

JUAN BROS - NORBERTO RIVERO - ALFONSO JIMÉNEZ

APORTACIÓN DE LA INGENIERÍA DE TECNATOM A LA EXPLOTACIÓN DE LAS CC.NN.

Se describe la evolución que ha tenido la ingeniería en Tecnatom, y cómo se vislumbra su desarrollo futuro. Tecnatom ha estado centrada en trabajos relacionados con instalaciones de generación de energía eléctrica, especialmente la nuclear, teniendo como objetivo contribuir a la mejora de la seguridad, disponibilidad y economía de estas instalaciones.

Se hace un repaso de la evolución y futuro de las tres áreas de ingeniería con mayor implantación en Tecnatom: Inspección e Ingeniería de Inspección, Ingeniería de Simulación e Ingeniería de Operación.

INTRODUCCIÓN

En sus 40 años de existencia, Tecnatom ha centrado su actividad en temas relacionados con las instalaciones de generación de energía eléctrica, con el objetivo de contribuir a la mejora de la seguridad, disponibilidad y economía de las mismas.

Los trabajos iniciales fueron de ingeniería pura para el seguimiento y asimilación de las tendencias y aplicaciones de la energía nuclear, mediante la realización de estudios y proyectos basados en ella.

Después de su participación en la gestión y coordinación del proyecto de construcción de la central nuclear José Cabrera, Tecnatom, para cumplir con las necesidades derivadas de los planes energéticos, pasó a convertirse, en 1979, en una empresa de ingeniería de servicios para la puesta en marcha y soporte técnico a la explotación de centrales generadoras de energía eléctrica, con especial atención a las centrales nucleares.

Con el paso del tiempo, las actividades desarrolladas se han ido adaptando a los requisitos y tendencias de la normativa, a las necesidades de nuestros clientes y a lo que el mercado demanda.

INSPECCIÓN E INGENIERÍA DE INSPECCIÓN

Cuando se abordó el diseño y construcción de las primeras centrales nucleares, la inspección en servicio no fue contemplada como algo consustancial con la futura operación de esas instalaciones. De hecho, en los años 60, no se contaba con ninguna experiencia de cual iba a ser el comportamiento de los componentes nucleares

salvo, si vale la comparación, las inspecciones periódicas en componentes de la barrera de presión en centrales térmicas que se centraban exclusivamente en las calderas, eso sí, sin un código de inspección definido y dando relativamente poca importancia a las tuberías, bombas y válvulas.

Al mencionado desconocimiento de cual iba a ser el comportamiento de los distintos componentes de las centrales nucleares se añadía la creencia de que los niveles de radioactividad harían, en cualquier caso, impracticables unas posibles inspecciones periódicas. ¿Solución adoptada? Asumir que la inspección en servicio sería innecesaria si los sistemas de las centrales nucleares se diseñaban y construían con unos estándares de mayor calidad que aquellos usados en la construcción de centrales térmicas. Evidentemente, y no es necesario relatar la historia, ahí no quedó la cosa.

Con estas consideraciones no es de extrañar que, la inspección preoperacional primero y en servicio después, constituyera, durante no pocos años, un reto o fin en sí misma.

El camino andado desde entonces ha supuesto un continuo dar respuesta, vía regulación o normalización, a las experiencias que la explotación diaria de las centrales y el mayor conocimiento sobre el comportamiento de los materiales reportaban.

Hoy, superada esa fase, los servicios de inspección, ya no son la inspección en sí misma y sí garantizar la integridad, operabilidad y eficiencia de componentes, equipos y sistemas de tal forma que se mantengan, de considerarlos idóneos, los actuales niveles de seguridad y disponibilidad con un coste de explotación competitivo.

