

## UN PASO IMPRESCINDIBLE EN LA EXTENSION DE VIDA EN CENTRALES NUCLEARES

# OPTIMIZACION DE LA INSPECCION EN SERVICIO

A. ALONSO RAMOS - F. MILLAN PASTOR - J. ALONSO CHICOTE

La inspección en servicio en centrales nucleares tiene como objeto el seguimiento periódico del comportamiento de los equipos, tuberías, estructuras, etc., que de acuerdo con la normativa requieren un control que garantice su comportamiento seguro en condiciones operativas. La sección XI del Código ASME suministra las reglas y requisitos a cumplir en la realización práctica y puesta en escena de la inspección en servicio. En ella se establecen el mínimo número de áreas que deben estar sometidas a inspección, cuáles deben ser los métodos y procedimientos de ensayo o prueba, frecuencia de las inspecciones, requisitos sobre el mantenimiento de registros e informes, procedimientos de evaluación, reparaciones, etc.

Basándose en esta normativa se confecciona el Manual de la Inspección en Servicio, específico para cada central, y en el que se recoge la selección detallada de áreas que van a ser sometidas a inspección y/o prueba, así como los procedimientos específicos a aplicar en cada caso.

Adicionalmente al programa de inspección en servicio requerido por la normativa (ASME-XI), se han desarrollado otros, basados en unos casos en recomendaciones explícitas de los organismos reguladores americanos, a través de IE-Bulletins, NUREG'S, etc., y en otros en base a la información recibida a través de instituciones como INPO (Institute of Nuclear Power Operations), ITEMS (In Service Inspection, Testing, Evaluation and Monitoring Service), etc., en los que, a través de sus comunicados oficiales, o bien me-

diantе consultas específicas realizadas, se recomiendan acciones de vigilancia en determinados componentes o elementos críticos, que han fallado o presentan un comportamiento inadecuado en otras centrales de características análogas. En definitiva, los programas de recomendaciones y/o vigilancia tienen como objeto el establecimiento de planes específicos en determinados componentes, que por su importancia y peso en la disponibilidad de la central requieren una atención especial. En este sentido podemos citar el programa de vigilancia de acero de vasija frente a la irradiación neutrónica, en el cual se analizan las variaciones en las propiedades mecánicas de estos aceros frente al fenómeno de la irradiación. Otros ejemplos los constituyen el Programa de Recomendaciones de Vigilancia en el Turbogruppo, el programa de vigilancia de la Erosión/Corrosión en tuberías del circuito secundario, la inspección por corrientes inducidas en tubos del condensador y cambiadores de agua de alimentación, etc.

Con esta perspectiva, vamos a tratar de exponer una serie de recomendaciones y prácticas, cuyo objetivo a corto plazo va a ser la optimización de la inspección en servicio en el conjunto global de la central, y con un fin adicional a medio/largo plazo: La mejora en la gestión de las técnicas, medios y resultados obtenidos como paso previo e imprescindible en la opción de Extensión de Vida en Centrales Nucleares. Aquí creemos conveniente hacer una breve exposición sobre lo que se entiende por Extensión de Vida en Centrales Nucleares.

Antonio ALONSO RAMOS es ingeniero industrial por la ETSII de Madrid. Trabaja en TECNATOM desde 1972, ocupando en la actualidad la jefatura del Departamento de Ingeniería. Este departamento gestiona todas las actividades relacionadas con la ejecución de la Inspección en Servicio en centrales nucleares españolas.

Fernando MILLAN PASTOR es ingeniero industrial, especialidad mecánica, por la ETSII de Madrid. Desde 1982 trabaja en TECNATOM, en el Departamento de Ingeniería. Ha participado en las inspecciones preoperacionales de las centrales de Ascó II, Cofrentes y Vandellós, así como en las inspecciones en servicio de Ascó y Almaraz. En la actualidad desarrolla su trabajo en el Grupo de Integridad de Componentes de TECNATOM. Ha participado como ponente y asistido a diversos congresos, cursos y seminarios, tanto en España como en el extranjero, relacionados con análisis de integridad y estimación de vida.

Javier ALONSO CHICOTE es ingeniero industrial, especialidad eléctrica, por la ETSII de Madrid. En el período 1980-1982 trabajó en Empresarios Agrupados en los proyectos de CN Almaraz y CN Valdecaballeros. En 1982 se incorpora a TECNATOM, dentro del Departamento de Ingeniería, donde en la actualidad es jefe de sección de Calificación de Equipos.

