La confiabilidad integral del activo.

L. F. Sexto Cabrera.
Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento
Instituto Superior Politécnico *José Antonio Echeverría.*
Calle 114 esq. 127, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba
Teléfono: (537) 266 3609 Fax: (537) 260 2267
E – mail:felipe@ceim.cujae.edu.cu

(Recibido el 5 de julio de 2007; aceptado el 10 de septiembre de 2007)

Resumen

En el presente artículo se discute sobre algunos aspectos que influyen sobre la confiabilidad de un activo físico. En él se proponen diferentes clasificaciones de fallos. Se presentan algunos elementos sobre el análisis de la confiabilidad humana y los tipos de errores. De manera introductoria se comenta acerca de los defectos crónicos tolerados y el modelo de la trilogía de Juran. Se presentan reflexiones acerca de los procesos de deterioro gradual que puede sufrir un activo cualquiera. Finalmente, se discute sobre los costos de la confiabilidad.

Palabras claves: Confiabilidad, fallo, modo de fallo, defectos crónicos, confiabilidad humana, costos de la confiabilidad.

1. Introducción.

Las estrategias y tecnologías de mantenimiento ofrecen recursos que contribuyen a lograr determinados niveles de confiabilidad de los activos, pero no pueden hacer realidad la decisión y el compromiso de ser consecuentes con ellas en la actuación cotidiana. Tal resolución pertenece a la dirección de las organizaciones y a los que tienen el privilegio de la sabiduría de conducir, por el camino adecuado, al capital humano. El hecho trascendental y definitivo esta dado, una vez más, por el liderazgo que sea capaz de generarse en la organización.

Convengamos en que confiabilidad es la probabilidad de que un activo (o conjunto de activos) desempeñe su función, libre de fallos, y bajo determinadas condiciones, durante un periodo de tiempo también determinado. En definiciones más concisas se puede decir que, desde el punto de vista del mantenimiento, confiabilidad es una medida de la seguridad y del riesgo. Es un grado de confianza de que un activo cumplirá su función, bajo ciertas condiciones, durante un tiempo dado. Es la probabilidad de un desempeño libre de fallos, bajo condiciones especificadas. Para hablar de confiabilidad integral del activo, al menos desde el punto de vista del autor, no es posible obviar los elementos representados en la figura 1.

Antes de continuar, se define el fallo como un estado donde un sistema, activo, parte o componente del activo no puede desempeñar su función como previamente se había especificado. En la figura 2 se presenta una clasificación de fallos en función de varias categorías. Obsérve, como siempre antes del fallo se encuentran las acciones preventivas, que tratan de impedir la ocurrencia del fallo cuando es deseable que así sea. Por otra parte, una vez que ocurre el fallo y se analiza, se pasa a la corrección que siempre se hace. Sería deseable llegar también a la acción correctiva, que se orienta a eliminar o atenuar las causas del fallo para que no vuelva a repetirse. Obsérve que en la figura 2 se hace una distinción entre fallos que ocurren bajo ensayos y los que ocurren durante la operación en el contexto operacional de planta.

En la tabla 1 se propone una guía para la clasificación de fallos. Los distintos modos de fallos pueden ser encasillados según las diferentes descripciones que se muestran. Considerando siempre que la clasificación según severidad es fundamental porque nos ubica en las consecuencias que traería la ocurrencia del fallo. No es posible obviar que tal clasificación es convencional y puede ser modificada según las necesidades y características de cada organización, sobre todo en lo que se refiere a fallos según su frecuencia.

