

MODELO DE GESTIÓN INTEGRADA DEL ACTIVO.

Una Metodología para la Optimización Económica de la Gestión del Envejecimiento y la Fiabilidad de los Equipos de la Central

R. LLOVET - R. IBÁÑEZ - J. WOODCOCK

Las compañías eléctricas propietarias de centrales nucleares consideran esencial una buena gestión del envejecimiento y de la fiabilidad de sus equipos y componentes, y por esa razón, tratan de optimizar, con un presupuesto económico asumible, las actividades encaminadas a ese fin.

Westinghouse ha desarrollado un modelo de gestión integrada que está basado en una metodología y una herramienta de software diseñadas para ayudar a la compañía eléctrica a planificar esas actividades y que elabora un plan óptimo de inspecciones, pruebas, mantenimiento, reparación y sustitución de componentes, en función de su envejecimiento. Con este modelo se cuantifica el beneficio que se puede obtener al aplicar el plan y se establece el calendario óptimo para su ejecución, minimizando el coste de las paradas no programadas y maximizando el Valor Actual Neto de la central.

A key concern for utilities today is optimizing station aging and reliability management activities in a manner that maximizes the value of those activities within an affordable budget. The Westinghouse Proactive Asset Management Model is a methodology and software-enabled tool designed to assist a utility in developing a station-wide optimization of those activities. The process and tool support the development of an optimized, station-wide plan for inspection, testing, maintenance, repair and replacement of aging components. The optimization identifies the benefit and optimal timing of those activities based on minimizing unplanned outage costs (avoided costs) and maximizing station Net Present Value.

Las compañías eléctricas propietarias de centrales nucleares consideran esencial una buena gestión del envejecimiento y de la fiabilidad de sus equipos y componentes, y por esa razón, tratan de optimizar, con un presupuesto económico asumible, las actividades encaminadas a ese fin. Westinghouse ha desarrollado un modelo de gestión integrada que está basado en una me-

todología y una herramienta de software diseñadas para ayudar a la compañía eléctrica a planificar esas actividades y que elabora un plan óptimo de inspecciones, pruebas, mantenimiento, reparación y sustitución de componentes, en función de su envejecimiento. Con este modelo se cuantifica el beneficio que se puede obtener al aplicar el plan y se establece el calendario óptimo para su ejecución, minimizando el coste de las paradas no programadas y maximizando el Valor Actual Neto de la central.

El "Modelo PAM de Gestión Integrada del Activo" de Westinghouse, es una herramienta de software, diseñada para ayudar a la compañía eléctrica en la preparación de un plan óptimo de gestión integrada de la central, estableciendo el calendario más adecuado para las actividades de mejora de la fiabilidad y de gestión del envejecimiento, enfocadas a maximizar el Valor Actual Neto del Activo de la central.

El modelo permite el cumplimiento de la mayoría de los puntos del proceso de fiabilidad de equipos contenidos en el documento INPO AP-913 (Referencia 1), y en particular los siguientes:

- Desarrollar una estrategia activa de mantenimiento.
- Optimizar la frecuencia de las actividades de mantenimiento preventivo.
- Integrar los programas a largo pla-

zo de fiabilidad de los equipos con los objetivos económicos de la central.

Las características fundamentales del modelo se basan en los siguientes aspectos:

- Utilización de la distribución de Weibull para la tasa de fallos, lo cual posibilita modelar tasas de fallo mayores en función del tiempo.
- Incorporación de la tasa de fallos histórica para un gran conjunto de componentes.
- Optimización del calendario para las actividades de gestión del envejecimiento para el conjunto de componentes considerado, con el objetivo de maximizar el Valor Actual Neto del conjunto total de actividades. El modelo prevé el año óptimo para la realización de las actividades de gestión del envejecimiento para cada componente y su coste aproximado.
- Modelación de los beneficios de los programas de mejora de la fiabilidad, resultando en una disminución en la tasa de fallos.

El Plan Integrado de Gestión de Vida (Parte I) y el modelo PAM de software (Parte II), que se describen en este artículo, proporcionan en su conjunto las bases para un plan de acción ejecutable y activo que responde a los temas derivados del envejecimiento de componentes a la vez que mejora la fiabilidad de los equipos.