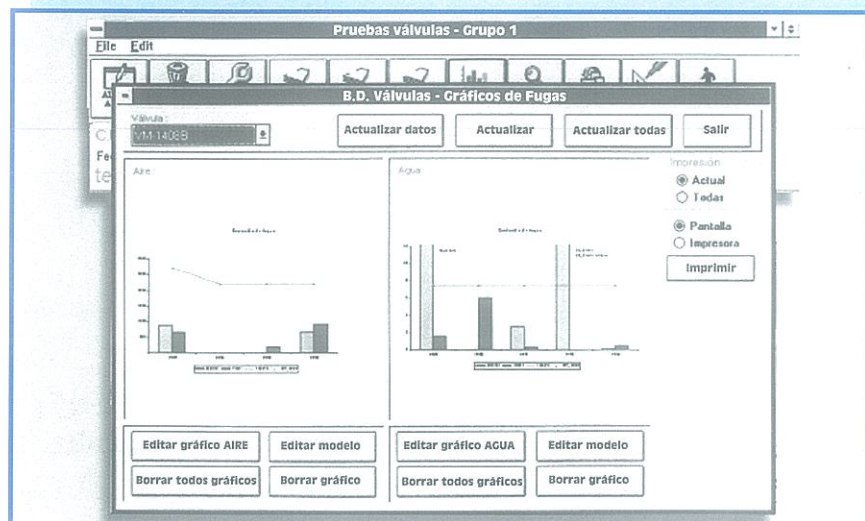
Sin ánimo alguno de emular a académicos de la lengua, denominaremos Ingeniería de Inspección al sumatorio de actividades, vinculadas a la inspección en servicio, que permiten darle ese giro definitivo a los anteriores planteamientos.

Y, ¿cuáles son esas actividades?. Las que a continuación se enumeran reseñando en cada caso lo que, al día de hoy y para el futuro inmediato, constituye su contribución al objetivo anteriormente redefinido.

PROGRAMAS DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS

Nuevas bases y herramientas reclaman su participación en una redefinición general de los actuales programas de inspección y pruebas que han evolucionado, quizás por partir de la nada, hasta volúmenes (alcance y frecuencia) no totalmente acordes con la contribución de la probabilidad de un fallo estructural a la probabilidad del fallo generalizado del reactor (fusión del núcleo).

Debido a esto, se contempla la elaboración de los programas de inspección y pruebas a partir del historial de inspecciones y pruebas del componente o sistema y en cualquier caso, fundamentando su inclusión en el alcance del programa de inspección o pruebas, estableciendo frecuencia y estrategia de inspección o prueba más adecuada, a partir de los análisis de riesgos. La elaboración de los programas de inspección y pruebas en base a los análisis de riesgos, se inicia al comienzo de la década de los ochenta con la clara constatación de la acumulación de resultados de las inspecciones en servicio y la ausencia de accidentes severos por rotura de la vasija o tuberías que confirman la baja contribución de los fallos de integridad estructural en la



consideración de riesgo general de la planta; que la contribución mayoritaria corresponde a los fallos funcionales; y que, adicionalmente, los fallos reportados hasta la fecha tienen lugar, mayoritariamente, en localizaciones no requeridas a inspección. Tales constataciones sugieren la revisión de los requisitos de inspección de la integridad estructural de la barrera de presión.

En 1985 ASME creó un grupo de trabajo con el fin de establecer los requisitos de inspección y guías de programación basados en los análisis de riesgo para todos aquellos sistemas y componentes de interés en instalaciones industriales.

Como fruto de este esfuerzo, ASME publica en 1991 el primer volumen "General Document", al que siguen otros más específicos, que describen y recomiendan los métodos adecuados para establecer los programas de inspección en base a la información disponible de análisis de riesgos para instalaciones o sistemas estructurales. Por entonces Technatom se involucra en el seguimiento de estas nuevas metodologías incorporándose como miembro de pleno derecho en los distintos comités de ASME.

De lo general se pasó a lo concreto y así en 1996 fueron aprobados por ASME, los primeros Code Cases, tanto para inspección como para pruebas, que amparan, como alternativa al propio ASME XI y ASME OM, la programación de inspecciones y pruebas en base a los análisis de riesgos.

Las bases estaban ahí y de hecho se está imponiendo ya su consideración. Pero, para ello, es necesario contar con las herramientas adecuadas de gestión.

Asociadas a la elaboración de un Manual de Inspección en Servicio (MIS) o a la edición de un programa de inspección para una parada para recarga, por ejemplo, han estado presentes, desde un principio, las denominadas bases de datos de inspección, sin cuya contribución se nos antoja poco menos que de amanuenses esa labor.

