

MANTENIMIENTO POR DIAGNOSTICO SU APLICACION A LOS SISTEMAS DE ARMAS

Arthur Partarrieu Ibáñez
Capitán de Navío

INTRODUCCION

Las obras de Blanchard¹ y Warleta² presentan y fundamentan la logística desde el punto de vista de la ingeniería y administración, describiendo los conceptos de Apoyo Logístico Integrado implícitos en el diseño, construcción y operación de los sistemas de armas modernos.

El presente trabajo pretende, en primer lugar, describir sumariamente la organización de la Dirección de Armamentos de la Armada³ para enfrentar el problema del apoyo logístico a los sistemas de armas en servicio.

En segundo lugar, se exponen algunas definiciones de parámetros de efectividad de sistemas de armas y algunas opiniones sobre mantenimiento correctivo y preventivo⁴ y sobre la relación mantenimiento-confiabilidad.⁵

A continuación se presenta el ordenamiento logístico de los nuevos sistemas de armas y se exponen las actividades de mayor gravitación que se han desarrollado en los últimos años en la DAA, relacionadas con mantenimiento.

Finalmente, se presentan las conclusiones de todo lo anterior.

LOS SISTEMAS DE ARMAS Y LA ORGANIZACION DE LA DIRECCION DE ARMAMENTOS

A partir de 1984 la Dirección de Armamentos de la Armada modificó su organización interna para relacionar más directamente su quehacer con cada sistema de armas en particular, continuando y profundizando una tendencia que venía imponiendo desde 1970.

El vocablo "sistema" se debe entender como aquel conjunto o arreglo de cosas que está relacionado o conectado para formar una unidad o un todo orgánico.

Este tratamiento sistémico permite unir las entradas y salidas, lo que a su vez hace más evidente las relaciones funcionales entre los equipos y permite simplificar las tareas de análisis.

Administrativamente, esta división del material en sistemas se adapta muy favorablemente para asociar recursos y resultados y permite comprobar que las asignaciones abarquen el conjunto completo.

¹ B. Blanchard: *Logistics Engineering and Management*, Prentice-Hall Inc., 1974.

² J. Warleta: *Fiabilidad: Bases teóricas y prácticas*, INTA, Madrid, 1973.

³ Armada de Chile: *Manual de Organización*, DAA.

⁴ Armada de Estados Unidos de América: *Reliability-Centered Maintenance Handbook, Naval Sea System Command*, 1981.

⁵ Armada de Chile: *Especificación de Reparación y Pruebas de Equipos y Sistemas*. Publicación N° 4530/0, DAA.

Este método tiene la característica de respetar, en un grado apreciable, la clasificación del personal, agrupado en las especialidades tradicionales, al existir una razonable correlación entre estas y los sistemas de armas.

De este modo, se clasificó administrativamente al material en sistemas y así todos los sistemas iguales constituyen un subconjunto del material a cargo de la Dirección, que se denomina Programa de Armamento.

Ciclo de vida de los sistemas

También, la organización reconoce que los sistemas tienen un ciclo de vida en el cual es posible reconocer las siguientes fases.

— Fase conceptual. Donde se concibe la idea de un nuevo sistema o bien la modificación de un sistema existente y se efectúa una evaluación preliminar.

— Fase de definición. Donde se determina, tan anticipada y exactamente como sea posible, costo, tiempos, rendimiento y recursos requeridos para adquirir y operar el sistema.

— Fase de producción o adquisición. Donde se adquiere, prueba, integra, se pone en marcha y se entrega al usuario el sistema, usando las especificaciones desarrolladas durante las fases precedentes.

— Fase de operación. Donde se provee el apoyo de recursos requeridos para lograr los objetivos de los sistemas y se controla su operación requerida a niveles predeterminados de rendimiento. Esta es normalmente la fase de mayor duración y donde se centrará principalmente nuestro interés en relación con el mantenimiento.

— Fase de eliminación. Que comprende las actividades necesarias para poner término al uso del sistema al producirse su obsolescencia logística u operativa.

