



MODIFICACIONES EN SISTEMAS DE SEGURIDAD Y EN EQUIPOS DE FABRICACIÓN E INSPECCIÓN

J.J. Palomo y J.L. Moraga

Desde el inicio de su actividad industrial, hace 30 años, la fábrica de Juzbado del Grupo ENUSA ha mantenido un fuerte compromiso con la seguridad e innovación tecnológica. Como resultado, se han desarrollado nuevos equipos y mejorado constantemente los existentes, así como las instalaciones de la fábrica, de acuerdo a los procedimientos internos (POE), con equipos de diseño y revisores multidisciplinares.

From the beginning of its industrial activity 30 years ago, the Juzbado factory of Enusa Group has maintained a strong commitment to safety and technological innovation. As a result, we have developed new equipment and constantly improving the existing ones, as well as the facilities of the factory in accordance with the internal procedures, with multidisciplinary design teams and review teams.



JOSÉ LUIS MORAGA GONZÁLEZ

Responsable de Mantenimiento e Ingeniería de Equipos.

FÁBRICA DE COMBUSTIBLE NUCLEAR DE JUZBADO

Ingeniero industrial (Electrotecnia) por la ETSII de Valladolid e ingeniero técnico (Electrónica Industrial) habiendo obtenido la Suficiencia Investigadora (Compatibilidad Electromagnética) en los estudios de doctorado. MBA por la Escuela Europea de Negocios, máster en Dirección de Operaciones, Calidad e Innovación por la Universidad Politécnica de Madrid y experto en Energías Renovables y Eficiencia Energética por la Universidad de Salamanca. En 1991 se incorporó a Enusa, donde ha prestado servicios en los departamentos de Desarrollo de Equipos e Instalaciones.



JOSÉ JUAN PALOMO CASCÓN

Responsable del Servicio de Mantenimiento e Ingeniería de Sistemas e instalaciones, encuadrado en el área de Gestión de la Seguridad.

ENUSA

Graduado en Ingeniería Mecánica por la USAL. Desde 1993 trabaja para ENUSA ejerciendo diversos puestos.

INTRODUCCIÓN

El proceso de modificaciones e implantación de cambios, tanto en los sistemas de seguridad como en los equipos de proceso, siempre se ha considerado como un proceso clave en la instalación de Juzbado y si cabe, en la actualidad aún lo es más, debido a la aplicación de la Guía de Seguridad 3.1 del CSN publicada en enero de 2012 sobre modificaciones en instalaciones de fabricación de combustible nuclear.

Los Procedimientos Operacionales de Enusa (POE) que regulan las modificaciones vienen a concretar las directrices contenidas en la mencionada guía de seguridad, indicando cómo ha de ser el proceso de diseño y la implantación de las modificaciones, tanto en sistemas de seguridad como en equipos de fabricación.

Por otra parte, los procedimientos mencionados en el párrafo anterior, han consolidado la creación de equipos multidisciplinarios para acometer el proceso de diseño, participando diseñadores de cada una de las disciplinas de seguridad que puedan verse afectadas por el proyecto, también se han incluido los aspectos medioambientales y de comportamiento humano.

Otro de los aspectos que se ha consolidado ha sido el funcionamiento independiente de los equipos de diseño y revisor en aras a asegurar que los proyectos se revisan de una manera libre y no condicionada. Todo este proceso, a veces complicado, reportará a medio y largo plazo innumerables ventajas y constituye un importante refuerzo de la cultura de la seguridad en Enusa.

EQUIPOS DE FABRICACIÓN E INSPECCIÓN

La innovación tecnológica es la base del desarrollo estratégico de Enusa. Esto se traduce en la introducción continua de equipos de producción e inspección más eficaces, más automáticos y con más controles de proceso.

Con las modificaciones en los equipos de fabricación e inspección durante los últimos años se pretende una actualización tecnológica de la Fábrica de Juzbado para adaptarse a los nuevos mercados y a las necesidades de los clientes, así como cumplir con las exigencias regulatorias.

