



¿QUÉ SE ESCONDE DETRÁS DE LAS ESTADÍSTICAS DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD?

Nicolás Gaya Lazo*

- **Resumen.**

Periódicamente los Oficiales de Cargo deben ingresar las estadísticas de falla de los diversos sistemas o equipos de a bordo, a las bases de datos Institucionales. A partir de estas bases de datos, se van actualizando los valores de Disponibilidad Operacional y Confiabilidad de cada sistema y en forma más amplia, de la respectiva unidad. Lamentablemente, como en toda evaluación, al final del proceso se obtiene un valor (un número) para la Disponibilidad o bien para la Confiabilidad, el que dependiendo de la interpretación que se haga de él, puede a veces ser mal entendido por la unidad evaluada, trayendo como consecuencia, sensaciones o interpretaciones erradas respecto de posibles negligencias en la mantención o mala operación de los respectivos sistemas, cuando los números resultan bajos, y viceversa cuando los números resultan buenos.

El presente artículo pretende entregar un resumido barniz respecto del origen de las respectivas estadísticas, de tal forma de ayudar a identificar interpretaciones más apropiadas respecto de los números y evitar que las equivocadas percepciones antes indicadas, lleven al riesgo de que, con la errada intención de tratar de evitar una posible reprimenda por las bajas estadísticas obtenidas, se tenga la tenta-

ción de adulterar los informes de falla o bien no enviarlos, lo que a la larga trae como consecuencia una ineficiente administración logística del material, cuyas consecuencias terminan siendo sufridas por las mismas unidades.

- **Identificación de las Métricas para Disponibilidad y Confiabilidad.**

• **Disponibilidad.**

Existen diversas formas de medir la Disponibilidad, algunas más complejas que otras. Objeto evitar interpretaciones cualitativas respecto de los parámetros que la definen, en el presente artículo se utilizará como métrica cuantitativa, la definición de Disponibilidad Inherente (o A_i , de su traducción al inglés). Esta definición de Disponibilidad está dada por la siguiente expresión:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde:

- MTBF es la sigla en inglés para el tiempo medio entre fallas ("Mean Time Between Failures").
- MTTR es la sigla en inglés para el tiempo medio para reparar ("Mean Time To Repair").

Justamente, son los valores de MTBF y MTTR los que normalmente se pueden obtener a partir de los informes de falla enviados por los Oficiales de Cargo y las estadísticas almacenadas en el Servicio de Información y Administración de Mantenimiento de la Armada.

• **Confiabilidad.**

Otro parámetro que resulta interesante de calcular, es la Confiabilidad del sistema, o mejor dicho, la probabilidad de que éste no falle en un tiempo determinado. Para tal efecto, en este artículo se utilizará una función de probabilidad exponencial para el cálculo de la Confiabilidad, la que es ampliamente aceptada en este caso:

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

Donde:

R(t) corresponde a la Confiabilidad (la letra R proviene de la palabra "Reliability").

t corresponde al tiempo de la misión o el periodo de evaluación en horas.

- **Escudriñando en el MTBF y el MTTR.**

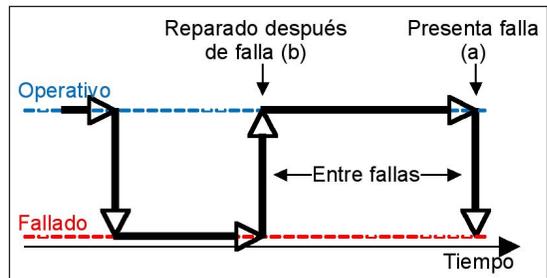
Hasta ahora es muy probable que las ecuaciones anteriores no nos digan nada, y por el contrario, tal vez comiencen a provocar en el lector una sensación de no querer seguir leyendo el artículo, pero detrás de cada uno de los componentes de las expresiones antes entregadas, existen varios factores que son los que, a la larga, liberarán a los Oficiales de Cargo de gran parte del peso que implica la Disponibilidad o Confiabilidad calculada para los sistemas bajo su responsabilidad, por lo que se sugiere seguir adelante con la lectura.