La distribución de responsabilidades

En la Dirección de Armamentos, las funciones relacionadas con las tres primeras fases recaen casi exclusivamente en los Departamentos de Planes y Proyectos y están reguladas, entre otros aspectos, por el Manual de Proyectos de la Armada.

Las funciones relacionadas con la Fase de operación recaen en el Departamento de Operaciones.

Existe, además, un Departamento de Ingeniería y Evaluación, que es principalmente un departamento de servicios para el Departamento de Operaciones en aquellas materias que su nombre señala.

Las fases iniciales del ciclo de vida de un sistema corresponden a lo que normalmente se le ha dado tratamiento de proyecto en los últimos años.

Al ingresar al servicio y ponerse en funcionamiento, el sistema ingresa a la Fase de operación, convirtiéndose el proyecto en Programa de Armamento.

De este modo, el mantenimiento de un sistema de armas es manejado en sus Etapas conceptual y de adquisición por el Departamento de Proyectos y en su Fase de operación es administrado por el Departamento de Operaciones.

Debe entonces tenerse presente, cuando se analiza el mantenimiento de los sistemas de armas, la singularidad de cada uno de ellos, causada por las diferencias tecnológicas entre los mismos y las diferentes corrientes en boga en el momento de su adquisición.

LA EFECTIVIDAD DE LOS SISTEMAS: EL ROL DE LA DISPONIBILIDAD

Definiciones previas

Se puede emplear un modelo de la efectividad de un sistema de armas en base a tres aspectos:

- El apresto operativo.
- La contabilidad en una misión.
- La suficiencia del diseño.

El apresto operativo es la probabilidad de que en un instante cualquiera el sistema esté funcionando satisfactoriamente o preparado para funcionar si fuese necesario, considerando su empleo en condiciones definidas; se incluye un tiempo prefijado de prevención para la puesta en funcionamiento. Esto es equivalente a la proporción de tiempo de aptitud sobre el total del tiempo calendario.

La confiabilidad es la probabilidad de que en determinadas condiciones el equipo o sistema funcione, del modo para el que fue diseñado, durante el tiempo de una misión, considerando que al comenzar la misma lo haga de ese modo.

Estos dos primeros aspectos son dependientes de factores logísticos.

Es fácil reconocer que en el apresto operativo se contabiliza como tiempo en condición de baja a los tiempos de diagnóstico, reparación, comprobación de las fallas, así como los tiempos de atraso por causas administrativas o de retardo en el suministro de componentes, materiales o repuestos.

La disponibilidad se define como la probabilidad de que el sistema esté funcionando satisfactoriamente en cualquier instante, considerando su empleo, en condiciones definidas, y contabilizando como tiempo total el tiempo de funcionamiento y el tiempo de ineptitud o condición de baja solamente. Esto es, la disponibilidad no considera aquel tiempo en que el sistema está en condiciones de operar, pero no se pone en funcionamiento.

La disponibilidad está directamente influenciada por la confiabilidad, que es la probabilidad de que un dispositivo funcione satisfactoriamente durante un tiempo dado, siempre que dicho dispositivo se emplee en condiciones definidas.

