

# MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD. ¿UNA NUEVA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO EN LA ARMADA?

Antonio VALLES CASTRO



## Introducción

**N**ORMALMENTE, el mantenimiento en la Armada durante el periodo operativo de los buques y unidades se ha basado en el PMS (Subsistema de Mantenimiento Programado) importado de la Marina de los Estados Unidos. Esta organización del mantenimiento se basa fundamentalmente en el mantenimiento preventivo que tan buenos resultados ha dado hasta ahora en nuestras unidades. Desde hace unos años se ha implantado en la Armada el mantenimiento basado en la condición (mantenimiento predictivo) que supone una mejora importante en la ejecución del mantenimiento.

La idea del mantenimiento ha cambiado. Estos cambios son debidos a la creciente mecanización, a la mayor complejidad en los equipos y sistemas y a un nuevo enfoque en la organización. Están apareciendo nuevas metodologías de mantenimiento encaminadas a optimizar las tareas de mantenimiento y conseguir una reducción importante en los recursos necesarios para su ejecución. Esta reducción de recursos es especialmente importante en el ámbito del personal y de los costes económicos.

El problema del mantenimiento se agudiza en los buques, que son las unidades que debido al ambiente en que se mueven, hostil para los equipos y sistemas, necesitan de una manera más perentoria la ejecución del mantenimiento y por tanto los que más recursos consumen en esta tarea.

En este artículo el autor pretende divulgar una metodología de mantenimiento, el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), desarrollado desde hace unos treinta años por la industria aeronáutica y que en la actuali-

dad es utilizado por otros muchos campos de la industria y por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos y que sería de aplicación en la Armada. Esta metodología como veremos a lo largo del artículo, supone una optimización del mantenimiento, que conlleva una reducción de los recursos necesarios para su ejecución, tan necesaria en los tiempos que corren.

### Algunos conceptos sobre mantenimiento

Todo sistema funciona al comienzo de su vida operativa. Pero también todos los usuarios somos conscientes de que en algún momento de su vida operativa se producirán cambios debidos a procesos como corrosión, desgaste de piezas, mala utilización de los operadores, etc. Estos procesos en algunos casos pueden producir cambios en las características del sistema respecto a los valores de funcionamiento especificados. Esto es lo que se considera un fallo en el sistema.

Por tanto, podemos definir el fallo de un sistema como un suceso cuya realización provoca o bien la pérdida de capacidad para realizar las funciones del sistema o la pérdida de capacidad para satisfacer los requisitos específicos de este sistema. Así, vemos que un sistema puede tener dos estados de funcionamiento: operativo o inoperativo.

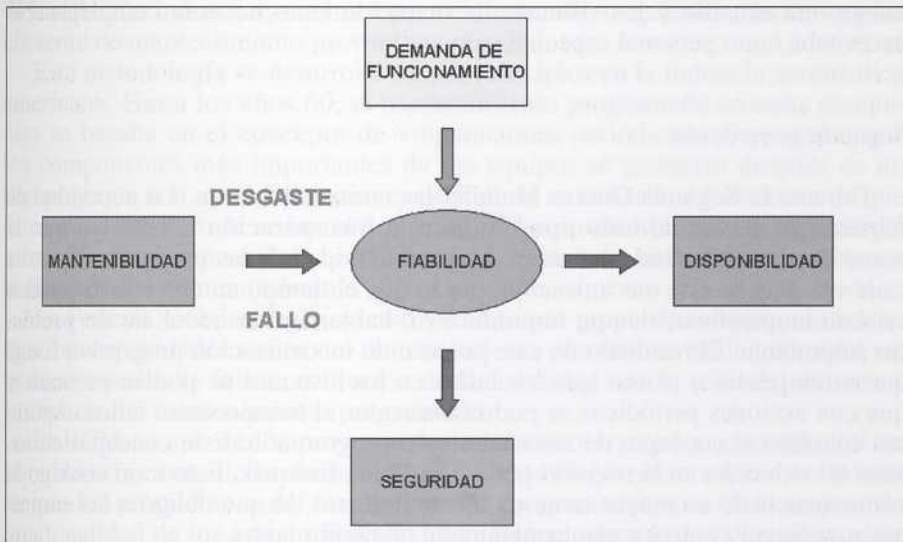
Los sistemas cuya funcionalidad se puede recuperar una vez perdida se llaman *sistemas recuperables*. Se entiende entonces que un sistema recuperable después de tener un fallo puede recuperar su capacidad de funcionamiento. En el caso contrario tenemos los *sistemas no recuperables*, que son aquellos que no pueden recuperar la funcionalidad después de un fallo. Para que un sistema pueda recuperar su capacidad de funcionamiento son necesarias unas tareas específicas, conocidas como tareas de mantenimiento. Además el sistema puede requerir otras tareas de mantenimiento, generalmente más sencillas, para mantenerlo en su estado operativo.