• **MTBF.**

Uno de los primeros elementos que serán analizados con más detalle, es el Tiempo Medio Entre Fallas o MTBF. Este

valor se puede definir como el tiempo medio (promedio) entre las fallas de un sistema y es normalmente asimilado como el tiempo útil de empleo del sistema.

Un aspecto a considerar en la definición anterior, es que el MTBF asume que el sistema o equipo analizado es reparable, ya que en caso de no serlo, se estaría hablando de "Vida Útil", que es otro concepto. Una forma gráfica de ver la forma de cálculo del MTBF se muestra en la siguiente figura:



Luego, el tiempo entre fallas equivale a:

$$TBF = (Tpo. falla - Tpo. reparado) = t(a) - t(b)$$

Y por lo tanto, el tiempo medio entre fallas será:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n t(a_i) - t(b_i)}{N^{\circ} \text{ de fallas } (n)}$$

• **MTTR.**

En forma análoga al análisis efectuado para determinar el MTBF, se puede definir que el Tiempo Medio para Reparar o MTTR, será el tiempo promedio para reparar un sistema que no ha sufrido una falla terminal. Lo anterior quiere decir, que el numerador de la ecuación del MTBF se reemplaza por el tiempo en que la curva mostrada en la figura, permanece en la parte baja de la misma.

Hasta ahora, los parámetros antes indicados parecen ser todavía bastante sencillos de determinar y parecieran no

tener interpretaciones diferentes a la lectura directa de su definición. Lamentablemente, detrás de cada uno de los parámetros antes mostrados, existen detalles que es conveniente analizar para poder establecer realmente a qué se deben las estadísticas obtenidas.

Respecto del MTBF, por ejemplo, hoy en día los fabricantes de equipos y sistemas entregan valores de MTBF, los cuales son determinados bajo ciertas condiciones de operación y bajo ciertos cánones de capacitación respecto de su operación y mantención planificada. Por lo anterior, inmediatamente comienzan a surgir dos elementos que se encuentran implícitos en las estadísticas de MTBF:

- Perfil de operación del equipo o sistema.
- Condiciones ambientales de operación del equipo o sistema.
- Disponibilidad y cumplimiento del mantenimiento planificado.
- La vida útil de componentes.
- Capacitación de los operadores respecto de la operación y el mantenimiento.

A su vez, para asegurar un buen mantenimiento planificado, se debe disponer de:

- Herramientas apropiadas para efectuar el mantenimiento.
- Disponibilidad de repuestos y consumos requeridos para efectuar la rutina de mantenimiento.

De lo anterior resulta claro, por lo tanto, que tan pronto no se disponga de alguno de los elementos anteriores, la estadística de MTBF entregada por el fabricante ya no será aplicable a la realidad operacional del equipo o sistema,

y por ende, las métricas originales no debieran ser exigibles.

Si bien los factores listados anteriormente no conforman la totalidad de los factores que pueden afectar las estadísticas de MTBF, sí permiten comenzar a visualizar que las posibles responsabilidades respecto de los buenos o malos valores de MTBF no necesariamente dependen del Oficial de Cargo, sino que de muchas otras instancias dependientes más bien del sistema logístico del material.

La situación anterior se hace más complicada al efectuar la determinación del MTBF resultante de sistemas que se componen de varios equipos o subsistemas, como es el caso de un buque.



El MTBF de estos sistemas son la resultante que se obtiene al calcular las interacciones existentes entre los distintos equipos o sistemas, por ejemplo: un sistema puede estar compuesto de subsistemas o equipos que interactúan en una configuración serial, es decir, la falla de uno de los componentes implica la falla total del sistema mayor; o bien, un sistema puede estar compuesto de sistemas que interactúan en una configuración paralela, es decir, la falla de uno de los componentes no implica la falla total del sistema mayor, ya que éste cuenta con sistemas de respaldo o redundancia; o bien, un sistema puede estar compuesto por una mezcla de ambas configuraciones. Para cada una de las alternativas anteriores, el MTBF equivalente del sistema se determina como sigue:

temas o equipos que interactúan en una configuración serial, es decir, la falla de uno de los componentes implica la falla total del sistema mayor; o bien, un sistema puede estar compuesto de sistemas que interactúan en una configuración paralela, es decir, la falla de uno de los componentes no implica la falla total del sistema mayor, ya que éste cuenta con sistemas de respaldo o redundancia; o bien, un sistema puede estar compuesto por una mezcla de ambas configuraciones. Para cada una de las alternativas anteriores, el MTBF equivalente del sistema se determina como sigue:

➤ **Sistema en configuración serial.**



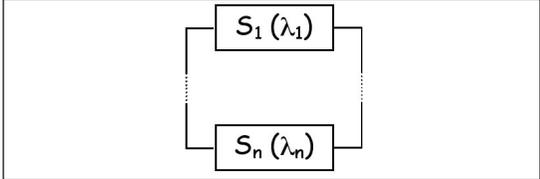
Para el sistema anterior, el MTBF equivalente se obtiene de la siguiente expresión:

$$\lambda_{eq} = 1 - (1 - \lambda_1)(1 - \lambda_2) \dots (1 - \lambda_n)$$

Donde:

$$\lambda_i = \frac{1}{MTBF_i}$$

> **Sistema en configuración paralela.**

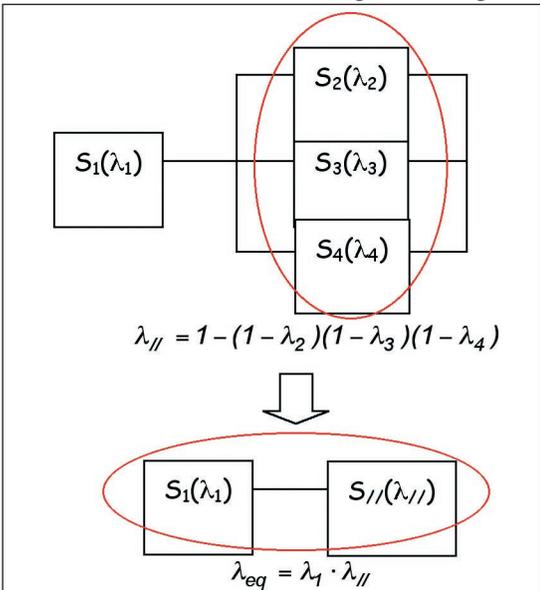


Para esta nueva configuración de sistema, el MTBF equivalente se determina de la siguiente forma:

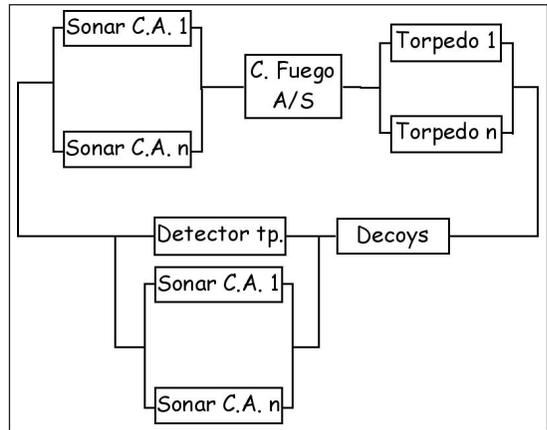
$$\lambda_{eq} = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n$$

> **Sistema en configuración mixta.**

Para este tipo de sistema, el cálculo de MTBF equivalente se realiza simplemente calculando en primera instancia el MTBF parcial de los componentes que se encuentran en paralelo y finalmente se determina el MTBF total calculando en configuración serial los MTBF parciales de los sistemas paralelos anteriormente simplificados. Gráficamente, el proceso anterior se muestra en la siguiente figura:



Como se puede apreciar de las configuraciones anteriores, a medida que el sistema se hace más y más complejo, es más difícil determinar los efectos que cada uno de los componentes produce en el sistema total y por ende, resulta más dificultoso determinar realmente el impacto que tiene cada uno de los factores relacionados con el MTBF y que fueran listados anteriormente. A continuación se muestra una proposición de conexión de sistemas para cumplir, por ejemplo, con un rol antisubmarino de Corto Alcance (C.A.):



Nuevamente, se puede comprobar que la determinación del efecto que cada uno de los parámetros involucrados puede tener en el sistema total es bastante complejo de identificar y más aún al tratarse de un buque de guerra, en que es posible encontrar numerosos enlaces de sistemas como el mostrado anteriormente, los que a su vez se encuentran en configuraciones mixtas unidos con los demás para lograr el cumplimiento de los roles del "sistema buque".