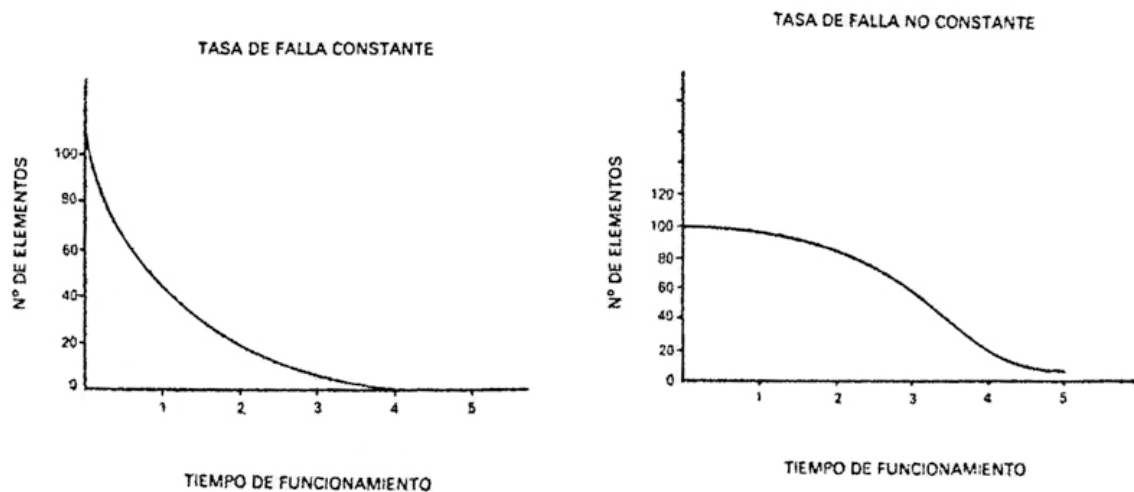
Dos parámetros importantes ayudan a cuantificar el concepto de disponibilidad: El tiempo medio entre fallas y el tiempo medio para reparar.

La relación mantenimiento-confiabilidad

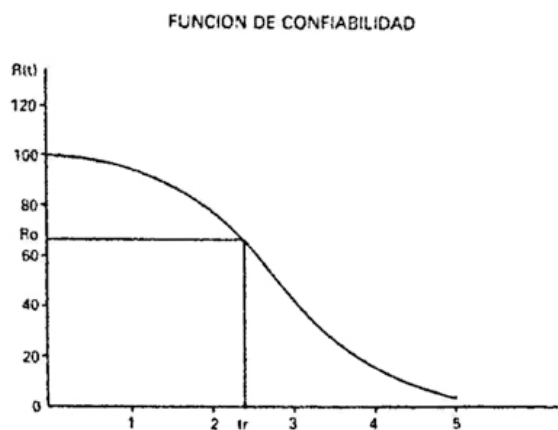
Avalado por lo observado cualitativamente en mi carrera profesional, puedo esbozar dos modelos básicos que junto con simplificar el análisis caricaturizan la realidad observada.

En primer lugar, tenemos el caso de aquellos elementos que demuestran tener una tasa de fallas constante en el tiempo. Es decir, en un intervalo de tiempo dado siempre falla la misma proporción de elementos con respecto al total de elementos que quedan en funcionamiento, o, lo que es lo mismo, el número de elementos que continúan sin fallar en función del tiempo está representado por una función exponencial decreciente.

Podemos decir que estos elementos fallan sin tener en cuenta el tiempo de funcionamiento acumulado o, análogamente, que no tienen "memoria" de sus horas de funcionamiento.



En segundo lugar, tenemos aquellos elementos que demuestran tener una cierta relación entre tiempo de funcionamiento y la tasa de falla, que no es constante en el tiempo y, por el contrario, tiende a aumentar a valores claramente diferenciados para cierto valor de tiempo de funcionamiento.



Se puede pensar que este último tipo de elementos tiene "memoria", que llevan la cuenta de su tiempo de funcionamiento.

Estos dos modelos son extremos que, como se dijo, caricaturizan la realidad, donde los elementos muestran características de fallas que reúnen aspectos de ambos modelos.

Los componentes electrónicos de estado sólido pueden ser clasificados, en una primera aproximación, como pertenecientes a los elementos de tasa de falla constante.

Esta simplificación, que se aproxima a la realidad, facilita la determinación de la confiabilidad de los equipos electrónicos y la determinación del apoyo logístico necesario durante la fase de operación.

Pero, principalmente, dado que no hay una relación entre tiempo de operación y confiabilidad, se elimina la posibilidad de una relación causa-efecto entre el mantenimiento preventivo y la confiabilidad.

Algunos componentes mecánicos, tales como rodamientos, sellos, descansos e incluso estructuras, tienen un comportamiento más parecido a los elementos "con memoria de funcionamiento".

