JUAN JOSÉ PACIOS - JORGE BENAVIDES

INSPECCIÓN DE LAS PENETRACIONES DEL FONDO DE LA VASIJA

Como consecuencia de las fisuras detectadas en la tapa de la vasija, en 1994, se puso en marcha un completo plan de inspecciones de los equipos de la Central Nuclear José Cabrera. Este artículo analiza los trabajos de inspección realizados desde 1971, con especial énfasis en la recarga de 1997, con la que se ha completado el programa previsto.

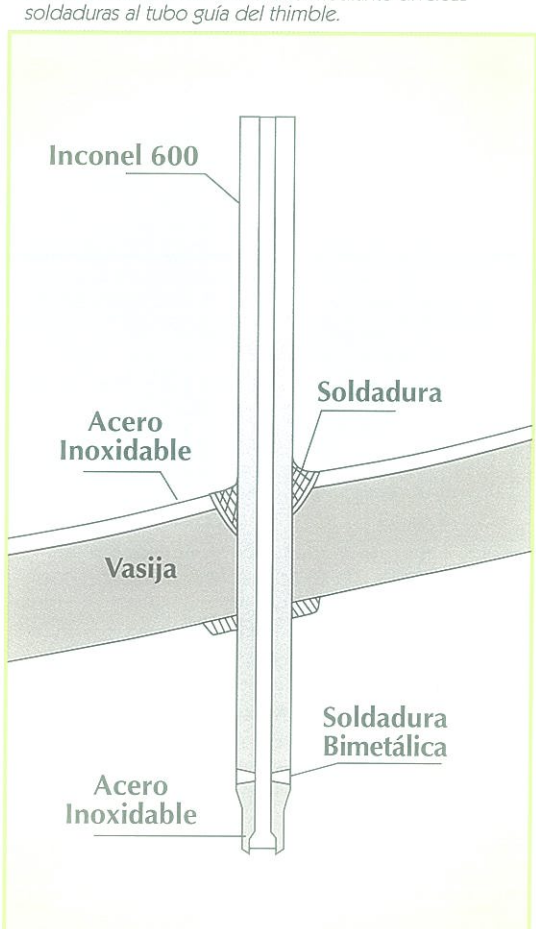
ANTECEDENTES

El 18 de Enero de 1994 fue descubierta una grieta en una de las penetraciones de la tapa de la vasija de la C.N. José Cabrera. Este momento fue el inicio de un amplio plan de inspecciones tanto en la tapa de la vasija como en otros componentes del circuito primario.
Se realizaron estudios del comportamiento de los materiales ante el agente causante del agrietamiento de las penetraciones: especies de azufre derivado de la descomposición de resinas que se habían introducido en el circuito en los años 80 y 81.
Estos estudios determinaron la necesidad de realizar inspecciones en componentes de Inconel 600 y de otros materiales más o menos susceptibles al mecanismo identificado: agrietamiento intergranular bajo tensión asistido por corrosión. De esta forma fueron inspeccionados durante 1994 y 1995 los siguientes componentes del circuito primario:

- Penetraciones de la tapa de la vasija.
- Tobera de venteo de la tapa de la vasija.
- Trinquetes de los mecanismos de accionamiento de las barras de control.
- Picajes de la instrumentación del presionador.
- "Split-Pins".
- Pines guía del combustible.
- Conjunto "Deep Beam" del interno superior.
- "Core Barrel Hold-down Spring".

Las penetraciones del fondo de la vasija fueron inspeccionadas parcialmente con los medios y técnicas disponibles en aquellos momentos.
De esta forma los únicos componentes de Inconel 600, con cierta relevancia, no inspeccionados totalmente fueron las penetraciones del fondo de la vasija y la placa separadora de las cajas de agua del generador de vapor.
En la resolución de la Dirección General de la Energía en la que se autorizaba la Modificación de Diseño de la reparación de la tapa de la vasija (Marzo de 1995), se indica como requisito que antes del inicio del Ciclo XXII se debía completar, mediante ensayos volumétricos, la inspección de las penetraciones de la instrumentación del fondo de la vasija. En la misma resolución se recogía el requisito de inspeccionar la placa separadora de las cajas de agua del generador de vapor y el recubrimiento de la placa tubular antes del inicio del ciclo XXII.
La recarga previa al ciclo XXII se inició el 29 de Enero de 1997 y en ella, como se describe en este artículo, se realizaron las dos inspecciones requeridas.

