

METODOLOGÍA PARA MEDIR CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD EN MANTENIMIENTO

Juan Carlos Toro Osorio

Ingeniero Mecánico - Universidad EAFIT – Medellín, Colombia

toroj@asme.org

Pedro Alejandro Céspedes Gutiérrez

Ingeniero Mecánico - Universidad EAFIT – Medellín, Colombia

pedro@cespedes.net

RESUMEN

El presente artículo se ha dividido en cuatro partes: una de fundamentación teórica y conceptual, donde se define los conceptos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) después de revisar la bibliografía¹ referida al tema, y se analiza la importancia de estos índices en la gestión de mantenimiento y en el diseño de los equipos.

Otra donde se estudian las principales medidas de CMD con sus expresiones matemáticas y las distribuciones más utilizadas para su cálculo. Se ha tratado de reducir al mínimo las demostraciones y consideraciones teóricas, con el fin de facilitar la asimilación de estas técnicas a personas que no posean una amplia base de conocimientos estadísticos.

Una tercera parte donde se evalúan diferentes paquetes informáticos para el cálculo de las variables de CMD, analizando sus ventajas y desventajas, sus fortalezas y debilidades.

Y por último una aplicación de los conocimientos teóricos y conceptuales hasta ahora revisados, utilizando un paquete informático en una aplicación práctica de CMD.

INTRODUCCION

La actividad del mantenimiento industrial, está compuesta por tres elementos fundamentales:

Mantenimiento: este elemento comprende el conjunto de personas que ofrecen y prestan el servicio de conservación de equipos² a los

¹ Libros, revistas, artículos, monografías, Internet, seminarios y personas eruditas en el tema.

² En sus dos dimensiones: cuerpo y función.

departamentos (o industrias) que producen bienes o servicios, mediante los recursos de que disponen.

Producción (A.O.D.³): es el departamento (o empresa) que requiere y demanda el servicio de mantenimiento de los equipos que utiliza producir bienes o servicios.

Parque industrial: conjunto de elementos, equipos o líneas de producción utilizadas para la producción de bienes o servicios de los A.O.D. Son los objetos donde se aplican las acciones de mantenimiento.

La relación entre el mantenedor y la máquina se denomina *mantenibilidad*, definida como la probabilidad de que un equipo se pueda llevar a un estado de referencia; la relación entre productor y máquina se conoce como *confiabilidad* y expresa la probabilidad de que un equipo sea capaz de producir a las características para la cual fue diseñado, durante un período determinado de tiempo; la relación entre los tres actores, es decir productor-máquina-mantenedor se define como *disponibilidad* y es la que en última instancia procuran los dos sujetos vivientes de la estructura.

CONFIABILIDAD

La confiabilidad de un equipo⁴ es la probabilidad de que desempeñe satisfactoriamente las

³ En el sentido amplio de la palabra todos aquellos departamentos o industrias que realizan actividades de aprovisionamiento u operación y distribución de bienes o servicios; internos o externos a la organización origen de mantenimiento.

⁴ Cuando se refiere a un equipo, se abarcan sistemas, subsistemas, componentes y en general, cualquier elemento que represente nuestra unidad lógica de seguimiento.

funciones para las que fue diseñado, durante el período de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación dadas (Rojas,1975,1) (Díaz,1992,6) (Ebeling,1997,5).

La confiabilidad es una medida que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un elemento y ayuda en el momento de seleccionar un equipo entre varias alternativas (Knezevic,1996,27) (Calabro,1962,2).

Medidas de confiabilidad

Función de confiabilidad⁵: Es la probabilidad de que un elemento no falle después del instante t , es decir, ni antes de t , ni siquiera en el instante t (García,1996,189):

$$R(t) = \Pr\{t \geq t\}$$

Función de distribución de fallas acumuladas⁶: Es la probabilidad de que un elemento no falle en el instante t o antes de t (García,1996,189):

$$F(t) = 1 - R(t) = \Pr\{t < t\}$$

Función de densidad de probabilidad de fallas⁷: Es la probabilidad de fallo de un elemento por unidad de tiempo, en cada instante t es decir, es el cociente entre la probabilidad de que un elemento falle en el intervalo $(t, t+dt)$ y dt (García,1996,189):