Alrededor de esa gestión de inspecciones, se

acometieron en su día los primeros desarrollos para permitir algo más que el simple almacenamiento de datos que su denominación sugiere. Posteriormente, y ya sin solución de continuidad, las bases de datos de inspección se han ido acondicionando adecuadamente, para permitir la evaluación de los resultados de las inspecciones y pruebas, para ayudar a gestionar la vida remanente de las centrales, o para elaborar los programas de inspección y pruebas en base a resultados históricos (fig.1) o a partir de los análisis de riesgos.

ANÁLISIS DE INTEGRIDAD Y VIGILANCIA DE COMPONENTES

No vale ya permanecer a la espera de los resultados que una inspección en servicio pueda darnos y a partir de ahí mandar nuestras naves en busca de una resolución urgente de qué hacer con el componente o sistema objeto de análisis.

Seguridad y disponibilidad reclaman otras actuaciones. Y esas actuaciones no son otras que

disponer de antemano de esas soluciones. ¿Cómo?. Siendo capaces de evaluar convenientemente si la presencia de defectos o deterioro de las propiedades de los materiales es crítica, antes de la ejecución de las inspecciones programadas que ya consideran tales evaluaciones en la definición de alcances y frecuencias (mecánica de fractura probabilística para programas de inspección basados en el riesgo).

Tenemos ejemplos recientes (fig. 11) de cómo se antoja impensable acometer desarrollos de técnicas y equipos de inspección, para afrontar el penúltimo problema surgido sin una determinación previa de los criterios de evaluación o aceptación de los posibles defectos que con esas técnicas y equipos pudiesen detectarse.

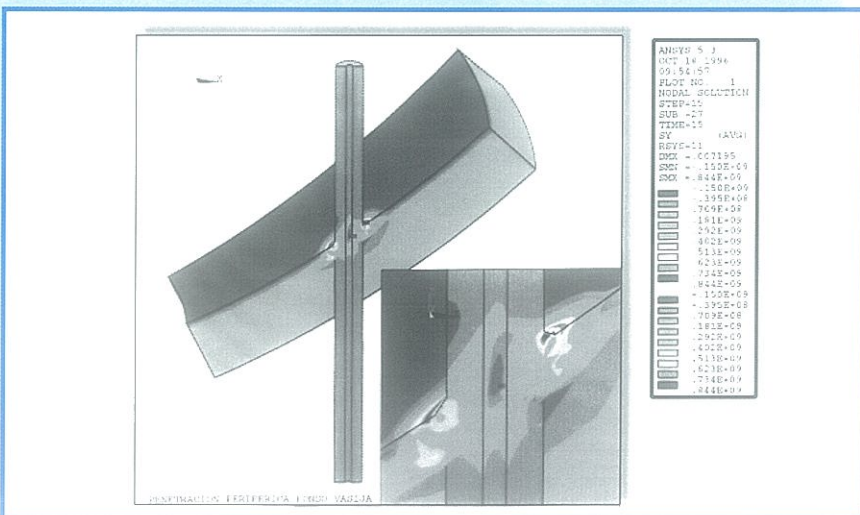
En un estadio anterior, incluso al de la consideración de la presencia de un defecto, hay que considerar la degradación de las propiedades mecánicas de los materiales. Para ello se definen diferentes programas de vigilancia que ya no se contentan con el ejercicio rutinario de la rotura o análisis metalográfico de una o varias probetas, sino que buscan métodos alternativos no destructivos ante la falta, en muchos casos, de disponibilidad de material. No es ciencia ficción la determinación del estado de fragilización de la vasija del reactor mediante ensayos no destructivos.

Así pues, la Ingeniería de Inspección se involucra totalmente en los retos de presente y futuro que las centrales plantean en aras de una operación cada vez más segura, y unos niveles cada vez más altos de disponibilidad y rentabilidad.

INGENIERÍA DE SIMULACIÓN

El uso industrial de la simulación se remonta varias décadas, cuando por necesidades de entrenamiento en colectivos muy especializados, como son el personal de operación de centrales nucleares o pilotos de aviación, se hizo patente la necesidad de disponer de herramientas de entrenamiento basado en simulación.

F II- Simulación del proceso de soldadura en una penetración del fondo de la vasija.