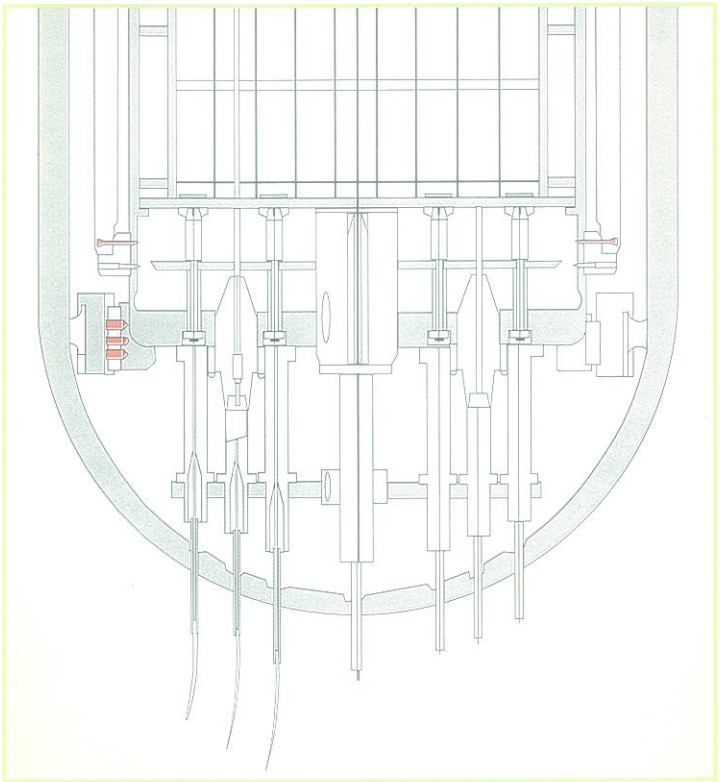
F I - *Tubo de Inconel 600 unido mediante diversas soldaduras al tubo guía del thimble.*



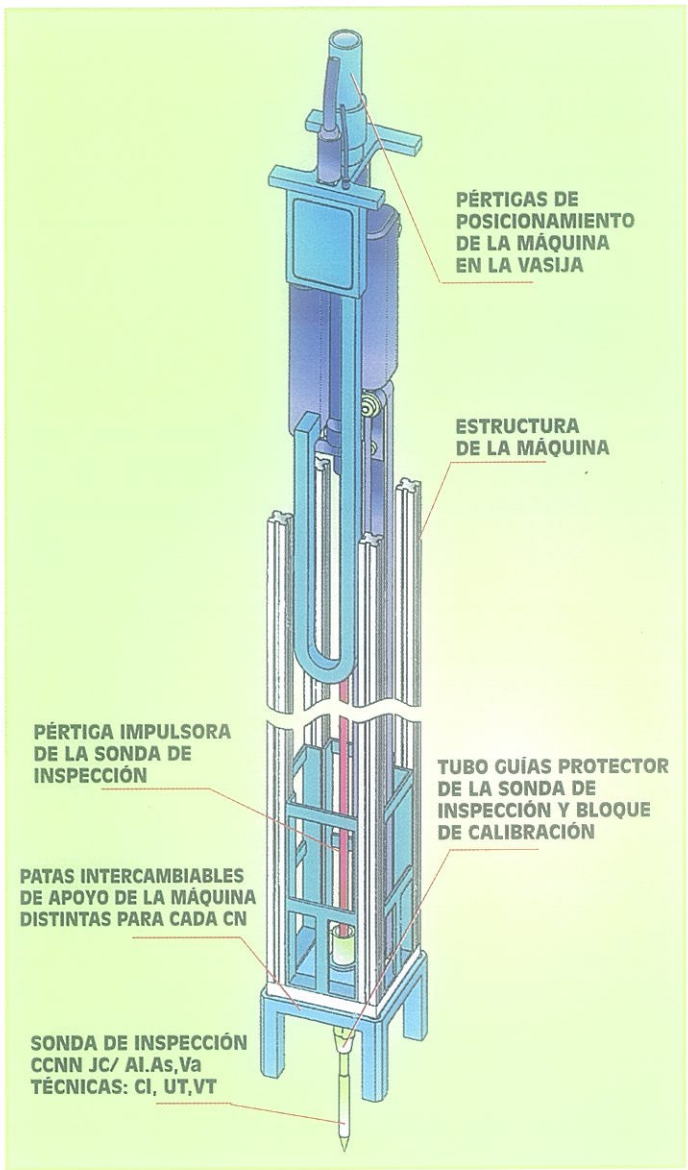
DESCRIPCIÓN DE LAS PENETRACIONES DEL FONDO DE LA VASIJA.