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

Función de tasa de falla⁸: Es la probabilidad de que un elemento que está funcionando en el instante t deje de funcionar en el intervalo $(t, t+dt)$ (García,1996,189):

$$I(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Curva de la bañera: La función de tasa de falla por su forma característica es conocida como curva de la bañera y expresa los tres períodos típicos de un equipo: mortalidad infantil, vida útil y desgaste, como se muestra en la siguiente figura (Kelly y otro,1998,40):

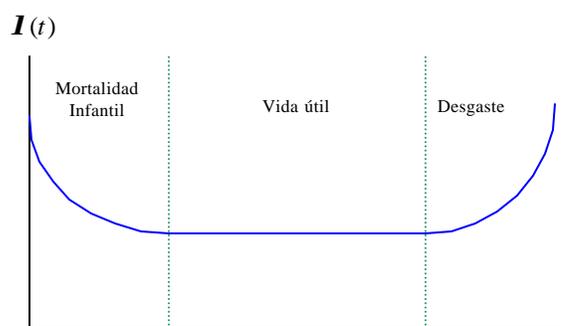


Figura 1. Curva de la bañera.

Referencia bibliográfica: Ebeling,1997,31

Mortalidad infantil es el período al inicio de la operación, donde con frecuencia ocurren fallas prematuras debidas a defectos no detectados, defectos de diseño no corregidos, errores en la fabricación y el montaje. En este período la tasa de falla es decreciente con el tiempo. También se conoce con el nombre de "período de rodaje" o "período infantil" (Díaz,1992,17).

Vida útil es el segundo intervalo de la gráfica donde la tasa de fallas es constante, lo que indica que las fallas son totalmente aleatorias y no depende del tiempo transcurrido desde la última falla (O'Connor,1989,8).

Desgaste es el último intervalo de la curva, donde la tasa de falla aumenta sostenidamente porque los elementos del equipo sufren un proceso de deterioro físico debido al roce mecánico u otras consideraciones. En determinado momento, los costos de mantenimiento e indisponibilidad serán tan elevados que el equipo deberá sustituirse. (Nachlas,1995,61).

Tiempo medio entre fallas, MTBF⁹: Es la vida media del elemento y es la esperanza matemática del tiempo de funcionamiento hasta el fallo de un elemento cuya densidad de fallos es $f(t)$:

$$E(TBF) = MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Principales distribuciones estadísticas

A continuación se presenta un resumen de las distribuciones estadísticas más utilizadas en confiabilidad:

⁵ La traducción en inglés es Reliability.

⁶ La traducción en inglés es Cumulative Distribution Function.

⁷ La traducción en inglés es Probability Density Function.

⁸ La traducción en inglés es Hazard Function o Failure Rate.

⁹ La traducción en inglés es Mean Time Between Failures.

Distribución normal:

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{s\sqrt{2p}} \exp\left[-\frac{(t-m)^2}{2s^2}\right] dt$$

Describe fenómenos de envejecimiento de equipos, modelos de fatiga, fenómenos naturales y cuando los componentes son afectados desde un comienzo por el desgaste (Ramakumar,1993,96) (Ebeling,1997,69) (Díaz,1992,20) (Rojas,1975,78).

Distribución exponencial:

$$R(t) = \exp(-I \cdot t)$$

Se utiliza cuando las reparaciones constituye un intercambio de piezas estándar, las fallas son aleatorias y no dependen del tiempo que lleve funcionando, para modelar componentes electrónicos, cuando el componente usado que aún no ha fallado, es estadísticamente tan bueno como un componente nuevo y cuando describe situaciones de función de tasa de falla constante (Rojas,1975,46) (Díaz,1992,19).

Distribución de Weibull:

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-g}{h}\right)^b\right]$$

Es la única función de probabilidad que puede utilizarse para representar cualquier tipo de distribución, representar la vida de los componentes y la vida de servicio de tubos y equipos electrónicos (Kelly y otro,1998,24) (Rojas,1975,63).

Tabla 1. Parámetro de forma de Weibull asociado a la curva de la bañera.

Valor (b)	Característica
b < 1	Tasa de falla decreciente (Mortalidad infantil)
b ≅ 1	Tasa de falla constante (Vida útil)
b > 1	Tasa de falla creciente (Desgaste)

Referencia Bibliográfica: Díaz, 1992,21

Distribución gamma:

$$R(t) = \frac{I^a}{\Gamma(a)} \int_t^{\infty} t^{a-1} \exp(-t) dt$$

Es conveniente para caracterizar los tiempos de fallas de equipos durante periodos de rodaje y es adecuada para representar sistemas con componentes "stand-by" (Díaz,1992,23) (Rojas,1975,92).

MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad de un equipo es la probabilidad de que un dispositivo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir su misión en un tiempo dado, luego de la aparición de una falla y cuando el mantenimiento es realizado en un determinado período de tiempo, al nivel deseado de confianza, con el personal especificado, las habilidades necesarias, el equipo indicado, los datos técnicos, manuales de operación y mantenimiento, el departamento de soporte de mantenimiento y bajo las condiciones ambientales especificadas¹⁰ (Knezevic,1996,47) (Blanchard y otros,1995,1) (Díaz,1992,6) (Kececioglu,1995,30).

La ingeniería de mantenibilidad se crea cuando los diseñadores y fabricantes comprenden la carencia de medidas técnicas y disciplinas científicas en el mantenimiento. Por esto la ingeniería de mantenibilidad es una disciplina científica que estudia la complejidad, los factores y los recursos relacionados con las actividades que debe realizar el usuario para mantener la mantenibilidad de un producto y que elabora métodos para su cuantificación, evaluación y mejora (Knezevic,1993,292).

Medidas de mantenibilidad

Función de mantenibilidad: Indica la probabilidad de que la funcionalidad del equipo sea recuperada en el momento especificado de mantenimiento, o antes (tiempo *t* empleado):

$$M(t) = \int_0^t m(t) dt$$

Tiempo medio de recuperación, MTTR: El tiempo medio de recuperación es la esperanza de la variable aleatoria *TTR*, que representa el área bajo la función complementaria de la mantenibilidad (Knezevic,1996,60):

$$E(TTR) = MTTR = \int_0^{\infty} [1 - M(t)] dt$$

DISPONIBILIDAD

Es la probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado

¹⁰ Refiérase a MIL-HDBK-472.

incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo y tiempo logístico (Rey,1996,161) (Smith,1986,156) (Díaz,1992,5).

La disponibilidad es una medida importante y útil en casos en que el usuario debe tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas. Para tomar una decisión objetiva con respecto a la adquisición del nuevo equipo, es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen más completa sobre el perfil de funcionalidad (Knezevic,1996,27).

La disponibilidad está basada únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación. Esta puede ser además usada como un parámetro para el diseño (Ebeling,1997,255), (Hecht y otro,2001,6).

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

PAQUETES INFORMÁTICOS

Una gran variedad de paquetes informáticos para medir CMD han salido al mercado, pero pueden ser costosos y requieren de tiempo para aprenderlos a utilizar. El propósito de esta comparación es proporcionar a los usuarios una guía para identificar algunos programas para la medición de CMD, analizando sus ventajas y desventajas, sus fortalezas y debilidades.

Los criterios de comparación son escogidos después de revisar varios análisis de CMD, que han sido elaborados por las fuerzas militares de los Estados Unidos, para programas de desarrollo y mejora de sus barcos, vehículos y aviones (Lyu,1996,531).

La siguiente tabla muestra las características de los paquetes informáticos, evaluados con los criterios seleccionados y no indica la superioridad de uno sobre el otro. El propósito de ésta, es el de servir como una guía amigable para la selección del programa.

Características	AvSim	BlockSim	Care	Meadep	RAM	Raptor	Relax	Spar	Tiger
Modelos complejos	X	X		X			X	X	X
Opciones estadísticas	X	X		X		X	X	X	X
Compartir datos	Access ASCII CAD	Propio	CAD CAE	ASCII	CAD CAE		CAD CAE	Access ASCII CAD	
Confiabilidad	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mantenibilidad	X	X	X	X	X		X		
Disponibilidad	X	X	Limitado			X	X	X	X
Gráficas	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Precisión			X			X		X	X
Asistencia al cliente	X	X	X	X			X	Tiene Costo	X

Existen otras alternativas de paquetes informáticos, y se recomiendan principalmente a los usuarios que no cuentan con los suficientes recursos económicos para comprar un programa especializado en CMD, como son Excel y StatGraphics. Esta clase de programas tienen la desventaja de no tener las opciones para calcular una serie de medidas de mantenimiento.