## PLAN DE EXTENSION DE VIDA EN CENTRALES NUCLEARES

A principios de los años cincuenta, la AEC (Atomic Energy Commission) decidió fijar como período de licencia operativa el plazo de cuarenta años. Esta decisión no estuvo basada en condicionantes tecnológicos, sino más bien residió en aspectos económicos, tales como el período previsto de amortización de las inversiones financieras y el previsible grado de obsolescencia del equipamiento y la tecnología. De hecho, y según comentó en el verano del año pasado el director delegado de Ingeniería de Seguridad de la NRC, esta elección se gestó en aquel tiempo como una solución de compromiso entre los partidarios de un período de licencia de cincuenta años, como en las centrales hidroeléctricas, y los partidarios de un período de licencia más corto para las primeras instalaciones nucleares.

Con este planteamiento, a principios del siglo próximo, deberá producirse el comienzo de la retirada paulatina de centrales eléctricas de origen nuclear, como consecuencia de la expiración de su período de licencia. En nuestro país, la situación se recoge en la figura 1. En ella puede observarse que en el año 2015, la pérdida de potencia de origen nuclear será del 75 % de la actualmente instalada.

Ante esta perspectiva, las alternativas de sustitución de esta energía retirada deberán centrarse en:

- Construcción de nuevas centrales nucleares de tecnología avanzada (ALWR).

- Construcción de centrales de combustible fósil mejoradas (NEW-COAL).
- Desarrollo y puesta a punto de la utilización comercial de otras fuentes energéticas (eólica, solar, geotérmica, fusión nuclear, etc.).
- Extensión o alargamiento de vida de las centrales ya existentes.

De estas cuatro opciones, la última, referente a la extensión de vida de las centrales ya existentes, es la que, a corto plazo, presenta un atractivo mayor, fundamentalmente porque los costes de su implantación son sensiblemente inferiores a los de las otras alternativas, aparte de otras consideraciones, tales como períodos largos de construcción, incertidumbres ante la futura demanda energética, provisión de fondos, incertidumbre del progreso tecnológico, nuevas ubicaciones, problemática social, etc.

En la referencia 1 se realiza un estudio económico entre las alternativas primera, segunda y cuarta citadas anteriormente, que pone de relieve lo comentado.

## ¿QUE ES EXTENSION DE VIDA?

Con el nombre de Extensión de Vida se entiende el conjunto de acciones que deben tomarse en una central determinada, con objeto de alargar su vida por un período adicional al fijado en su período de licencia. Esta extensión de vida en centrales nucleares se estima actualmente en un 50 % del establecido en su licencia, es decir, la prolongación de su servicio por un período de alrededor de veinte años.

Esta opción debe demostrar su viabilidad, en base a criterios tecnológicos, económicos y de seguridad. En este sentido, la operación de una planta nuclear, más allá de su período de licencia, reside en tres factores significativos.

- El coste asociado a la renovación total o parcial de componentes agotados, junto con los costes asociados al mantenimiento y vigilancia de aquellos componentes cuya operación continuada pueda ser justificada.
- El coste adicional al cumplimiento de la normativa futura.
- La disponibilidad y seguridad de las centrales que alarguen su vida.

En definitiva, y lo que parece claro es que el propietario de la central deberá demostrar de manera convincente, primero a sí mismo y luego al organismo regulador y al público, que no existen barreras infranqueables para extender la vida de su central, operando de una manera segura y que sea económicamente atractiva.

El conjunto de acciones y planes específicos que deben desarrollarse o implementarse en una planta para posibilitar su operación en vida extendida, es lo que se conoce como estrategias de extensión de vida. Estas deben dirigirse a optimizar los factores más característicos que inciden en el funcionamiento global de la central. Así:

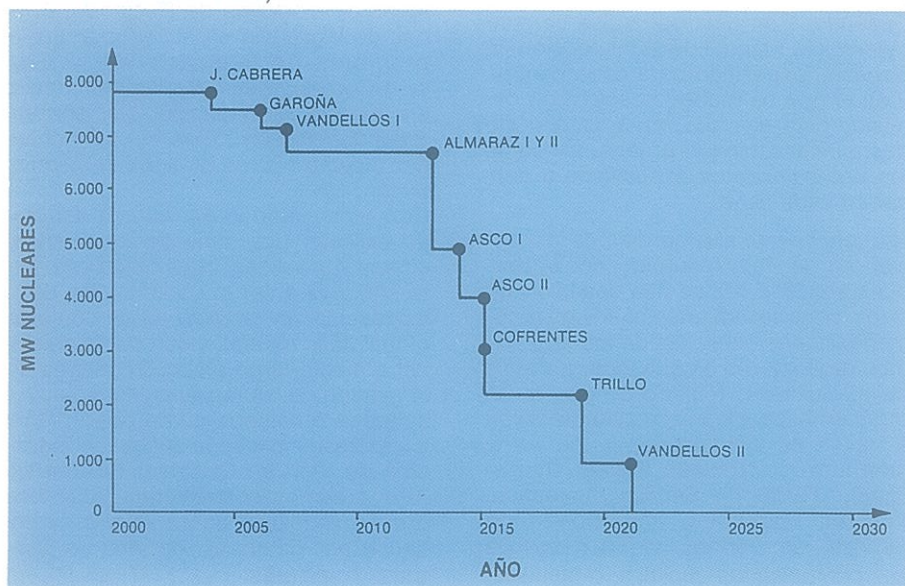
### Estrategias de Extensión de Vida sobre la operación:

En ellas se recogen las acciones a implementar y/o modificar en la operativa de la planta. En este sentido podemos citar la monitorización y registro adecuado de los transitorios de la planta y su comparación con los previstos en el diseño; modificaciones en la operación que permitan reducir el número de transitorios de presión y temperatura, o bien la redistribución de la configuración del núcleo con objeto de reducir el flujo neutrónico en la zona próxima a él.

### Estrategias de Extensión de Vida sobre las bases de diseño

En este punto se aglutinan las acciones tendentes a revisar, mejorar y actualizar las bases de diseño de la planta, mediante empleo de modernos métodos computacionales, no disponibles en el momento en que se diseñó el componente, que permitan revisar los cálculos del diseño y evaluar su vida remanente. Por otro lado, la previsible reducción de los márgenes de seguridad, postulados en el diseño ante la falta de conocimiento o incertidumbre de determinadas hipótesis, deben ser considerados.

**F1** Retirada de servicio de las centrales nucleares en España a partir de su permiso de construcción (período de licencia: cuarenta años)



## Estrategias de Extensión de Vida sobre el Mantenimiento, Inspección en Servicio y Programas de Vigilancia

La optimización de los programas de mantenimiento, inspección en servicio y vigilancia de los componentes, sistemas o estructuras de una planta, nos permitirá una mejor caracterización y conocimiento de su estado actual y evolución futura, aspectos fundamentales cara a la extensión de vida de la misma. En este sentido, las acciones tendientes a mejorar los programas, técnicas de inspección o prueba, métodos de detección y dimensionamiento, así como los procedimientos de evaluación de los defectos encontrados en la Inspección en Servicio, deben ser considerados como básicos en la consecución de una extensión de vida en condiciones idóneas. Por otra parte, una estrategia global en lo que se refiere a la optimización del control, mantenimiento, actualización, adecuada accesibilidad y recuperabilidad de los registros y resultados de los programas de mantenimiento, inspección

en servicio y vigilancia debe ser vital para dictaminar el estado y evolución en el tiempo de la planta.

La implantación de bases de datos históricas en las que se engloben y conjunten toda la información sobre el estado de un componente, deben ser fundamentales e imprescindibles en un plan de extensión de vida.

La metodología básica a desarrollar se resume en la figura II.

### ¿POR QUE EXTENSION DE VIDA AHORA?

Las decisiones a tomar sobre extensión de vida en las plantas nucleares son singulares comparándolas con otras que puedan tomarse en otras industrias. La infraestructura creada en el entorno de la producción nuclear ha llevado a un proceso de decisión complejo, que implica la intervención de un gran número de personas y de organizaciones, ya que deberán valorarse no sólo los aspectos económicos y tecnológicos, que son comunes a las centrales de producción energética conven-

cionales, sino que deberán añadirse los condicionantes de seguridad y normativa inherentes a las centrales nucleares, con el añadido de la indefinición existente en lo que se refiere a requisitos de licenciamiento, al no haber sido éstos aún establecidos.