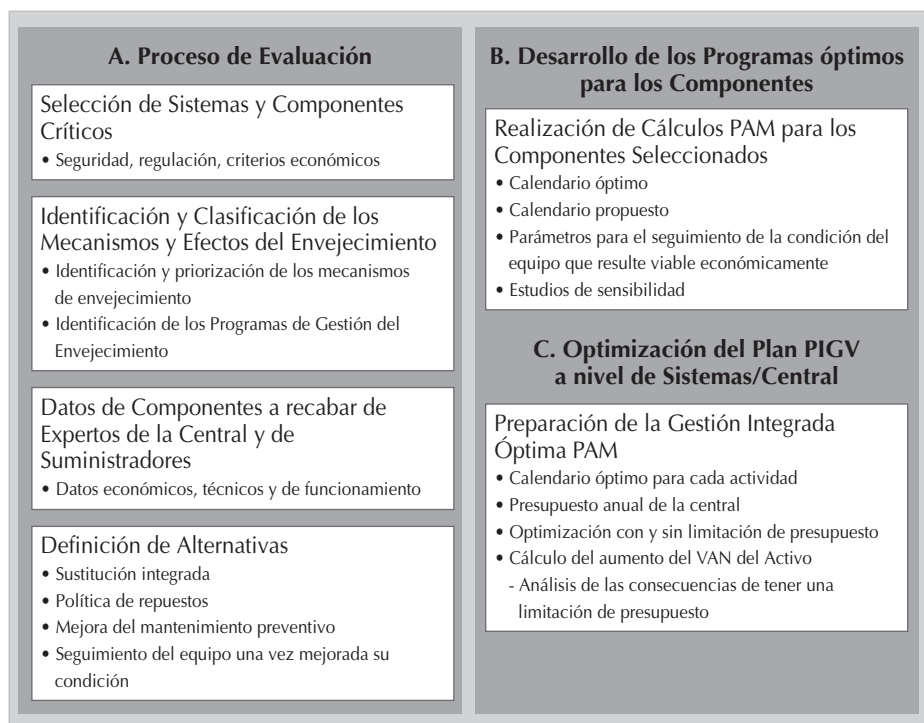


Figura 1. Proceso de Evaluación y Desarrollo del Plan Integrado de Gestión de Vida (PIGV).

PLAN INTEGRADO DE GESTIÓN DE VIDA (PIGV)

La Figura 1 muestra el Proceso de Evaluación y el Desarrollo del Plan Integrado de Gestión de Vida (PIGV). La evaluación y el desarrollo del proceso incluye tres grupos de actividades primarias. El primer conjunto de actividades A se centra en definir qué es importante para el explotador de la central. El segundo conjunto de actividades B, se centra en el desarrollo de los programas óptimos de mantenimiento y sustitución para los componentes más importantes de la central. El tercer grupo de actividades C se centra en desarrollar el Plan PIGV óptimo a nivel de sistemas o a nivel de la central que maximiza el Valor Actual Neto (VAN).

Proceso de Evaluación del Plan Integrado de Gestión de Vida (PIGV):

El proceso de Evaluación del Plan Integrado de Gestión de Vida (PIGV) consta de los siguientes pasos:

Selección de Sistemas y Componentes Críticos

Para realizar la selección de los sistemas, estructuras y componentes de la central e identificar aquellos cuyo fallo tendría un mayor impacto a la hora de cumplir con los objetivos establecidos, se parte de una base de datos con información de la industria y la opinión

de expertos. Se utiliza un conjunto único de criterios de selección para evaluar los sistemas, componentes o subcomponentes, entre los que cabe destacar los siguientes:

- Importancia por su incidencia en la seguridad
- Cumplimiento con los requisitos reguladores
- Influencia en la producción de energía (por ejemplo, paradas forzadas o reducciones parciales de potencia)
- Riesgo que se asume
- Coste del propio fallo del componente
- Indicadores IMPO/WANO relativos al rendimiento y funcionamiento de centrales.

Los sistemas típicos que se han identificado como críticos para el funcionamiento de la central son: el sistema de agua de servicios, el sistema de agua de alimentación principal, el sistema de refrigeración del reactor, el de sellado de aceite del generador, el del condensador y los sistemas de control.

