

RENOVACIÓN DEL SISTEMA DE MANEJO DE COMBUSTIBLE EN C.N. ASCÓ



JAUME GASENI TERRADO

Ingeniero de planta
ASOCIACIÓN NUCLEAR ASCÓ-VANDELLÒS II
(ANAV)

El objetivo de este artículo es dar a conocer el alcance y objetivos del proyecto de renovación del sistema de manejo de combustible realizado recientemente en los tres grupos operados por ANAV (Asociación Nuclear Ascó-Vandellòs II), así como las experiencias propias durante el desarrollo del mismo.

INTRODUCCIÓN

Cada 18 meses, y como consecuencia de la operación a potencia, una de las unidades operadas por ANAV lleva a cabo la sustitución de parte del combustible que reside en el interior del núcleo del reactor. Esta operación, entre otras muchas actividades, se denomina “recarga de combustible”.

El sistema de manejo de combustible es el conjunto de equipos y herramientas que permite realizar una manipulación de combustible (nuevo o gastado) y otros componentes irradiados de forma segura y eficaz.

El sistema de manejo de combustible consta de equipos, herramientas y estructuras para realizar una operación de recarga de combustible. En el presente artículo nos centraremos en los siguientes tres equipos, que pueden considerarse principales en un movimiento de combustible en una recarga y que fueron parcialmente renovados, recientemente, en las dos unidades de C.N. Ascó y en C.N. Vandellòs II, mediante un proyecto de inversión:

1. Manipuladora de combustible de la piscina de combustible gastado:

Es una grúa pórtico ubicada sobre la piscina de combustible gastado que tiene la función de extraer e insertar elementos de combustible (gastados o nuevos) en cada una de las posiciones del rack de bastidores que contiene la piscina. La grúa pórtico dispone de un polipasto eléctrico para realizar las maniobras. En la piscina se almacenan temporalmente de forma segura elementos de combustible dentro de unos bastidores diseñados específicamente para ello (Figuras 1 y 2).

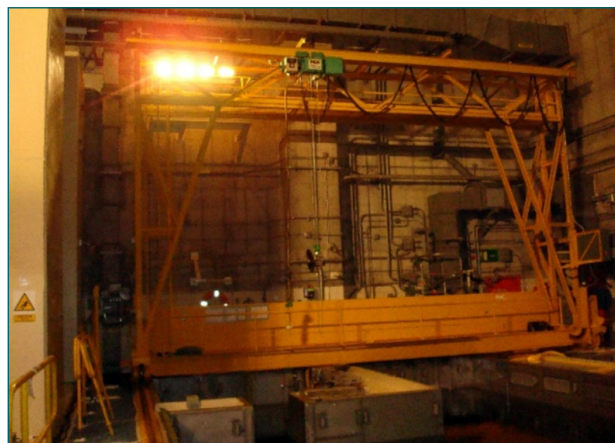


Figura 1. Vista general de la manipuladora de la piscina de combustible gastado.

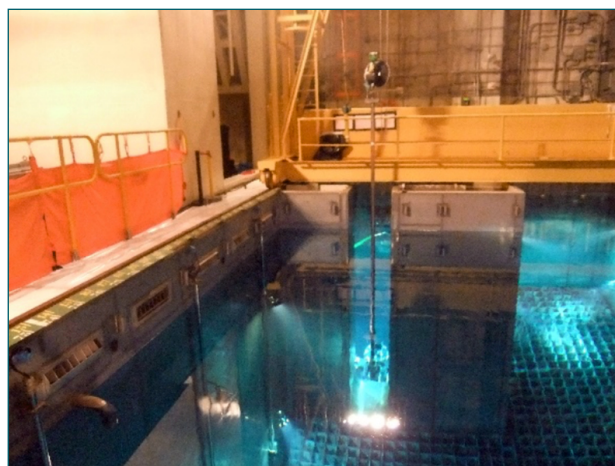


Figura 2. Polipasto sobre la piscina de combustible gastado.

2. Sistema de transferencia de combustible:

Es el conjunto de equipos y estructuras que permite trasladar un elemento de combustible (nuevo o gastado) desde el edificio de combustible (piscina de combustible gastado)

hasta el edificio de contención (cavidad del reactor) y viceversa. El movimiento de combustible entre ambos edificios se realiza a través de una tobera de acero (que une los dos edificios) que se denomina *canal de transferencia* (Figuras 3 y 4).