© 2008 – Ediciones Mecánica

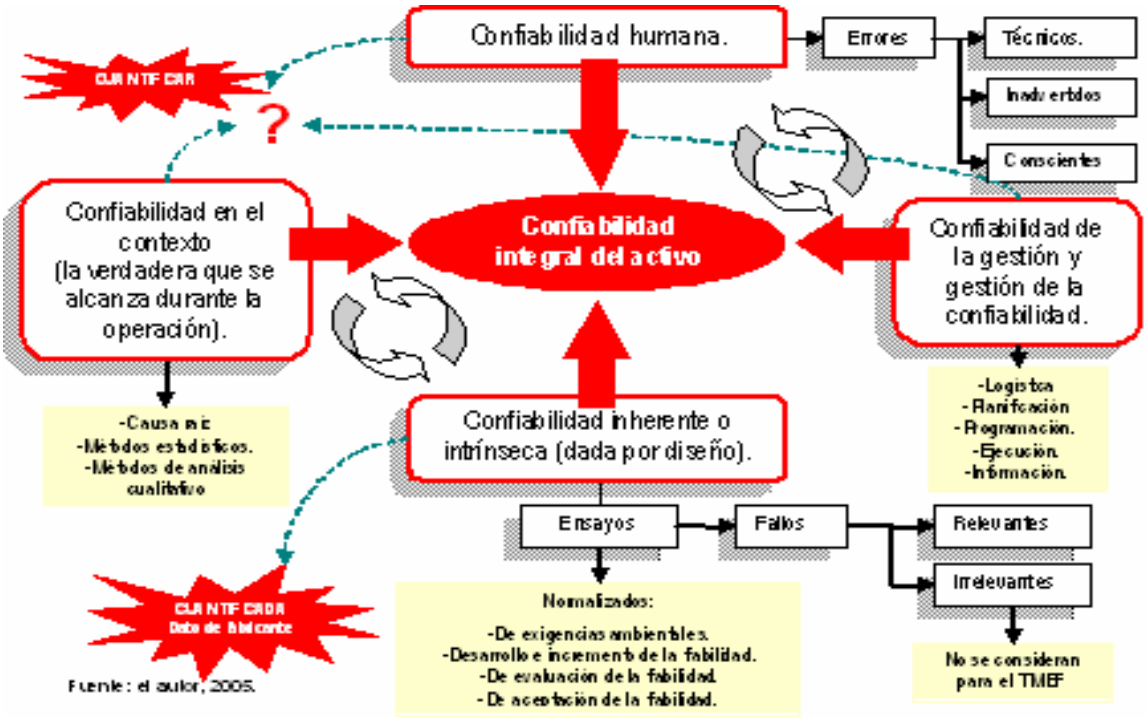

Figura 1. Las cuatro vertientes que determinan la confiabilidad del activo.