Identificación y Clasificación de los Mecanismos y Efectos del Envejecimiento

Para cada sistema, estructura o componente importante, se identifican las posibles causas de envejecimiento que se conocen, tanto a nivel genérico como aquellas debidas a características

específicas de la central; incluyéndose los modos de fallo probables por envejecimiento y las actividades alternativas de gestión del envejecimiento.

Datos de Componentes a recabar de Expertos de la Central y de Suministradores

Para cada componente y para cada uno de sus mecanismos de envejecimiento asociados, se recaba información de expertos de la central, de los suministradores de los equipos y componentes y/o de las bases de datos que se mencionan en el punto "Selección de Sistemas y Componentes Críticos". La información debe incluir datos económicos, técnicos, de seguridad, de funcionamiento, de rendimiento y de experiencias operativas.

Definición de Alternativas

Se definen y elaboran las recomendaciones para la mejora del funcionamiento de los componentes críticos, incluyendo las siguientes alternativas: inspección, pruebas, reparación, sustitución o funcionamiento hasta que falle.

Desarrollo de los Programas Óptimos para los Componentes

El modelo PAM elabora los programas óptimos para los componentes de la central, y para ello considera varias alternativas de gestión del envejecimiento de cada componente. Para algunos componentes se requerirá realizar un estudio detallado y, como parte del mismo, el PAM puede optimizar el Valor Actual Neto (VAN) y el calendario de gastos de mantenimiento para cada opción específica de gestión del envejecimiento, además de dar recomendaciones para maximizar el VAN a nivel del componente. Las actividades que pueden considerarse, y que se muestran en la Figura 2, son:

- Aplicar una política activa de sustitución de componentes basándose en su envejecimiento.
- Implantar otra política de repuestos.
- Mejorar el mantenimiento preventivo
- Mejorar el seguimiento de la condición de los componentes.

Optimización del Plan Integrado de Gestión de Vida (PIGV) a nivel de Sistemas/Central.

El tercer conjunto de actividades va encaminado a la optimización del Plan de Gestión de Vida de la Central

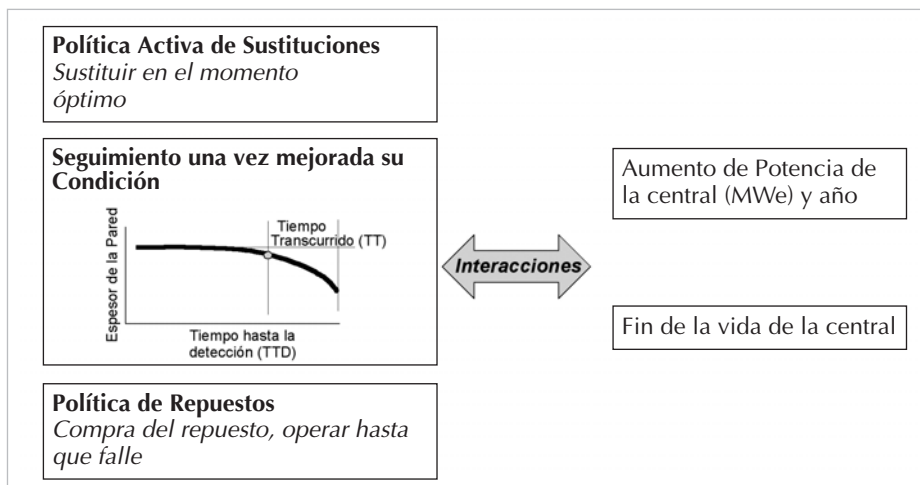


Figura 2. El PAM consigue la estrategia más favorable para cada componente.

a nivel de sistemas o a nivel de la central, lo que permite optimizar las estrategias definidas para cada componente, incluyendo:

- Calendario óptimo para cada actividad.
- Limitación de presupuesto anual para un sistema o para toda la central.
- Optimización con y sin limitación de presupuesto.
- Cálculo del aumento del Valor Actual Neto del sistema ó de la central.
- Análisis de las consecuencias de tener una limitación de presupuesto.

