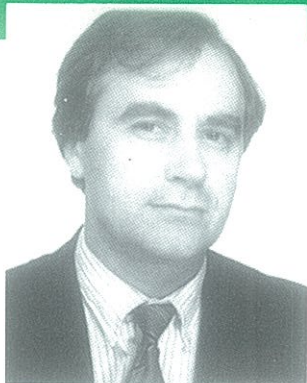




Fernando HEVIA RUPÉREZ es Ingeniero Industrial por la ETSIIM (1972). Se incorpora a Empresarios Agrupados, S. A., en 1973, ocupando distintas responsabilidades dentro del Departamento Mecánico y participando en los Proyectos de CC.NN. de Almaraz, Cofrentes, Trillo y Valdecaballeros. Actualmente es Subdirector del Departamento Mecánico de Empresarios Agrupados desde donde se responsabiliza de las actuaciones en el área de Diagnóstico, Evaluación de Condición y Gestión de Vida Remanente.

LAS COMPAÑÍAS DE INGENIERIA EN LA GESTION DE VIDA REMANENTE DE CC.NN.

F. HEVIA - J. SAINERO



Joaquín SAINERO GARCÍA, es Ingeniero Industrial por la ETSIIM (1984). Se incorpora al Departamento Mecánico de Empresarios Agrupados, S. A., en 1985, trabajando en el proyecto de Trillo hasta 1989. En 1990 es asignado por EEAA para colaborar con Multiple Dynamic Corporation en EE.UU. en los Programas de Extensión de Vida de las Centrales Nucleares de Monticello y Prairie Island. Actualmente dentro del Departamento Mecánico de EEAA desarrolla su trabajo en el área de Evaluación de la Condición y Gestión de Vida Remanente.

Parece claro que la definición e implantación de un Programa de Gestión de Vida Remanente (GVR) en cualquier instalación industrial, y muy en especial en centrales nucleares, no es una opción sino una exigencia en la optimización de la explotación de las mismas. Un conocimiento de la condición de la instalación que permita determinar sus degradaciones y el progreso de éstas en el tiempo constituirá la base objetiva sobre la que tomar decisiones en el área económica y en la de salvaguarda de su seguridad. El alcance y profundidad de un Programa de GVR se definen en función de la Vida de Explotación que se haya marcado como objetivo para la instalación en base a consideraciones económicas, estratégicas y reguladoras. En este sentido, los Programas de Alargamiento de Vida pueden entenderse como Programas de GVR en los que el objetivo de Vida de Explotación sobrepasase la Vida del Diseño original de la instalación. Las experiencias habidas tanto en Centrales Nucleares como en Centrales Térmicas muestran, en general, la viabilidad técnica de dicha extrapolación y su atractivo económico. A lo largo de este artículo se pretende incidir en la necesidad de definir y desarrollar un Programa que integre todas las actividades orientadas a la GVR, describir los contenidos y dificultades de dichas actividades y exponer las metodologías de trabajo que se han ido mostrando como más eficaces hasta la fecha.

Por otra parte, el carácter multidisciplinario de los Programas de GVR y la necesidad de mantener la integración de todas las tareas al servicio del Programa asignan a la Ingeniería una labor técnica y de coordinación muy relevante, que también es analizada en este artículo.

ESCENARIO

Como se anticipó anteriormente los Programas de GVR están condicionados en su alcance y profundidad por factores económicos, estratégicos, técnicos y reguladores.

La experiencia obtenida de la aplicación de dichos Programas en su alcance total o parcial tanto en España como en el exterior permite establecer ya balances coste/beneficio para casos concretos y anticipar las dificultades técnicas asociadas con su puesta en práctica, así como conocer en cada momento el estado de desarrollo de los requisitos reguladores aplicables.

En el caso específico de los Programas de Alargamiento de Vida de CC.NN., cuya extensión es la máxima posible dentro de la GVR, las primeras experiencias concluyen tanto en su viabilidad técnica como en su conveniencia económica.