En paralelo, en los años 60, en el sector eléctrico nuclear y, por necesidades de licenciamiento, surgieron diferentes códigos termohidráulicos y neutrónicos que simulaban el comportamiento de los sistemas primarios de una instalación termonuclear. Una característica de estas herramientas de simulación era la de requerir importantes recursos de computación. Hoy en día la espectacular evolución de los equipos de cálculo, cada vez más baratos y potentes, ha permitido el uso de modelos y códigos de simulación más sofisticados y precisos. De esta manera se posibilita la ejecución de toda clase de transitorios, incluso los más complejos, en tiempo real y se convierte la simulación en una tecnología polivalente en la que un aplicativo -modelo de simulación- es aprovechable para objetivos tanto de entrenamiento como de ingeniería.

El uso de la tecnología de simulación como herramienta de ingeniería es cada vez más intensivo, destacando su aplicación en los siguientes campos:

- Evaluación de Modificaciones de Diseño:

Es posible, ante una modificación al diseño de planta, analizar el comportamiento dinámico de la misma y su impacto global en el comportamiento de la planta.

La construcción de un simulador en paralelo con una nueva central, da la posibilidad de probar y confirmar muchos aspectos del diseño (fig. III).

- Factores Humanos:

Los aspectos relativos al diseño de una interfaz hombre-máquina con un proceso real, como son la calidad de la información, nivel de redundancia, grado de suficiencia, disposición o claridad de la misma para el adecuado diagnóstico y seguimiento del proceso, pueden ser analizadas y verificadas con simuladores.

- Validación de

Sistemas de Ayuda a la Operación:

La idoneidad de los sistemas de ayuda a la operación como por ejemplo: seguimiento "on-line" de procedimientos, filtrado de alarmas, diagnóstico predictivo, visualización de parámetros de seguridad (SPDS), etc.

Su impacto en la operación, e incluso su cualificación, puede ser llevada a cabo integrándolos en un entorno de simulación.

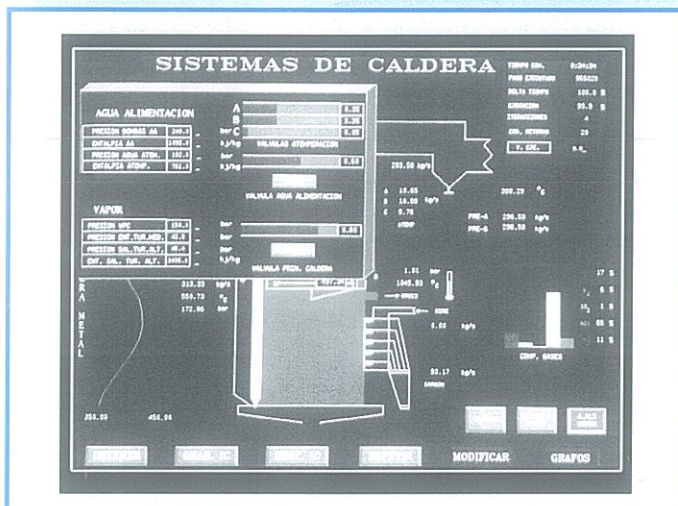
- Incorporación de Nuevos Sistemas de Control:

La sustitución de lazos de control analógicos por tecnología digital, propicia el uso de la simulación como herramienta de estimulación de los nuevos sistemas de control digitales. La evaluación del comportamiento de los sistemas controlados, el ajuste y verificación de las funciones de control, así como la familiarización de los operadores con los nuevos sistemas, de una forma anticipada a la puesta en servicio del sistema, permite una puesta en marcha de la planta rápida y segura.

- Gestión de Emergencias:

Con un simulador es factible investigar las causas que generaron un incidente, ayudando a extraer las medidas correctoras oportunas.

F IV - Modelo de Caldera.



un sistema avanzado de tratamiento y filtrado de alarmas.

- Validación del diseño y desarrollo de un sistema de visualización de parámetros de seguridad para centrales nucleares.

- Validación de maniobras y secuencias de los POE's (Procedimientos de Operación de Emergencias) para diversas centrales nucleares, utilizando sus simuladores.

- Generación de escenarios de los simulacros de emergencia de CC.NN.

El futuro se anticipa muy prometedor como consecuencia de una cada vez mejor relación coste/beneficio en la aplicación de tecnología de simulación en análisis de ingeniería. Por un lado la reducción de precios en el desarrollo de modelos de simulación, debido al uso de herramientas de alta productividad, por otro la necesidad de evaluar el impacto de nuevos equipos o modificaciones del diseño, orientadas a proporcionar una mayor eficacia o extender la vida de los procesos, nos hace confiar en un crecimiento sostenido de la ingeniería de simulación.