La clave para la selección de un paquete informático para el cálculo de CMD, es analizar detalladamente las características que ofrece, hacer una comparación de ellas y lo más importante, identificar las necesidades del usuario que va a utilizar el programa y sus requerimientos en el futuro. Se debe tener en cuenta que el mejor paquete informático es aquel que más se adapte a las necesidades específicas del usuario.

APLICACIÓN DE CMD

Se ha hecho un experimento de 10 bombas idénticas que se han puesto a funcionar simultánea e independientemente. Los instantes de fallo en minutos fueron los siguientes:

Tabla 2. Datos de tiempo de falla de las bombas.

No. de la bomba	Instante de fallo (min)	Tiempo de reparación (min)
1	9100	230
2	8000	259
3	6300	279
4	11100	286
5	3300	321
6	(7200)*	332
7	4500	351
8	(5000)*	365
9	8400	397
10	5200	442

* Prueba nula, por una subida del voltaje

Para el desarrollo de este problema, se utiliza el programa BlockSim porque es relativamente fácil de usar, considerando el número de opciones de entrada y salida que ofrece. Las distribuciones estadísticas opcionales para fallas y reparaciones son la exponencial, de Weibull, lognormal, gamma y normal (Gauss). Durante el ingreso de los datos, el usuario puede dar una vista rápida de algunos cálculos. Los resultados de la simulación incluyen confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, demanda de mantenimiento y costo y otras variables estadísticas. Las gráficas de entrada y salida de datos son muy superiores a los de la competencia

Confiabilidad

Para el cálculo de la confiabilidad se utilizan los datos de fallo de las bombas, se seleccionó la distribución de Weibull y se obtuvieron los siguientes resultados:

Función de confiabilidad $R(t)$:

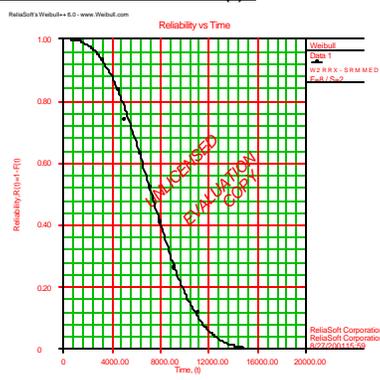


Figura 2. Función de confiabilidad en BlockSim

Interpretación: En esta gráfica se puede ver por ejemplo que la probabilidad de que no falle una bomba antes de un tiempo de 3000 minutos es de 94.44%, es decir su confiabilidad antes de 3000 minutos de uso es de 94.44%.

Función de densidad de probabilidad de fallas $f(t)$:

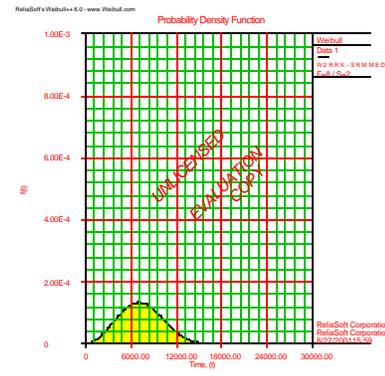


Figura 3. Función de densidad de probabilidad de fallas en BlockSim

Interpretación: En esta gráfica se puede ver que la mayoría de las fallas ocurren cerca de los 7000 minutos, y si se quisiera saber la probabilidad de fallo de las bombas entre 8000 y 9000 minutos de uso, se calcula el área bajo la curva de esta función en ese intervalo, que sería de 26.35%.

Función de tasa de falla $I(t)$:

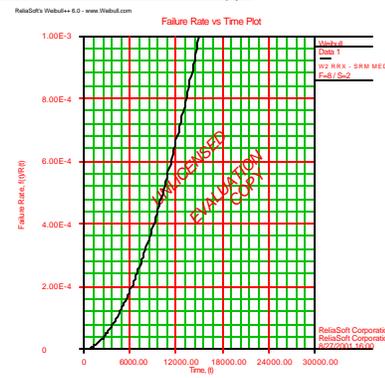


Figura 4. Función de tasa de falla en BlockSim

Interpretación: De la gráfica se puede ver la probabilidad de que una bomba falle en un instante de tiempo, por ejemplo a los 12000 minutos exactamente, la probabilidad de que falle una bomba en ese momento es de 66.82%.