Como consecuencia de lo anterior, la toma de decisiones puede requerir grandes períodos de tiempo, fundamentalmente debido al gran número de datos a justificar y a la estrategia que sobre renovación de equipos se fije. Parece obvio que la decisión sobre extensión de vida, que ha de asumir el propietario de la central, deberá requerir al menos un conocimiento profundo del estado de la misma y, por otra parte, que los diagnósticos acerca del comportamiento de la misma en vida extendida sean prometedores. En definitiva, debe existir un alto grado de garantía sobre el estado de los materiales de sus centrales, y que las tendencias en el comportamiento de los mismos puedan ser predecibles.

En base a los primeros estudios realizados en USA (Ref. 1, 2 y 3) se ha estimado que el momento óptimo de la decisión debe ser diez años antes de la expiración de licencia. En ese momento deberán estar claras todas las opciones y el estado de la planta deberá estar en línea con las condiciones que se requieran para que su previsible extensión de vida sea viable. No obstante, la preparación y adecuación del camino para conseguir este objetivo debe comenzar cuanto antes. Las estrategias optimizadoras deben ser implantadas lo más pronto posible, pues todo ello redundará en un aumento de la disponibilidad y el rendimiento de la central, sin olvidar el objetivo último de alargamiento de vida.

Por tanto, es esencial e imprescindible aunar esfuerzos entre el personal potencialmente involucrado (ingeniería de diseño, ingeniería de inspección, consultores y personal de explotación) con objeto de recopilar, analizar y archivar los datos apropiados por una parte y por otra desarrollar métodos más avanzados que verifiquen la integridad de los sistemas de la central, para concluir la demostración de la viabilidad de su operación comercial de forma continuada más allá de la vida útil prevista actualmente en el licenciamiento.

### OPTIMIZACION DE LA INSPECCION EN SERVICIO

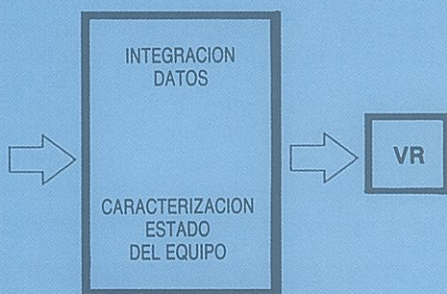
Una vez expuestas las características y las consideraciones específicas en el entorno de la filosofía de extensión de vida, volvemos a dirigirnos a uno de los aspectos que consideramos clave en la viabilidad de un proyecto de extensión de vida, la optimización de la preparación, ejecución y gestión de los

F II Extensión de vida en centrales nucleares

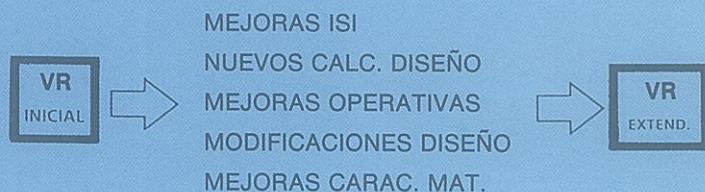
## METODOLOGIA BASICA

### A. CARACTERIZACION DEL ESTADO DEL EQUIPO Y DETERMINACION DE VIDA REMANENTE (VR)

BASES DE DISEÑO  
RESULTADOS ISI  
INTG. COMPONENTES  
CARACT. MATERIALES  
HIST. OPERATIVO  
HIST. MANTENIMIENTO



### B. DEFINICION Y APLICACION DE ESTRATEGIAS DE EXTENSION DE VIDA (VR EXTENDIDA)



### C. AJUSTE Y VALIDACION PERIODICA DE VIDA REMANENTE VIA REALIMENTACION DE RESULTADOS DE ACTIVIDADES DE INSPECCION Y VIGILANCIA

resultados de la inspección en servicio. A continuación describimos los aspectos más significativos que tienden a optimizar la inspección en servicio, cara a la extensión de vida.

