

## **LA CONFIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD Y LA MANTENIBILIDAD, DISCIPLINAS MODERNAS APLICADAS AL MANTENIMIENTO**

### **RESUMEN**

Este artículo tiene como finalidad discutir las funciones que tienen la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad como herramientas poderosas, que pueden auxiliar en gran medida la toma de decisiones del personal de mantenimiento de equipos industriales.

En el escrito se presentarán algunas sugerencias para llevar a cabo una buena gestión estratégica de mantenimiento, ya que este ha sido considerado durante mucho tiempo, como una actividad que no requería un profundo conocimiento técnico. Pero en este mundo globalizado y altamente competitivo, el conocimiento técnico - científico es cada vez más necesario, siendo la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad tres disciplinas que lo pueden propiciar.

**PALABRAS CLAVES:** Mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad

### **ABSTRACT**

*This article has as purpose to discuss the functions of the reliability, the availability and maintainability, as powerful tools, that can help to much to take decision of the maintenance personnel of industrial equipment.*

*On the writing some suggestions will appear to carry out a good strategic management of maintenance, since this it has been considered during long time, like an activity that did not require a deep technical knowledge. But in this globalised and highly competitive world, the technical scientist - knowledge is more and more necessary, being the reliability, the availability and maintainability three disciplines that can do it.*

**KEYWORDS:** maintenance, reliability, availability, maintainability

### **1. INTRODUCCIÓN**

El mantenimiento puede ser definido como el conjunto de acciones destinadas a mantener o reacondicionar un componente, equipo o sistema, en un estado en el cual sus funciones pueden ser cumplidas. Entendiendo como función cualquier actividad que un componente, equipo o sistema desempeña, bajo el punto de vista operacional. [1]

Las palabras confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, forman parte de la cotidianidad del mantenimiento. Si se analiza la definición moderna de mantenimiento, se verifica que la misión de este es "garantizar" la disponibilidad de la función de los equipos e instalaciones, de tal modo que permita atender a un proceso de producción o de servicio con calidad, confiabilidad, seguridad, preservación del medio ambiente y costo adecuado. [1]

Por otro lado, las funciones de un equipo o sistema pueden ser clasificadas como primarias o secundarias.

### **DAIRO H. MESA GRAJALES**

Ingeniero Mecánico, MSc en Ing Metalúrgica y materiales, USP  
Profesor Asistente  
Universidad Tecnológica de Pereira  
dhmesa@utp.edu.co

### **YESID ORTIZ SÁNCHEZ**

Ingeniero Mecánico, MSc en Ing. Mecánica. Uniandes  
Profesor Auxiliar  
Universidad Tecnológica de Pereira  
yosanchez@utp.edu.co

### **MANUEL PINZÓN**

Ingeniero Metalúrgico, MSc en Economía. U.Rosario  
Profesor Auxiliar  
Universidad Tecnológica de Pereira  
candelario@utp.edu.co

Las funciones primarias comprenden el motivo por el cual el objeto existe y son normalmente definidas por el nombre del objeto, siendo importante que en la descripción de las funciones primarias sean incluidos:

- Patrones de desempeño deseado y/o esperado
- Patrones de calidad establecidos por el cliente
- Patrones de seguridad y preservación del medio ambiente. [1]

Un ejemplo de una función primaria sería: Para un intercambiador de calor, este debería "calentar" hasta 500 Kg/h de aceite, desde la temperatura ambiente en la entrada hasta 125°C en la salida.

Por el lado de las funciones secundarias, estas son menos obvias que las primarias, sin embargo, estas funciones son indispensables a la hora de aumentar el valor agregado del equipo, contribuyendo con su calidad. Como ejemplo de funciones secundarias se tienen la apariencia, la higiene, el soporte, las mediciones, etc. Sin olvidar, claro está, que existen otras funciones

secundarias ejercidas por aditamentos del sistema, como dispositivos de protección y control (instrumentación), que típicamente son, entre otras:

- Llamar la atención
- Apagar
- Eliminar o descargar
- Pausar (stand-by)
- Alejar del peligro

### 1.1. Breve reseña del mantenimiento

La figura 1 presenta las diferencias entre las generaciones del mantenimiento. En la primera se evidencia la premisa, reparar después de que ocurre la falla. Esta era una situación que generalmente se aplicaba antes de la década de los 50's (mantenimiento correctivo). En los años 60's surge el concepto de la prevención como economizadora de gastos, ahí aparece el mantenimiento preventivo, donde se analiza un punto óptimo en el que la combinación adecuada de mantenimiento preventivo y correctivo trae consigo los menores costos.