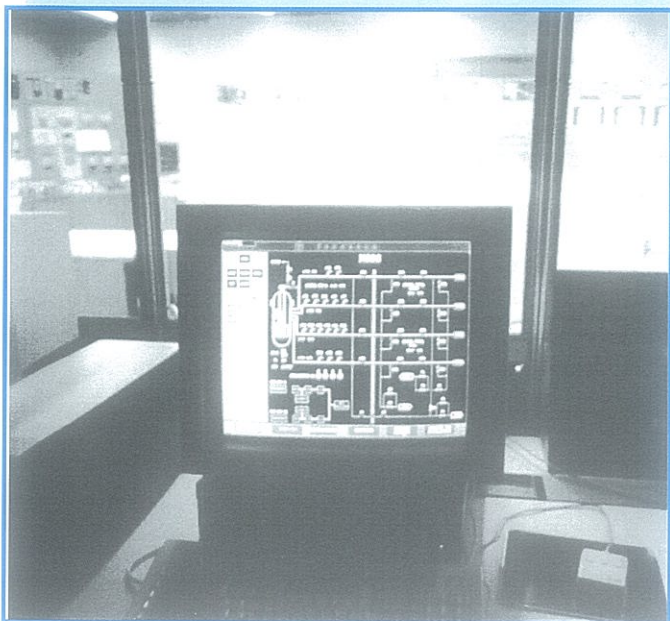
INGENIERÍA DE OPERACIÓN

La experiencia en ingeniería de operación, se inició con la puesta en marcha de la C.N. José Cabrera. La adquisición de *simuladores de alcance total* (C.N. Cofrentes y C.N. Lemóniz) a finales de los años setenta, permitió, además de la formación de los futuros equipos de operación y explotación de las centrales de segunda y tercera generación, la formación especializada de técnicos en operación de la plantilla de Tecnatom, y la disposición de dichos simuladores como herramientas de pruebas y evaluación.

Al principio de los años ochenta, y a raíz del incidente de TMI, se empezaron a analizar en detalle y de forma sistemática los aspectos de *operación de las centrales*, que anteriormente habían estado en segundo lugar, relegados por elementos de diseño y construcción.

Los resultados del mencionado suceso determinaron que las actuaciones de los operadores

F III - Simulador como herramienta de análisis.

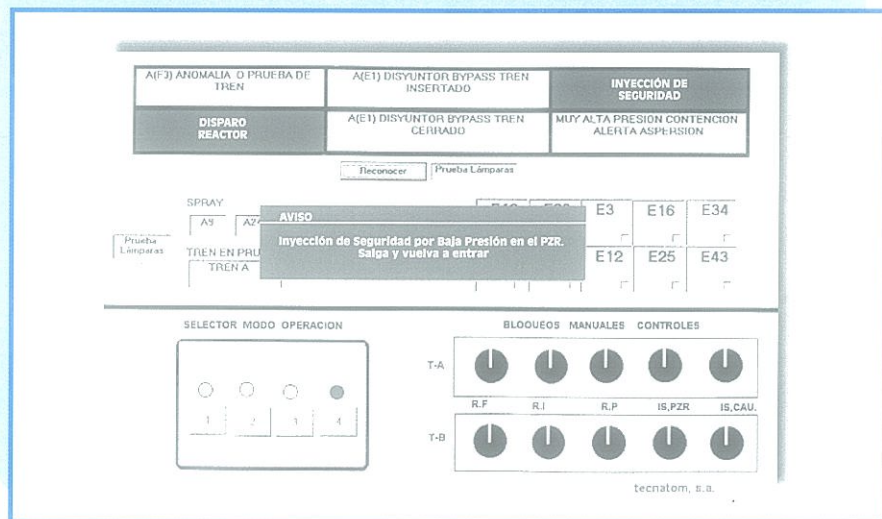


de la sala de control, y en una palabra, lo que hoy denominamos *Factores Humanos*, constituyen un elemento muy importante en la aparición y en la prevención y mitigación de accidentes e incidentes en centrales nucleares. Como consecuencia de lo anterior se generaron normas y regulaciones que suponían que todas las centrales en operación y los solicitantes de licencia tuvieran que realizar una revisión detallada del diseño de las salas de control. Tecnatom participó muy activamente en esta actividad, en estrecha colaboración con los operadores de las centrales, intentando identificar y corregir, o mejorar todos los criterios de interfase hombre-máquina (factores humanos y operacionales) identificados por la normativa, y teniendo también en cuenta todas las experiencias operativas relacionadas procedentes de la industria nuclear mundial.