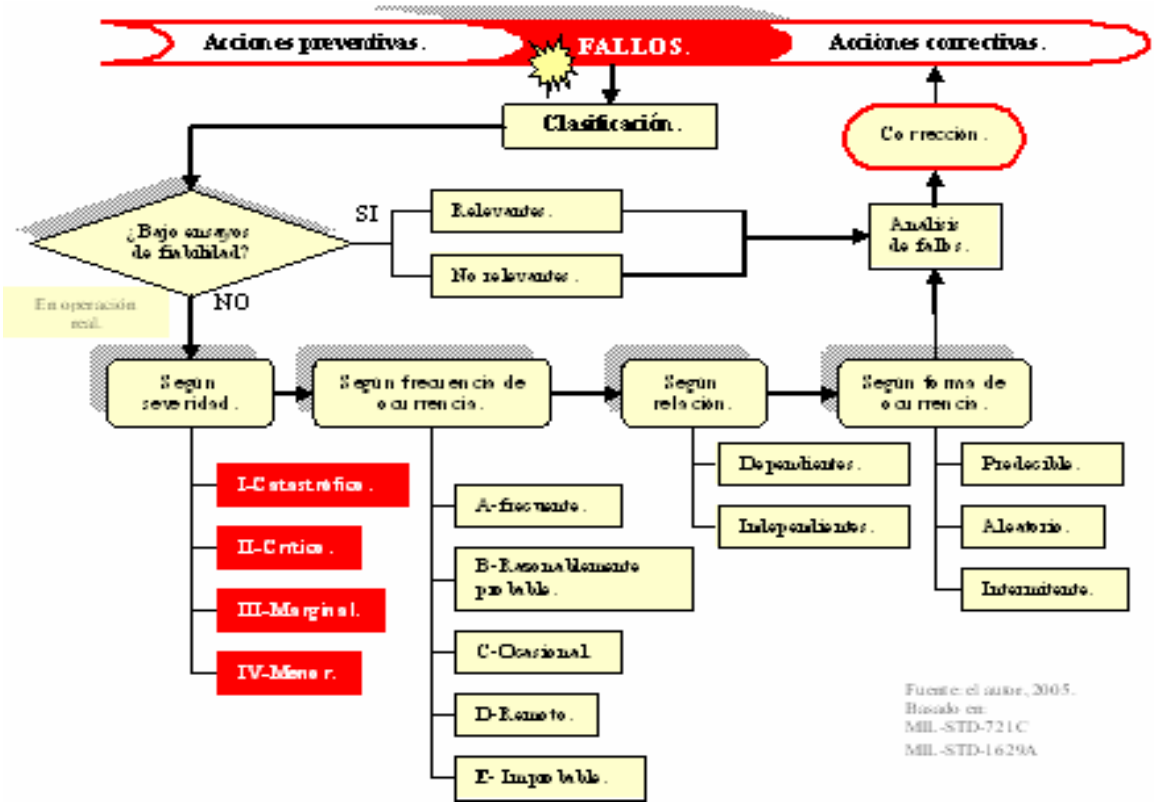

Figura 2. Clasificación de fallos y acciones preventivas y correctivas.

Normalmente, se acepta que el enfoque proactivo (acciones previas a los hechos indeseables) es el que debe primar en la atención a los activos que presenten modos de fallos que puedan dar lugar a consecuencias inadmisibles. Estos activos con funciones vitales y modos de fallos con consecuencias significativas para la seguridad, el medio ambiente, la operación o el propio mantenimiento, se conocen como críticos. Existen procedimientos y criterios diversos para identificar y evaluar la criticidad de los modos de fallo y de los sistemas donde estos ocurren.

Preciso es reconocer que una reparación o una sustitución no tienen necesariamente que devolver al activo o sistema, un nivel de confiabilidad igual, o presumiblemente superior, al que tenía cuando nuevo. Existen diferentes estados en que puede quedar un activo se habla de su capacidad de cumplir con su función) después de labores preventivas o correcciones. Estos estados son:

1. Tan bueno como nuevo.
2. Mejor que antes de fallar, pero peor que nuevo.
3. Mejor que nuevo.
4. Tan malo como antes de fallar.
5. Peor que antes de fallar.

Corresponderá determinar objetivamente en qué situación ha quedado el activo objeto de intervención, luego de haber restaurado nuevamente su función. De la seriedad de este análisis dependerá la evaluación precisa de la confiabilidad en el contexto sin la creación de falsas expectativas de desempeño.

Tabla 1. Criterios para la clasificación de fallos. Basado en MIL-STD 1629A y MIL-STD-721C.

<table>
<tr><th colspan="2">Fallos según su severidad (categorías).</th><th colspan="2">Fallos según su frecuencia.</th></tr>
<tr><td>I-Catastrófico.</td><td>Fallo que puede causar muerte de personas, daño ambiental severo o pérdida de los activos.</td><td>A-Frecuente.</td><td>Alta probabilidad de ocurrencia durante el intervalo de operación. Puede definirse la probabilidad para un modo de fallo con una probabilidad de ocurrencia mayor de 20% durante el tiempo de operación.</td></tr>
<tr><td>II-Crítico.</td><td>Fallo que puede causar lesiones severas a las personas, daños ambientales o al propio sistema que falla. Impide el cumplimiento de las funciones del activo.</td><td>B-Razonablemente probable.</td><td>Moderada probabilidad de ocurrencia durante el intervalo de operación. Puede definirse la probabilidad para un modo de fallo con una probabilidad de ocurrencia mayor de 10% pero menor de 20% durante el tiempo de operación.</td></tr>
<tr><td>III-Marginal.</td><td>Fallo que puede causar lesiones menores, daños menores ambientales y al propio sistema, perdidas de disponibilidad.</td><td>C-Ocasional.</td><td>Ocasional probabilidad de ocurrencia durante el intervalo de operación. Puede definirse la probabilidad para un modo de fallo con una probabilidad de ocurrencia mayor de 1% pero menor de 10% durante el tiempo de operación.</td></tr>
<tr><td>IV-Menor.</td><td>Fallo que no causa lesiones, ni daña al ambiente ni al sistema, pero exigirá mantenimiento no programado o reparación.</td><td>D-Remoto.</td><td>Muy baja probabilidad de ocurrencia durante el intervalo de operación. Puede definirse la probabilidad para un modo de fallo con una probabilidad de ocurrencia mayor de 0,1% pero menor de 1% durante el tiempo de operación.</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Fallos según la forma de ocurrencia.</td><td>E-Improbable.</td><td>Probabilidad de ocurrencia prácticamente igual a cero. Puede definirse para un modo de fallo con una probabilidad de ocurrencia menor de 0,1% durante el tiempo de operación.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Fallos según su relación con otros item.</td></tr>
<tr><td>Predecible.</td><td>Fallo cuya ocurrencia es predecible dado unos síntomas indicativos.</td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Aleatorio.</td><td>Fallo cuya ocurrencia sólo es predecible en un sentido probabilístico o estadístico.</td></tr>
<tr><td>Intermitente.</td><td>fallo temporal, tras el cual el activo cumple su función sin haberse realizado ninguna corrección.</td><td>Dependiente.</td><td>Fallo causado por el fallo de otro activo asociado o en interacción.</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>Independiente.</td><td>Fallo que ocurre sin guardar relación con otro activo que pueda influir.</td></tr>
</table>