Antecedentes y estado de los programas de alargamiento de vida en CC.NN. en curso

En el ámbito regulador europeo es frecuente que la licencia parcial de operación de una central nuclear se condicione a Evaluaciones de Seguridad periódicas (entre 8 y 10 años). Las actividades de vigilancia y evaluación de la condición de los componentes principales asociados con dichas Evaluaciones de Seguridad y de las medidas correctoras de su envejecimiento se inscriben en la GVR de la instalación sin llegar a formar un programa integrado y, en muchos de los casos, sin conectar del todo con los

objetivos de salvaguarda de la Seguridad entre Evaluaciones.

El modelo regulador de EE.UU., definido en la Atomic Energy Act, se basa en una única Licencia inicial que cubre todo el período de Vida de Diseño de la Central (usualmente 40 años), manteniéndose una actualización permanente de las Bases de Licencia. El interés de la Industria norteamericana en la opción de Alargamiento de Vida, coordinada a través del grupo NUPLEX del NUMARC; se ha traducido en la publicación por la NRC de una License Renewal Rule en revisión final en diciembre de 1991, regulación que abre la posibilidad del alargamiento de la vida de una central más allá de su vida de diseño.

Este objetivo básico se ha conseguido tan sólo seis años después de que la industria norteamericana comenzase a estudiar las perspectivas y la viabilidad de la extensión de vida de las centrales nucleares. La posibilidad de seguir generando energía por un período de vida adicional en las más de 100 centrales nucleares en funcionamiento en aquel país tenía un impacto tan profundo en la estrategia energética nacional que el US Department of Energy, el Electric Power Research Institute y la industria nuclear aunarón fuerzas y recursos para lograr que la extensión de vida y la renovación de licencias fuesen una realidad. El paso inicial consistió en la comprobación de la viabilidad técnica y del atractivo económico. Esto se llevó a cabo por medio de dos estudios en centrales piloto: uno para Monticello (BWR) y otro para Surry (PWR). Aunque el enfoque técnico de la evaluación difería y las técnicas e hipótesis del modelo económico variaban notablemente, las conclusiones extraídas de estos estudios resultaron ser muy congruentes. La explotación segura y rentable de una central nuclear con 60 ó 70 años de vida es perfectamente factible y tiene, en términos generales, unos beneficios económicos superiores a los de construcción de otras instalaciones energéticas. Además, NUMARC estimó que los beneficios ambientales a nivel nacional suponían una reducción de 11.000 millones de toneladas de CO₂ y de 182 millones de toneladas de SO₂ que, de otra manera, habría ocasionado el consumo de combustibles fósiles. La generación de energía mediante la extensión de vida de las centrales nucleares en EE.UU. se equipara también al ahorro de unos 18.000 millones de barriles de crudo.

El interés del Alargamiento de Vida como opción en la estrategia energética movilizó pues a todos los estamentos del sector nuclear americano para hacer viable dicha opción. Así, finalizados los programas piloto en 1988, EPRI y DOE promovieron y adjudicaron dos proyectos de demostración para la renovación de licencia. Las centrales elegidas fueron

Monticello y Yankee Rowe (PWR). Esta última está actualmente parada debido a problemas de diversa índole, entre los que se significan en el aspecto técnico los debidos a la fragilización neutrónica de la vasija. Por su parte, Monticello está a menos de un año vista para completar la evaluación frente al envejecimiento y presentar a la NRC la información requerida para licenciar 20 años de alargamiento de vida.

Una vez aprobada la Licence Renewal Rule, el organismo regulador americano está en proceso de completar durante el año 1992 el paquete regulador, editando la correspondiente Regulatory Guide, el Standard Review Plan y los Safety Evaluation Report resultantes de la revisión de los Industry Reports elaborados por NUMARC. Estos Industry Reports contienen los criterios básicos para el análisis, evaluación y mitigación del envejecimiento de los Componentes y Estructuras más significativos. Como índice del compromiso de la NRC en dotarse de capacidad técnica de respuesta a la Renovación de Licencia, están los 22 millones de dólares presupuestados para este año para profundizar en el conocimiento de los mecanismos de envejecimiento y su control.