Con el avance de la tecnología y mas específicamente después del programa espacial norteamericano, la filosofía del mantenimiento tomo un carácter predictivo.

Para esa época la complejidad de los equipos y sistemas industriales creció, gracias a los avances en la electrónica y las técnicas de mantenimiento basadas en el tiempo pasaron a no satisfacer las necesidades de los nuevos proyectos industriales.

Como ejemplo se puede citar un Boeing 747, donde los costos involucrados en la operación de estas aeronaves y los riesgos de accidentes con equipos encargados de transportar mas de 300 personas, demandaban prácticas de mantenimiento basados en conceptos que no afecten la seguridad. Para esta poca creció la concientización sobre la necesidad de la preservación de la salud de las personas y del medio ambiente.

Por tanto, estos nuevos avances tecnológicos exigían que una nueva filosofía de mantenimiento debería ser aplicada. Nace entonces la generación del mantenimiento basado en la condición, que se originó por el desarrollo de técnicas predictivas efectivas de acompañamiento de las condiciones de los equipos, así como por la propagación de los conocimientos de la confiabilidad en el mantenimiento.

Es así como la confiabilidad pasa a ser una disciplina clave en el proceso de mantenimiento, donde se aplican conceptos extremadamente útiles y simples, conceptos que permitieron que algunos autores hablen hoy de mantenimiento centrado en la confiabilidad. [2,3,4].

## 2. CRITERIO DE CONFIABILIDAD

La confiabilidad puede ser definida como la "confianza" que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es; probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas. [5]

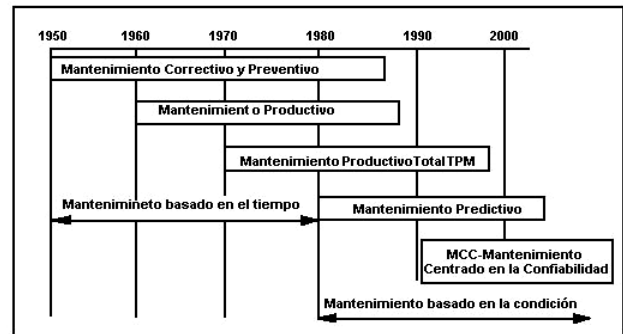


Figura 1. Evolución de los tipos de mantenimiento. [1]

La confiabilidad de un equipo o producto puede ser expresada a través de la expresión:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Donde:

R(t): Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

e: constante Neperiana (e=2.303..)

$\lambda$ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación)

t: tiempo

La confiabilidad es la probabilidad de que no ocurra una falla de determinado tipo, para una misión definida y con un nivel de confianza dado.

### 2.1. El costo de la confiabilidad en el mantenimiento

Para que se tenga confiabilidad en equipos y sistemas, no se debe olvidar que esto requiere necesariamente inversión de capital.

La confiabilidad por tanto será obtenida, por ejemplo, a través de más material, o sea, mayor espesor o dimensión, mejores materiales o manteniendo equipos de reserva para que actúen como sustitutos, en el caso de que falle el equipo principal. La figura 2 explica teóricamente este concepto.

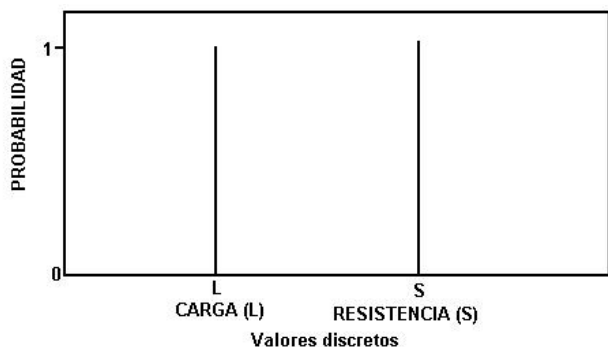


Figura 2. Origen de la confiabilidad de componentes. [1]

De acuerdo con la figura 2, si se quiere aumentar la probabilidad de funcionamiento de un componente, es necesario dimensionarlo de forma que la carga aplicada sea menor que la resistencia del material empleado. La diferencia que separa el valor de carga del valor de resistencia, es conocida como factor de seguridad del diseño, que en la práctica se puede decir, que es el coeficiente de ignorancia que los proyectos tiene de las variaciones, tanto de carga como de las resistencias de los materiales empleados.