2. Probabilidad y ocurrencia del fallo.

La diferencia entre *probabilidad* y *ocurrencia* del fallo se presta a confusiones de interpretación. La probabilidad es una posibilidad, un suceso en potencia. La ocurrencia es la consumación de la posibilidad. Si se dice que existe una probabilidad de fallo del 90% para 1000 horas de funcionamiento de X componente de un activo, bajo definidas condiciones de operación; no significa que el fallo sea inminente, ni se infiere vaya a ocurrir exactamente a las 1000 horas. Significa que, basándose en determinado comportamiento seguido y analizado (que también podría ser impreciso e insuficiente), se indica que existe una alta probabilidad de que ocurra el fallo, pero no necesariamente que ocurrirá (a menos que su probabilidad de ocurrencia sea del 100%). Esto debido, precisamente, a que se habla de posibilidades y no de hechos ineludibles, aunque se trata de ajustarlos a patrones típicos de comportamiento. Posibilidades estimadas, en su mayoría, empleando datos existentes (no siempre adecuados ni comparables), estimados, imaginados, inventados o por criterio de expertos. Esto supone la presencia de errores y márgenes de incertidumbre que normalmente se desconocen o no se consideran por la dificultad que supone hacerlo con personal de planta y en las condiciones de la industria. Por ello, ¿en qué medida es posible predecir la ocurrencia del fallo basándse en la probabilidad obtenida con datos cuestionables?

El problema que subyace es, una vez más, la formación que se necesita para asimilar un modo de pensar estadístico sin que suponga un conflicto o un trauma para las personas que deben aplicarlo en su gestión de trabajo.

Un proceso de deterioro gradual consume un intervalo de tiempo según sea la ley que lo caracteriza y del contexto operacional. Según la técnica de que se disponga y el sentido de oportunidad para aplicarla existirá un punto donde el fallo incipiente (fallo potencial, P) es detectable. Al continuar avanzando el deterioro, existirá otro punto donde será inaceptable para nuestros fines: ese será el momento donde se afirmará que sucede el fallo funcional, F. El tiempo que transcurre entre la detección del fallo potencial y la ocurrencia del fallo se denomina intervalo P-F y dependerá del momento en que se detecta el fallo incipiente (P), de la variación de la demanda para cumplir con la función y de la capacidad de evaluar el desarrollo del fallo y la consiguiente pérdida de función del sistema.

En la figura 3 se presenta un esquema que muestra la forma en que suele ocurrir un proceso de deterioro gradual en un sistema, subsistema, activo o componente. Válido es recordar que este modelo sólo es posible para fallos clasificados, según su ocurrencia, como predecibles o aleatorios, según la tabla 1.