Respecto del Tiempo Medio para Reparar, la situación es semejante, ya que el MTTR tiene implícitas características como:

- ✓ Disponibilidad de repuestos.
- ✓ Disponibilidad de personal capacitado y entrenado para efectuar la reparación.
- ✓ Disponibilidad de herramientas.

- ✓ Tiempo de retorno, en caso que sea necesario reparar partes en otros lugares.

Es decir, el MTTR comienza a indicar otro importante elemento que se debe tener en consideración a la hora de proyectar y este es: la apropiada planificación logística para asegurar lograr la Disponibilidad requerida.

- Escudriñando en los valores de Disponibilidad y Confiabilidad.

Habiendo ya verificado en forma genérica lo que se encuentra oculto detrás de los valores de MTBF y MTTR, corresponde ahora verificar qué sucede a nivel de Disponibilidad y Confiabilidad.

En general, el valor de Confiabilidad resulta relativamente sencillo de determinar e incluso de prever, a partir de los datos estadísticos de MTBF y la duración de la operación que se quiere realizar o evaluar. Sin embargo, el valor de MTTR es en general difícil de prever, salvo en aquellos sistemas que tienen fallas repetitivas y similares, en los cuales es posible generar la estadística. A pesar de lo anterior, si resulta posible, para efectos de planificación de las operaciones, estimar valores de MTTR a partir de factores de planeamiento establecidos, como por ejemplo, la Disponibilidad deseada durante la operación. Sea por ejemplo, la siguiente situación: supongamos que se requiere que un grupo de tarea de tres unidades opere en forma continuada durante 30 días (sin recalar a puerto) y que para asegurar el éxito de la operación, se requiere que la Disponibilidad del grupo de tarea sea de un 90%. En esta situación, uno de los primeros aspectos que se debe considerar para efectos de la planificación, es de qué forma debo constituir mi grupo de tarea, y para ello, las configuraciones serie paralelo antes estudiadas son fundamentales, ya que si se quiere maximizar la probabilidad de cumplimiento de la misión, se debe maximizar la confiabili-

dad y por ende el MTBF. Uno de los primeros aspectos que se debe considerar para cumplir lo anterior, es que la misión debe ser cumplible por cualquiera de los tres buques que compone el grupo de tarea, ya que si la situación no es esa y la misión se cumple sólo si los 3 buques están disponibles, las probabilidades de éxito disminuyen considerablemente, tal como se muestra en el siguiente ejemplo:

• Misión se cumple con 3 buques.

Para este caso, supongamos que el MTBF de los 3 buques es igual a "Y", se tiene, por lo tanto, que el MTBF del grupo de tarea será:

$$\begin{aligned} \lambda_{GT} &= 1 - \left(1 - \frac{1}{Y}\right) \left(1 - \frac{1}{Y}\right) \left(1 - \frac{1}{Y}\right) \\ &= 1 - \left(1 - \frac{1}{Y}\right)^3 \\ Y_{GT} &= \frac{Y^2}{3Y - 2} \leq Y^2, \forall Y \geq 1 \\ \Rightarrow Y_{GT} &\leq Y \end{aligned}$$

Esta ecuación permite verificar que siempre el MTBF del conjunto va a ser menor que el MTBF de cada individuo y por ende, la probabilidad de cumplimiento de la misión va a ser menor.

• Misión se cumple con cualquiera de los 3 buques.

Para este caso se puede ver que el MTBF del grupo de tarea sería:

$$\begin{aligned} \lambda_{GT} &= \frac{1}{Y^3} \\ Y_{GT} &= Y^3 \\ \Rightarrow Y_{GT} &\gg Y \end{aligned}$$

Por lo tanto, en este caso el MTBF aumenta en potencia de 3, luego la probabilidad de éxito de la misión es mucho mayor.