Todo ello ha permitido al sector nuclear en EE.UU. comprender los fenómenos de degradación y desarrollar metodologías para su mitigación poniendo en práctica programas integrados de Gestión de Vida Remanente que se han convertido en referencia inevitable. En España, y siguiendo esta iniciativa, se han desa-

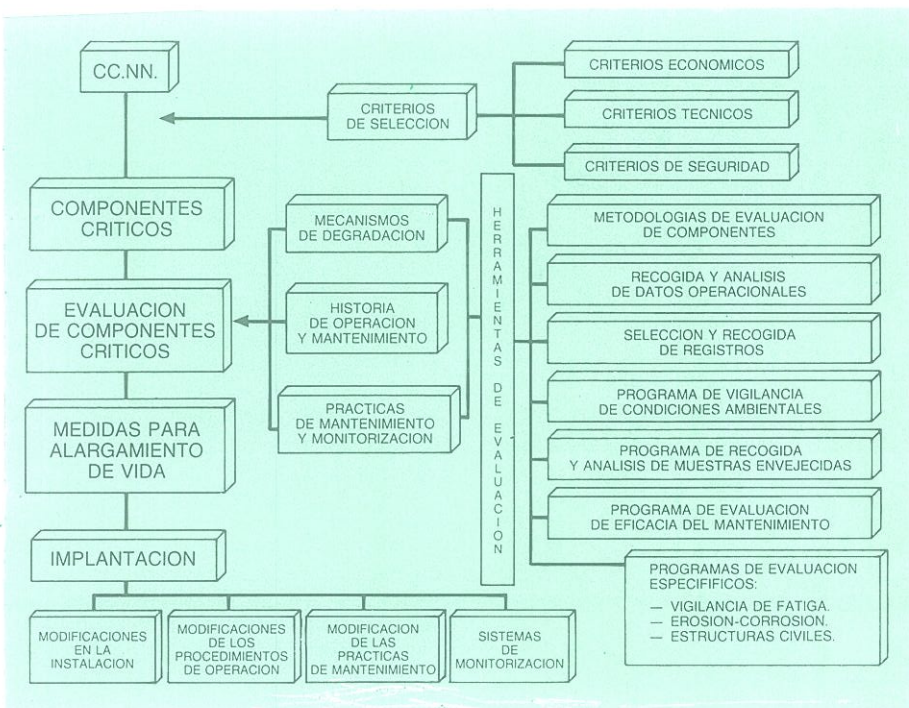
rollado en los últimos seis años actividades encuadrables en un Programa de GVR de CC.NN. Estas actividades se han centrado hasta el momento en análisis de viabilidad del alargamiento de vida, identificación de componentes y estructuras críticas y búsqueda de la documentación, registros y muestras envejecidas para su evaluación, así como en trabajos de mitigación del envejecimiento y vigilancia del mismo.

Las anteriores actuaciones han sido coordinadas en todo momento en el marco de UNESA por el Comité de Extensión de Vida de los Grupos de Propietarios PWR y BWR, habiéndose establecido ya una sistemática de GVR en las centrales de Santa María de Garoña, José Cabrera, Cofrentes y Vandellós II. Todos estos esfuerzos van a ser complementados a partir de ahora por un ambicioso Proyecto de Desarrollo dentro del Plan de Investigación Eléctrica que gestiona OCIDE y en el que intervienen, junto con las compañías eléctricas representadas por ENRESA, el CIEMAT, FRAMATOME y las ingenierías EMPRESARIOS AGRUPADOS e INITEC.

OBJETIVOS Y ACTIVIDADES BASICAS DE LOS PROGRAMAS DE GESTION DE VIDA REMANENTE EN CENTRALES NUCLEARES

Los objetivos, ya mencionados, de los Programas de GVR no son otros que el

Programas de G.V.R. en CC.NN.



conocimiento permanente de la condición de la instalación y su evolución en el tiempo, así como la definición e implantación de las reparaciones, sustituciones y medidas de mitigación, vigilancia, operación y mantenimiento requeridas para alcanzar el objetivo de vida remanente establecido. El programa se acota en alcance y profundidad a los criterios de rentabilidad y seguridad establecidos para cada Central.