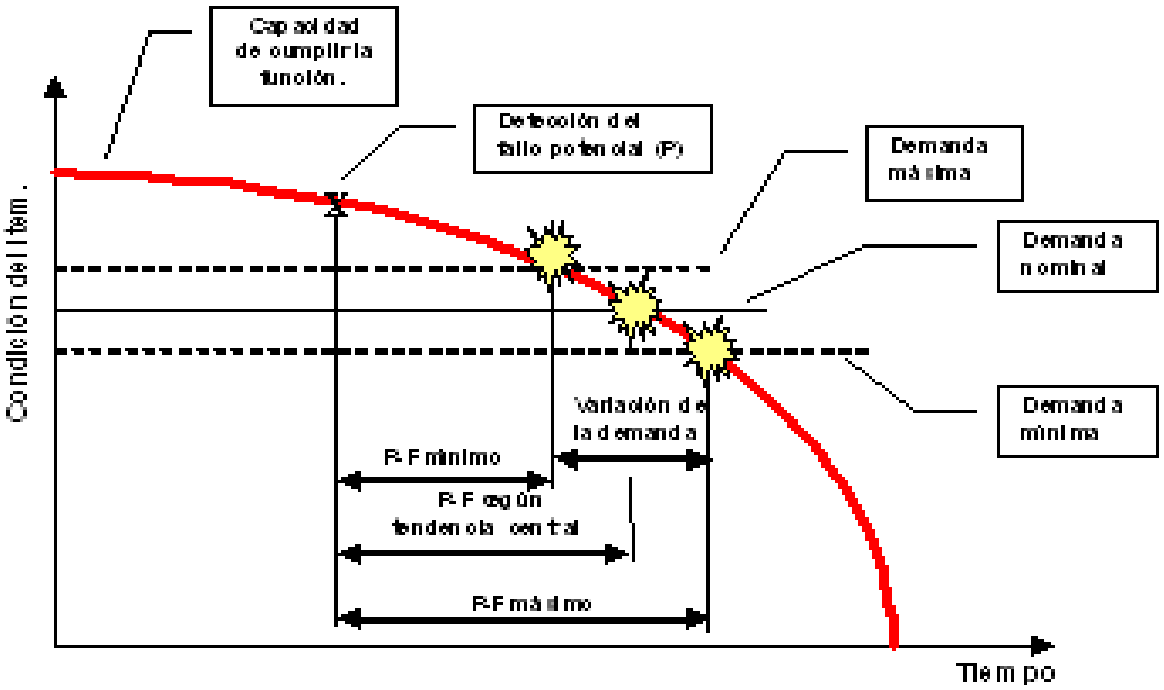

Figura 3. Modelo de ocurrencia de fallos en procesos de deterioro gradual.

3. Confiabilidad humana.

Desde una perspectiva estrictamente conceptual y simplificada, la confiabilidad inherente de un sistema se relaciona con el número de fallos que ocurren en determinado tiempo y bajo específicas condiciones de operación. Por su parte, la confiabilidad humana se vincula con el número de errores que se cometen en un tiempo igualmente determinado y, nuevamente, bajo especificas condiciones de trabajo. Por ello, la confiabilidad en el contexto de operación de un sistema, suma los modos de fallos que ocurren por la naturaleza del sistema en interacción con su ambiente (llamémosles modos de fallo técnicos) y aquellos determinados por las personas que interactúan con el sistema (llamémosles modos de fallo humanos o, sencillamente, errores).

La confiabilidad humana, según documentos de la *CE*, se define como *"el cuerpo de conocimientos que se refieren a la predicción, análisis y reducción del error humano, enfocándose sobre el papel de la persona en las operaciones de diseño, mantenimiento, uso y gestión de un sistema sociotécnico"*.

La herramienta probablemente más conocida y aplicada para trabajar la confiabilidad humana es la *Técnica para la Predicción de la Tasa de Error Humano* (Technique for Human Error Rate Prediction, THERP). THERP es de las primeras técnicas desarrolladas en este campo y se referencia desde el inicio de los sesenta. Con la THERP es posible predecir las probabilidades de error humano y evaluar el deterioro de un sistema individuo-máquina causado por los errores humanos, los procedimientos, las prácticas de ejecución, así como por otras características del sistema o de la persona que influyen en el comportamiento del mismo.

Los errores son una medida de infiabilidad humana. Normalmente, suelen aceptarse tres tipos de errores humanos:

-Los errores técnicos que se relacionan con la falta de formación, escasa capacidad o habilidad para realizar un trabajo determinado.

