

INGENIERÍA DE GESTIÓN DE VIDA

F. HEVIA - J. SAINERO

Una buena parte del acierto en la toma de decisiones de explotación de una central nuclear se basa en el conocimiento preciso de la condición de la instalación y del control de su envejecimiento obtenidos através de un Programa de Gestión de Vida (PGV). La Ingeniería del PGV debe incorporar los siguientes elementos:

- Una Metodología eficaz que permita una evaluación del envejecimiento de la instalación y que cubra todos los sistemas, estructuras y componentes claves para la seguridad nuclear y para el logro de los objetivos económicos de la explotación.
- Una Herramienta de Gestión Técnica de PGV imprescindible para una gestión eficiente del gran volumen de información interrelacionada y de datos requeridos.
- Uso de Métodos y Tecnologías de Evaluación de la Condición que permitan asegurar el establecimiento de medidas adecuadas de control o mitigación del envejecimiento.
- Uso de Sistemas de Vigilancia de los parámetros representativos de la evolución de la degradación de los componentes y estructuras críticas y que permitan mantener un conocimiento permanente del estado de estos elementos.
- Una Alta Capacitación Técnica del Personal de Ingeniería, con conocimiento real de los procesos de envejecimiento y de las mejoras necesarias en las prácticas de mantenimiento y vigilancias, evitando la repetición no optimizada de diagnósticos y soluciones de otras instalaciones.

A lo largo de este artículo se desarrolla en más detalle cada uno de estos elementos imprescindibles en la Ingeniería de Gestión de Vida.

A good part of the success in making operating decisions for a nuclear power plant is based on a precise knowledge of the plant condition and control of plant aging gained through a Life Management Program (LMP).

LMP Engineering should include the following elements:

- *An effective Methodology for assessing how the facility is aging and that covers all systems, structures and components that are key to nuclear safety and to achieving economic operating objectives.*

- *A LMP Technical Management Tool, which is essential for effective management of the large volume of interrelated information and data required.*

- *Use of Condition Evaluation Methods and Technologies, for ensuring that suitable aging control or mitigation measures are put into place.*

- *Use of Monitoring Systems for the representative parameters of critical component and structure degradation evolution, to permanently provide information on the status of these elements.*

- *Highly Qualified Engineering Personnel, with a thorough knowledge of aging processes and the improvements required in maintenance and monitoring practices, to avoid diagnostics and solutions tested in other facilities from being unnecessarily repeated.*

Each of these essential elements for Life Management Engineering is developed in more detail throughout this article.

INTRODUCCIÓN

Un Programa de Gestión de Vida (PGV) hoy en día constituye un elemento clave en la explotación de un central nuclear en cuanto permite disponer de un conocimiento de la condición de la instalación y del control de su envejecimiento, de forma que sirva de base objetiva para la toma de decisiones en la salvaguardia de su seguridad y en el área económica.

El establecimiento de un PGV es ante todo una labor de ingeniería que ha de desarrollarse en un escenario condicionado por factores económicos, estratégicos, técnicos y reguladores. Considerando estos factores la Ingeniería ha de desarrollar el Plan de Gestión de Vida sobre la base de los siguientes elementos:

Una Metodología Eficaz. Es necesario la aplicación de una metodología que permita una evaluación del envejecimiento de la instalación que integre todos los sistemas, estructuras y componentes claves en la explotación tanto en los aspectos de seguridad como en el logro de los objetivos de dicha explotación.

Una Herramienta de Gestión Técnica del PGV. Los procesos asociados al desarrollo del PGV implican un gran volumen de información profundamente interrelacionada que exige el uso de una herramienta que permita una gestión eficiente de la información y datos pertinentes del PGV.

Uso de Métodos y Tecnologías de Evaluación de la Condición. La utilización de tecnologías de evaluación de la condición de estructuras y componentes de acuerdo al estado del arte permite asegurar un adecuado establecimiento de medidas de control o mitigación del envejecimiento.

Uso de Sistemas de Vigilancia. Basada en las conclusiones de la evaluación precisa de la condición de estructuras y componentes críticos en la explotación, y en la identificación de los parámetros representativos de la evolución de la degradación, es posible la definición e implantación de sistemas de vigilancia que permitan mantener un conocimiento permanente del estado de estos elementos, como "input" irrenunciable para la toma de decisiones.