El reactor de la C.N. José Cabrera está dotado de 20 penetraciones para paso de la

F II - *Realización de inspección sin retirar el interno inferior del interior de la vasija*



F III - *Manipulador desarrollado para permitir la inspección sin extraer los internos inferiores del interior de la vasija. (Cortesía de TECNATOM)*



instrumentación intranuclear por el fondo de su vasija.

Estas penetraciones están constituidas por un tubo de Inconel 600 (SB-166), fabricado a partir de barra, y van unidas al fondo de la vasija por una soldadura interior también de Inconel.

El extremo inferior del tubo de Inconel 600 va unido , mediante soldadura, a una pieza de acero inoxidable unida, a su vez, al tubo guía del thimble (Figura I).

Las dimensiones de las penetraciones son las siguientes:

- Diámetro exterior: 1.5" (38.1 mm).
- Diámetro interior: 0.360" (9.14 mm).
- Longitud (variable según posición): de 22.66" a 24.625" (de 575.46 mm a 625.48 m, incluida la pieza de acero inoxidable).

Están situadas en la vertical de diferentes posiciones de elementos combustibles de forma que se distribuyen desde la posición central a la más periférica, formando ésta un ángulo de 35° con el radio del casquete inferior de la vasija.

Las dimensiones de estas penetraciones en C.N. José Cabrera son menores que en las centrales de tres lazos. esta particularidad ha obligado a desarrollar procedimientos y equipos específicos para realizar su inspección.

INSPECCIONES REALIZADAS EN EL PASADO

Las inspecciones realizadas en el pasado a las penetraciones inferiores de vasija se inscriben dentro del programa de Inspección en Servicio coincidiendo en el tiempo con la realización de la inspección mecanizada de vasija al final de cada Intervalo de 10 años y de acuerdo con los requisitos de la Sección XI del Código ASME.

La técnica de inspección más habitual hasta la fecha ha sido visual remota desde el interior de vasija.

A continuación se resume el histórico de inspección de las penetraciones inferiores de vasija:

Año 1971: Inspección realizada por Westinghouse; se inspeccionan las soldaduras de varias PIV. No se detectan indicaciones reportables.

Año 1983: Inspección VT-IIA realizada por Westinghouse. No se detectan indicaciones reportables.

Año 1990: Inspección VT-III realizada por Tecnatom. No se detectan indicaciones reportables.

Año 1994: A raíz del agrietamiento detectado en las penetraciones de la tapa de la vasija se planificó una inspección visual VT-3 de las PIV sin desmontar los internos inferiores. La inspección la ejecutó Tecnatom mediante cámaras subacuáticas. Se detectan en algunas de las soldaduras huellas de mecanizado, que no se han generado en servicio. Las penetraciones examinadas resultan aceptables.

Año 1995: Adicionalmente se inspeccionaron desde el exterior de la vasija las 20 penetraciones mediante técnicas PT y UT en manual. El alcance de la inspección incluía la zona afectada por el calor de la soldadura bimetálica inconel/acero inoxidable. No se detectaron indicaciones reportables.

A pesar de los resultados de las inspecciones mencionadas, Westinghouse recomendó el realizar alguna inspección adicional que descartara la presencia de corrosión.