*Tarea de mantenimiento*: conjunto de actividades que debe realizar el usuario para mantener la funcionalidad de un componente, equipo o sistema.

*Proceso de mantenimiento*: es el conjunto de tareas de mantenimiento realizadas por el usuario para mantener la funcionalidad del sistema durante su vida operativa. El proceso de mantenimiento necesita unos recursos para su ejecución. Estos recursos serán: personal cualificado, equipos de prueba, instalaciones, repuestos, herramientas informáticas, etc. El mantenimiento puede ser de diferentes tipos, preventivo, correctivo, predictivo, proactivo, etcétera.

*Fiabilidad*: se define como la capacidad de un dispositivo de permanecer continuamente en unas condiciones operativas adecuadas.

*Disponibilidad*: mide la capacidad de un dispositivo para atender su demanda de funcionamiento. Se diferencia de la fiabilidad en que no requiere una continuidad de las condiciones operativas, teniendo en cuenta que el dispositivo puede fallar y ser reparado.



Relaciones funcionales del mantenimiento

*Seguridad:* mide la capacidad de un dispositivo para producir un daño. Es un concepto inverso al de riesgo, que es la esperanza matemática del daño que se puede ocasionar con la explotación de un dispositivo.

Una gestión adecuada de la explotación de los dispositivos nos debe llevar a conseguir la mayor rentabilidad mediante la consecución de la máxima eficiencia operativa.

## Evolución del mantenimiento

El mantenimiento, como proceso en evolución, ha seguido una serie de etapas a lo largo del tiempo, en cada una de las cuales existía una metodología específica.

### Primera generación

La primera generación abarca el periodo comprendido hasta la Segunda Guerra Mundial. En este periodo la industria estaba poco mecanizada y por tanto los periodos de parada no eran significativos. Todavía la poca maquinaria existente era sencilla y normalmente diseñada para un propósito específico. De manera que esa maquinaria era fiable y fácil de reparar. El manteni-

miento era sencillo y los sistemas de mantenimiento no eran complejos. No necesitaba tanto personal especializado.

### *Segunda generación*

Durante la Segunda Guerra Mundial las cosas cambiaron. La necesidad de fabricar productos de todo tipo obligó a la mecanización masiva ya que la mano de obra industrial era menor. La productividad de las empresas dependía cada vez más de esta mecanización, por lo que el tiempo en que esas máquinas estaban inoperativas, tiempo improductivo, había comenzado a ser un problema importante. El resultado de este proceso de mecanización progresiva fue el que se empezara a pensar que los fallos en los sistemas se podían prevenir y que con acciones periódicas se podría aumentar el tiempo entre fallos. Apareció entonces el concepto de mantenimiento programado. Este concepto en los años 60 se basaba en la revisión periódica de los sistemas. Esto trajo consigo la consecuencia de un mayor coste en mantenimiento, lo que obligó a las empresas a un mayor control y planeamiento del mantenimiento.