Analizando las tres etapas del proceso: polvo-granulado (incluido sinterizado y rectificado), barra combustible y montaje de combustible, vamos a hacer un repaso de las principales

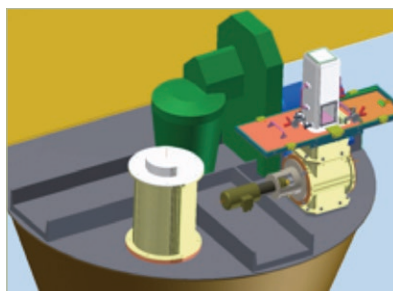
mejoras realizadas en los equipos de proceso.

Polvo & Granulación

Líneas de mezclado-prensado UO_2 y Gd

Se ha realizado una actualización completa de las cuatro líneas (tres de UO_2 y una de Gd) incluyendo los siguientes nuevos sistemas:

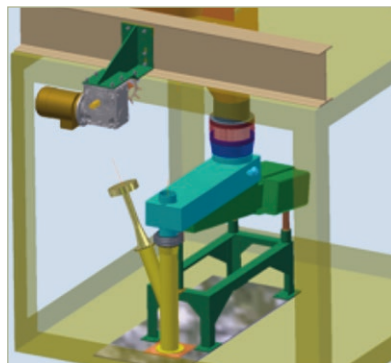
- Dosificadores de aditivos.
- Limpieza por ultrasonidos.
- Pesado integrado.
- Uniones de Tubos (BFM).



Líneas de homogeneizado-prensado UO_2 y Gd

También se ha realizado una actualización completa de las cuatro líneas, destacando los siguientes nuevos sistemas:

- Automatización de las líneas.
- Dosificadores de aditivos.
- Uniones de tubos (BFM).
- Nuevos robot de empaquetado de pastillas.



Nueva generación de aspiradores

Actualmente tenemos aspiradores para dos tipos de uso: para equipos y para limpieza de conductos.

En cada equipo hay un aspirador independiente enclavado con el sistema de extracción.

Todos los aspiradores disponen de enclavamiento del sistema de giro para evitar dispersión de polvo.



Hornos de sinterizado

Los cinco hornos de sinterizado de pastillas han sido actualizados adaptándoles a la directiva ATEX con nueva instrumentación (dispositivos, motores, cables, etc). Asimismo se ha realizado un armario de gases nuevo compartimentado en dos zonas: ATEX para H_2 y No ATEX para N_2 y CO_2 .



Se ha realizado una completa automatización con redundancia por cableado y PLC, eliminando el gas propano en el proceso de sinterizado y sustituyéndolo por resistencias eléctricas, tanto en puertas como en las antorchas de quemado, que ahora son dobles para aumentar los niveles de seguridad.



En este sentido, también se les ha dotado de una nueva puerta de explosión (puerta de servicio accesible con H₂) con redundancia mecánica en la válvula de H₂.

Respecto las mejoras de proceso, podemos controlar: la refrigeración en temperatura y caudal de agua, el perfil de temperatura de proceso, código de barras futuro mediante Ethernet, etc.

La instrumentación de los hornos se ha sustituido por equipos que mandan la información al PLC y controla los caudales, consumos, etc.



Hornos de resinterizado

Los dos hornos de resinterizado o densificación de UO₂ y Gd han sido adaptados a la directiva ATEX y han sufrido una completa automatización. Las principales mejoras han sido:

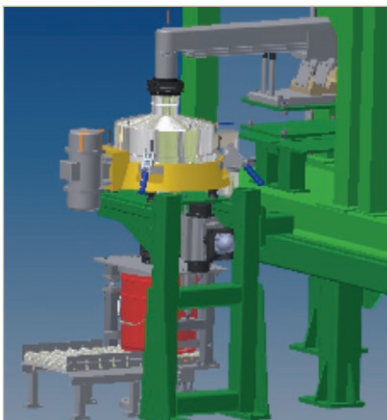
- ATEX (dispositivos, motores, cableado, instrumentación, etc.).
- Eliminación gas propano en el proceso.
- Redundancia (cableado y PLC).
- Armario gases compartimentado en zonas: ATEX para H₂ y No ATEX para N₂ y CO₂.