La figura 3 muestra que es posible reducir el factor de seguridad, si contáramos con el conocimiento de las variables de las cargas y de resistencias de los materiales utilizados.

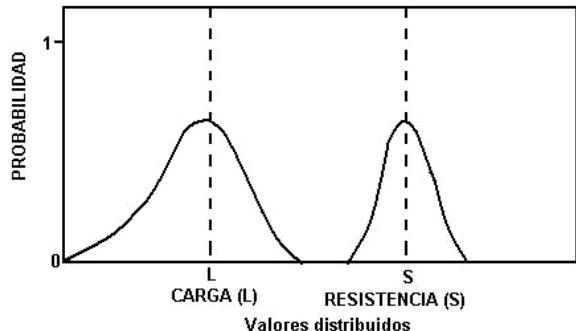


Figura 3. Distribuciones de cargas y resistencias. [1]

Es claro que para aplicaciones de bajo costo, aún hoy en día es más práctico utilizar los conocidos coeficientes de seguridad. Por otro lado, para el diseño de equipos sofisticados y caros, como centrales nucleares, aviones a propulsión y plataformas petroleras entre muchos otros, el uso de coeficientes de seguridad, tornarían estas aplicaciones extremadamente caras. Es así como la confiabilidad permitió el desarrollo de estos sistemas complejos con economía de materiales y procesos.

Una posibilidad que se presenta en la relación carga y resistencia, como puede verificarse de la figura 4, es que estas pueden interferir; esto quiere decir que en algún punto, existe una carga que sea superior a la resistencia. En estas condiciones la falla será inminente. El área de esta interferencia será proporcional al número de fallas en

un equipo o sistema. Por tanto, mientras mayor es la interferencia, mayor es la tasa de falla. Esto muestra que la tasa de falla es definida durante la fase de concepción, es decir, cuando el diseñador evalúa las cargas aplicadas, así como la cantidad y tipo de material a ser utilizado.

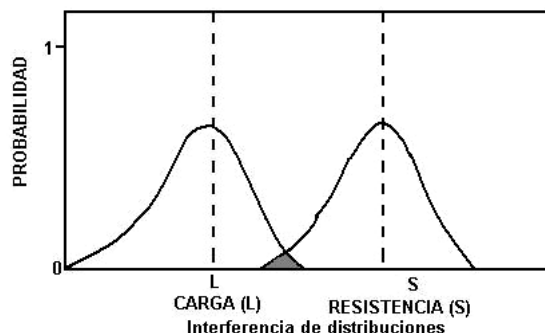


Figura 4. El origen de las fallas [1]

### 3. CRITERIO DE DISPONIBILIDAD.

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente. [6,7]

En la fase de diseño de equipos o sistemas, se debe buscar el equilibrio entre la disponibilidad y el costo. Dependiendo de la naturaleza de requisitos del sistema, el diseñador puede alterar los niveles de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, de forma a disminuir el costo total del ciclo de vida.

La tabla 1 muestra que algunos equipos necesitan tener alta confiabilidad, mientras que otros necesitan tener alta disponibilidad o alta mantenibilidad.

	REQUISITOS	EJEMPLOS
1	Alta confiabilidad Poca disponibilidad	Generación de electricidad Tratamiento de agua
2	Alta disponibilidad	Refinerías de petróleo Acerías
3	Alta confiabilidad Alta mantenibilidad	Incineradores hospitalarios
4	Disponibilidad basada en buena práctica	Procesamiento por etapas
5	Alta disponibilidad Alta confiabilidad	Sistemas de emergencia Plataformas petroleras

Tabla 1. Requisitos de algunos sistemas y enfoque de los indicadores [1]

Matemáticamente la disponibilidad  $D(t)$ , se puede definir como la relación entre el tiempo en que el equipo o

instalación quedó disponible para producir TMEF y el tiempo total de reparación TMPR. Es decir:

$$D(t) = \frac{\sum \text{tiempos disponibles para la pdción}}{\sum \text{tiempos disponibles para la pdción} + \sum \text{tiempos en mto}} \quad (2)$$