MODELO PAM DE GESTIÓN INTEGRADA DEL ACTIVO

Con el fin de maximizar el Valor Actual Neto y de optimizar el programa de gastos para mantenimiento se utiliza un modelo matemático, denominado Modelo PAM de Gestión Integrada del Activo y que se describe a continuación. El objetivo que se persigue es el de sustituir el componente ó realizar otra acción mitigadora, antes de que la vida en servicio del sistema, estructura o componente alcance el punto de tasa de fallos acelerada, según se muestra en la Figura 3.

Resumen del Modelo PAM

Objeto, Método y Características Destacables

El modelo PAM de Gestión Integrada del Activo dispone de capacidad para optimizar matemáticamente tanto el calendario de sustituciones como las acciones de mitigación del envejecimiento para el conjunto de sistemas, estructuras o componentes de la cen-

tral, a lo largo de toda su vida.

Las características principales de este modelo son:

- Incorpora y combina el histórico de la tasa de fallos para un gran grupo de componentes, basándose en: la opinión de expertos, bases de datos de centrales similares, bases de datos de la industria e histórico específico de fallos en la propia central.
- Utiliza una aplicación singular del Teorema de Bayes para integrar información sobre degradación de componentes por envejecimiento, desde tres o más fuentes.
- Optimiza el calendario para implantar mejoras de fiabilidad (reduc-

ción de la tasa de fallos) y la compra de repuestos.

- Optimiza el calendario de actividades de gestión del envejecimiento para el grupo de componentes considerado, con el fin de maximizar el Valor Actual Neto del total de las actividades, teniendo en cuenta varias categorías de costes a nivel de la central.

- Optimiza las acciones de gestión del envejecimiento, considerando las limitaciones de presupuesto para todos los componentes mediante la utilización de un algoritmo genético evolutivo. Este algoritmo maneja las interrelaciones no lineales del modelo de manera mucho más eficaz que una rutina tradicional de optimización no lineal.

- Establece la fecha óptima para ejecutar cada actividad de gestión del envejecimiento de cada uno de los componentes, así como el coste estimado para la realización de esa actividad.

Plataforma del Software

El PAM es un modelo de software que se ha desarrollado como aplicación de un modelo matemático disponible comercialmente, especializado en toma de decisiones analíticas. En el campo de las decisiones analíticas se incluyen todas aquellas actividades orientadas a realizar modelados cuantitativos que, partiendo de datos de entrada, seleccionan las mejores decisiones.

Un elemento fundamental del modelo PAM es la manera de tratar los valores dudosos.

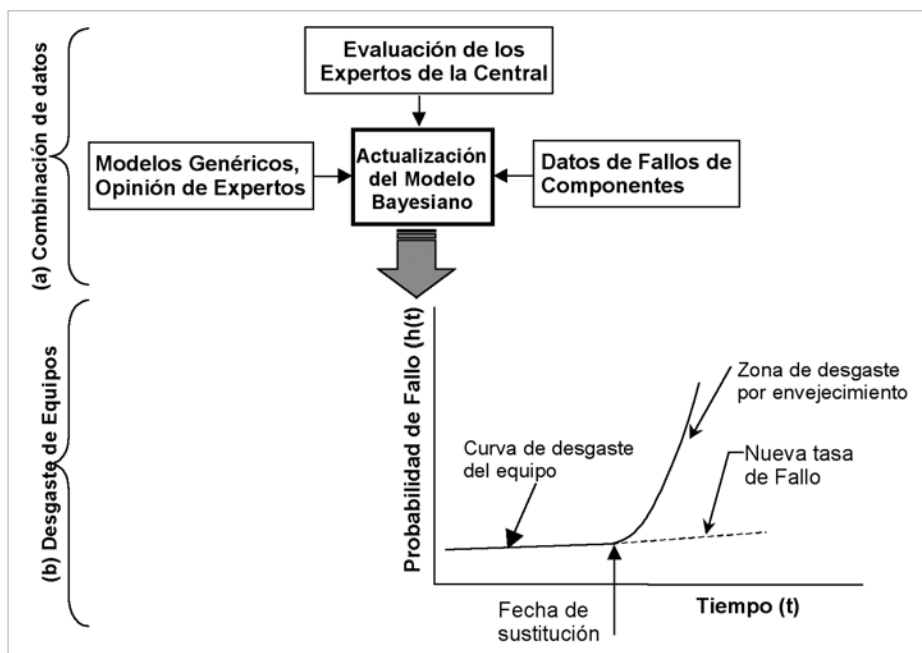


Figura 3. Evaluación de Posibles Economías a partir de una Estrategia de Gestión Integrada del Activo.