Hornos de oxidación Estática

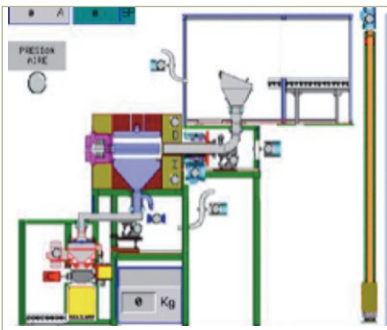
Estos equipos también han sido automatizados, siendo las principales mejoras introducidas:

- Tamizado ultrasónico.
- Pesado integrado.
- Molino para reducción de material.



Hornos de oxidación continua

Siguiendo el proceso de actualización tecnológica se han automatizado los hornos de oxidación continua incluyendo: nuevo sistema de tamizado y sistema de pesado integrado.

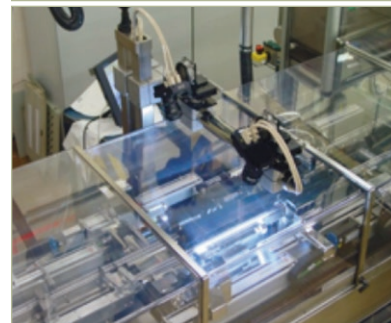
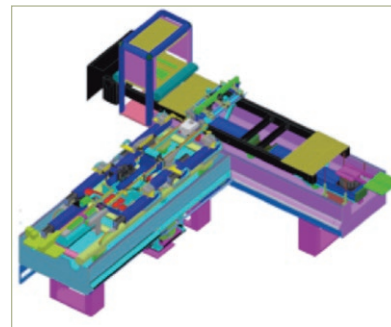


Generación II Inspección automática de pastillas (IAP)

Actualmente tenemos dos máquinas en proceso. Las pruebas del primer prototipo datan de 1999 y, trabajando en línea, cualificado desde 2002, siendo los poseedores de la patente del equipo.

El nuevo equipo está instalado en línea desde 2011. Es una máquina de visión lineal basado en cámaras CCD.

El diseño de la máquina es completamente nuevo pero trabaja con los mismos algoritmos de visión artificial. El *hardware* es nuevo, trabajamos con una nueva fuente de luz LED abandonando la fibra óptica. El concepto es pasar de inspeccionar bandejas completas a inspeccionar líneas de pastillas: pasamos de inspeccionar una línea de siete pastillas a una columna de 20 pastillas, aumentando la velocidad de inspección y mejorando la calibración en dos ejes.



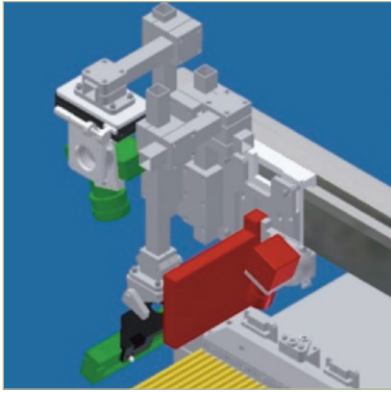
Realiza la inspección superficial de la pastilla al 100 %. Sirve para detección de esquirlas en pastillas por medio de algoritmos especiales y detección de *End-Capping* con un rendimiento de 200 pellets/m dependiendo de la tasa de defectos. Es perfecto para la detección de esquirlas laterales y grietas. Para la detección de esquirlas basales requiere compromiso entre falsa aceptación y falso rechazo.

Mantiene el nivel de proceso en comparación con la inspección visual humana. Tan bueno como un buen inspector visual, pero trabajando siempre en el mismo nivel.