ó

$$D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \quad (3)$$

El TMPR o tiempo medio de reparación, depende en general de:

- la facilidad del equipo o sistema para realizarle mantenimiento
- La capacitación profesional de quien hace la intervención
- De las características de la organización y la planificación del mantenimiento

**3.1. El mantenimiento como focalizador de la disponibilidad.**

El factor primario que distingue a las empresas líderes en disponibilidad, es que ellas reconocen que la confiabilidad no es simplemente un resultado del esfuerzo de reparación, ellas están convencidas de que la eliminación de las fallas crónicas es su misión primordial. [5]

Las reparaciones en el mantenimiento, en este tipo de industria, son vistas de forma diferente. Las reparaciones no son esperadas, son vistas como casos excepcionales y resultantes de alguna deficiencia en la política de mantenimiento o descuido de la gerencia de mantenimiento. Un análisis detallado del problema, acompañado por un programa sólidamente estructurado de mejora de la confiabilidad, es la base para la eliminación de mucho trabajo innecesario. La organización es dimensionada para gerenciar un sistema de monitoreo basado en la condición y fija una alta prioridad para eliminar fallas

**4. CRITERIO DE MANTENIBILIDAD**

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.

En términos probabilísticas, Francois Monchy [8], define la mantenibilidad como “la probabilidad de reestablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos”. O simplemente “la probabilidad de que un

equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo t.

De manera análoga a la confiabilidad, la mantenibilidad puede ser estimada con ayuda de la expresión:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t} \quad (4)$$

Donde:

M(t): es la función mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo t=0 y sea concluida satisfactoriamente en el tiempo t (probabilidad de duración de la reparación).

e: constante Neperiana (e=2.303..)

μ: Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

t: tiempo previsto de reparación TMPR

Además de la relación que tiene la mantenibilidad con el tiempo medio de reparación, TMPR, es posible encontrar en la literatura [9], otro tipo de consideraciones, entre las que se cuentan:

- El TMPR está asociado al tiempo de duración efectiva de la reparación.
- Todo el tiempo restante, empleado por ejemplo en la espera de herramientas, repuestos y tiempos muertos, es retirado generalmente del TMPR.
- La suma del TMPR con los demás tiempos, constituye lo que normalmente es denominado como down-time por algunos autores [10, 11], otros denominan ese tiempo como MFOT (Mean Forced Outage Time).
- Sin embargo, al calcular la disponibilidad, la mayoría de autores indican que el tiempo a ser considerado, es el tiempo de reparación más los tiempos de espera, que es lógico.

Normalmente los tiempos que ocurren entre la parada y el retorno a la operación de un equipo son presentados en la tabla 2:

t <sub>0</sub>	Instante en que se verifica la falla
1	Tiempo para la localización del defecto
2	Tiempo para el diagnóstico
3	Tiempo para el desmontaje (Acceso)
4	Tiempo para la remoción de la pieza
5	Tiempo de espera por repuestos (logístico)
6	Tiempo para la substitución de piezas
7	Tiempo para el remontaje
8	Tiempo para ajustes y pruebas
t <sub>f</sub>	Instante de retorno del equipo a la operación

Tabla 2. Tiempos transcurridos desde la falla de un equipo y su puesta en marcha. [1]

Cuando se analizan los tiempos descritos anteriormente, se verifica que directa o indirectamente, todos ellos son responsabilidad del personal de mantenimiento. Aunque se puede afirmar que existen otros tiempos empleados, por ejemplo en la consecución de informaciones, aspectos relacionados con la planificación de los servicios, problemas de liberación de equipo y calificación de personal.

En este sentido, el TMRP puede considerarse, no sólo comprendido por todos los tiempos que son pertinentes a las acciones de mantenimiento en sí, sino que hay que entender que el tiempo en el que el equipo está fuera de operación debe ser reducido y ese debe ser el objetivo de todos los involucrados en el proceso de organización del mantenimiento.

### 5. RELACIÓN ENTRE DISPONIBILIDAD, CONFIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD.

Para aumentar la producción en una planta, es indispensable que las tres disciplinas disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad se relacionen entre sí, de tal manera que:

Si se quiere aumentar la disponibilidad en una planta, sistema o equipo, se debe:

- Aumentar la confiabilidad, expresada por el TMEF.
- Reducir el tiempo empleado en la reparación, expresado por el TMEF
- Aumentar el TMEF y reducir el TMRP simultáneamente.