-Los errores inadvertidos que se caracterizan por ser inconscientes en el momento que se cometen. Es decir, los implicados no tienen la voluntad ni el deseo de equivocarse. Se relaciona con los vacíos mentales, la falta de atención y el exceso de confianza.

-Los errores conscientes. Aquí, en efecto, existe intencionalidad al cometer el error y con frecuencia es un reflejo que responde a decisiones desacertadas del personal de dirección. También, pueden deber su aparición a actitudes relacionadas con el ocultamiento de resultados pobres, o fraude para recibir favores derivados, desviaciones éticas para culpar a otros, sabotajes, etc.

Alcanzar la confiabilidad integral del activo supone siempre, en última instancia, la certeza de poder contar con una elevada confiabilidad humana. Tanto el diseño, como la gestión, como la operación y mantenimiento de los activos, esta determinado por el ser humano. Trabajar la confiabilidad integralmente es un proceso grupal (preferiblemente de grupos convertidos en equipos) y no es posible esperar alentadores resultados sólo por el trabajo de individuos aislados. Es imprescindible la participación de todas las partes interesadas en la determinación de acciones para alcanzar y mantener particulares niveles de confiabilidad. La confiabilidad integral del activo no es una responsabilidad exclusiva de los especialistas y debe trabajarse durante las diferentes fases del ciclo de vida del activo.

Sin dudas, unos de los problemas fundamentales que enfrenta el desarrollo del mantenimiento de los activos de una empresa, es la mentalidad de solución de problemas que domina el pensamiento de todos aquellos que tienen la autoridad y la responsabilidad de cambiar el estado de cosas. En no pocas ocasiones se tiene a la corrección (que no a la acción correctiva) como paradigma de buenas prácticas de mantenimiento. Se trata del modelo intelectual que ha dominado la mentalidad de mucha gente (directivos, mantenedores y otros) durante décadas. Independientemente de la existencia de tecnologías y “buenas prácticas” que se han desechado por subestimación o sobrestimación, al pensarse que son improcedentes de llevar a la realidad empresarial *“por no ajustarse a nuestra cultura”*.

4. Defectos crónicos tolerados.

La trilogía de Juran, sintetiza uno de los posibles modelos para la elaboración de la estrategia de mantenimiento aspirando a resultados de excelencia. Consiste en un modelo de mejora continua destinado a la atenuación o disminución de los defectos crónicos tolerados en la organización.

La trilogía supone las fases de planificación, control y mejora en un ciclo cerrado para ir disminuyendo las consecuencias de los defectos crónicos en la organización. La figura 4, representa gráficamente la idea. Se parte de un nivel de defectos crónicos que provocan determinadas pérdidas. Se convive con esa situación hasta que se ejecutan acciones de mejora, previamente planificadas, que reducen el nivel de defectos crónicos dando lugar a un nuevo nivel. Observe, como realizar la simple corrección sobre un defecto esporádico, que provoca un alto costo, no disminuye el costo por mala calidad establecido como “normal”. El ciclo de mejora se puede repetir mientras se considere pertinente y posible.

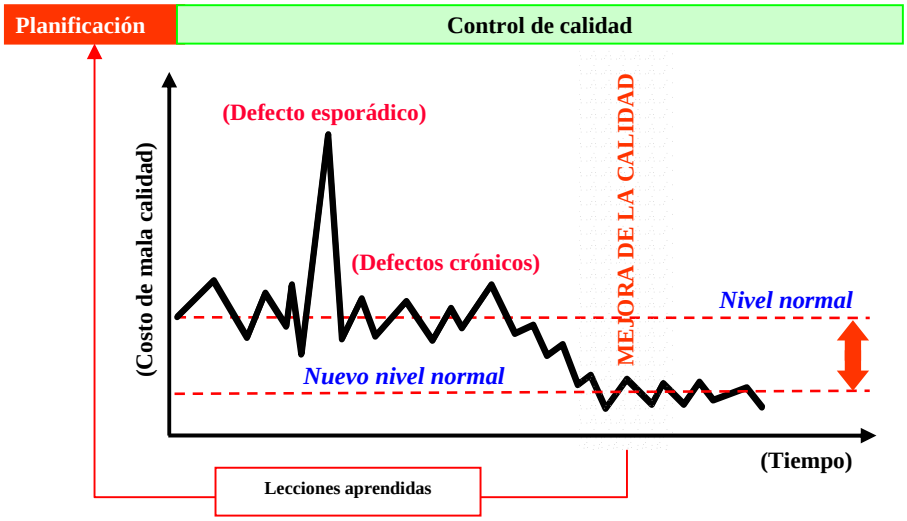

Figura 4. Trilogía de Juran.