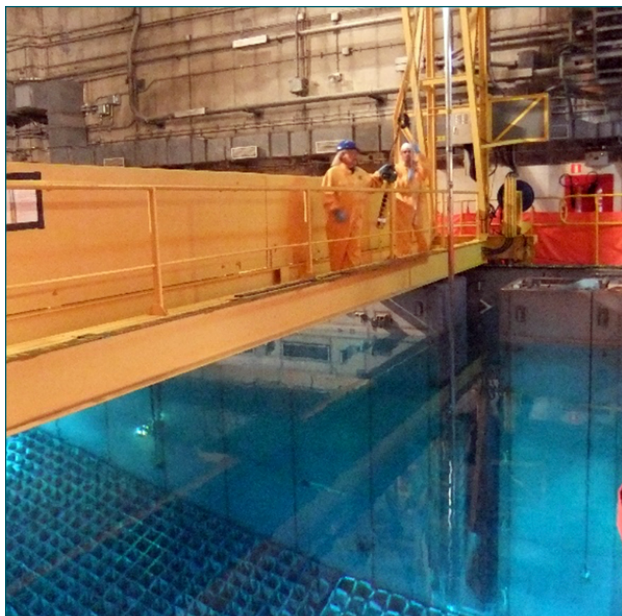


Figura 3. Vista del acceso al canal de transferencia desde la piscina.

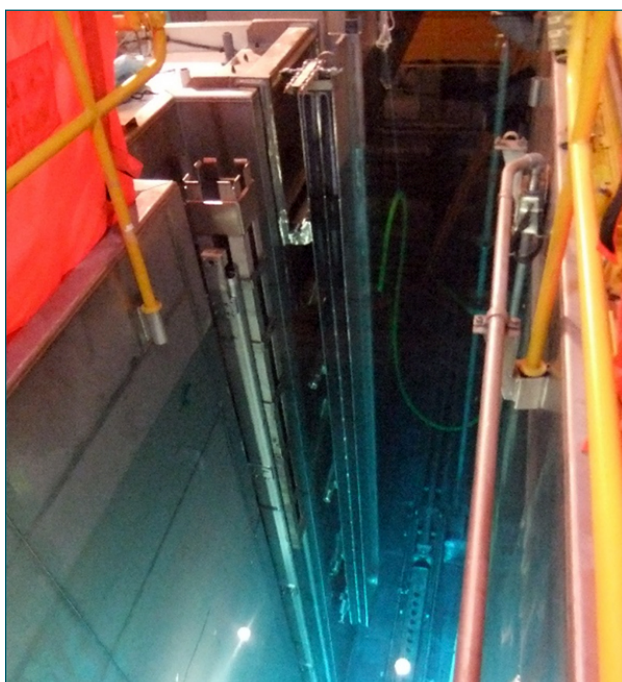


Figura 4. Vista parcial del interior del canal de transferencia.

3. Manipuladora de combustible de contención:

Es una grúa pórtico ubicada en la cavidad del reactor, cuyo desplazamiento cubre la cavidad de recarga y se mueve sobre unos raíles colocados en el borde de la cavidad. Permite realizar las maniobras de extracción e inserción de los elementos de combustible (gastados o nuevos) en el interior de la vasija del reactor (Figuras 5 y 6).



Figura 5. Vista general de la manipuladora de combustible de contención.



Figura 6. Carro y equipos de la manipuladora de contención.

Los equipos y estructuras indicados trabajan de forma coordinada, cumpliendo de forma estricta un conjunto de restricciones y condicionantes para garantizar que la transferencia de combustible se realiza de forma segura. Las operaciones de movimiento de combustible se realizan bajo agua borada, elemento que proporciona un blindaje eficaz, económico y transparente, a la par que un medio de refrigeración adecuado.

ANTECEDENTES

En las dos unidades de C.N. Ascó, el sistema de manejo de combustible es de diseño Westinghouse, fue implantado en los años 1984 y 1986, respectivamente; y tuvo una actualización importante, principalmente a nivel de control, en los años 2003 y 2004 mediante una modificación de diseño.

Desde hace unos años, el sistema de manejo de combustible presentaba algunas incidencias de obsolescencia y fiabilidad en algunos de sus componentes.