### PREPARACION: GENESIS DEL PROGRAMA DE INSPECCION EN SERVICIO

El programa de inspección en servicio se confecciona en base a los requisitos de la normativa existente (ASME-XI). En la selección de áreas a inspeccionar/probar tiene una influencia muy grande el concepto de seguridad, es decir, la probabilidad de riesgo ante el fallo y sus consecuencias ante la salud del público. En este sentido, y sin mermar un ápice el alcance de los programas actualmente establecidos, creemos necesario reorientar y modificar el contenido de los mismos, en base al comportamiento real de la central y a su problemática específica, en definitiva, a su estado de "salud", incidiendo de manera especial en la inspección y control de aquellos elementos y componentes que históricamente o por experiencia foránea sean considerados como críticos. Esta planificación podrá establecerse en conjugación a los requisitos de la normativa, y su objetivo básico va a ser el seguimiento de equipos, sistemas, estructuras, etc., cuyo grado de criticidad, en lo que a extensión de vida hace referencia, así lo requiera.

No debe tratarse de ampliar de forma arbitraria el alcance de las áreas a inspeccionar, sino más bien, buscar planes de convergencia en la selección de las mismas, considerándose no sólo los aspectos de seguridad, sino también el historial de funcionamiento, comportamiento de equipos y sistemas con objeto de aumentar la disponibilidad y fiabilidad de la planta y garantizar su adecuación para su futura operación en vida extendida.

Con este objetivo y a modo de muestra vamos a citar unos ejemplos de programas recomendados de vigilancia y/o inspección, que tenderán a complementar y reconducir la filosofía de la inspección en servicio.

- Programa de vigilancia/inspección de los componentes internos de la vasija del reactor.
- Monitorización de transitorios y vibraciones en componentes más críticos del NSSS.
- Programa de inspección incrementada en zonas críticas de componentes y tuberías del NSSS (conexiones, safe-ends, toberas, etc.).
- Programa de vigilancia por ensayos no destructivos y monitorización de vibraciones en elementos del Turbo grupo.
- Programa de vigilancia de laero-

sión/corrosión en tuberías del circuito secundario.

- Programa de inspección/vigilancia de la degradación de la superficie interna de la cámara de supresión y del pozo seco en centrales BWR.

### EJECUCION: TECNICAS DE INSPECCION AVANZADAS. AUTOMATIZACION DE LAS INSPECCIONES. CRITERIOS DE EVALUACION

La ejecución de la inspección en servicio requiere la puesta a punto de gran cantidad de técnicas de inspección, ensayo o prueba, que van desde el examen visual directo hasta la inspección por END mediante ultrasonidos y corrientes inducidas. Los medios necesarios para realizar estos exámenes son muy variados, desde la sencilla aplicación de una técnica en sí, mediante medios convencionales, hasta la necesidad de equipos específicos en la realización de determinadas inspecciones.

En este sentido hay que considerar la creciente automatización de las técnicas de inspección, con el empleo de sistemas robotizados, de adquisición de datos, de análisis de señal y evaluación de indicaciones, que tienen a aumentar la fiabilidad y repetibilidad de las inspecciones por una parte, y a disminuir la recepción de dosis, dentro de la filosofía ALARA, por otra, aspectos que tendrán una repercusión importante en el planteamiento de un programa de extensión de vida.

Tecnatom ha desarrollado y puesto a punto técnicas de ensayo e inspección, mediante equipos automatizados, tales como:

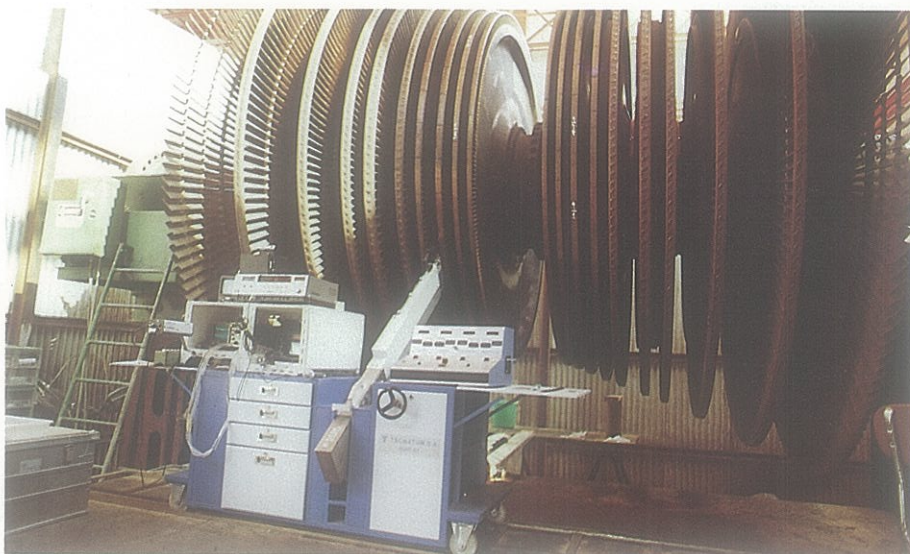
- Dispositivo automático para la inspección ultrasónica de pernos (SUIP).