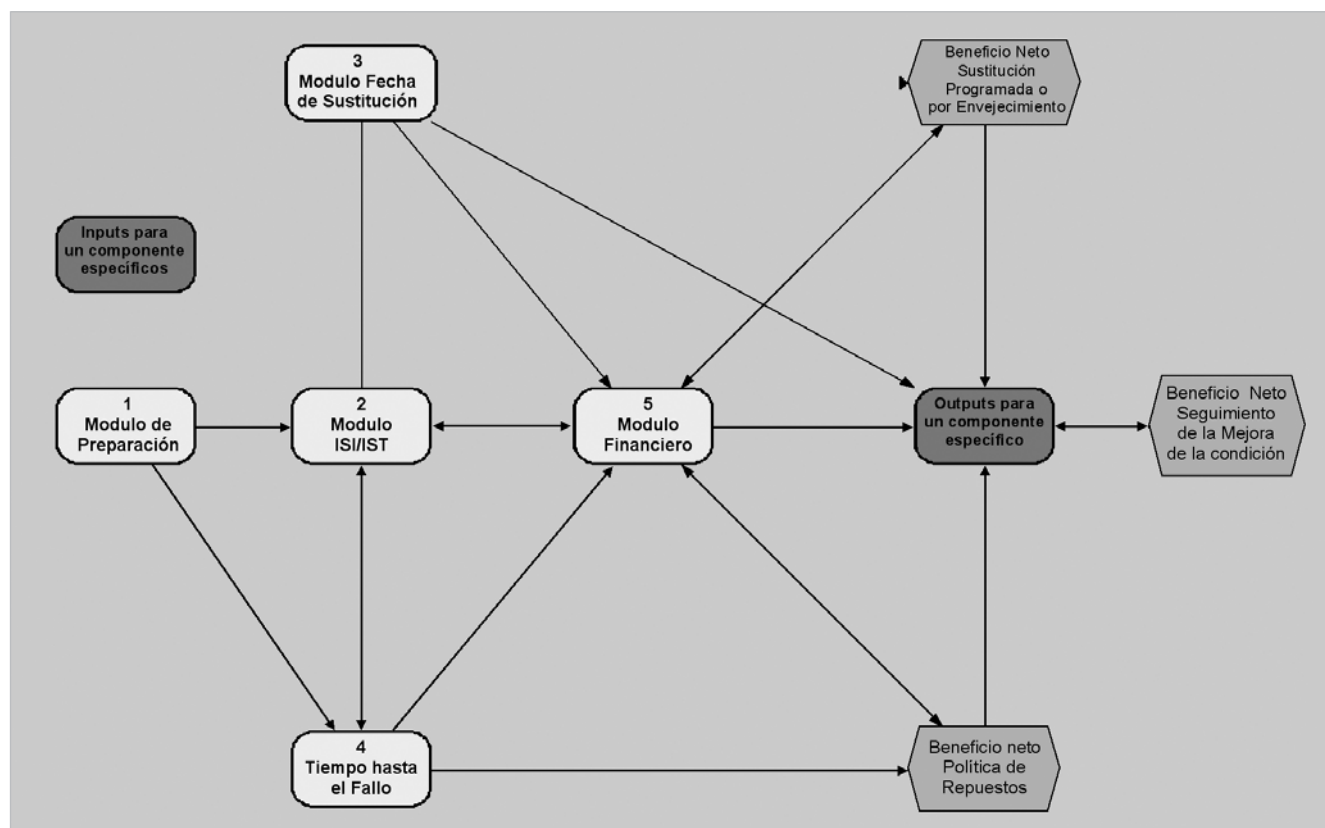


Figura 4. Representación Gráfica General del Diagrama de Influencia PAM.

Datos de Entrada

El PAM requiere una serie de datos de entrada, tales como, parámetros económicos, datos de envejecimiento de componentes y datos de mitigación de efectos del envejecimiento. Dentro de los parámetros económicos se consideran: el factor de capacidad de la central, la vida esperada de la central, el coste de la mano de obra, los costes de los impuestos y las limitaciones de presupuesto anual.