Actualización IAP1 (Inspección Automática Pastillas de Generación I)

IAP1 se actualiza al *hardware* de IAP2, cambiando el sistema de iluminación halógeno con fibra de óptica y lente cilíndrica a uno de LED, ganando robustez. Se pone la cámara de IAP2 con doble número de píxeles.

Se actualiza el PC con mismo *frame-grabber* de IAP2 y se actualiza *software* de tratamiento de blobs y pequeñas mejoras de parametrización.

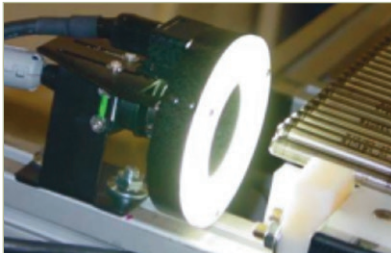


Barras de combustible

Líneas de soldadura-sellado de UO_2 y Gd

Todas las líneas de soldadura de tubos y soldadura-sellado de barras han sido actualizadas mecánicamente, automatismo y toma de datos de proceso. Novedades:

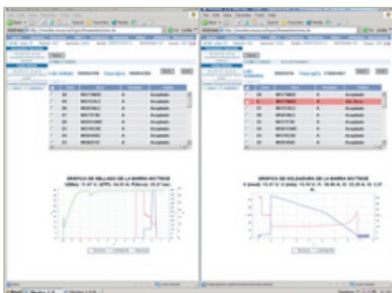
- Detección visual automática del sellado.



- Posicionado automático del electrodo.
- detección de anomalías antes de la soldadura de la unión de soldadura y la posición del electrodo.
- desplazamiento axial del electrodo y la capacidad de medición de altura.

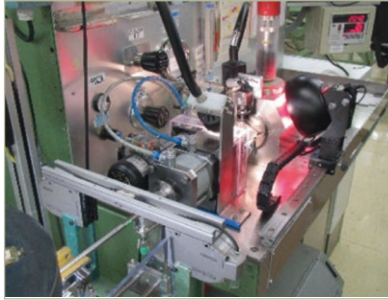


- Grabación de parámetros de soldadura.



- LASER Control Presión Soldadura Sellado.

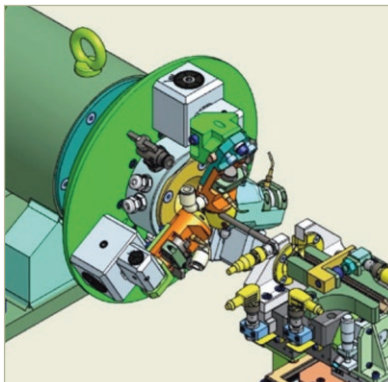
Para la detección del hinchamiento en la barra al presurizar y poder generar alarmas. Se ha integrado el láser con el automatismo de la máquina de soldadura de sellado, obteniéndose buenos resultados en PWR y mayores dificultades en BWR.



Nuevo equipo de UT

Equipo construido por Tecnatom, válido para inspeccionar tanto tubos como barras con ciertas mejoras mecánicas, electrónicas y un nuevo software. Entre las mejoras, destacamos:

- Mecánicas.
 - Motor coaxial.
 - Palpadores sobre soportes micro-métricos.
 - Desplazamiento axial rigidizado.
- Electrónicas.
 - Nuevo tarjetas adquisición datos.
 - Se prescinde de amplificadores comerciales y se integra toda la cadena de medida.



Actualización del Gamma Scanner activo (electrónica y software)

Suministrado en 1985 por Intercontrole (Areva), ha sido mejorado en dos ocasiones: la primera por Intercontrole en 1995 y en 2008 por Tecnatom.

- 12 INa detectores originales.
- 18 cm / s de velocidad máxima.
- 1100-1700 μ g Cf252. cada 1.5 años 600 μ g Cf232 reemplazado.
- Todos los nuevos amplificadores y preamplificadores electrónicos Ortec.
- Los nuevos algoritmos están basados en los del scanner pasivo.