INSPECCIÓN EN LA RECARGA 97

DESARROLLO DE LA TÉCNICA

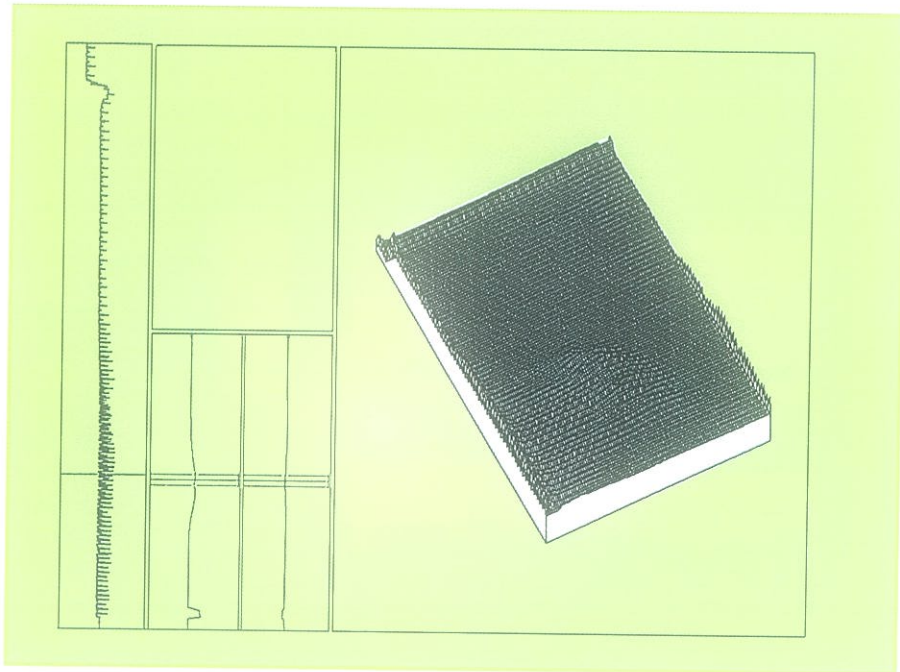
Desde 1995 hasta la realización de la inspección se trabajó sobre los equipos, técnicas y herramientas de inspección por parte de del Proyecto PIV, liderado por la DTN, y en concreto la empresa Tecnatom S.A. fue la responsable del desarrollo.

Desde el primer momento se puso como pre-

misa para el desarrollo y realización de la inspección el realizar la misma sin retirar el interno inferior del interior de la vasija. Esta premisa se debe a la complejidad de la operación en C.N. José Cabrera y al alto coste de dosis que supondría tanto la extracción como la propia inspección (Figura II).

En Febrero de 1995, previo a la carga del combustible del Ciclo XXI, se efectuaron las comprobaciones necesarias de galgueado para asegurar que las penetraciones eran accesibles para inspección desde la placa inferior del núcleo.

F IV - *Penetración nº4, examen circunferencial por corrientes inducidas.*



Técnicas de Inspección

Para realizar una inspección volumétrica completa de todo el Inconel 600 de las penetraciones y detectar y dimensionar tanto defectos originados en la superficie interior como en la exterior de la penetración y de orientación axial y circunferencial, se desarrollaron procedimientos específicos de corrientes inducidas (CI) y de ultrasonidos (UT).

Para la preparación y desarrollo de las técnicas de CI y UT se definieron bloques de calibración conteniendo entallas de orientación axial y circunferencial con origen en la superficie exterior y en la interior.

Estos bloques fueron inspeccionados en laboratorio con el fin de determinar las características principales de las sondas en lo relativo a la posición de los transductores de UT así como la frecuencia y tamaño del cristal. Con la configuración definida se realizaron adquisiciones sobre los bloques de calibración en las condiciones de laboratorio y reproduciendo las condiciones de inmersión en una cubeta.

A continuación se utilizó un foso (con 8 m de profundidad) para reproducir las condiciones de sumergibilidad de los equipos. En él se ha introducido una maqueta que reproducía la superficie de la placa inferior del núcleo y la situación de las penetraciones bajo la misma.

La máquina de inspección, portando la sonda, fue colocada en posición de inspección, totalmente sumergida, y conectada a los equipos de inspección de CI y UT que estaban previstos utilizar en la planta.

La técnica ultrasónica desarrollada comprende dos sondas TOFD para detección y dimensionamiento de indicaciones circunferenciales y axiales respectivamente y una sonda de espejos para detección y dimensionamiento de indicaciones circunferenciales originadas en la superficie exterior de las penetraciones.

La técnica de corrientes inducidas comprende una única sonda, útil para ambos tipos de indicaciones.

Se realizaron así adquisiciones sobre los bloques de calibración con ambos tipos de técnicas corroborándose las capacidades de detección y dimensionamiento que habían sido estimadas en laboratorio.

A partir de estos resultados satisfactorios fueron confeccionados los correspondientes procedimientos de inspección para ejecutar en campo.

Se fabricaron bloques con grietas generadas artificialmente por mecanismos de corrosión bajo tensión, con orientaciones axiales y circunferenciales, internas y externas.