En el año 2016 se realizó un análisis del sistema de manejo de combustible donde se identificaron los principales aspectos de obsolescencia. Ese mismo año, en base a dicho

informe, se crea un proyecto de inversión para dar solución a las problemáticas identificadas y, finalmente, después de un proceso de licitación, se adjudica el proyecto al proveedor Manserva S.L. Con ello se inicia el proyecto de renovación parcial del sistema de manejo de combustible, con el objetivo principal de eliminar la obsolescencia de los principales componentes y, en el caso que sea posible, mejorar su fiabilidad.

La renovación del sistema de manejo de combustible no contempla como objetivo el incremento de prestaciones, ni incorporar mejoras en cuanto a velocidad en el sistema de transferencia.

ALCANCE PROYECTO

La renovación parcial del sistema de manejo de combustible realizada en C.N. Ascó ha consistido, principalmente, en:

- Sustitución del sistema de control de la manipuladora de la piscina de combustible gastado y del polipasto de combustible.

Se ha implantado un nuevo sistema de control que centraliza todos los movimientos de la grúa pórtico y del polipasto en un único armario eléctrico. Se ha sustituido el polipasto de combustible por otro totalmente motorizado en ambos movimientos, elevación y traslación. Hasta la fecha, el movimiento de traslación del polipasto era totalmente manual mediante el uso de una cadena. Se ha implementado un nuevo control basado en un PLC (autómata programable) y unos variadores de frecuencia, que son los responsables de gestionar y controlar los motores, frenos y enclavamientos del nuevo sistema. Se han mantenido todas las funcionalidades, lógicas y restricciones de diseño de origen (Figura 7).

- Sustitución del sistema de control del sistema de transferencia de combustible.

En C.N. Vandellós II se ha implantado un nuevo sistema de control que gestiona todos los eventos de los paneles de control del canal de transferencia de ambos lados, además del control de las centralitas hidráulicas, que dan presión a los volteadores, y el control del motor de traslación del carro. Por su parte, en C. N. Ascó, esta sustitución se realizará en las próximas recargas (octubre 2021



Figura 7. Vista general de la manipuladora de la piscina de combustible gastado renovada.

y abril 2022). El nuevo control está basado en una arquitectura en la que todos los eventos son gestionados por un PLC. El nuevo sistema permite realizar un control más preciso y disponer de un sistema de monitorizado que facilita información de proceso en tiempo real. Una vez más, se han mantenido todas las funcionalidades, lógicas y restricciones de diseño de origen (Figuras 8).

- Sustitución del sistema de control y monitorizado de la manipuladora de contención.

Tal vez sea esta la modificación más significativa del proyecto. Se ha sustituido la plataforma PLC obsoleta por otra actualizada y de mejores prestaciones. El nuevo sistema se ha diseñado para integrarse con los equipos existentes de campo. Se han sustituidos los armarios eléctricos y la consola del operador por otros de nuevo diseño, más compacto y componentes estándar de mercado actuales. Se ha sustituido el sistema de posicionamiento del carro y puente por otro sistema absoluto, basado en telemetría láser. Se ha mejorado la fiabilidad y robustez del sistema



Figura 8. Nuevo control del sistema de transferencia de combustible implantado en C.N. Vandellós II.

de pesaje y se ha evolucionado el algoritmo de cálculo para determinar la trayectoria óptima para la transferencia de cada elemento de combustible. Además, se han añadido mejoras en la interfaz de usuario de control de la grúa para facilitar la operación de la misma. Tal como ya se ha indicado, se han mantenido como mínimo todas las funcionalidades, lógicas y restricciones de diseño de origen (Figuras 9 y 10).

Adicionalmente a estas modificaciones, el proyecto contempla la sustitución puntual de componentes por causas de obsolescencia o de fiabilidad que pudieran darse en un futuro.

DIFICULTADES DEL PROYECTO

Durante la gestación del proyecto se ha tenido que hacer frente a una serie de retos que han requerido una gestión y tratamiento específico. A continuación, como experiencia propia, se enumeran algunos de los principales, por ejemplo:



Figura 9. Trabajos de renovación de la manipuladora de contención.



Figura 10. Equipos renovados de la manipuladora de contención.