Adicionalmente se modificaron los *planes de entrenamiento* de los operadores de la sala de control y se diseñaron y desarrollaron nuevos *procedimientos de operación de emergencia* que incluyeron entre otras mejoras, formatos más sencillos, operación por síntomas (sin diagnóstico del suceso), y operación ante fallos múltiples.

Como complemento de lo anterior, y de la aparición de las nuevas tecnologías informáticas, la ingeniería de operación empezó a trabajar en el diseño y desarrollo de nuevas *ayudas a la operación*, comenzando por los denominados SPDS (sistemas de vigilancia de parámetros de seguridad), y que en los años noventa, dados los avances en las tecnologías digitales, pueden incluir nuevos sistemas de alarmas, sistemas de seguimiento de procedimientos, sistemas de ayuda al diagnóstico, etc. Las actividades de ingeniería de operación se cen-

F.V.- Instrumentación Sala de Control



tran fundamentalmente en el diseño, verificación y validación de los nuevos sistemas de instrumentación de ayuda a la operación.

Las actividades de análisis de experiencias operativas, análisis de seguridad y licenciamiento, así como el apoyo técnico a la gestión de emergencias, constituyen aspectos fundamentales de las actividades de ingeniería de operación en el presente.

El futuro vendrá marcado por criterios de *optimización de la operación*, manteniendo y mejorando los niveles de seguridad alcanzados, teniendo en cuenta además los avances tecnológicos que han aparecido durante los últimos años, fundamentalmente con la introducción de la tecnología digital y el diseño de nuevas centrales nucleares avanzadas y pasivas.

La experiencia adquirida, así como el intenso

contacto mantenido con las centrales a lo largo del tiempo, a la amplia experiencia en la realización de servicios, tanto técnicos como docentes y a la participación en numerosas actividades internacionales, han llevado a consolidar las actividades actuales de ingeniería de operación.

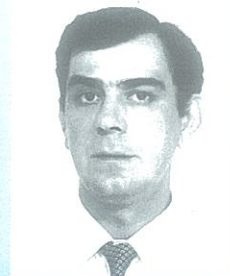
Todas las actividades relacionadas con la ingeniería de operación mencionadas anteriormente, se caracterizan además de por la necesidad de tener una relación muy directa con los clientes, por una flexibilidad a la hora de enfocar los trabajos, y cubrir exactamente los requisitos específicos. Adicionalmente es fundamental el conocimiento de las últimas tendencias y experiencias de la industria, así como los avances tecnológicos que se van produciendo a nivel nacional e internacional.



Juan BROS es licenciado en Física por la Universidad de Barcelona. Ingresó en Tecnatom en 1982 ocupando en la actualidad la jefatura de Ingeniería de Inspección. Son cometidos de dicha organización la elaboración de los programas de inspección en Servicio y la prestación de asistencia técnica en todo lo relacionado con la normativa y práctica aplicable a la inspección en Servicio, así como la realización de análisis de integridad y vigilancia de componentes.



Norberto RIVERO MORENO es ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid. Desde el año 1983 ha trabajado en Tecnatom en diferentes puestos. En la actualidad es responsable de la División de Simulación. Entre los proyectos más relevantes realizados se encuentran los simuladores de las CC.NN. de Ascó, Vandellós, Zorita y Atucha, así como de las CC.TT de Granadilla, Teruel y Puentes.



Alfonso JIMÉNEZ FERNÁNDEZ SESMA, ingeniero industrial de ICAI, es jefe de la división n de Ingeniería de Operación de Tecnatom, S.A., donde lleva prestando sus servicios desde 1981. Certificado como Supervisor de Operación de centrales PWR, ha participado y coordinado numerosos proyectos y estudios de apoyo a la explotación de centrales nucleares españolas. Durante dos años estuvo trabajando en INPO (USA) como ingeniero-evaluador en las reas de operación y apoyo técnico. Es vocal de la Comisión Técnica de la Sociedad Nuclear Española.