Gamma Scanner pasivo

Suministrado en 1995 por el CNN (Ahora NDA), ha sido actualizado por Tecnatom.

- 32 BGO detectores originales.
- 2,5 cm/s.

Se ha actualizado el armario de control de los detectores y el software, con las siguientes prestaciones:

- Tarjetas diseño TECNATOM de adquisición de datos que permiten un crecimiento en nº y tipo de detectores ilimitado.
- Integración de ET.
- Software y algoritmos mejorados.



Inspección automática longitud de Barras

Equipo instalado en pruebas para producto PWR, tiene las siguientes ventajas:

- Medida sin contacto, al 100% de las barras.
- Ajustable para los diferentes diseños de barra en proceso.
- Verificado con patrones.

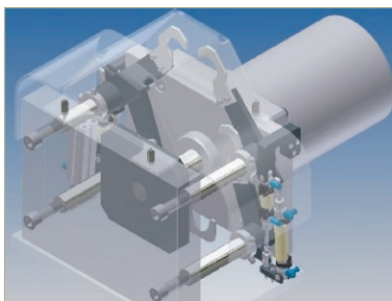


Montaje de combustible

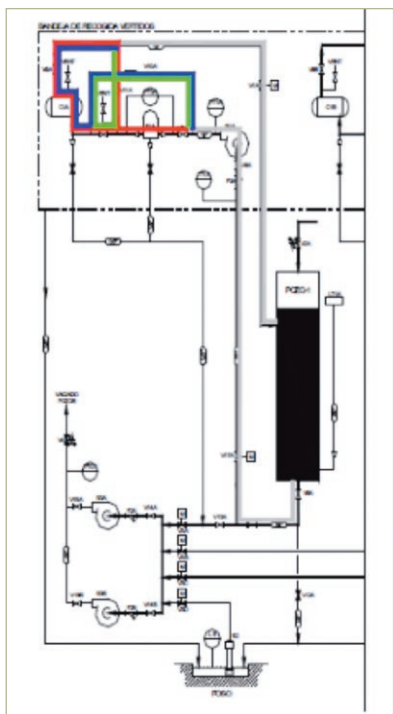
Actualización equipos de esqueletos



- Sustitución del CNC obsoleto por una tarjeta de ejes.
- Introducción de una leva adicional que permite tener cinco diámetros de expansiones para un mayor control en ciertos diseños.
- Nuevos recubrimientos en pinzas para minimizar desgaste y mejor fabricabilidad.



Automatización tanques de lavado de combustible



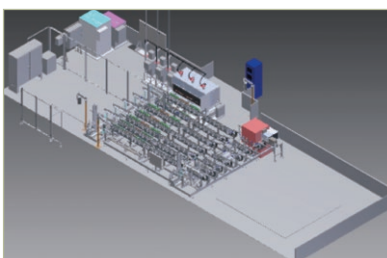
Se ha conseguido una mayor limpieza de partículas del combustible invirtiendo el sistema de flujo de agua y una mejora en el mantenimiento instalando toda la maquinaria fuera de los pozos.

Equipo de pre-oxidado de barras, actualmente en pruebas FAP

Para la prevención de fallo por impacto de partículas sueltas en el combustible, dado que es la principal causa de fallo en la operación del combustible en el reactor PWR. Consistente en:

- Recubrimiento de óxido de circonio en la vaina de la barra combustible en su parte inferior.
- Endurecimiento adicional de la vaina.
- Mayor resistencia a la abrasión de partículas sueltas.

El equipo de preoxidación proporcionará al combustible una barrera adicional al fallo en el reactor por impacto de partículas sueltas.

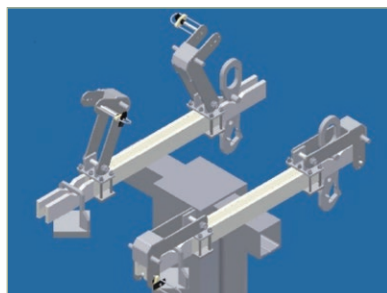


GENERAL

Se ha llevado a cabo una completa actualización de PLC, así como de las máquinas de soldadura. Se ha comenzado la renovación de todos los robots de prensado y seguidamente acometeremos los de inspección.