Tiempo medio entre fallas, MTBF

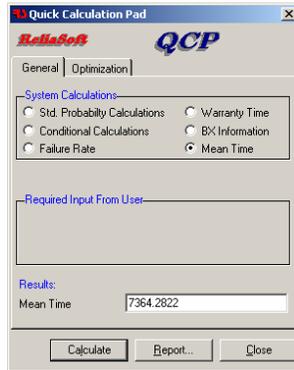


Figura 5. Cálculo de MTBF en BlockSim

Interpretación: El tiempo medio entre fallas de las bombas es de 7364.28 minutos.

Mantenibilidad

Para el cálculo de la mantenibilidad se utilizan los datos de reparación de las bombas, se seleccionó la distribución de Weibull y se obtuvieron los siguientes resultados:

Función de mantenibilidad, $M(t)$.

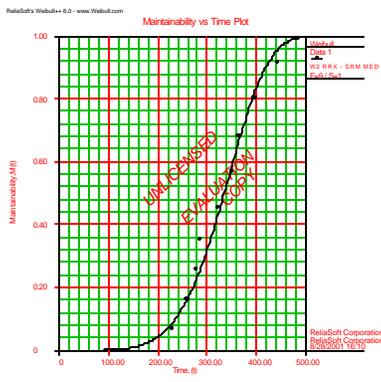


Figura 6. Función de mantenibilidad en BlockSim

Interpretación: En esta gráfica se puede ver por ejemplo, que la probabilidad de que una bomba sea devuelta a un estado de operación después de haber fallado, en un tiempo de 400 minutos es de 77.72%, es decir su mantenibilidad a los 400 minutos de haber fallado es de 77.72%.

Tiempo medio de recuperación, MTTR

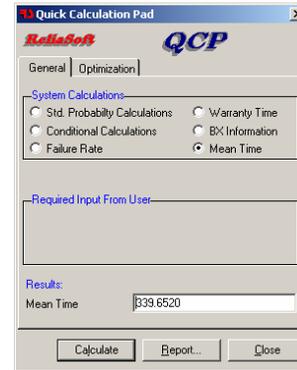


Figura 7. Cálculo de MTTR en BlockSim

Interpretación: El tiempo medio de reparación de las bombas es de 339.65 minutos.

Disponibilidad

Para el cálculo de la disponibilidad se utilizan los datos de MTBF y MTTF de las bombas, que se obtuvieron en los análisis anteriores y se tiene el siguiente resultado:

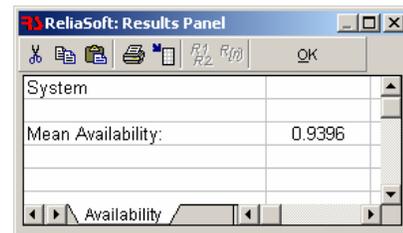


Figura 8. Salida de datos de la disponibilidad en BlockSim

Interpretación: La probabilidad de que la bomba esté operando satisfactoriamente en el momento que sea requerido después del comienzo de su operación es de 93.96%.

CONCLUSIONES

La disponibilidad de una instalación es el objetivo último que hay que perseguir para sacar el máximo provecho a una inversión y no es una variable independiente que pueda perseguirse en sí misma, si no que es considerada como una función de otras dos variables propias del mantenimiento, éstas sí independientes entre sí, que son la confiabilidad y la mantenibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ARENAS, Alexandra María y GUIASO, Juan Carlos – *Metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad* – Medellín, Colombia – 1999 – Trabajo de