Una Alta Capacitación Técnica del Personal de Ingeniería. El éxito de un PGV depende en buena medida de que la aplicación sistemática de metodologías y herramientas corra a cargo de personal de Ingeniería con conocimiento real de los procesos de envejecimiento y de las mejoras necesarias en las prácticas de mantenimiento y vigilancias, evitando la simple repetición no optimizada de diagnósticos y soluciones.

A lo largo de éste artículo se desarrolla cada uno de estos elementos, pilares de la Ingeniería de Gestión de Vida, mostrando en más detalle su efecto sobre el establecimiento de un Programa



Figura 1. Elementos de la Metodología del PGV.

de Gestión de Vida en una central nuclear.

METODOLOGÍA

El Plan de Gestión de Vida de una central nuclear incluye en su alcance a la mayor parte de sus instalaciones, exigiendo un enfoque global que permita orientar ponderadamente los esfuerzos sobre aquellos elementos o aspectos de la explotación que de forma más significativa condicionan su vida operativa. Esta exigencia ha llevado al desarrollo de diferentes metodologías para el tratamiento del control del envejecimiento, si bien su definición concreta queda condicionada por sus objetivos finales.

Ejemplos de esta diferencia de objetivos los encontramos si comparamos metodologías como la recogida en el documento del OIEA TR 338 "Methodology for the Management of Ageing of NPP Components Important for Safety" dirigida a definir los requisitos de una actuación para garantizar que la seguridad nuclear no se ve afectada durante la vida de servicio de la central por causa del envejecimientos de estructuras, sistemas y componentes; la desarrollada por el Nuclear Energy Institute NEI 95-10 que constituye la guía de interpretación y desarrollo de los requisitos establecidos en el 10 CFR 54 conocido como "License Renewal Rule"; o la desarrollada por UNESA dentro de la Fase I del Proyecto PIE 044.037 "Sistema de Evaluación de Vida de Centrales Nucleares LWR" cuyo objetivo final es establecer los requisitos de control del envejecimiento para gestión segura y rentable de la central.

Todas las metodologías a pesar de sus diferencias de objetivos se caracte-

rizan por articularse sobre los tres elementos básicos:

- *La selección de componentes.* Es imprescindible establecer unos criterios de selección que permitan determinar que estructuras sistemas y componentes (ESC) de la central deben constituir el alcance de la gestión del envejecimiento. Estos criterios que obviamente están ligados al objetivo final de cada programa, incluyen siempre, en el caso de las metodologías antes citada, la identificación de las ESC que se consideran importantes para la seguridad, y en el caso de la Metodología UNESA también la identificación de ESC que sin efectuar una función de seguridad tiene una participación significativa en el resultado económico de la explotación.

- *Identificación y análisis de efectos y mecanismos de envejecimiento.* El segundo elemento en el que se apoya una metodología eficaz de gestión de vida es la identificación y análisis de los potenciales efectos y mecanismos de envejecimiento cuyo desarrollo puede dar lugar a la pérdida de la función de las ESC determinadas dentro del alcance del PGV según el proceso de selección de componentes. El análisis debe considerar las características de diseño, condiciones operativas y ambientales, e historial de operación de las ESC y debe permitir identificar aquellas ESC y sus asociados efectos/mecanismos de envejecimiento que requieren que la central establezca una actividad de vigilancia y/o mitigación del envejecimiento.

- *Evaluación de la prácticas de la central frente a la gestión del envejecimiento.* Tras la identificación de los efectos y mecanismos de envejecimiento significativos sobre las ESC es necesario analizar las actividades de Planta

para identificar aquellas que contribuyen a su vigilancia y/o mitigación, para a continuación evaluar su grado de eficacia, de forma que si fuera necesario, se identifiquen e implanten nuevas actividades o mejoras en las existentes.

La figura 1 resume estos elementos como parte de una metodología eficaz para la implantación de un Plan de Gestión de Vida.