### *Tercera generación*

A partir de los 60 el crecimiento en la mecanización de las empresas ha ido sucediendo a pasos agigantados. La metodología del mantenimiento ha ido cambiando y estos cambios pueden clasificarse en:

- *Nuevas expectativas*: los periodos improductivos tienen un mayor efecto en la producción, coste total y el servicio al cliente. Por otra parte hay una relación más estrecha entre la maquinaria y la calidad del producto y cada vez se elevan los estándares de calidad. Se crean entonces fuertes demandas en cuestión de mantenimiento encaminadas a su optimización y al menor consumo de recursos.
- *Nueva investigación*: la investigación en este campo está cambiando los paradigmas hasta ahora más aceptados sobre el mantenimiento. En particular la relación entre los fallos y el tiempo de funcionamiento del equipo o sistema.

### **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM: *Reliability Centered Maintenance*)**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo

de instalación industrial, muy útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento preventivo.

Esta metodología se desarrolló en sus principios en la industria aeronáutica americana. Hasta los años 60, el mantenimiento programado en estas compañías se basaba en el concepto de «reparaciones periódicas». Se suponía que los componentes más importantes de los equipos se gastarían después de un tiempo y que con estas reparaciones periódicas se evitaría el fallo antes de que éste ocurriera. Pero se comprobó que los fallos no disminuían incluso aunque se acortara el tiempo entre reparaciones. Se necesitaba entonces un cambio en la filosofía del mantenimiento.

La Federal Aviation Agency creó entonces un grupo de trabajo para investigar las capacidades reales del mantenimiento preventivo. Se llevó a cabo un extenso estudio de fallos, evolución de la fiabilidad con la edad del sistema y la eficacia del mantenimiento programado.

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante los años 60 y 70 en las industrias con el fin de buscar una metodología de mantenimiento que mejore las prestaciones del mantenimiento programado y por tanto mejorar la funcionalidad de los activos físicos y disminuir el número de fallos. Fue originalmente definido por los empleados de la United Airlines, Stanley Nowlan y Howard Heap, en el libro *Reliability Centered Maintenance*. Este informe produjo un documento presentado en 1968 y otro presentado en 1970:

- Guía MSG-1, Manual de Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa.
- Guía MSG-2, Planeamiento de Programas de Mantenimiento para Fabricantes/Aerolíneas.

Estos documentos fueron patrocinados por la ATA (Air Transport Association of America-Asociación de Transporte Aéreo de los Estados Unidos).

En 1980, la ATA publicó el MSG-3, documento para el Planeamiento de Programas de Mantenimiento para Fabricantes/Aerolíneas. Este documento es el que sirve de guía actualmente para el desarrollo de programas de mantenimiento en la aviación comercial y en esencia es igual que el RCM.

En 1984, el EPRI (Electric Power Research Institute) identificó el RCM como una metodología muy recomendable para su aplicación en el campo nuclear e inicia una serie de estudios en los que analiza su validez y desarrolla métodos de ejecución y herramientas informáticas para su aplicación.

Hasta el momento, un gran número de empresas han utilizado el RCM con éxito, es decir, con reducción de costes y con mejora en la aplicación del mantenimiento. Entre los sectores que utilizan esta metodología, podemos destacar:

- La industria aeronáutica. El documento MSG-3 es prácticamente igual que el RCM.

- Fuerzas Armadas (especialmente en Estados Unidos).
- Centrales nucleares (especialmente en Estados Unidos y Francia).
- Compañías petroleras. (La mayoría de empresas que trabajan en el mar del Norte utilizan el RCM).
- Marina Mercante (se están dando los primeros pasos).

### *RCM en el ámbito militar*

El informe de Nowlan y Heap ha sido utilizado desde su publicación como base para varios modelos de RCM de tipo militar. El Departamento de Defensa comprendió que la aviación comercial había encontrado un método revolucionario para programar el mantenimiento y buscó beneficiarse de esta experiencia. Nowlan y Heap fueron encargados de escribir su versión del libro para el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el cual estaba viendo en la aviación comercial formas para hacer menos costosos sus planes de mantenimiento. Una vez que el Departamento de Defensa publicó el libro de Nowlan y Heap, el Ejército americano se propuso desarrollar procesos RCM para su propio uso: uno para el Ejército, uno para la Fuerza Aérea y otro para la Marina.