- En un proyecto de estas características, en el que se realizan modificaciones parciales y deben convivir componentes de origen y componentes nuevos, todos ellos gestionados por un mismo sistema de control, es muy importante disponer de una colección de planos y esquemas actualizada, así como de toda la documentación funcional asociada. En algunos casos, no se ha podido disponer de planos de detalle del sistema de manejo de combustible de origen. Y en otros casos, se ha dispuesto de una amplia colección de planos generales, con algún detalle de referencia de otra central. Este hecho, ha dificultado el desarrollo del proyecto, en una fase inicial, y ha implicado la realización de tareas adicionales para compensar la falta de detalle de documentación de partida.
- Se tuvieron que tomar decisiones sobre cambios de tecnología en alguno de los componentes o subsistemas obsoletos. Por ejemplo, la sustitución de tecnología en el sistema de posicionamiento de la manipuladora de contención, donde se ha apostado por un nuevo sistema basado en tecnología de telemetría láser. La incorporación de esta nueva tecnología ha implicado un mayor esfuerzo en validar los componentes, ya que puede conllevar la aparición de nuevos riesgos, en alguna ocasión, difíciles de cuantificar y minimizar.
- Por las características del proyecto, solo se ha renovado una parte de los equipos de manejo de combustible, principalmente el control. Ello ha implicado que el nuevo sistema de control tenga que integrarse con el actual conjunto de actuadores, sensores, frenos, etc. Por tanto, tuvo que gestionarse una convivencia de componentes de origen con componentes nuevos, lo que ha conllevado tener que comprobar y garantizar la compatibilidad entre ellos.
- Se ha diseñado un nuevo sistema de control con una nueva arquitectura, basada en SIEMENS S7, muy distinta a la arquitectura de origen, basada en MODICON Serie 800. El cambio de arquitectura ha supuesto la programación de más de 75 000 líneas de código para implementar las funcionalidades y mantener todas las restricciones de origen.
- Se tuvo que gestionar con el usuario principal (*key user*) las funcionalidades a mantener y aquellas mejoras que podían ser incluidas de forma razonable, buscando un equilibrio entre funcionalidad de máquina, requerimientos por parte del usuario final y esfuerzo de desarrollo.
- Se tuvo que diseñar un plan de pruebas muy exigente que permitiera validar la funcionalidad del nuevo sistema y el estricto cumplimiento de todas las restricciones de diseño de origen. Para ello fue muy importante la recuperación y el uso de una maqueta a escala real de la grúa manipuladora de contención.
- Se tuvo que planificar y coordinar la mejor ventana para la implantación del nuevo sistema dentro de una recarga estándar, sin impactar en el camino crítico de recarga previamente establecido. Para la implantación del sistema en planta se tuvieron que analizar todos los posibles escenarios, teniendo en cuenta, entre otras interferencias, el impacto ALARA para los trabajadores. Este factor añadió más complejidad en la búsqueda de la ventana óptima de realización de trabajos.

- Durante todas las fases de desarrollo del proyecto, desde el inicio del diseño hasta la implantación y puesta en marcha, se ha requerido una actividad constante de gestión de riesgos, que ha ido evolucionando en las diversas etapas del proyecto, con el objetivo de identificar y minimizar todas las potenciales dificultades que pudieran generar desviaciones e impactar en la ejecución del proyecto.

Cada una de estas dificultades, además de las propias intrínsecas del propio desarrollo de proyecto, cumplimiento y compromisos de plazos de proveedores, compra y entrega de equipos, etc. han frenado el avance y han supuesto todo un reto para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

INNOVACIÓN DEL PROYECTO

Dadas las nuevas prestaciones de que disponen los equipos de tecnología actual, durante el diseño y desarrollo del nuevo sistema de control del sistema de manejo de combustible, manteniendo siempre las funcionalidades y restricciones de diseño de origen, se ha implementado un conjunto de mejoras que podrían considerarse innovadoras. A continuación, se muestran algunos ejemplos:

- Sistema de posicionamiento del carro y puente de la manipuladora de contención redundante, basado en telemetría láser. Se trata de un sistema absoluto, muy preciso y robusto. En caso de perder un telémetro el sistema es capaz de continuar con el movimiento de manejo de combustible sin interferencias.
- Fiabilidad y robustez del sistema de control, que puede recuperarse y continuar en el punto donde estaba, en el caso de pérdida total de energía.
- El nuevo sistema tiene la capacidad de configurar la geometría del núcleo y la cavidad, así como los pines guía, y es capaz de evitar impactos aun funcionando en modo manual.
- Cálculo en tiempo real de las trayectorias y aproximaciones al núcleo en función de la situación real del núcleo. Los modos de ejecución de los pasos de descarga/carga de un elemento no están predefinidos. El nuevo sistema de control es capaz de evaluar en tiempo real, para cada elemento y en función de la situación del núcleo, la mejor trayectoria y aproximación a realizar hasta su posición final.
- El polipasto de la manipuladora de la piscina de combustible gastado tiene implementado una gestión de tramos de velocidad durante la elevación/descenso de un elemento sobre su posición en la piscina, que garantiza que siempre se mantendrá la velocidad más baja en función del tramo donde se encuentra el elemento.

IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO

Uno de los puntos importantes en todo tipo de proyecto de estas características consiste en determinar *cuándo* y *cómo* se van a realizar los trabajos en planta. Se disponía de dos posibles escenarios para la implantación de las modificaciones indicadas.

En ambos escenarios las modificaciones en la manipuladora de la piscina de combustible gastado y elementos del

sistema de transferencia, lado del edificio de combustible, se planteaban antes del inicio de la recarga objetivo.

Con ello, los escenarios planteados eran:

1. Implantar y realizar la puesta en marcha en una única recarga (R1), del siguiente modo:
 - En recarga R1, una vez finalizada la descarga de combustible, sin combustible en el núcleo: modificaciones en la grúa manipuladora de contención y elementos del sistema de transferencia, lado edificio de contención.
 - Antes del inicio de la carga de combustible: realización de pruebas funcionales, validación y puesta en marcha del nuevo sistema.

Con este escenario, la descarga de combustible se realiza con la mitad del sistema renovado, y la carga de combustible se realiza ya con el sistema totalmente renovado.



Figura 11. Traslado de la maqueta de la manipuladora de contención.



Figura 12. Maqueta saneada y preparada para realizar pruebas.



Figura 13. Consola de la manipuladora (maqueta).



Figura 14. Simulación de la cavidad del reactor.

MA-PE-4430 PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS DE ACEPTACIÓN (PA-FAT)		Revisión: 1 19/06/2018
TÍTULO: PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS DE ACEPTACIÓN (PA-FAT) DE LAS MODIFICACIONES DE LA GRUA MANIPULADORA DE COMBUSTIBLE EN CONTENCIÓN		
Anexos:		
APROBACIÓN		
Elaborado	Revisado	Revisado
Revisado	Revisado	Revisado
Aprobado	Aprobado	Aprobado
Aprobado	Aprobado	Aprobado
Tabla de revisiones		
Rev.	Fecha	Motivo y hojas modificadas
0	19/06/2018	Emisión del documento.
1	19/06/2018	Revisión documento según comentarios de ANAV.
2		
3		
4		

Figura 15. Ejemplo de procedimiento de prueba FAT.

2. Implantación en dos recargas, del siguiente modo:

- Recarga R1 – Fase de implantación
 - Al finalizar la carga de combustible R1, una vez cerrada la tapa de la vasija: modificaciones en la manipuladora de contención y elementos del sistema de transferencia, lado contención.
- Recarga R2 – Fase de pruebas funcionales y puesta en marcha:
 - Antes del inicio de la descarga de combustible: realización de las pruebas funcionales, validación y puesta en marcha del nuevo sistema.
 - La descarga de combustible ya se realiza con el sistema totalmente renovado.

Finalmente, teniendo en cuenta criterios de interferencias de trabajos, la aparición de correctivos emergentes no esperados, potenciales impactos de camino crítico y consideraciones de reducción de dosis operacional (ALARA), tras analizar todos los factores y riesgos, se decidió realizar una implantación en dos recargas.

En los tres grupos operados por ANAV, la implantación de las modificaciones en el sistema de manejo de combustible se ha realizado con éxito siguiendo la estrategia de dos recargas por grupo.

CLAVES DEL PROYECTO

Para la consecución de los objetivos del proyecto pueden considerarse claves los siguientes aspectos:

- Recuperación de la maqueta a escala real de la grúa manipuladora de contención, la cual se trasladó a un nuevo emplazamiento, se saneó y se puso a punto para permitir la realización de pruebas (Figuras 11 y 12).
- Realización de un conjunto de pruebas FAT (*factory acceptance test*, pruebas de aceptación en fábrica) muy exhaustivo utilizando la instalación de la maqueta a escala real (Figuras 13, 14 y 15).
- Utilización de técnicas de diseño basadas en el modelado de sistemas y elementos, que ha permitido más flexibilidad y precisión en el desarrollo de la solución final.