HERRAMIENTAS DE GESTIÓN TÉCNICA DEL PGV

Independientemente de los objetivos concretos que la Central establezca en la definición del Plan Gestión de Vida y de la metodología elegida, el tipo de información que se maneja en el proceso de implantación del PGV se caracteriza por:

- *Un significativo volumen de información.* Por ejemplo el proceso de selección debe asegurar que todos las ESC de la Central han sido evaluados adecuadamente frente a los criterios de selección, de forma que se identifique fácilmente qué componentes y estructuras de la planta están en el alcance del PGV y la razón de su inclusión.

- *La interrelación de la información.* Diferentes componentes y tipos de componentes son susceptibles a los mismos mecanismos de degradación y/o están cubiertos por actividades de mantenimiento similares, por tanto su tratamiento en el análisis debe ser consistente.

- *La actualización de la información.* Aunque las actividades de implantación del PGV se realizan en la primera etapa de éste, tanto su alcance como sus conclusiones son susceptible de variación a lo largo de la vida operativa de la Central, así que es necesario prever su actualización de acuerdo con la experiencia operativa de la central y/o de la Industria, la aparición de nuevas y más eficaces técnicas vigilancia y/o mitigación, o la existencia de nuevos requisitos reguladores.

Actualmente estas necesidades de gestión de información se materializan en bases de datos, que se presentan al usuario en forma de módulos interrelacionados, definidos de acuerdo con los diferentes pasos de la metodología aplicada. Estas base de datos no sólo almacena la información sino que también constituyen una de las herramientas básicas para el analista.

La figura 2 muestra como ejemplo un formulario típico referido a la identificación y el análisis de efectos y mecanismos de envejecimiento.

MÉTODOS Y TECNOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN

Las estructuras, sistemas y componentes dentro del alcance del Plan de Gestión de Vida se ven sujetas a potenciales mecanismos de envejecimiento de muy diferente tipo. Los indicados a continuación son algunos de los que típicamente se identifican en las evaluaciones de la condición de ESC.

- Fatiga
- Corrosión Bajo Tensión
- Corrosión (General, intersticial, por picaduras, galvánica, etc)
- Erosión y Erosión-Corrosión
- Fragilización (térmica, neutrónica)
- Ensuciamiento
- Desgaste
- Relajación de Tensión
- Lixiviación de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en estructuras de hormigón
- Corrosión en armaduras y embebidos en hormigón
- "Cross-linking" en elastómeros
- "Water treeing" en aislamientos de cables

Naturalmente, los efectos de estos mecanismos varían de un componente a otro, dependiendo de las variables de diseño, materiales, fabricación, proceso, química del fluido o ambiente, tensión asociada con el modo de operación, etc.

La clave en la evaluación adecuada de la potencialidad de desarrollo de un mecanismo de envejecimiento, así como la evolución de su efecto en la condición del componente en el caso de que se haya manifestado, se encuentra en el conocimiento de técnicas y algoritmos contrastados que interrelacionan las variables que lo rigen. Si bien la mayoría de mecanismo de degradación son bien comprendidos, aún es necesario profundizar en el conocimiento de otros de forma que sea posible obtener evaluaciones de condición más precisas, y métodos de control o mitigación más adecuados.

SISTEMAS DE VIGILANCIA Y MITIGACIÓN DE LAS DEGRADACIONES

El producto final de un Plan de Gestión de Vida es un conjunto de actividades que se incorporan al Mantenimiento de la Central para establecer una mitigación efectiva del envejecimiento y/o una vigilancia de su evolu-

Figura 2. Herramienta de Gestión del Proceso de Implantación del PGV.

ción que permita determinar las adecuadas y oportunas actuaciones de reparación, sustitución o mejoras de mantenimiento de acuerdo con los requisitos de la explotación.

Durante el proceso de implantación del PGV se habrán evaluado las prácticas de la central e incorporado modificaciones en éstas o definido unas nuevas. Estas actividades de control de envejecimiento estarán basadas en la adecuada y oportuna identificación de los envejecimientos significativos, su evolución, sus causas, su localización y los parámetros representativos, así como la comparación de éstos con criterios de aceptación, y el consecuente método de evaluación y seguimiento.