Histórico de la Tasa de Fallos - Fuentes

Los históricos de tasas de fallos y las estimaciones de costes se generan partiendo de los datos proporcionados por el suministrador original del equipo, por expertos en cada campo en base a su experiencia, por expertos de la central y por las bases de datos de la industria. En el software se introducen las estimaciones de tasas de fallos, incluyendo datos de la industria, experiencia de expertos, histórico de datos específicos de la central y evaluaciones de ingeniería en caso de que los datos sean limitados. En el modelo se incluyen las horas y frecuencias de las paradas debidas a cada modo de fallo, con

el fin de calcular el número de horas en las que no se podría generar energía como consecuencia del fallo.

La experiencia actualizada de los expertos de la central y los resultados de la base de datos son datos de entrada para cada aplicación nueva y se integran con los datos anteriores mediante una actualización "Bayesiana", según se muestra en la Figura 3. Por tanto, la base de datos de experiencias aumenta con cada aplicación nueva.

Resultados

El PAM establece el calendario óptimo para sustituir cada componente o para tomar otra acción preventiva, tal como: inspeccionar, reacondicionar o reparar o cualquier otra acción que mejore su fiabilidad. También genera el presupuesto anual previsto y el Valor Actual Neto estimado en caso de que se decidiera continuar la operación del componente hasta su fallo.

Ejemplo de los Resultados de una Aplicación del PAM

Con el fin de mostrar su extraordinaria capacidad, en este apartado se muestran los resultados PAM para componentes seleccionados de una

bomba de carga centrífuga. Los parámetros mostrados provienen del modelo PAM de Gestión Integrada del Activo de Exelon que se ha implantado durante los últimos años.

La Figura 4 muestra un diagrama de influencia PAM que ilustra la capacidad para generar un análisis sofisticado del beneficio neto de la inversión, para una distribución de fallos de Weibull dada, en caso de: (a) sustitución programada o por envejecimiento; (b) seguimiento del estado de la condición del componente y (c) aprovisionamiento de repuestos.

A continuación se describen brevemente el resultado del proceso de optimización del calendario de sustitución de los componentes de la bomba de carga en función de su envejecimiento.

La Tabla 1 muestra el Valor Actual Neto medio del flujo de caja después de impuestos, para cada componente, que se obtendría si ese componente se sustituyese en el año indicado y reconociendo la posibilidad de que pudiera fallar antes del año previsto para su sustitución. Cinco de los componentes dan un Valor Actual Neto (VAN) positivo para su sustitución por envejecimiento en cualquier año, resultando el 2003 el año óptimo (el VAN mayor)

Tabla 1
Sustitución Óptima por Envejecimiento de los Componentes de la Bomba de Carga Centrífuga antes del próximo Fallo

Valor Actual del Beneficio Neto, después de Impuestos (K\$)						
Fecha de Sustitución	Eje	Rodete	Cojinetes Motor	Cojinetes Bomba	Sello	Motor
2003	1424	2566	107	385.5	571.9	-39.66
2004	1310	2507	107.9	386.3	518.4	-35.67
2005	1200	2427	108.8	387.1	424.4	-32.66
2006	1098	2349	109.7	387.8	307.7	-29.66
2007	990	2246	109.3	387.8	192.3	-26.66
2008	892.2	2131	109.5	387.8	100.8	-23.67
2009	799.2	2003	108.6	386	45.58	-21.66
2010	716.9	1877	107.3	381.7	16.43	-18.67
2011	635.8	1732	105.4	372.7	4.905	-16.66
2012	562.6	1578	100.9	356.5	1.228	-14.66
2013	493.3	1429	97.79	331.9	0.42	-14.58
2014	424.9	1266	91.62	297.5	0.091	-12.58
2015	367.3	1096	85.53	252.4	0.2	-10.58
2016	306.4	940.8	76.64	199.3	0.338	-10.22
2017	253.4	787.1	67.39	141.8	0.488	-9.738
2018	201.2	628.1	57.83	86.69	0.631	-9.545
2019	153.8	479.2	46.74	44.91	0.754	-9.512
2020	103.1	338.5	34.97	18.08	0.848	-10.56
2021	59.29	208.4	23.6	5.792	0.913	-13.23
2022	21.03	93.05	9.955	1.04	0.954	-14.71

para la sustitución del eje, el rodete y el sello y el 2006 el año óptimo para la sustitución de los cojinetes de la bomba y del motor. El motor que es un componente de larga vida da, por el contrario, un VAN negativo para todos los años y por tanto nunca debe ser sustituido antes del “fallo” (independientemente de lo que se entienda por “fallo”). Igualmente, desde el punto de vista económico, el motor debe seguir funcionando hasta que falle.