Para ello fue importante la realización de varias rondas en las recargas previas al inicio del diseño, para documentar, medir y analizar los elementos y el funcionamiento del sistema de manejo de combustible (Figuras 16 y 17).

- Creación de un equipo de trabajo que reuniera, a la vez, experiencia en sistemas de manejo de combustible y conocimiento en herramientas y tecnologías actuales. Se pudo contar con el asesoramiento y apoyo de uno de los ingenieros que participaron en el diseño e implantación de la grúa manipuladora de origen (Figura 18).

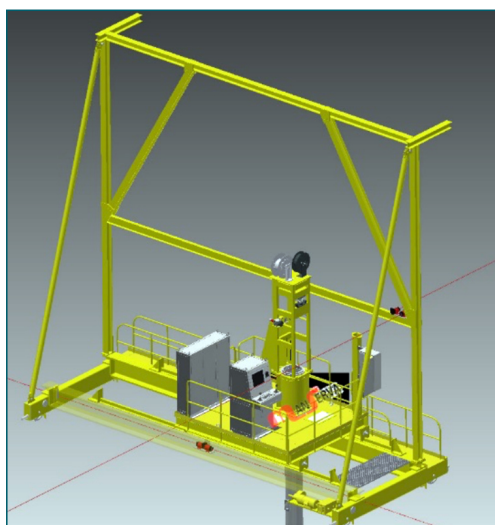


Figura 16. Modelo 3D de la manipuladora de combustible de contención.

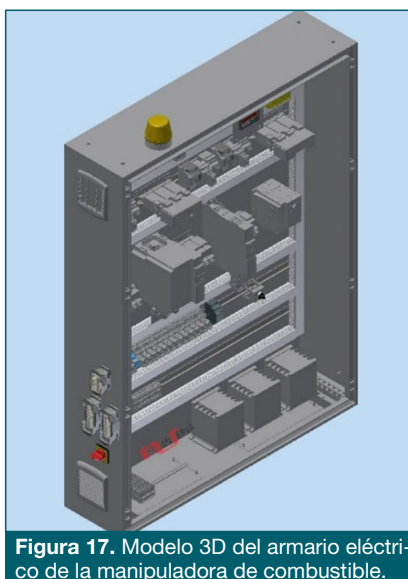


Figura 17. Modelo 3D del armario eléctrico de la manipuladora de combustible.



Figura 18. Realización de trabajos en la manipuladora de contención.

- Involucración en todas las fases del proyecto del usuario principal del sistema de manejo de combustible para aclarar dudas, asegurar funcionalidades y garantizar restricciones.
- Planificación y coordinación de todas las actividades de implantación del nuevo sistema dentro de una recarga estándar teniendo en cuenta todos los apoyos requeridos y departamentos involucrados.

CONCLUSIONES

En C.N. Ascó 1 la implantación del sistema se realizó de forma satisfactoria durante la recarga 1R26 (octubre 2018), aunque se produjeron algunos problemas con el sistema de transferencia durante la descarga de combustible (no relacionados con el proyecto). En la siguiente recarga 1R27 (abril 2020) se realizaron las pruebas funcionales, validación y puesta en marcha del sistema totalmente renovado. La puesta en marcha tampoco estuvo exenta de dificultades con el sistema de transferencia que impactaron en el camino crítico de recarga.

En C.N. Ascó 2 la implantación del sistema se realizó de forma satisfactoria durante la recarga 2R25 (abril 2019). En la siguiente recarga 2R26 (octubre 2020) se realizaron las pruebas funcionales, validación y puesta en marcha del sistema totalmente renovado. La puesta en marcha se produjo sin incidentes relevantes cumpliéndose totalmente las expectativas del nuevo sistema.

En ambos emplazamientos de C.N. Ascó queda pendiente la implantación del nuevo sistema de control del sistema de transferencia, sistema ya implantado en C.N. Vandellós II con resultado satisfactorio.

Con el proyecto de inversión implantado puede afirmarse que:

- se han eliminado los problemas de obsolescencia de los principales componentes del sistema de manejo de combustible,
- se ha mejorado la precisión y fiabilidad del sistema de manejo de combustible,
- se han evolucionado los sistemas de posicionamiento y pesaje del sistema de manejo de combustible y
- se han incorporado mejoras en el sistema de control y en la interfaz de usuario.■