Actividades básicas

Se relacionan someramente a continuación las actividades que componen un Programa de GVR:

- Selección de Componentes significativos en función de los aspectos económico y de seguridad y establecimiento de prioridades para una adecuada GVR.
- Evaluación de la Condición de los Componentes y las Estructuras seleccionados. Incluye la identificación de los mecanismos de envejecimiento, su evaluación en el tiempo y los parámetros significativos para su vigilancia.
- Estudio y Definición, en base a lo anterior, de las modificaciones a realizar en las prácticas de mantenimiento y monitorización para mitigar el envejecimiento y vigilar las variables que informan de su evolución.
- Definir y ejecutar las reparaciones, sustituciones y modificaciones en estructuras y componentes afectados.
- Establecer las modificaciones de operación en modos severos, salvaguardando el rendimiento y seguridad del proceso.
- Implantar las modificaciones y mejoras en el Mantenimiento y la Monitorización de la Operación y establecer un Programa de seguimiento de Eficacia en el Mantenimiento (Maintenance Effectiveness). Esta actividad se debe encuadrar en los programas ya existentes, o actualmente en revisión, de Vigilancia del Envejecimiento y sus objetivos deben converger con la Maintenance Effectiveness Rule hasta donde sea aplicable.

Algunas de estas actividades se han venido ya desarrollando dentro de las tareas de explotación de CC.NN. como medidas correctoras de algunos fenómenos de envejecimiento y de sus consecuencias. El programa de GVR optimiza esfuerzos gracias a una definición global para la instalación, la integración de todos los trabajos y, por tanto, la amortización de éstos y de las herramientas requeridas cuando se realiza un uso extensivo.

EL PAPEL Y LAS LABORES DE LA INGENIERIA EN LOS PROGRAMAS DE GESTION DE VIDA REMANENTE DE CC.NN.

La eficacia de los programas de GVR se apoya, como ya se ha dicho, en la toma de decisiones a largo plazo y la coordinación de tareas e inversiones en un programa integrado. Ello, y el carácter fuertemente tecnológico y multidisciplinario de los trabajos, que van desde la recogida de información de operación y mantenimiento hasta el establecimiento de programas de vigilancia y de seguimiento de la Eficacia en el Mantenimiento, pasando por la evaluación de condición de la Central, exigen una fuerte participación de las labores de Ingeniería.

Algunas de estas labores de Ingeniería se describen a continuación, siguiendo el diagrama de actividades adjunto y en la secuencia definida en apartados anteriores.

Selección de componentes críticos

Se apoya en la aplicación rigurosa de una metodología, que de forma simplificada se base en:

- Criterios económicos (costes de sustitución o reparación, costes de mantenimiento, impacto en indisponibilidades, efecto sobre el rendimiento, etc.).
- Criterios técnicos (diseño, susceptibilidad a la degradación, historia de operación, severidad de uso, dificultades de mantenimiento eficaz, etc.).
- Criterios de seguridad (requisitos reguladores, análisis de riesgos, ALARA, etc.).

La aplicación ponderada de criterios como los agrupados arriba, permite seleccionar y priorizar los componentes y estructuras objeto del Programa de GVR.

La experiencia muestra la importancia de la participación del personal de la Central en las tareas específicas de Selección.

Definición y recogida de la información, datos, registros y muestras para evaluación

La Evaluación de la Condición se alimenta de toda la información de Operación y Mantenimiento que ayude a conocer el desgaste de la instalación y los síntomas de envejecimiento. La labor de la Ingeniería en este caso consiste en la identificación de aquella documentación,

datos de operación y registros en los que se recojan las variables que permiten cuantificar los fenómenos de degradación y establecer sus tendencias.

Se incluye específicamente dentro de esta información la relativa a los Eventos de Operación de la Central por su especial influencia en el envejecimiento. Las principales tareas de Ingeniería asociadas con la elaboración del Libro de Eventos son:

- Categorización de Eventos y su agrupamiento por niveles de severidad para el Componente.
- Matriz Eventos-Parámetros de interés.
- Selección de Registros.

Las principales dificultades se presentan a veces por deterioro de registros, descripciones imprecisas de los Eventos o falta de instrumentación y registradores para reconstruir lo transitorio de algunos parámetros.

La importancia de recoger y mantener toda esta información desde el inicio de la operación de la Central se deriva de la imposibilidad de desarrollar futuras evaluaciones si se carece de ella. Es pues ésta una actividad cuya implantación inmediata es recomendable para alimentar al Programa de Gestión de Vida Remanente y la documentación de Licencia en el caso de un posible Alargamiento de Vida.

