y Control del Proyecto ECOPETROL). Se incorpora a ENUSA en 1975, para el proyecto de construcción de la Fábrica de Elementos Combustibles en Juzbado (Salamanca). Tras una etapa en EE.UU. (Fábricas de Westinghouse y General Electric) participa en el diseño, licenciamiento y puesta en marcha de la Fábrica de Juzbado. Desde el inicio de la actividad industrial en 1985 ha sido Jefe de Programación y Control y, más tarde, Jefe de Producción y Subdirector. A partir del año 1993 desempeña el cargo de Dirección de la Fábrica.