Este conjunto de prácticas que podría denominar programas de gestión del envejecimiento constituyen vigilancias que en ocasiones se articulan a través de programas de inspección tales como, Programa de Erosión-Corrosión, Programa de Vigilancia de la Cualificación Ambiental, Programa de Vigilancia de Recubrimientos, Programa de Vigilancia de Estructuras, etc. Pero que en otras ocasiones por la criticidad del componente y/o, las características y consecuencias del efecto / mecanismo de envejecimiento es aconsejable la implantación de sistemas de seguimiento tal como ocurre en la incorporación de sistemas de monitorización de fatiga. En ambos casos la Central ha de evaluar la necesaria modificación de sus sistemas de vigilancia para incorporar de una manera optima

el control y seguimiento de los parámetros asociados a efectos y mecanismos de envejecimiento.

FORMACIÓN Y EXPERIENCIA DEL PERSONAL PARTICIPANTE

Como se ha explicado, el desarrollo fiable y eficaz de un PGV exige, de partida, el disponer de metodologías de evaluación de envejecimientos y de herramientas de gestión técnica del proceso y de la información suficientemente probadas. Para lograr una aplicación eficaz de la metodología y el éxito en el desarrollo de las tareas de evaluación de condición y de análisis y mejora de los programas de vigilancia y control de los envejecimientos, es consecuente que estas recaigan en técnicos con experiencia en los mismos.

Como se ha indicado anteriormente, los procesos de degradación dependen de numerosas variables relativas al material, a los procesos constructivos de los componentes, a las características de los fluidos vehiculados, al ambiente que soportan los componentes, a los modos de operación, al tipo de cargas y su intensidad, frecuencia y combinación, y por supuesto dependen de las medidas de control y mitigación que se hayan tomado. Todas estas variables difícilmente coinciden en distintas Plantas o incluso en sistemas gemelos de una misma Planta. Por ello la aplicación rutinaria de metodologías y el traslado, sin crítica, de resultados habidos

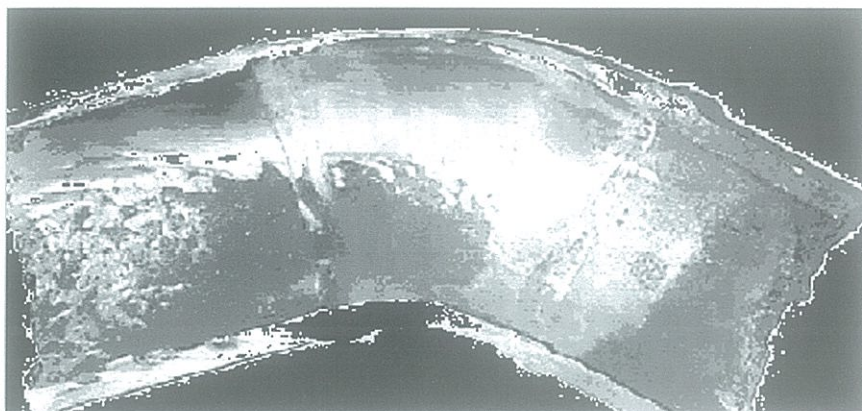


Figura 3. Erosión-Corrosión en Codo de Tubería.

en la Industria no garantiza la identificación y el diagnóstico precisos de las degradaciones y menos aún su cuantificación y proyección en el tiempo.

Así mismo definir medidas de vigilancia y/o mitigación de los envejecimientos y en última instancia su vigilancia requiere un conocimiento profundo de los parámetros a controlar y de las técnicas disponibles. La selección e intensidad de las medidas de mitigación de envejecimientos, tanto en su naturaleza, como en su alcance, como en la frecuencia de su aplicación requieren de un conocimiento profundo de la idoneidad de las mismas y de su contribución cualitativa y cuantitativa a la preservación o mitigación de los procesos de degradación, así como de experiencia práctica y probada en los sistemas y componentes, en donde se han de implantar.

Además ha de considerarse que una vigilancia adecuada de la evolución de los envejecimientos, necesita de una selección solvente de técnicas de monitorización y de los parámetros más fia-

bles, de forma que se obtenga la estimación precisa de la condición de componentes y estructuras, y sus tendencias. La localización de sensores y de la instrumentación debe ser adaptada siempre al caso específico y la interpretación eficaz de resultados necesita de la suficiente experiencia.