Llevando el ejemplo anterior a situaciones más numéricas, se puede establecer lo siguiente: suponga que conforme a las estadísticas analizadas de numerosas plataformas durante los procesos de evaluación efectuados, se establece que la Confiabilidad de unidades de segunda mano para realizar operaciones de aproximadamente 30 días continuos es de un 59%, por lo tanto, estos buques tendrían valores de MTBF de aproximadamente 1.371,66 [Hrs.] (este dato fue obtenido de la ecuación de Confiabilidad dada anteriormente, reemplazando las horas de operación y el valor de Confiabilidad entregado). Por lo tanto, asumiendo que la operación no se puede llevar a cabo si los 3 buques no están disponibles (peor situación), se tiene lo siguiente:

$$\lambda_{GT} = 1 - \left(1 - \frac{1}{1.371,66} \right)^3$$

$$MTBF_{GT} = 457,55 [Hrs]$$

Por lo tanto, para lograr una Disponibilidad en el grupo de tarea del 90%, el MTTR debiera ser de:

$$0,9 = \frac{457,55}{457,55 + MTTR}$$

$$0,9 \cdot (457,55 + MTTR) = 457,55$$

$$MTTR = \frac{457,55 - 0,9 \cdot 457,55}{0,9}$$

$$MTTR = 50,84 [Hrs]$$

Luego, el sistema logístico provisto para la tarea encomendada debe ser tal, que permita reparar cualquier falla en menos de 50,84 [Hrs] para lograr una Disponibilidad mayor o igual al 90%.

Este ejemplo numérico, permite comprobar que no sólo hay información oculta detrás de los valores de Disponibilidad y Confiabilidad, sino que también a partir de estos valores, se puede planificar para asegurar un mejor cumplimiento de las tareas y un soporte logístico consistente con los requerimientos que se quiere o requiere lograr.

- Conclusiones.

- Los Oficiales de Cargo y los encargados de sistemas y equipos, son parte de una gran cadena de procesos que componen el sistema logístico y no necesariamente son los responsables directos de las malas estadísticas que una determinada unidad pueda tener respecto de Confiabilidad y Disponibilidad.
- Las definiciones de valores de Disponibilidad no pueden ser definidos al azar sin considerar explícitamente los medios que permitirán cumplir con dicho valor.
- Los medios a asignar deben ser debidamente evaluados para asegurar que con ellos se cumplan los requerimientos de Disponibilidad (es decir, tampoco los medios se definen al azar).
- De las gráficas de interacción de equipos y subsistemas, se puede concluir también que para aumentar la Confiabilidad de un sistema o de un rol en un buque, no basta reemplazar un equipo por otro nuevo, ya que dependiendo de las interacciones que dicho equipo tenga en el contexto general del sistema, su reemplazo tal vez no aporte mayor confiabilidad que la existente originalmente.
- Finalmente, se puede concluir que las estadísticas de Disponibilidad y Confiabilidad no son meros números que permiten definir si un buque es mejor que otro, sino que corresponden a valores que ayudan a determinar de qué forma la logística del material, como un sistema completo, está cumpliendo con su propósito o de qué forma lo deberá cumplir.

BIBLIOGRAFÍA

1. Blanchard, Benjamín S.; Walter J. Fabrycky. "Systems Engineering and Analysis", 3ª edición, Prentice Hall, 1981.
2. Información abierta de Internet "Engineering Statistics Handbook", www.itl.nist.gov/div898/handbook.
3. JANE'S Naval Weapon Systems Issue 35, 2001.
4. JANE'S Radar and Electronic Warfare Systems, Edition 13, 2001-2002.
5. Friedman, N.; "The Naval Institute Guide to World Naval Weapons Systems", Naval Institute Press, 1997.
6. Información abierta de Internet de la base de datos "OREDA" www.sintef.no/units/indman/sipaa/prosjekt/oreda/index.html.
7. Información abierta de Internet "An Additive Weibull Model for Bathtub Failure Rate Function", www.eng.nus.edu.sg/Eresnews/Nov97/nov97p13.html.
8. Shields, S.; K.J. Sparshott; E.A. Cameron. "Ship Maintenance, a Quantitative Approach", Marine Media Management, 1975.
9. "Journal of Naval Engineering", Vol. 26, No 1, Pág. 33, Dec. 1980.
10. Gaya, N., Informe Técnico IT-EV-Disponibilidad Operacional, 02-ABR-2002.
11. Gaya, N., Informe Técnico IT-EV-Confiabilidad Cumplimiento Misión 1, 23-MAY-2002.