La estrategia, siguiendo el modelo de Juran (o cualquier otro), puede considerar el *outsourcing*, como modalidad de relación económica productiva entre dos o más organizaciones, en la que una utiliza e integra en el propio proceso productivo, bienes o servicios de mantenimiento (en este caso) que otra vende. Esto puede ser aceptable y conveniente siempre que la estrategia sea concebida por la empresa que solicita el servicio de la otra. Es decir, se debe comprar el cómo y el quién, no el qué. Para un resultado positivo o de clase mundial, no es admisible perder la iniciativa estratégica.

5. Costos de la confiabilidad.

Existen dos fuentes principales que generan costos para la confiabilidad. La primera, y fundamental, son los costos de las consecuencias de los fallos y de los defectos crónicos tolerados. Como segunda fuente, en contraposición, se encuentran todas aquellas acciones preventivas y de evaluación que se realizan para contrarrestar a las primeras y mantener determinados valores de confiabilidad.

Singular importancia reviste la prevención de fallos con secuelas inadmisibles, al implicar un mejoramiento de la eficacia del mantenimiento, reflejado, por un lado, en un incremento de la confiabilidad operativa. por otra parte, supone una mejora de la eficiencia del proceso de mantenimiento que se refleja en una reducción de costos por fallos y defectos crónicos.

Para intentar que el lector se haga una idea más clara de cómo es la interacción entre los costos de la confiabilidad, considerando las dos fuentes principales descritas, se propone el análisis del gráfico de la figura 5. En este caso se consideran las siguientes premisas para interpretar el modelo:

- Los costos totales de confiabilidad son más elevados para los sectores industriales complejos.
- Los costos por fallos y defectos crónicos tolerados son el mayor porcentaje del total de costos.
- Los costos de prevención y evaluación de las consecuencias de fallos y defectos crónicos son un porcentaje reducido del total de costos relacionados con la confiabilidad.

Independientemente de los supuestos anteriores y de la representación del modelo de curvas características de la figura 5, cada organización debe cuantificar sus costos reales y obtener las respectivas curvas de identidad que son particulares para cada empresa.

Para el análisis del gráfico se debe considerar que:

1. Los costos de fallos y defectos crónicos tienden a cero, cuando el activo es 100 % confiable. Se elevan hacia el “infinito” cuando el activo es 100% no confiable.
2. Los costos de evaluación + prevención tienden a cero cuando hay un 100% de defectos, y se elevan en la medida que hay un acercamiento a la perfección.
3. La suma de las dos curvas anteriores es la del costo total de alcanzar la confiabilidad en el contexto (en condiciones reales de operación) en activos trabajando para satisfacer funciones críticas.

Muchas empresas descubren que una inversión relativamente pequeña en prevención (formación para el puesto de trabajo, mantenimiento de la tecnología, equipos de prueba y calibrado, planificación de los procesos, auditorias) reduce los costos por fallos y los de inspección. La primera tarea será concentrar los esfuerzos en reducir los costos por fallos y desperdicios crónicos.