- Grado (Ingeniero Mecánico) - Universidad Nacional – Facultad de Minas – Área de Mantenimiento.
2. ARSENAULT, J.E. y ROBERTS J.A. – *Reliability & Maintainability of Electronic Systems* – Potomac, Maryland, USA – Computer Science Press, Inc. – 1980.
 3. AVEN, T. – *Availability Formula for Stand by Systems of Similar Units That Are Prevently Maintained* – En: IEEE Transactions and Reliability. Vol. 39. No.5 – Diciembre, 1999.
 4. AVILA, Rubén – *Fundamentos de Mantenimiento: Guías Económicas, Técnicas y Administrativas* – México D.F., México - Editorial Limusa S.A – 1992.
 5. BAJARIA, H.J. – *Integration of Reliability, Maintainability and Quality Parameters in Design* – Warrendale, PA, USA – Society of Automotives Engineers, Inc. – 1983.
 6. BARLOW, Richard E.; PROSCHAN, Frank y HUNTER, Larry C. – *Mathematics Theory of Reliability* – New York, NY, USA – John Wiley & Sons, Inc. – 1965.
 7. BAZOVSKY, Igor – *Reliability Theory and Practice* – Englewood Cliffs, NJ, USA – Editorial Prentice Hall, Inc. – 1961.
 8. BILLINTON, Roy y ALLAN, Ronald – *Reliability Evaluation of Engineering Systems* – London, Great Britain – Pitman Advanced Publishing Program – 1983.
 9. BLANCHARD, Benjamín S. - *Ingeniería Logística* – Madrid, España – Isdefe - 1995.
 10. BLANCHARD, Benjamin S.; VERMA, Dinesh y PETERSON, Elmer. – *MAINTAINABILITY: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management* – New York, NY, USA – John Wiley & Sons, Inc. – 1995.
 11. BOLAÑOS, Gilberto – *Disponibilidad de los Equipos de Producción y la Utilización de las Ventajas de Mantenimiento* – En: Revista del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. No.6 – 1987.
 12. CALABRO; S.R. – *Reliability Principles and Practices* - New York, NY, USA – Editorial McGraw-Hill Companies, Inc. – 1962.
 13. DÍAZ MATALOBOS, Ángel. - *Confiabilidad en mantenimiento* – Caracas, Venezuela - Ediciones IESA - 1992.
 14. DOUNCE, E. – *La Productividad del Mantenimiento Industrial* – México D.F. – México - CECSA - 1998.
 15. EBELING, Charles E. – *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering* – New York, NY, USA – Editorial McGraw-Hill Companies, Inc. – 1997.
 16. FORCADAS, Jorge – *Confiabilidad en los Sistemas* – En: Revista SAI. No.4 Vol.1 – 1983.
 17. GARCÍA, Luis – *La disponibilidad Como Objetivo* – En: Ingeniería Química. No.3-20 – Enero 1996.
 18. GNEDENKO, Boris y USHAKOV, Igor – *Probabilistic Reliability Engineering* - New York, NY, USA – John Wiley & Sons, Inc. – 1995.
 19. HALPERN, Siegmund - *The Assurance Sciences: An Introduction to Quality Control and Reliability* - Englewood Cliffs, NJ, USA – Editorial Prentice Hall, Inc. – 1978.
 20. HECHT, Myron y BRILL, Robert – *Review Guidelines for Software Written in High Level Programming Language Used in Safety Systems* – Bethesda, MD, USA – SoHar Incorporated – 1997.