Complementariamente, la recogida de muestras de materiales envejecidos, producto de reparaciones o sustituciones, facilita información muy valiosa para la Evaluación. La labor de la Ingeniería en este área consiste en la definición de las muestras (componentes, dimensiones, localizaciones, etc.) habida cuenta de los tipos de degradaciones a evaluar, así como la especificación de los métodos de extracción, descontaminación y almacenamiento que eviten la transformación de las características del material y de los defectos a analizar.

Evaluación de condición de estructuras y componentes

Los trabajos actuales de Mantenimiento e Inspección en Servicio, así como las inspecciones, ensayos y vigilancias establecidas en el programa de GVR al efecto de conocer la evolución de ciertos envejecimientos, constituyen, junto con toda la información de Diseño y Operación definida en tareas previas, el material de Evaluación.

Las labores de Ingeniería para la Evaluación se sintetizan a continuación:

- Identificación de los mecanismos de degradación que potencialmente afectan a los componentes y estructuras. Se consideran al efecto el diseño, los materiales, la fabricación, los fluidos

y condiciones ambientales y, en general, todas las condiciones de servicio asociadas con los modos de operación.

- Análisis de los datos anteriores, así como de los recogidos de la Operación y Mantenimiento y del análisis de muestras envejecidas, si se disponen. El análisis utiliza herramientas tan diversas como formulaciones de vida residual, tendencias, estadísticas, resultados directos de inspecciones, etc.
- Determinación de vida consumida e identificación de medidas correctoras y cuantificación del beneficio de éstas.
- Definición de medidas de vigilancia adicionales.

Con carácter orientativo, los tipos de degradación por envejecimiento más significativos que afectan a los componentes y estructuras de CC.NN. vienen siendo:

- Fatiga.
- SCC.
- Corrosión.
- Erosión/corrosión.
- Desgaste y abrasiones.
- Fluencia.
- Relajación tensional.
- Fragilizaciones térmicas y neutrónicas.
- Vibraciones en componentes electrónicos.
- Envejecimiento de aislamientos eléctricos y materiales no metálicos.
- Corrosión de barras de refuerzo de estructuras por fisuración.
- Coqueas y desconchamientos.
- Lixiviaciones.



F I Corrosión en borde de grano (SCC).

Las experiencias adquiridas en la explotación de Centrales Térmicas y Nucleares ha permitido detectar los mecanismos de degradación de largo plazo que contribuyen al envejecimiento de aquellas. La cuantificación fiable de la vida consumida por los componentes y es-



F II Roturas por fatiga.

structuras y, en especial, la determinación de la tasa de crecimiento de la misma, es la labor de Ingeniería más laboriosa. La complejidad es debida al conjunto de variables que entran en juego en el inicio y progresión de los envejecimientos (p. ej.: la fragilización térmica de fundiciones austeníticas, la erosión/corrosión y el efecto del fluido en el crecimiento de grietas de fatiga y debidas a la corrosión (SCC), el envejecimiento de aislamientos eléctricos, etc.).

En ciertos mecanismos de envejecimiento las metodologías de cálculo de crecimiento del defecto presentan aún incertidumbres que obligan al uso de estadísticas y tendencias de parámetros indicativos.

La vigilancia y evaluación periódica de la condición de los componentes y

estructuras hacen necesario el uso de herramientas y/o metodologías de análisis del envejecimiento y de eficacia del mantenimiento que agilicen y abaraten aquéllas.