Es frente a estos elementos que cabe formularse la pregunta: ¿Existe una relación entre el mantenimiento y la confiabilidad?

De acuerdo a las premisas del modelo presentado para este tipo de elementos, tendremos que la función de confiabilidad tendrá una forma como la que indica la figura que sigue, donde se puede apreciar que efectivamente si se procede a cambiar el elemento después de

un determinado tiempo de trabajo se mantendrá un nivel de confiabilidad deseado, es decir, hay razón para considerar el mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo

Si se consideran las estadísticas del comportamiento de un determinado elemento se podrá actuar en forma determinística, procediendo a su sustitución al alcanzar un determinado nivel de tiempo de funcionamiento, con lo cual se estaría previniendo su futura falla.

Este es el planteamiento que justifica muchas tareas de nuestros planes de mantenimiento. En un plazo determinado o después de un cierto tiempo de operación se procede a efectuar una tarea de mantenimiento con el propósito de cambiar un elemento cuya confiabilidad ha descendido de un valor límite.

Se pueden apreciar algunas áreas grises en este planteamiento. En primer lugar, no se considera el comportamiento individual del elemento a reemplazar, que podría ser de mayor duración que la media, a raíz de lo cual su cambio prematuro corresponde a un gasto innecesario que podría tener alguna significación. Lo opuesto, vale decir, un elemento con comportamiento individual inferior a la media podría fallar antes del tiempo fijado, con lo cual el mantenimiento establecido pierde su condición de preventivo, dejando de cumplir su propósito.

En segundo lugar, se puede ver la necesidad de ponderar la trascendencia de una falla del elemento, ya sea esta económica, de seguridad, de impacto sobre el rendimiento, etc., antes de decidir sobre la aplicación de una operación preventiva. Vale decir, es necesario comparar la alternativa de no hacer mantenimiento preventivo y esperar hasta que la falla ocurra.

Hay casos en que la trascendencia de la falla amerita asegurar la confiabilidad del elemento, como cuando la seguridad humana está en juego o bien que el elemento sea capaz de producir un perjuicio mayor, o que su reparación demande la concurrencia a algún astillero requiera de algún apoyo especial, difícil de conseguir.

Las consideraciones anteriores deberían hacernos mirar con ojo crítico aquellas tareas de mantenimiento que disponen el reemplazo de componentes por el solo hecho de haber alcanzado un determinado nivel de tiempo de funcionamiento o plazo, sin que la trascendencia de la falla lo justifique.

Lo anterior no debe hacerse extensivo a otras operaciones de mantenimiento que figuran en los planes de mantenimiento preventivo y que persiguen propósitos distintos, tales como:

- Aquellas tareas dirigidas a evaluar la condición de un equipo
- Aquellas tareas dirigidas a encontrar fallas que no son evidentes para los operadores.
- Aquellas tareas de servicio y lubricación.

El mantenimiento preventivo por diagnóstico

Entiendo el mantenimiento preventivo por diagnóstico como aquel mantenimiento que estima que se ha alcanzado el momento de reemplazar un elemento en forma preventiva, en base a la observación y/o medición de su condición actual.

En el área de armamento hay varios ejemplos de este tipo de mantenimiento, uno de ellos muy claro. En el caso de las pólvoras propelentes, periódicamente se observa la condición actual de su estabilizante y se determina si continúan en servicio o bien ha llegado el momento de reemplazarlas.

En el caso de las giroesferas de un cierto tipo de girocompases de navegación, hace algunos años se decidió cambiar de un mantenimiento preventivo a uno correctivo, adquiriendo unidades adicionales para reemplazo, observando periódicamente su funcionamiento y esperando a que fallaran. El resultado ha sido un alargamiento importante del tiempo entre reparaciones en fábrica y de paso se aprendió a reconocer los síntomas que anuncian la inminencia de la falla de las giroesferas. Esto es, indirectamente se cambió a un mantenimiento preventivo por diagnóstico.