La Marina desarrolló dos procesos, uno para buques y otro para la aviación embarcada, porque se comprobó que procesos RCM que funcionaran en buques no servían para las aeronaves. Las empresas de diseño, montaje e instalación de equipos pronto vieron la necesidad de adaptar el mantenimiento de los equipos que suministraban a esta nueva metodología.

En 1996 el Comando Aéreo Naval de los Estados Unidos desarrolló su propia versión del RCM: «Guía para el proceso del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad para la Aviación Naval» (NAVAIR 00-25-403).

Por su parte, la Marina británica publicó sus «Necesidades para la aplicación de las técnicas RCM en los buques» (NES 45) siguiendo las pautas de Nowlan y Heap.

Actualmente la norma utilizada por la Marina de los Estados Unidos es la MIL-STD 2713, que es el referente para la aplicación y ejecución del RCM.

### *Modelos de fallo*

En 1978 la aviación comercial de los Estados Unidos hizo público un informe del resultado de la investigación de los patrones de fallo en los componentes de los aviones. Este informe supuso una revolución en la filosofía del mantenimiento que existía hasta el momento.

La investigación identificó seis modelos de fallos representando la probabilidad condicional de fallo en función de la edad para una amplia variedad de elementos eléctricos y mecánicos. Así:

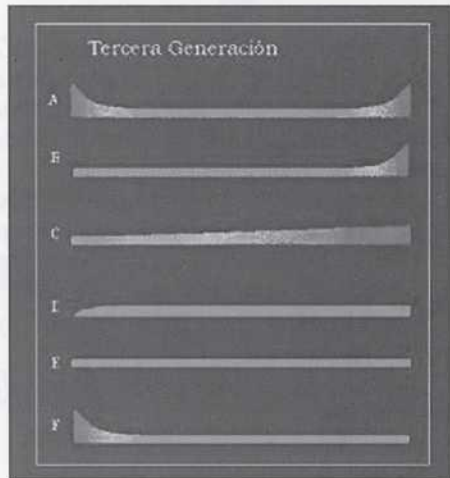
- *Modelo A*: es la conocida curva de la bañera.
- *Modelo B*: muestra una probabilidad de fallo constante o ligeramente creciente con la edad, terminando en una zona de desgaste.
- *Modelo C*: indica un incremento lento de la probabilidad de fallo.
- *Modelo D*: muestra una baja probabilidad de fallo cuando el elemento es nuevo, y después un rápido incremento hasta un nivel constante.
- *Modelo E*: muestra una probabilidad constante de fallo a todas las edades, es decir, un patrón de fallos totalmente aleatorio.
- *Modelo F*: empieza con una alta probabilidad inicial que decae eventualmente a una probabilidad de fallo constante o de crecimiento lento.

Estos estudios mostraron que el 4 por 100 de los componentes estaban de acuerdo con el modelo A, el 2 por 100 con el modelo B, el 5 por 100 con el C, el 7 por 100 con el D, el 14 por 100 con el E y el 68 por 100 con el F. Se puede ver cómo el 82 por 100 de los componentes siguen los modelos E y F. En general los modelos de fallo dependen de la complejidad de los componentes. Cuanto más complejos sean los equipos es más probable que estén de acuerdo con los modelos E y F.

Como consecuencia de este estudio se llegó a la conclusión, en contra de las ideas que hasta el momento se tenían al respecto, de que no hay relación entre la fiabilidad de un sistema o equipo y su edad. Hubo que considerar la idea de que cuanto más se revisaba un componente menor era su posibilidad de fallo. En los equipos modernos, debido a su complejidad, esta idea se descarta en la mayoría de los casos, debido a que los límites de edad no influyen o influyen muy poco en la fiabilidad de un equipo complejo. De hecho las revisiones programadas pueden aumentar la frecuencia del fallo por medio de la introducción de la mortalidad infantil en sistemas que de otro modo serían estables.