 21. HECHT, Myron y HANDAL Jady – *An Analytical Model for Predicting The Impact of Maintenance Resource Allocation on National Airspace System Availability* – Beverly Hills, CA, USA – SoHar Incorporated – 2001.
 22. IEEE Reliability Society – *Annual Reliability and Maintainability Symposium* – Washington, DC, USA – En: Institute of Electrical & Electronics Engineers, Inc. – 1999.
 23. IRESON, W. Grant. - *Reliability Handbook* – New York, NY, USA – Editorial McGraw-Hill Companies, Inc. – 1966.
 24. KAPUR, K.C. y LAMBERSON L.R. – *Reliability in Engineering Design* - New York, NY, USA – John Wiley & Sons, Inc. – 1977.
 25. KECECIOGLU, Dimitri. - *Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering* - Upper Saddle River, NJ, USA - Editorial Prentice Hall Inc. - 1995.
 26. KELLY, A. y HARRIS, M.J. - *Gestión del mantenimiento industrial* – Madrid, España - Fundaciones REPSOL - 1998.
 27. KNEZEVIC, Jezdimir. – *Mantenibilidad* – Madrid, España – Isdefe - 1996.
 28. KNEZEVIC, Jezdimir. – *Mantenimiento* – Madrid, España – Isdefe - 1996.
 29. KNEZEVIC, Jezdimir. – *Reliability, Maintainability and Supportability Engineering* – Londres, Inglaterra – Editorial McGraw-Hill Companies, Inc. – 1993.
 30. KOPETZ, H. – *Software Reliability* – Londres, Inglaterra – The Macmillan Press Ltd. – 1979.
 31. LEEMIS, Lawrence M. – *RELIABILITY: Probabilistic Models and Statistical Methods* - Englewood Cliffs, NJ, USA – Editorial Prentice Hall, Inc. – 1995.
 32. LEWIS, E. E. – *Introduction to Reliability Engineering* - - New York, NY, USA – John Wiley & Sons, Inc. – 1987.
 33. LYU, Michael R. – *Handbook of Software Reliability Engineering*– Los Alamitos, CA, USA – Editorial McGraw-Hill Companies, Inc. – 1996.
 34. METTAS, Adamantios – *Reliability Allocation and Optimization for Complex Systems* – Los Angeles, CA, USA – Institute of Electrical & Electronics Engineers, Inc. – 2000.
 35. METTAS, Adamantios – *System Reliability Analysis: The advantages of Using Analytical Methods to Analyze Non Repairable Systems* – Los Angeles, CA, USA – Institute of Electrical & Electronics Engineers, Inc. – 2000.
 36. MILITARY STANDARD – *Definition of Effectiveness Terms for Reliability, Maintainability, Human Factor, and Safety* – Washington D.C., USA – Department of Defense – 1980 – (MIL-STD-721C).
 37. MILITARY STANDARD – *Maintainability Prediction*– Washington D.C., USA – Department of Defense – 1966 – (MIL-HDBK-472).
 38. MILITARY STANDARD – *Sampling Procedures and Table for Life And Reliability Testing*– Washington D.C., USA – Department of Defense – 1960 – (MIL-HDBK-108).
 39. MODARRES, Mohammed – *What Every Engineer Should Know About Reliability and Risk Analysis* – New York, NY, USA – 1993.
 40. MORA, Luis Alberto; TORO, Juan Carlos y CESPEDES, Pedro Alejandro – *Gestión de Mantenimiento de Quinta Generación* – II Congreso