Recientemente se ha intentado incorporar, el uso de elementos de análisis vibracional en la determinación del estado de algunos equipos rotatorios, siguiendo el ejemplo sentado por la Dirección de Ingeniería, sin que se tenga todavía conocimiento del resultado logrado.

Como es evidente, la aplicabilidad de este tipo de mantenimiento depende, en esencia, de la posibilidad de medir la condición actual de un elemento y proyectar su tiempo de operación restante.

Cuando se dispone de tal capacidad, este tipo de mantenimiento pasa a ser atractivo, porque permite mantener la contabilidad de un sistema y como consecuencia la condición de apresto operativo, minimizando la cantidad de mantenimiento.

LOS NUEVOS SISTEMAS DE ARMAS: EL APOYO LOGISTICO INTEGRADO

Los sistemas de armas para el Departamento de Defensa norteamericano han sido diseñados en los últimos años bajo el concepto del apoyo logístico integrado.

Esta tendencia se ha reflejado también en los países de la OTAN, lo que he podido comprobar con especial interés para su próxima incorporación a la Armada de Chile.

Consiste este método en diseñar un sistema de armas para satisfacer un conjunto de requerimientos operacionales, entre los que se cuentan:

- Definición de la misión.
- Parámetros de rendimiento.
- Despliegue operacional.
- Horizonte de vida operacional.
- Requisitos para la operación.

Igualmente; para satisfacer factores de efectividad, entre los que se pueden citar ejemplos como:

- Cifras de mérito de costo-efectividad.
- Apresto operativo.
- Disponibilidad.
- Tiempo promedio entre mantenimientos.
- Tiempo promedio entre fallas, etc.

Para satisfacer este conjunto de requerimientos operacionales, entre los cuales hay varios de ellos que están relacionados con el mantenimiento, se hace necesario formular, durante la etapa de diseño, el "concepto de mantenimiento".

Este concepto incluye definiciones importantes que caracterizarán el futuro empleo del sistema, tales como: los niveles de mantenimiento; la política de reparaciones, que señala qué componentes son reparables y por cuáles niveles de mantenimiento; la política de apoyo logístico; y factores de efectividad y constreñimientos al mantenimiento.

El sistema, entonces, cuando entre en funciones, dispondrá de su documentación, entrenamiento y equipos de apoyo ordenados, diseñados y cuantificados de acuerdo al concepto de mantenimiento.

Lo anterior tiene trascendencia para nuestro caso, por cuanto, dada la complejidad y costo de cualquier posible cambio en la organización del apoyo logístico diseñado y siendo compradores de sistemas especificados por otras armadas, hace que este importante aspecto logístico tenga la característica de ser una variable exógena, fuera de nuestro control.

Por otra parte, si los requerimientos operacionales originales fueran coincidentes con los nuestros se producirá un ordenamiento logístico que facilitará nuestro accionar, sin haber tenido que participar en su gestación.

Desde hace algunos años los equipos electrónicos vienen equipados con equipos de prueba incorporados, denominados BITE (Built- In Test Equipment).

En los años más recientes, con el advenimiento de los microprocesadores, las funciones de prueba y diagnóstico BITE se han multiplicado, llegando casi a no ser percibidas por el usuario. El objetivo perseguido es detectar la presencia de fallas, identificar el componente o módulo causante y desplegar la información al operador. Con una adecuada dotación de módulos de repuesto se pueden lograr tiempos de reparación extremadamente breves, lo que permite cumplir las exigencias de disponibilidad del sistema.

En el futuro veremos un desempeño cada vez más efectivo de esta función.

EL MANTENIMIENTO POR DIAGNOSTICO

En la Dirección de Armamentos de la Armada el mantenimiento de los sistemas de armas descansa en los mantenedores de a bordo, en el apoyo de Asmar y de los Arsenales y en poca escala en el apoyo de los fabricantes.

Los sistemas de armas tienen necesidades de mantenimiento muy variadas entre sí, principalmente por la diferencia de materiales así como de tecnologías.