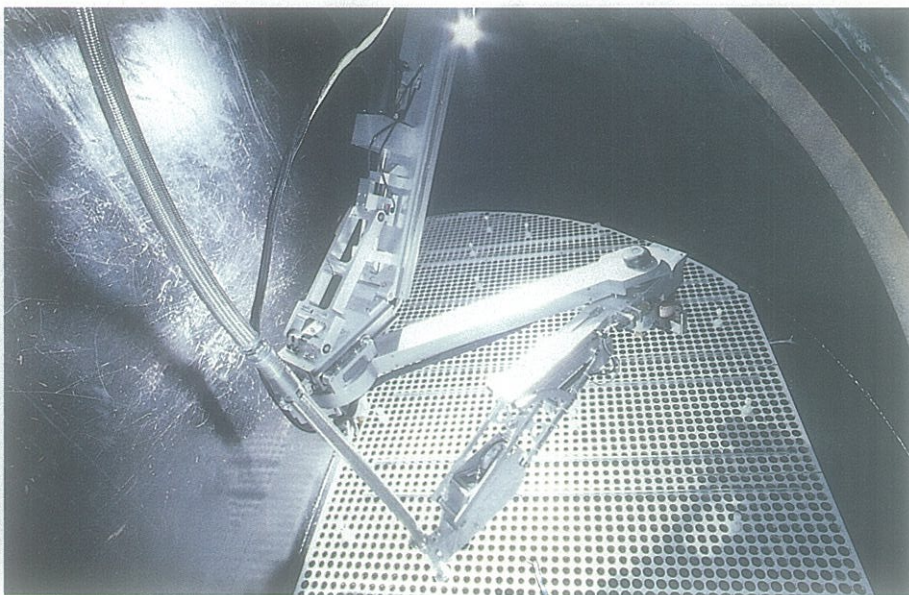
- Sistema automático de inspección ultrasónica de discos de turbina (SUID).
- Sistema de adquisición de datos por control remoto en zonas de alta radiación.
- Sistema de inspección visual por control remoto de internos de vasija (SIRE).
- Sistema ultrasónico de inspección mecanizada de tuberías (SUMIAD).
- Sistema ultrasónico de inspección mecanizada de soldaduras en pared de recipientes.
- Sistema de control universal de equipos de inspección.
- Posicionador polar (SM-10) para inspección por corrientes inducidas en tubos de generadores de vapor, controlado por ordenador, permitiendo el posicionamiento automático de la sonda de inspección.
- Sistema automático de evaluación de ensayos por corrientes inducidas, con capacidad de detección y dimensionamiento automático de defectos en haces tubulares.

Por otra parte, las técnicas de detección y dimensionamiento han progresado de manera considerable. Así, en el caso de la inspección por ultrasonidos, el empleo de técnicas tales como el *creeping-wave* o el método 30-70-70 basados en el desdoblamiento de ondas con pequeños ángulos de incidencia para la detección y dimensionamiento de las grietas por corrosión bajo tensión o la técnica de difracción en la punta, basada en la detección de la onda difractada en los extremos del defecto y que permite un dimensionamiento más ajustado del mismo.

En lo que se refiere a la inspección por corrientes inducidas, el empleo de la bobina rotatoria mejora considerablemente el límite de la detección y permi-

Vista del sistema de inspección ultrasónica de discos de rotores de turbinas de baja presión





Posicionador polar SM-10 para inspección por corrientes inducidas en haces tubulares de generadores de vapor

te determinar la geometría de los defectos.

El empleo de estas técnicas, actualmente en curso en las inspecciones en servicio llevadas a cabo por TECNATOM, posibilita un conocimiento más profundo y fiable del estado de deterioro del componente.