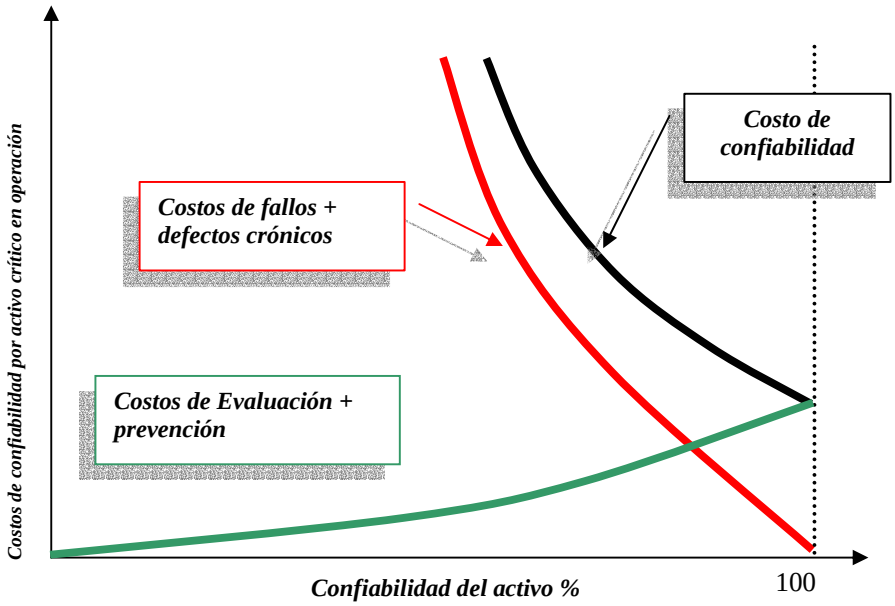

Figura 5. Costos de la confiabilidad.Modelo ideal.

6. Conclusiones.

La necesaria confiabilidad integral de un sistema no es de quien la desea o la necesita, sino de quien la hace realidad con su actuación y previsión. En este punto confluyen aspectos técnicos y de gestión al constituir cualquier elemento tecnológico un sistema interactivo hombre-máquina.

Los fallos pueden ser clasificados según el grado de severidad (consecuencias) que originen. Según su frecuencia de ocurrencia, según su relación y según su forma de acontecer. La combinación más útil y empleada es la clasificación de fallos según su severidad y su frecuencia de ocurrencia, ya que con estos elementos se puede estimar el riesgo asociado y si este es tolerable o no para la organización.

Las dos fuentes principales que generan costos para la confiabilidad son los costos de las consecuencias de los fallos con no tolerables para la organización y los defectos crónicos tolerados.

El análisis de la confiabilidad humana conlleva a una serie de conclusiones entre las que se tienen las siguientes:

- Los humanos No fallan como las máquinas, sino que cometen errores. Los errores técnicos son derivados de insuficiente formación, los inadvertidos por descuido, falta de atención, sobrecarga de trabajo y los conscientes pueden asociarse a conflictos relacionados con el estilo de dirección, la estructura organizacional, actos vandálicos o sabotaje.
- Las personas no sólo son una fuente potencial de errores, sino que pueden ser un elemento de sobre-confiabilidad dada la capacidad para anticipar, predecir, analizar y actuar sobre los fallos y sus desencadenantes y sobre los propios errores.

Los costos de confiabilidad van siendo favorables y rentables en la medida que se logra reducir fallos indeseables que generan consecuencias no tolerables para la empresa, así como defectos crónicos tolerados, gracias a una correcta y oportunidad intervención de los costos de prevención. La prevención es la esencia de la calidad de cualquier proceso y por ende de los resultados en confiabilidad de los sistemas en explotación.

© 2008 – Ediciones Mecánica

7. Bibliografía.

1. Nakajima, Seiiki: Introducción al TPM-Mantenimiento productivo total. Prodctivity Press, 1988.
2. Juran's Quality Control Handbook, 4. edición. Editorial MCGRAW-HILL.
3. Sexto, L. F. Lecciones aprendidas #9 Ah, ¡la esdística!, (Colección de artículos divulgativos sobre gestión y calidad). Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento, 2004. La Habana. Cuba.
4. Sexto, L. F. Confiabilidad integral del activo. Proceedings del Seminario Internacional de Mantenimiento, TECSUP, Arequipa, Perú, 23-25 de febrero de 2005).
5. MIL-STD 1629A. procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis.
6. MIL-STD-2074. Failure classification for reliability testing.
7. MIL-STD-721C. Definitions of terms for reliability and maintainability.

The reliability of a physical asset.

Abstract.

This paper discusses some aspects that influence about the reliability of a physical asset. Is presented different classifications of failures. Some elements are proposed about the analysis of the human reliability and the types of errors, as well as, an introduction about the tolerated chronic defects and the Juran trilogy. Reflections are presented about the processes of gradual deterioration. Finally, is discusses on the reliability costs.

Key words; Reliability, failure, failure mode, chronic defects, human reliability, reliability costs.