Esto hace imperioso que las directivas que regulan los procedimientos de mantenimiento contemplen una variedad de posibilidades. No existe la receta simple y única que cura todos los males. En el último tiempo han habido esfuerzos para materializar con la Oficina de Mantenimiento de la Armada (OMA), un mecanismo de medición de la confiabilidad y de la mantenibilidad de los sistemas de armas, para lo cual se modificó el formulario de registro de fallas.

La OMA ha avanzado significativamente en la confección de Tarjetas de Mantenimiento y la DAA, con colaboración externa, en la Especificación de Reparación y Pruebas de Equipos y Sistemas (ESPECARM).

En los últimos contratos para reingenierización de equipos lógicamente obsoletos se ha especificado una política de mantenimiento y en los contratos de adquisiciones se ha especificado la disponibilidad.

En todo lo anterior no se aprecia una predilección especial por el mantenimiento por diagnóstico, sino sólo se ha tenido preocupación por el mantenimiento sin apellidos, en la medida en que asegure una correcta disponibilidad de los sistemas de armas.

En las reparaciones, siguiendo directivas de la DGSA, se ha intentado materializar la recuperación por diagnóstico, que básicamente consiste en eliminar de la lista de trabajos por mantenimiento preventivo aquellos en que las pruebas efectuadas a los equipos demuestren como no necesarios.

Para lo anterior se emitió una especificación técnica que pretende seleccionar aquel conjunto de pruebas que se efectúan al término de un trabajo y que tengan la mejor característica de capacidad de diagnóstico, para ser efectuadas con anterioridad a la recuperación. El análisis de los resultados de esas pruebas, junto con otros antecedentes técnicos relacionados con el equipo guían al Oficial de Cargo y al Inspector en la selección o eliminación de un determinado trabajo.

También, la DAA ha emitido, a título general y en forma de sugerencia, la ejecución de mantenimiento por síntomas mediante análisis vibracional de los equipos rotatorios: En esta materia se han seguido los pasos e incluso se han empleado los equipos de la Dirección de Ingeniería.

CONCLUSIONES

El mantenimiento de los sistemas de armas es diferente para cada uno de ellos y está fuertemente influido por la fecha de entrada en servicio.

El mantenimiento preventivo empleado en cada sistema de armas proviene del Plan de Mantenimiento de origen y ha sido actualizado mediante gestión de la OMA.

La gestión de la DAA, respecto del mantenimiento, ha estado orientada a mantener o mejorar las condiciones de operación por su incidencia en la disponibilidad de los equipos. Respecto del mantenimiento, se ha intentado la disminución de su volumen en el caso de las recuperaciones de unidades.

El mantenimiento por diagnóstico sólo se ha considerado a título de sugerencia y en relación con el material rotatorio, empleando equipamiento de la Dirección de Ingeniería. Su aplicación es atractiva en aquellos elementos cuyo mantenimiento sea de alto costo, en que su falla puede llegar a tener gran trascendencia y para las cuales se cuenta con la capacidad de poder medir y proyectar su estado.

El mantenimiento preventivo, por diagnóstico o por plazo, no es aplicable a aquellos elementos cuya característica de fallas las asemejan al tipo "sin memoria".

El mejoramiento del equipamiento BITE en el cumplimiento de la función de autodiagnóstico permitirá un aumento de la disponibilidad de los sistemas por la vía de una disminución del tiempo promedio para reparar.

La estricta organización del apoyo logístico integrado que se emplea en los sistemas modernos disminuirá la posibilidad propia de influir en su organización, a raíz de lo cual es posible que proliferen diferentes métodos y esquemas en el servicio. Sin embargo, cada sistema tendrá una organización de su apoyo logístico y mantenimiento perfectamente definidos y con un alto grado de efectividad.

Desde este punto de vista, la organización por sistemas de armas adoptada por la DAA es compatible con este escenario futuro y a su vez obligará a que la reglamentación y directivas que se emitan lo tengan en consideración.