La metodología RCM plantea, como criterio general, el mantenimiento prioritario de los componentes críticos para el correcto funcionamiento del sistema, dejando operar hasta el fallo a los componentes no críticos, instante en el cual se aplicaría el correspondiente mantenimiento correctivo.

Un aspecto importante a tener en cuenta es que el RCM no hace más que asegurar que los elementos físicos de un sistema sigan consiguiendo su fiabi-



Modelos de fallo.

alidad inherente. Es decir, con el RCM no se puede conseguir mayor fiabilidad que aquélla para la que está diseñado el sistema.

El objetivo del RCM es reducir el coste de los recursos de mantenimiento. Este mantenimiento se enfocará principalmente a las funciones más importantes del sistema y se evitará realizar más acciones de mantenimiento que las que sean estrictamente necesarias. El RCM no sustituye a un diseño deficiente, a una implementación inadecuada del sistema o a malas prácticas en el mantenimiento.

Existe bastante literatura sobre el RCM. Algunas de las publicaciones más importantes son:

- Nowlan, F. S., and H. Heap (1978): *Reliability Centered Maintenance*.
- IEC60300-3-11 (1999): *Dependability Management-Application Guide: Reliability Centered Maintenance*.
- NASA (2000): *Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment*.
- MIL-STD 2173(AS), *Reliability-Centered Maintenance. Requirements for Naval Aircraft, Weapon Systems and Support Equipment*.
- NAVAIR 00-25-403 (1996): *Guidelines for Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process*.
- Moubray, J. (1991): *Reliability Centred Maintenance (Butterworth-Heinemann)*.
- Smith, A. M. (1993): *Reliability Centered Maintenance (McGraw-Hill)*.

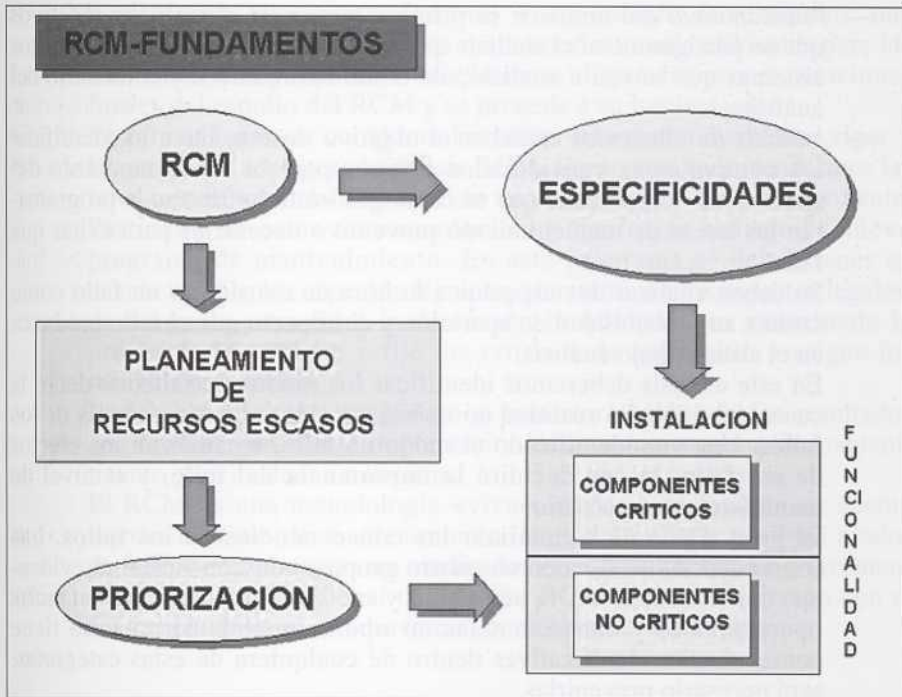
### Implementación del RCM

La aplicación del RCM se basa en el principio de que no se realizará ninguna tarea de mantenimiento que no se pueda justificar. Este método nos sirve para decidir si se necesita o no un mantenimiento preventivo, o si este mantenimiento se basará en el tiempo o en la condición. Es, en resumen, una metodología estructurada para utilizar de una manera optimizada los diferentes tipos de mantenimiento.

El RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que componen el sistema. Antes de que se estudie esa relación detalladamente, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existen en la empresa, y decidir cuáles son las que deben estar sujetos al proceso de decisión del RCM. En la mayoría de los casos, esto significa que se debe realizar un registro completo de los equipos que componen el sistema.

En el RCM se plantean siete preguntas básicas:





Fundamentos del RCM.

- ¿Cuáles son las funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Cuál es la causa del fallo?
- ¿Qué sucede cuando se produce el fallo?
- ¿De qué manera afecta cada fallo?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos?
- ¿Qué sucede si no puede prevenirse el fallo?

El análisis detallado de los siete pasos anteriormente citados queda fuera del propósito de este artículo, por lo que haremos un análisis más general de la implementación del proceso RCM.

Un proceso general de análisis RCM se puede resumir en las siguientes tareas:

- Planeamiento del análisis.
- Análisis de elementos críticos.
- Selección de tareas de mantenimiento.
- Recomendaciones y seguimiento del resultado.

- *Planeamiento del análisis:* la primera tarea será definir los objetivos que se persiguen con el análisis que se va a realizar. Se seleccionan los sistemas que se van a analizar, así como los recursos y calendario del análisis.
- *Análisis de elementos críticos:* el objetivo de esta tarea es identificar los componentes considerados críticos para el funcionamiento del sistema. Al componente que se catalogue como crítico se le programarán las tareas de mantenimiento preventivo necesarias para evitar que falle.

Se deben analizar dos aspectos a la hora de considerar un fallo como crítico: su probabilidad de aparición y el impacto que el fallo produzca en el sistema bajo análisis.

En este análisis deberemos identificar los modos de fallo, es decir, la causa del fallo. En realidad no se buscan síntomas, sino causas de los fallos. Una vez identificado el modo de fallo, se analizan los efectos de ese fallo, lo que decidirá la importancia del fallo, y el nivel de mantenimiento necesario.

El paso siguiente es analizar las consecuencias de los fallos. Las consecuencias se dividen en cuatro grupos: consecuencias no evidentes, consecuencias en la seguridad y medio ambiente, consecuencias operacionales y consecuencias no operacionales. Si un fallo tiene consecuencias significativas dentro de cualquiera de estas categorías, será necesario prevenirlas.

Una herramienta muy utilizada en este análisis es el AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos) (en inglés, FMCEA). El AMFE «es un método que mediante el análisis sistemático contribuye a identificar y prevenir los modos de fallo, tanto de un producto como de un proceso, evaluando su gravedad, ocurrencia y detección, mediante los cuales se calculará el Número de prioridad de Riesgo, para priorizar las causas sobre las cuales habrá que actuar para evitar que se presenten dichos modos de fallo». Para reducir los recursos, en lugar del AMFE se puede utilizar las llamadas «listas de elementos críticos». Este método consiste en la aplicación de una serie de preguntas a cada componente del sistema para, en función de sus respuestas, considerarlo crítico o no crítico.

- *Selección de tareas de mantenimiento:* una vez identificados los componentes críticos y las causas y efectos de los fallos, se seleccionan las tareas de mantenimiento que se consideren convenientes y aplicables. En este proceso se da prioridad a las tareas de mantenimiento predictivo, frente al preventivo debido al carácter menos agresivo de éste.

El resultado de esta tarea es el conjunto de tareas de mantenimiento recomendadas para cada equipo. Se definirán las tareas específicas y su frecuencia de ejecución.

— *Implantación de recomendaciones y seguimiento de resultados:* una vez seleccionadas las tareas de mantenimiento más eficientes para los diferentes componentes analizados, se dictan las recomendaciones finales del estudio del RCM y se procede a su implantación.