La abundante información disponible, procedente de los programas de gestión de vida de la Industria y aquella otra procedente de la renovación de la Licencia en numerosas Plantas en el mundo han servido de referencias válidas que permiten orientar y estructurar los PGV aprovechando los conocimientos adquiridos. Estos conocimientos deben complementarse con la experiencia adquirida en la explotación de las Centrales, particularmente en el mantenimiento, así como las experiencias específicas, propias del personal de central, que solamente éste posee. La sinergia entre estos grupos de conocimiento y experiencia, potencia la eficacia del Plan de Gestión de Vida. Por el contrario la aplicación del conocimiento teó-

rico en ausencia de la experiencia descrita puede conducir a una aplicación mimética y por tanto errónea con riesgo de equivocar las medidas adoptadas o de aligerar o recargar en exceso el conjunto de actuaciones del PGV limitando seriamente, tanto la eficacia como eficiencia del Plan.

La formación de equipos mixtos entre personal con gran experiencia práctica en explotación de centrales junto con personal de formación probada en las tecnologías de materiales, su selección y uso, y sus potenciales degradaciones, cuantificación, y métodos de la mitigación y vigilancia asociados a las mismas, es pieza clave en la eficacia de los PGVs.



Fernando HEVIA RUPÉREZ

- Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid.
- 33 Años de ejercicio profesional en la Industria y la Ingeniería.
- En GHESA desde 1973 desempeñando distintas tareas y cargos en el Departamento Mecánico de Empresarios Agrupados (EEAA).
- Actualmente Director adjunto del Departamento Mecánico de EEAA.
- Responsable en EEAA del área de Ingeniería de Gestión de Vida.
- Miembro del Steering Committee del Network de la European Commission para Ageing Materials and Evaluation Studies.



Joaquín SAINERO GARCÍA, es Ingeniero Industrial por la ETSIIM. Se incorpora a Empresarios Agrupados en 1985 dentro del Departamento Mecánico. En 1990 es asignado por EA para colaborar con Multiple Dynamic Corporation en EEUU en los Programas de Extensión de Vida de las Centrales Nucleares de Monticello y Prairie Island. Actualmente dentro del Departamento Mecánico de EA es Jefe de Proyectos de Gestión de Vida y como tal participe en los que son desarrollados para la CN de Sta. María de Garoña, CN Cofrentes, CN Almaraz y CN Trillo; así como proyectos en la misma área dentro del marco TACIS y PHARE.

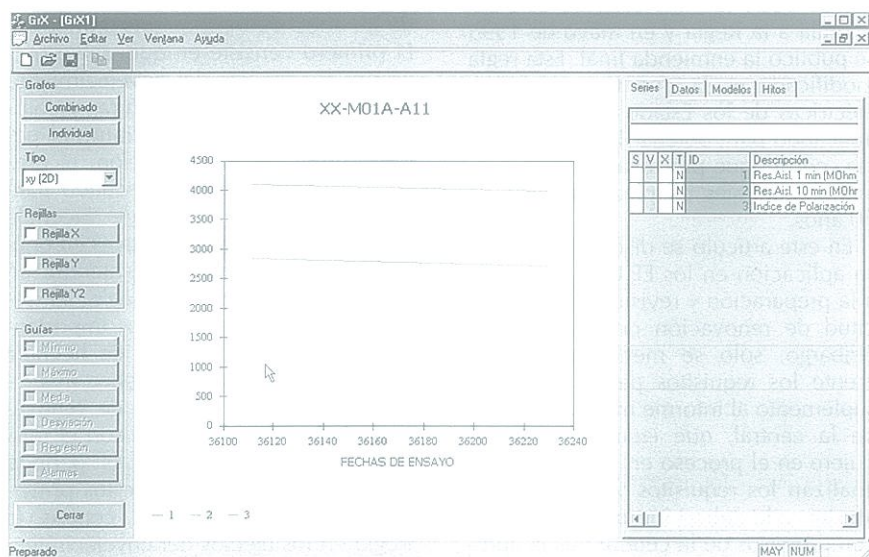


Figura 3. Seguimiento Envejecimiento de Aislamiento Eléctrico.