- Bolivariano de Ingeniería Mecánica, II COMBI – Ecuador – Julio 23 al 26 – 2001.
41. NACHLAS, Joel A. – *Fiabilidad* – Madrid, España – Isdefe - 1995.
 42. NAKAJIMA, Seiichi; SHIROSE, Kunio; GOTO, Fumio; MIYOSHI, Ainosuke y ASO, Masamitsu – *TPM Programa Para El Desarrollo* – Madrid, España - Tecnologías de Gerencia y Producción, S.A. – 1991.
 43. NAVARRO Elola, Luis; PASTOR Tejedor, Ana Clara y MUGABURU Lacabrera, Jaime Miguel – *Gestión Integral de Mantenimiento* – Barcelona, España – Marcombo Boixareu Editores – 1997.
 44. O'CONNOR, Patrick D. T. – *Practical Reliability Engineering* - New York, NY, USA – John Wiley & Sons, Inc. – 1989.
 45. OLWELL, David H. – *Reliability Leadership* – Philadelphia, PA, USA – Institute of Electrical & Electronics Engineers, Inc. – 2001.
 46. ORDOÑEZ, Hector Danilo – *Análisis Estadístico para Predecir la Confiabilidad de un Equipo* – En: Ingeniería de Mantenimiento No.6 – Enero 1992.
 47. RAMAKUMAR, R. – *Engineering Reliability: Fundamentals and Applications* – Englewood Cliffs, NJ, USA – Editorial Prentice Hall, Inc. – 1993.
 48. REY Sacristán, Francisco - *Hacia la Excelencia en Mantenimiento* - Madrid, España - Editorial TGP Hoshin, S.L. – 1996.
 49. ROJAS, Jaime. – *Introducción a la Confiabilidad* – Bogotá. Colombia – Universidad de los Andes – 1975.
 50. SANIN, Federico y VELEZ, Fernando – *Confiabilidad de Sistemas Eléctricos y Electrónicos* – Medellín, Colombia – 1972 – Trabajo de Grado (Ingeniería Electrónica) - Universidad Pontificia Bolivariana – Facultad de Ingeniería Electrónica.
 51. SMITH, Charles O. – *Introduction to Reliability in Design* – Malabar, FL, USA – Robert E. Krieger Publishing Company – 1986.
 52. SOTSKOV, B. – *Fundamentos de la Teoría y del Cálculo de Fiabilidad de Elementos y Dispositivos de Automatización y Técnica del Cálculo*- Moscú, Rusia – Editorial MIR - 1972.
 53. VALDÉS, José E. y ZEQUEIRA, Rómulo I. – *Teoría de la confiabilidad* – La Habana, Cuba - Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares, 1998.
 54. VALENCIA, José Orlando y ZAPATA, José Guillermo – *Investigación y Análisis de los índices de Mantenimiento en ISA* – Medellín, Colombia – 1993 – Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico) - Universidad Nacional – Facultad de Minas – Área de Mantenimiento.
 55. WEIBULL, W. – *A statistical Distribution Function of Wide Applicability* – En: Journal of Applied Mechanics No. 293 – Septiembre 1951.
 3. BARRINGER, Paul – *Availability, Reliability, Maintainability, and Capability* – [en línea]. Febrero 1997. [citado en 6 Agosto de 2001]. disponible en Internet <<http://www.barringer1.com/pdf/ARManDC.pdf>>
 4. BARRINGER, Paul y KOTLYAR, Michael – *Reliability Of Critical Turbo/Compressor Equipment* – [en línea]. Octubre 1996. [citado en 28 Julio de 2001]. disponible en Internet <http://www.barringer1.com/pdf/Rel_Crit_Turbo_Comp.pdf>.
 5. BARRINGER, Paul y WEBER, David – *Where Is My Data For Making Reliability Improvements* – [en línea]. Noviembre 1995. [citado en 3 Agosto de 2001]. disponible en Internet <http://www.barringer1.com/pdf/Where's_My_Data.pdf>
 6. CAMPBELL, John. *The Reliability Handbook*. Diciembre 1999. [en línea]. [citado en 14 Agosto de 2001]. disponible en Internet <http://www.plant-maintenance.com/articles/reliability_book.pdf>.
 7. Computerized Maintenance Management Systems (CMMS) and other Maintenance Software. [en línea]. Junio 2001 [citado en 17 Junio de 2001]. disponible en Internet <http://www.plant-maintenance.com/maintenance_software.shtml>
 8. DUNN, Sandy. *Maintenance Terminology - Some Key Terms*. [en línea]. [citado en 21 Julio de 2001]. disponible en Internet <<http://www.plant-maintenance.com/terminology.shtml>>.
 9. Exponential Distribution. [en línea]. Julio 2000. [citado en 5 Agosto de 2001]. disponible en Internet <http://www.weibull.com/LifeDataWeb/exponential_distribution.htm>.
 10. HOSSEINI, Manou– *Reliability Revolution* – [en línea]. Abril 1999. [citado en 1 Septiembre de 2001]. disponible en Internet <http://www.plant-maintenance.com/articles/reliability_revolution.shtml>.
 11. Lognormal Distribution. [en línea]. Julio 2000. [citado en 15 Junio de 2001]. disponible en Internet <http://www.weibull.com/LifeDataWeb/lognormal_distribution.htm>.
 12. Maintainability. [en línea]. Febrero 1998. [citado en 18 Julio de 2001]. disponible en Internet <http://www.wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#_To_c4044939334>.
 13. MOORE, Clive. *Maintainability, Another Maintenance Improvement Opportunity*. [en línea]. [citado en 8 Agosto de 2001]. disponible en Internet <http://www.tpmonline.com/articles_on_total_productive_maintenance/reliability/maintainability.htm>.
 14. Reliability Glossary. [en línea]. [citado en 16 Agosto de 2001]. disponible en Internet <http://www.weibull.com/knowledge/rel_glossary.htm>.
 15. Reliability. [en línea]. Febrero 1998. [citado en 18 Julio de 2001]. disponible en Internet <http://www.wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#_To_c4044939333>.
 16. RELIABILITY™@Magazine. [en línea]. Junio 2001. [citado en 17 Agosto de 2001]. disponible en Internet <<http://www.reliability-magazine.com>>.
 17. The "Bath Curve". [en línea]. Febrero 1998. [citado en 18 Julio de 2001]. disponible en Internet <http://www.wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#_To_c404493941>.

Referencias tomadas de internet

1. Availability. [en línea]. Febrero 1998. [citado en 18 Julio de 2001]. disponible en Internet <http://www.wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#_To_c404493935>.
2. BARRINGER, Paul – *An Overview of Reliability Engineering Principles* – [en línea]. Febrero 1996. [citado en 17 Agosto de 2001]. disponible en Internet <http://www.barringer1.com/pdf/Oview_REP.pdf>.