Como consecuencia del accidente de Fukushima se han realizado las Pruebas de Estrés en Juzbado. Parte de ellas afectan a los equipos:

- Modificación de almacenamiento de combustible BWR para evitar el efecto de péndulo de los combustibles.
- Abrazaderas colocadas sobre los ganchos de manipulación o directamente sobre el cabezal superior, dependiendo del diseño del producto.



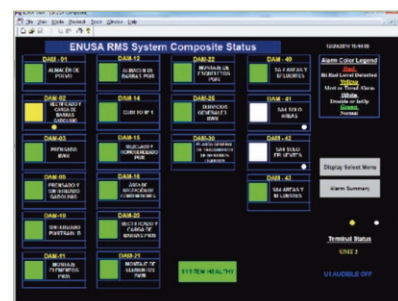
MODIFICACIONES REALIZADAS EN SISTEMAS DE SEGURIDAD EN LOS ÚLTIMOS AÑOS

Los últimos años han sido muy activos en lo referente a las modificaciones realizadas en los sistemas de seguridad de la instalación de Juzbado ya que se ha producido prácticamente la total renovación y actualización de los sistemas de seguridad; también han coincidido algunas circunstancias que han ido empujando esa renovación, tales como el proceso de revisión de sistemas, la aplicación de la normativa ATEX, las pruebas de resistencia a raíz del accidente de Fukushima, la ampliación del área de gadolinio y finalmente el cambio en los sistemas de ventilación para adecuarla a la normativa nuclear actual.

A continuación mencionamos las principales modificaciones que se han producido en los sistemas de seguridad encuadrando estos en cada uno de los sistemas afectados.

Sistema de alarma de criticidad

Una de las principales actualizaciones de este sistema ha sido la sustitución de los terminales de control del SAC, los existentes eran de una tecnología ya antigua, reportando los datos con una impresora en papel sin posibilidad de conexión a ninguna red informática, se sustituyeron por un servidor en red que se comunica con los DAM y reporta toda la información en un terminal informático.



Sistema de protección radiológica

Respecto del sistema de protección radiológica la principal modificación realizada ha sido la sustitución de los monitores de radiación ambiental

SA4 de área por ABPM, el salto tecnológico ha sido muy grande ya que estos equipos reportan grandes avances, rapidez de respuesta, discriminación de los espectros del radón y la comunicación en línea de la actividad de tal modo que el operador de área tiene en todo momento conocimiento de la actividad en las áreas y su evolución.

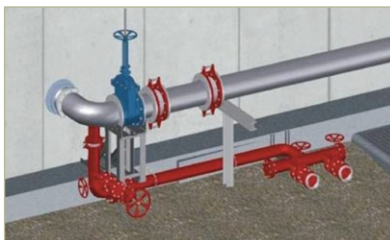


Otra modificación importante fue la instalación de nuevos rompedores de vacío y el equilibrado de la red de vacío, eso unido al cambio de los filtros de los muestreadores, asegura el funcionamiento de la red de vacío de una forma estable y segura.

Sistema de protección contra incendios

La modificación más importante realizada a este sistema ha sido la completa sustitución del sistema de detección de incendios, cambiando su tecnología por completo tanto en los elementos de campo, detectores, que dejan de ser iónicos, con fuente radiactiva a otros ópticos, más sencillos de gestionar y con más prestaciones. Estos detectores tienen una dirección IP y van conectados a un bus que lleva los datos a la centralita. Debido a que el sistema de detección es prácticamente omnipresente en la instalación, las numerosas obras y ampliaciones que se han realizado en los últimos años han conllevado a la ampliación de los sistemas contra-incendios en casi todas ellas.