El valor total generado por la aplicación PAM, que optimiza la sustitución por envejecimiento de los componentes de la bomba de carga, es de 5 millones de dólares, tomando como referencia el caso base que sería dejar que los componentes modelados siguieran funcionando hasta su “fallo”. Este valor se obtiene sumando el VAN calculado para los años óptimos (sombreados) de la Tabla 1. El paso siguiente sería el de comparar el calendario recomendado para realizar la sustitución por envejecimiento de cada componente con los calendarios de los programas en curso de la central.

CONCLUSIONES

El éxito de los programas de gestión del envejecimiento y mejora de la fiabilidad de los equipos durante la vida de la central se fundamenta en una clara definición de los objetivos principa-

les de la central y en la capacidad y determinación para cumplir con esos objetivos. Los modelos de evaluación y planificación sirven para optimizar la eficiencia de esos programas y proporcionan información a los gestores de la central que le es muy útil a la hora de tomar decisiones. Una de las funciones de la herramienta PAM es la de ayudar a las compañías eléctricas a mejorar su capacidad para resolver los conflictos de intereses que aparecen frecuentemente al intentar cumplir con los distintos objetivos de la central. Además, permite realizar optimizaciones matemáticas de grupos de actividades teniendo en cuenta que, al mismo tiempo, se debe cumplir con la limitación del presupuesto anual. El proceso de evaluación y el modelo PAM ayudan a definir y desarrollar las actividades del Plan Integrado de Gestión de Vida con resultados cuantificables.

El PAM presta a la central los siguientes beneficios:

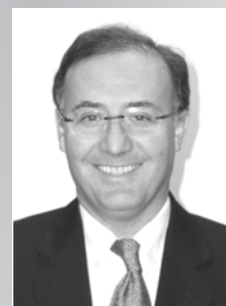
- Un plan integrado de acciones para enfrentarse a los casos de envejecimiento de componentes.
- Una relación de decisiones estratégicas de ingeniería y de mantenimiento que son las decisiones óptimas desde el punto de vista económico.
- Una previsión económica de necesidades de presupuesto en línea con la estrategia de gestión del envejecimiento y la fiabilidad de los equipos.

REFERENCIAS

1. AP-913, Rev. 1, “Equipment Reliability Process Description,” Institute of Nuclear Power Operations, Noviembre 2001.



Ricardo LLOVET es Licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense y Master en Business and Administration por la Duquesne University. Comenzó en 1980 en Merck Company. En 1984 se incorporó a Westinghouse como químico. En 1995 fue Manager de Ingeniería de Westinghouse en España. En 1997 pasó a Pittsburgh y durante 3 años coordinó los proyectos de centrales españolas. En 2000, aún en Pittsburgh fue el Manager de Servicios de Ingeniería. En 2002 lideró el grupo de Asset Management para Componentes Primarios y en el 2004 ha retornado a Madrid. En su actual posición de Director de Proyectos Europeos de Customer First desarrolla una labor para toda Europa.



Rafael IBÁÑEZ es ingeniero industrial del ICAI, Master en Ingeniería Nuclear por la Universidad de Florida y Master en Administración de Empresas por el IE. Ha trabajado en Westinghouse durante los últimos 28 años, en Ingeniería de Sistemas en Bruselas, en el equipo de pruebas y puesta en marcha en Ringhals y Almaraz y en departamentos de Proyectos y Apoyo a la Operación. Ha coordinado los Estudios de Sustitución de Generadores de Vapor y de las Tapas de las Vasijas de Almaraz. Actualmente colabora con CN Almaraz en Bases de Diseño y Gestión de Vida.