Estos bloques fueron inspeccionados con los equipos y procedimientos desarrollados previamente en los bloques de calibración, confirmándose la validez de las técnicas y procedimientos desarrollados.

Con el fin de optimizar el proceso de inspección fueron fabricados tres módulos de inspección, uno para la exploración axial (con TOFD y CI), otro para exploración circunferencial (con TOFD y CI) y otro para dimensionamiento, caso de ser necesario, de grietas circunferenciales con origen en el exterior de la penetración (con sonda de espejos).

Manipulador

Para poder llegar con los módulos de inspección a las penetraciones y permitir su inspección de acuerdo con el alcance descrito, fue desarrollado un manipulador, el cual supone una ventaja frente a los existentes, ya que no requiere extraer los internos inferiores del interior de la vasija (Figura III).

El equipo se deposita sobre la placa inferior del núcleo y se fija sobre los pines de guiado de los elementos combustibles e introduce una barra guía en los conductos de paso de los thimbles (los cuales han sido adecuadamente retirados). En la punta de la barra guía lleva el elemento de detección que una vez colocado en las proximidades del área a inspeccionar y con los movimientos necesarios (desplazamiento axial y giro) permite llevar a cabo la inspección.

El control del equipo mecánico se realiza mediante el dispositivo SIROCO, a través de una interfase preparada expresamente para este equipo. Para la adquisición y tratamiento de la información se utilizan los dispositivos SUMIAD (UT) y MIZ-18 (CI).

Criterios de aceptación

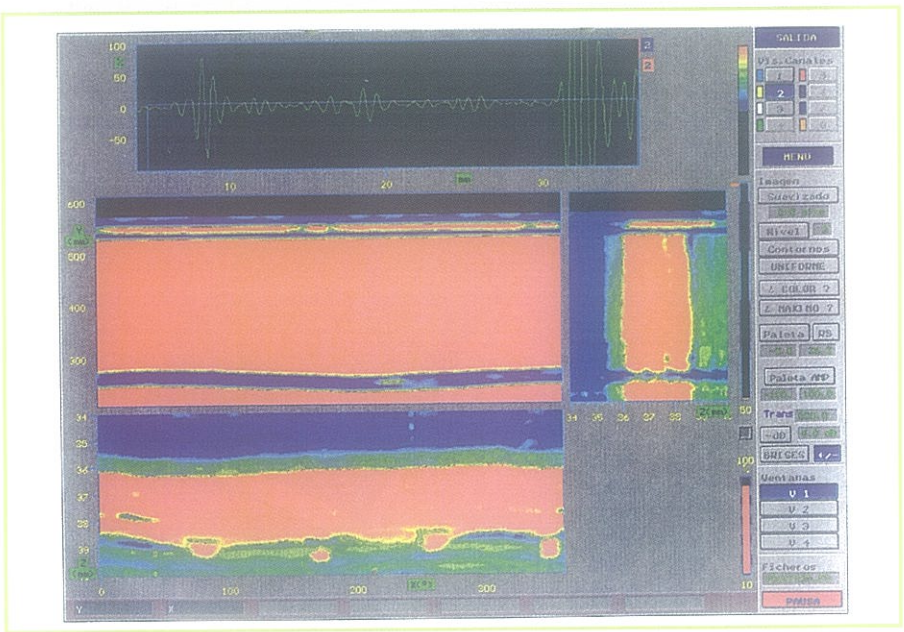
Del estudio específico de mecánica de fractura para las penetraciones de la C.N. José Cabrera se deducen los tamaños máximos de grieta que constituyen los criterios de aceptación.

Dichos criterios dependen de la posición de los defectos:

- Por encima de la pared interior de la vasija, las indicaciones pueden ser pasantes no estando limitadas en su longitud las axiales y las circunferenciales no tendrán más de 270° de arco.
- En la zona del cordón de soldadura y la parte contenida dentro del material de la vasija, la profundidad de las indicaciones axiales y circunferenciales interiores y exteriores no superará el 75% del espesor siempre que su longitud, si es axial, esté confinada dentro de este área y pudiendo tener las circunferenciales 360° de arco.
- En la zona fuera de la vasija la profundidad de las indicaciones axiales y circunferenciales no superará el 75% del espesor, pudiendo ser la longitud de las circunferenciales de 360° y estando limitadas las axiales a 142 mm.