Como la tasa de fallas expresa la relación entre el número de fallas y el tiempo total de operación del sistema o equipo, se puede expresar el TMEF como el inverso de la tasa de fallas  $\lambda$ , así que:

$$TMEF = \frac{1}{\lambda} \quad (5)$$

Análogamente a la definición de la tasa de fallas, es también definida la tasa de reparaciones  $\mu$ , por:

$$\mu = \frac{\text{Número de reparaciones indicadas}}{\text{Tiempo total de reparación de la unidad}} \quad (6)$$

Consecuentemente, el TMRP se puede definir también como el inverso de la tasa de reparaciones, así:

$$TMRP = \frac{1}{\mu} \quad (7)$$

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones que se enuncian a continuación, pueden ser a la vez tomadas como recomendaciones, para que un buen plan de mantenimiento sea desarrollado en cualquier tipo de empresa, basados en los conceptos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

La confiabilidad siempre cuesta dinero y sólo debe ser buscada cuando realmente sea efectiva

A veces lo más barato cuesta más

El objetivo del mantenimiento es garantizar la función requerida de los equipos y sistemas, no eliminar todas las fallas.

Producción es igual a operación más mantenimiento más ingeniería.

Equipos iguales con fases de vida diferentes requieren diferentes tipos de mantenimiento.

No siempre más mantenimiento preventivo es mejor, no siempre más mantenimiento correctivo es peor.

El que entiende de confiabilidad es quien opera, el mantenimiento entiende de reparaciones.

Si un equipo opera fuera de las condiciones para las cuales fue diseñado, el mantenimiento nada puede hacer para mejorar la confiabilidad.

Para aumentar la confiabilidad es preciso evitar la intervención humana innecesaria.

Practicar el mantenimiento sin poner las manos en el equipo aumenta la confiabilidad.

El énfasis del mantenimiento debería ser no hacer mantenimiento.

El mantenimiento no aumenta la confiabilidad de equipos y sistemas, él sólo mantiene la confiabilidad proyectada.

Equipos iguales con diferentes funciones deben tener diferentes estrategias de mantenimiento.

Los equipos no fallan, las fallas ocurren en los componentes de los sistemas.

Practicar reparaciones permanentes es eliminar los problemas crónicos.

Se debe enfatizar en el origen de la causa de las fallas y no en solamente reparar.

La organización del mantenimiento debe estar focalizada en la disponibilidad.

La operación correcta es la primera línea de defensa contra las fallas.

Se debe actuar prioritariamente sobre la mantenibilidad para aumentar la disponibilidad.

Como conclusión final se puede decir, que la confiabilidad práctica puede auxiliar al personal de mantenimiento a obtener altos índices de disponibilidad con bajos costos, pero estos resultados sólo serán alcanzados si se adoptan cambios en el entendimiento de la función de mantenimiento y en la postura de todos los involucrados en este proceso.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

[1] KARDEK, A., NASCIF, J. Mantenimiento, Función Estratégica, CIP Brasil, Rio de Janeiro, 2002

[2] ARCURI Rogério. Técnicas de manutenção. Memorias del Curso de Pós-graduação em Engenharia de Manutenção – UFRJ – Abraman. 2002.

[3] FINLEY, H. Uma visão Abrangente da Análise de Confiabilidade de Equipamentos, Traducido por Odo Ricardo B. Lafraia, 1995.

[4] IRESON W.G and COOMBS C.F. Handbook of Reliability Engineering Management, Mc Graw-Hill, 1998

[5] LAFRAIA, J. R Manual de confiabilidade, Mantenabilidade e disponibilidade, Qualitymark Editora, 2001.

[6] PINTO, A. K. Contratação por Disponibilidade, 12º Congresso Brasileiro de Manutenção, Sao Paulo, 1997.

[7] PINTO, A. K. Gerenciamento moderno de Manutenção, 1995

[8] MONCHY Francois. A Função Manutenção, Editora Brasileira/Editora Duran, 1989

[9] LEONARD, Stephen.C. Reliability Methods and Tools for Maintenance, 1994

[10] FITCHETT, Don., SONDALINI Mike. True Down Time Cost Analysis - 2nd Edition, 2004, 130P

[11] SONDALINI Mike. The Japanese Path To Maintenance Excellence. ED E-Books: Products, 2005