En primer lugar, se comparan las tareas de mantenimiento en vigor y las recomendadas por el análisis RCM. Como resultado, tendremos las tareas de mantenimiento que se van a aplicar a cada componente. Partiendo de estas recomendaciones finales se redacta el nuevo programa de mantenimiento. En este programa se deben tener en cuenta no sólo los aspectos técnicos, sino también los aspectos legales, de mercado, etc. Será la dirección la que una vez examinada la propuesta la apruebe y fije los criterios de aplicación y asigne los recursos necesarios.

Es fundamental el seguimiento y posterior análisis de los resultados que se obtengan con la implantación del nuevo programa de mantenimiento para evaluar su eficacia.

El RCM es una metodología «viva», es decir, se tendrán en cuenta nuevas técnicas de mantenimiento, se podrán añadir posibles modos de fallo o componentes no analizados inicialmente, etc. Es conveniente la actualización global del estudio RCM cada cierto tiempo con el fin de actualizar el estudio inicial con el paso del tiempo.

### *Beneficios del RCM*

*Seguridad:* el nivel de análisis que se aplica permite controlar la mayoría de los riesgos asociados a la operación o el mantenimiento de los sistemas.

*Costos:* inicialmente crecen por la adquisición de sistemas y programas, la formación y la adaptación del personal. Posteriormente bajan considerablemente por el mejor control sobre los trabajos de mantenimiento y el manejo de los recursos. Se calcula que si se aplica el RCM a un sistema ya existente se reduce la cantidad de mantenimiento rutinario de un 40 a un 70 por 100. Si el RCM se aplica para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento, se consigue una carga de trabajo considerablemente menor que con los métodos tradicionales.

*Fiabilidad:* el RCM se centra en la fiabilidad, principalmente compartiendo la experiencia de los que participan en el sistema: los planificadores, los diseñadores, la jefes de mantenimiento, los mantenedores, etc.

*Eficiencia y productividad:* la relación costo-efectividad es otro aspecto importante en RCM. Significa definir los niveles de producción y de mantenimiento que son apropiados. El RCM asegura que se aplica un nivel de mantenimiento adecuado en el momento oportuno; identifica además los trabajos que no son efectivos y que por tanto no se ejecutan.

## Conclusiones

A lo largo del artículo se ha podido ver que la metodología del mantenimiento ha evolucionado a la vez que la creciente mecanización y complejidad de los equipos y sistemas. Esta evolución ha llevado a la búsqueda de la optimización del mantenimiento con una mejora en sus prestaciones y un menor consumo de recursos, tanto de personal como económicos.

Se ha presentado la evolución del mantenimiento hasta llegar al RCM, que no es un tipo de mantenimiento, sino que es una metodología encaminada a optimizar la utilización del mantenimiento programado. El RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es válido y da pautas para decidir cuál es el más adecuado en cada momento.

Actualmente en los buques de la Armada tenemos equipos y sistemas muy complejos. Esta complejidad exige un mayor esfuerzo en su mantenimiento. Además el mar es un ambiente hostil para los equipos, por lo que la necesidad del mantenimiento se hace más perentoria si cabe.

Como resultado se puede afirmar que la metodología RCM es una forma ideal para desarrollar planes de mantenimiento en equipos complejos y que permitiría una reducción importante en los recursos, tanto humanos como económicos, utilizados en el mantenimiento.

Actualmente esta metodología se está aplicando en los ministerios de Defensa de diferentes países con gran éxito. Sirva como ejemplo que, según fuentes consultadas en la sede española de la Allegro Systems International, la aplicación de esta metodología en la Marina australiana ha supuesto un ahorro anual en mantenimiento de 8.000.000 de dólares australianos (4.800.000 euros).

Quizá sea el momento de implantar esta metodología en la Armada española, debido a que la creciente complejidad de los equipos instalados a bordo de nuestras unidades, entre los mejores del mundo, nos exige una mayor carga de mantenimiento. Aunque en un principio hay que realizar una gran inversión (existen en España empresas que pueden realizar este trabajo) a medio plazo, conseguiríamos una reducción importante en los recursos necesarios para el mantenimiento.