Derivado de las pruebas de resistencia se realizaron algunas mejoras destinadas a asegurar el suministro de agua contra incendios en caso de la ocurrencia de un sismo fuera de las bases de diseño, tales como la colocación de válvulas de aislamiento de los depósitos enclavados con el acelerógrafo y tomas en los depósitos que permiten cargar de agua los vehículos contraincendios sin necesidad de tener operativos los hidrantes.



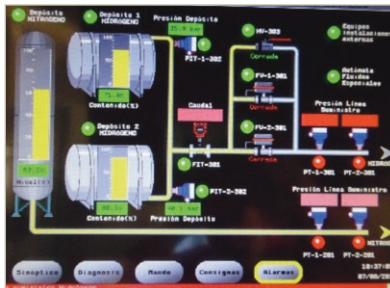
Otra de las mejoras realizadas ha sido la sustitución del sistema de detección de gases inflamables por otro de última generación y adaptado a la normativa ATEX.

Sistema de ventilación y aire acondicionado

Sin duda este sistema es uno de los que Enusa está realizando los mayores esfuerzos, principalmente para adecuar los bancos de filtros secundarios a la normativa nuclear actual. En el momento presente se está a punto de poner en operación la ventilación del área de gadolinio ampliada y está proyectado acometer gradualmente todas las áreas de fabricación cerámica.

Sistema de fluidos especiales

El sistema de suministro de fluidos especiales, hidrógeno y nitrógeno, a las áreas de proceso, se ha reformado significativamente, modificándose los cuadros de válvulas e incorporando instrumentación que envía los valores a un PLC pudiéndose controlar en todo momento el estado del sistema, presiones, consumos y reservas de gas. Este sistema controla los enclavamientos de seguridad.



Sistema de suministro de energía eléctrica

En este sistema se han introducido algunas modificaciones de cara a incrementar la seguridad de la instalación y a equilibrar las cargas de los sistemas de emergencia, entre otras:

La instalación de un grupo electrógeno adicional, duplicando la potencia en el suministro de energía de emergencia.



La instalación de un cuadro automatizado de cargas con SAI de emergencia que permite proporcionar a los puntos de consumo el suministro de energía adecuado según la importancia de cara a la seguridad, en dos niveles, suministro continuo sin pasar por "0", importante especialmente en equipos que dependen de servidores informáticos, o elementos que simplemente necesitan suministro de los generadores de emergencia si precisas suministro de SAI.

También referida al sistema de suministro de energía de emergencia se ha realizado algunas mejoras, tales como una distribución de cargas más equilibrada, la instalación de bancos de resistencias para realizar las pruebas de los generadores a un nivel de potencia más elevado y finalmente la reforma en el sistema de distribución de combustible desde los depósitos de almacenamiento para asegurar el suministro del mismo ante cualquier contingencia.

Pruebas de resistencia

Derivado de las conclusiones de las pruebas de resistencia o en relación con ellas se han acometido algunos proyectos de importancia entre los que mencionaré, la nueva nave de componentes con objeto de sacar la carga de fuego fuera de la nave de fabricación, el centro de gestión de las emergencias, dotado de resistencia sísmica y de sistemas de habitabilidad en caso de accidente. Modificación de la línea de distribución de hidrógeno a su paso por la nave de fabricación, sacando gran parte de su trazado por el exterior de la nave de fabricación y dotándola de resistencia sísmica. También se ha instalado un acelerógrafo como refuerzo al sistema de control de nivel sísmico de la instalación, este acelerógrafo activa dos enclavamientos, uno en la válvula de aislamiento de los depósitos contra incendios y otro en la válvula que corta el suministro de hidrógeno.

CONCLUSIONES

La estrategia futura de la fabricación de combustible de Enusa prioriza la calidad de producto en todos los ámbitos del proceso productivo mediante la innovación en equipos de proceso e inspección respetando las normas de seguridad impuestas por nuestro regulador tratando siempre de mantener los mas elevados estándares de la industria nuclear en todas las instalaciones. ■