Finalmente, podríamos cerrar el proceso de ejecución de la inspección en servicio con la necesaria evaluación de las indicaciones detectadas durante la misma. Con este fin, TECNATOM ha desarrollado proyectos que permiten conocer el grado de integridad de los componentes que se someten a inspección y, en definitiva, estimar su vida remanente. En este punto podemos citar:

- Manuales para la evaluación de indicaciones en componentes y sistemas de tubería nucleares.
- Desarrollo de programas de evaluación por mecánica de fractura en la evaluación de defectos que superen los criterios de aceptación.
- Establecimiento de Tolerancia de defectos en elementos específicos.
- Análisis de vida remanente en discos críticos de Turbina de Baja Presión.
- Etc.

## GESTION DE RESULTADOS.

## MANTENIMIENTO DE REGISTROS.

## INTEGRACION DE LA INFORMACION

La información suministrada por la inspección en servicio es de vital importancia, no sólo para la prevención y garantía de la seguridad y funcionamiento de la planta en el momento presente, sino también como elemento básico que suministra luz acerca del estado y evolución en el tiempo de la central.

La capacidad para justificar la extensión de vida dependerá, en un futuro, del historial de datos que se disponga y de su facilidad de manejo, mantenimiento y recuperación, así como de la calidad de éstos.

En esta línea la puesta a punto de bases de datos que recopilen, permitan un análisis sencillo, y un adecuado archivo y recuperación de la información suministrada por la inspección en servicio, deben ser establecidos cuanto antes.

Un incremento de la recopilación de datos en determinadas pruebas o ensayos, en los que actualmente sólo se recoge información vaga, tal como sucesos del tipo pasa/no pasa, puede ser de gran utilidad para la extensión de vida. Requiere sólo un pequeño esfuerzo adicional, la anotación de datos paramétricos que ilustren el comportamiento de los equipos de la planta en este tipo de pruebas. Esta información debe ser de gran utilidad para ilustrar la holgura con que el componente ha pasado la prueba y determinar así su tendencia.

La anotación de datos cuantitativos frente a datos cualitativos, normalmente establecidos en las inspecciones visuales de determinados componentes o estructuras, tenderá a optimizar la inspección en servicio y será de gran beneficio y utilidad en el propósito de extensión de vida.

## CONCLUSIONES

La inspección en servicio debe ser considerada como un elemento básico y fundamental para la extensión de vida en centrales nucleares. A modo de conclusión, podemos decir:

- Los programas de inspección en servicio deben establecerse basándose, no sólo en los requerimientos de la normativa, sino también en base al conocimiento que se tenga del estado de deterioro o degradación de los sistemas, componentes y estructuras, que pongan de relieve su estado en función de las bases de diseño, estado tensional, condiciones ambientales adversas, historial de comportamiento, etc.
- Los resultados de las inspecciones, si éstas se realizan con técnicas suficientemente fiables, son el mejor indicativo de la "salud" operativa y estructural del componente, y nos facilitan la información histórica de su evolución en el tiempo y permiten extrapolar su comportamiento futuro.
- La creación de una base de datos, con resultados históricos de inspecciones, aporta una herramienta básica que permite que la información generada sea de gran utilidad en la elaboración de programas específicos de extensión de vida. Esta debe integrarse en una más amplia; que recoja todos los resultados de los programas de mantenimiento, conservación, reparaciones efectuadas, incidencias operativas, etc., con objeto de tener una caracterización de su comportamiento que refleje lo más exacta y fielmente posible su estado actual y evolución futura.
- Las evaluaciones de los resultados de las inspecciones, bien de forma genérica o bien caso a caso, mediante análisis de integridad, mecánica de fractura, etc., con las previsiones de evolución correspondientes, aportan datos concretos respecto a la vida remanente de determinados componentes y permiten establecer estrategias de alargamiento de ésta.

En general, la optimización de la inspección en servicio debe ser un paso imprescindible, que repercuta de forma positiva en la generación de un programa de extensión de vida en centrales nucleares.

## REFERENCIAS

- (1) *Cost Savings from Extended-Life Nuclear Plants*. Data Resources & Energy and Research Consultants INC. IAEA Specialist Meeting-295 on Nuclear Plant Aging. Paper n.º 29. July 1987. Vienne.
- (2) *LWR Plant Life Extension*. EPRI NP-5002 Interim Report. January 1987.
- (3) *BWR Pilot Plant Life Extension Study at the Monticello Plant: Phase 1*. EPRI NP-5181M Final Report. May 1987.