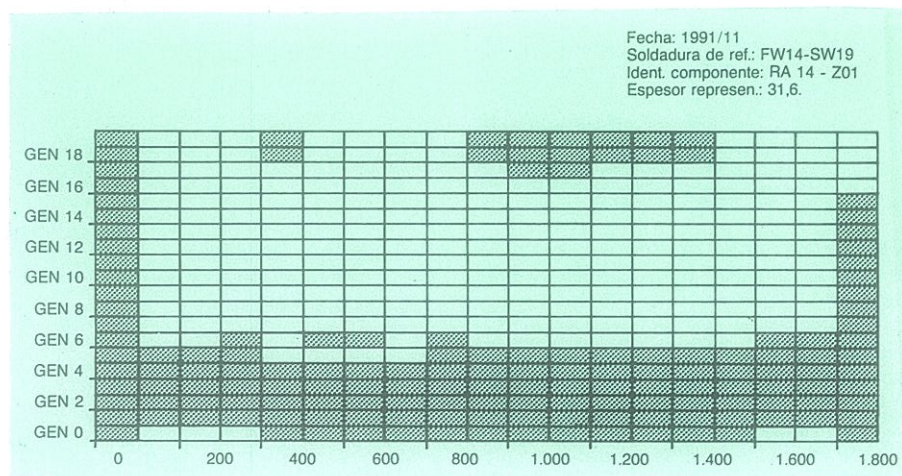
Vigilancia y mitigación del envejecimiento

Completada la evaluación de condición e identificados los envejecimientos con tasas de evolución críticas, las labores de Ingeniería relativas a esta fase del Programa de GVR son:

- Definición de las reparaciones o sustituciones y especificación técnica de los trabajos.
- Descripción técnica de las modificaciones de los modos de operación de los sistemas o equipos más solicitados (p. e.: transitorios severos), compatibilizándolos con los requisitos de rendimiento y seguridad de la instalación.
- Revisión del mantenimiento y de la vigilancia de la instalación que tenga en cuenta los fenómenos de envejecimiento. Este trabajo se realiza en tres fases:

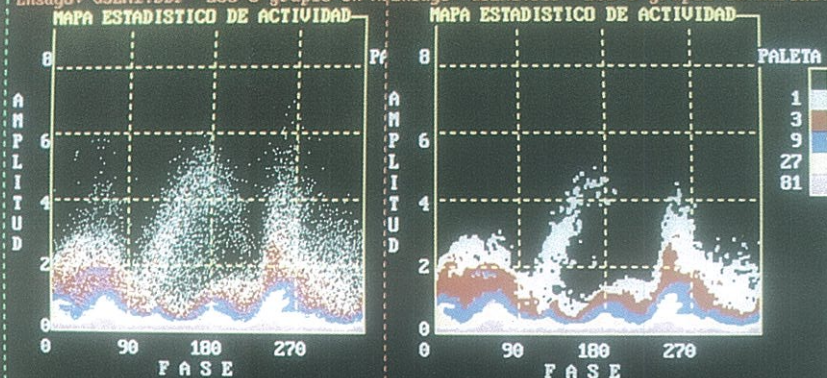
- I) Inventariado de las prácticas de mantenimiento y programas de vigilancia y diagnosis.
- II) Análisis de los componentes y funciones de los equipos y sistemas cubiertos por I.
- III) Análisis de la idoneidad de las prácticas para la mitigación y vigilancia del envejecimiento. Definición de mejoras en dichas prácticas y/o modificaciones en la frecuencia de los mismos.

Estas labores deben integrarse dentro de los programas existentes de vigilancia del envejecimiento de Equipos y Sistemas de Seguridad y deben desarrollarse las



F III Malla de medidas US de erosión-corrosión. Gráfico de espesores.

Filtro: 2MHz 18/04/91
Ensayo: G3EM1.DDP Los 3 grupos en marcha.



EMPRESARIOS AGRUPADOS S.A.

MEDIANIZANDO GRAFICA ...

herramientas de evaluación de la Eficacia del Mantenimiento de aquéllos.

CONCLUSIONES

El papel de la Ingeniería en los Programas de GVR exige de la misma una participación especial al menos en tres áreas principales:

- Soporte en la elaboración del Programa definido por la Compañía Propietaria de la instalación, al objeto de integrar y optimizar las tareas.
- Desarrollo de las actividades de Selección de Componentes y Estructuras, identificación de información de Operación y Mantenimiento y evaluación de condición por medio de las herramientas tecnológicas anteriormente descritas.
- Análisis y definición de las medidas correctoras, tanto de mitigación del envejecimiento como de vigilancia del mismo y de las tareas de reparación, sustitución y/o mejora del mantenimiento frente a los mecanismos de degradación.

El desarrollo coordinado de estas tareas representan para la Ingeniería su mayor aportación a los programas de GVR.