Como refuerzo de los criterios de aceptación desarrollados, se han realizado ensayos de crecimiento de grietas específicos para los materiales, dimensiones y condiciones de servicio

F V - *Penetración nº 06 examen circular por ultrasonidos.*



de la C.N. José Cabrera. Estos ensayos han sido realizados por el CIEMAT fuera del ámbito del proyecto PIV y los resultados han sido satisfactorios.

EJECUCIÓN DE LA INSPECCIÓN

El alcance de la inspección realizada fue el 100% del inconel de las 20 penetraciones existentes. El programa de ejecución fue de 12 días, siendo la ruta crítica de los trabajos en la cavidad de 5 días. Los requisitos previos de inspección fueron disponer del reactor descargado, nivel alto de agua en la cavidad del reactor, iluminación y cámaras de TV subacuáticas para el posicionado del manipulador, así como la disponibilidad de la grúa OMEGA.
La inspección se realizó en 2 fases standard:

- exploración longitudinal (CI + UT TOFD) para la detección de defectos circunferenciales
- exploración transversal (CI + UT TOFD) para la detección de defectos axiales

Existía la capacidad de inspección , finalmente no requerida, para dimensionar defectos circunferenciales en la superficie exterior mediante la técnica de UT de espejos.
La evaluación de los datos se realizó prácticamente en paralelo con la adquisición , utilizándose para las CI el sistema EVA manual y para los UT el sistema digital SUMIAD MASERA.
De la evaluación conjunta de ambas técnicas (CI y UT) (Figuras IV y V) se puede concluir que no se han detectado indicaciones relevantes de defecto en ninguna de las penetraciones.

OTRAS INSPECCIONES REALIZADAS

La Dirección General de la Energía también requirió la inspección visual de la placa separadora de las cajas de agua del GV así como el recubrimiento de la placa tubular, ambos de inconel.
Estas inspecciones se intercalaron dentro del programa de inspección de tubos del GV para optimizar los medios de inspección automática disponibles.
Se cumplió al 100% el alcance programado y del resultado de la misma se concluye que no existen indicaciones de defecto que signifiquen pérdida de integridad de las propias placas o de sus soldaduras con el cuerpo del GV, por lo que se considera ACEPTABLE. En la superficie de recubrimiento de la placa tubular no se aprecian indicaciones de daño ni faltas de material por lo que se considera ACEPTABLE.
Durante la parada de Enero/97 se ha acometido el retaponado del GV para eliminar los tapones mecánicos de Inconel 600 así como los tapones soldados con el procedimiento NPT-80. Con esta intervención se han eliminado aquellos tapones de Inconel 600 que estuvieron en contacto con el primario durante los ingresos de resinas en los años 1980 y 1981 Este proceso concluyó en el mes de Mayo/97 con una prueba hidrostática desde el lado secundario para detección de fugas, que resultó ACEPTABLE.

CONCLUSIONES

En la inspección PIV de Febrero/97 se ha cumplido con el 100% del alcance programado. No se han detectado indicaciones relevantes de defecto, por lo que el estado de las penetraciones de instrumentación del fondo de Vasija de C.N. José Cabrera se considera ACEPTABLE.
El resto de inspecciones de componentes de Inconel 600, placa separadora y recubrimiento de la placa tubular del GV, han resultado ACEPTABLES.
La campaña de retaponado del GV ha eliminado la posibilidad de agrietamiento de tapones mecánicos de Inconel 600 por PWSCC así como la posibilidad de agrietamiento de tapones soldados de Inconel 600 y en contacto con el agua del circuito primario.
Después de la inspecciones realizadas en los años 1994, 1995 y 1997, se da por completado el programa de inspección de los componentes del circuito primario que pudieran haber sido afectados por el mecanismo de agrietamiento de las penetraciones de la tapa de la vasija con resultados satisfactorios

Juan José PACIOS FERNÁNDEZ es Ingeniero de Minas por la E.T.S. de Ingenieros de Minas de Oviedo. Jefe de Producción de la C.N. José Cabrera. Jefe de Proyecto de Inspección del proyecto PIV (Penetraciones Inferiores de Vasija).

Jorge BENAVIDES PEÑA es Ingeniero Industrial por la E.T.S. de Ingenieros Industriales de Madrid. Jefe de Ingeniería de Producción de la C.N. José Cabrera. Responsable en C.N. José Cabrera de la Inspección de las penetraciones del fondo de la vasija en la Recarga de 1997.