



El siguiente trabajo constituye la primera de las dos ponencias presentadas por el autor en el SEMINARIO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO celebrado en PERÚ-AREQUIPA-TECSUP del 23-25 de febrero de 2005

CONFIABILIDAD INTEGRAL DEL ACTIVO¹

M.Sc. Ing. LUIS FELIPE SEXTO

felipe@ceim.cujae.edu.cu

Centro de Estudio de Innovación y Mantenimiento (CEIM/CUJAE).
Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.
La Habana, Cuba.

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 está dado, una vez más, por el **liderazgo** que sea capaz de generarse en la organización.

“La expresión industrial característica en Estados Unidos fue: “continuemos haciendo lo que estamos haciendo y si algo sale mal (se rompe), arreglémoslo y continuemos. Para eso estamos aquí”. Este era el concepto de mantenimiento que durante muchos años dominó y bastó.”

Edward De Bono.

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 podemos 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**.

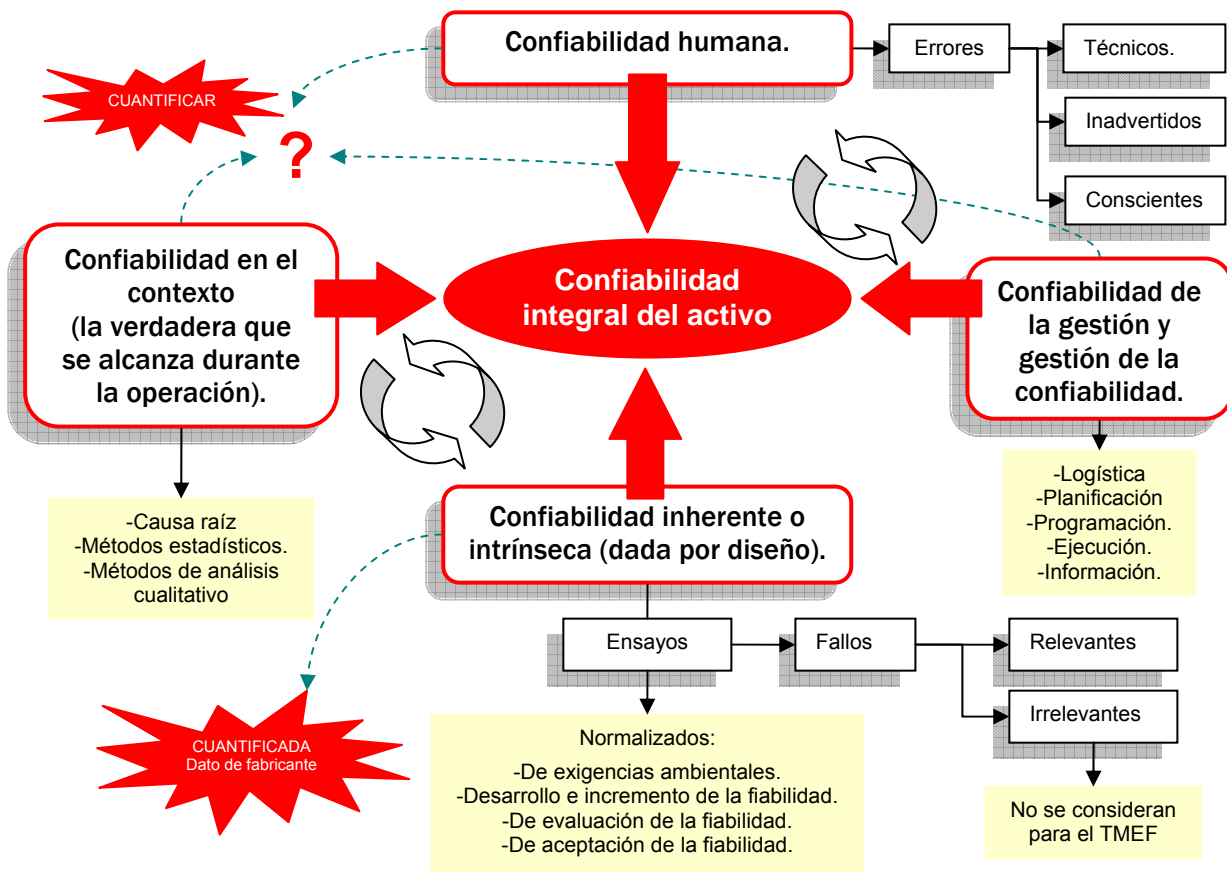


Figura 1. Las cuatro vertientes que determinan la confiabilidad del activo.

Los errores son una medida de **infiabilidad humana**. Normalmente, suelen aceptarse tres tipos de **errores** humanos. Los **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. Por último, se encuentran 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.

*Si a las personas se les trata como máquinas, el trabajo pierde todo interés y deja de ser fuente de satisfacciones. En tales condiciones, no es posible esperar productos de buena calidad y confiabilidad.
Kauro Ishikawa*

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 de la confiabilidad 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”.

En la **figura 2** se enuncian una serie de herramientas de análisis tanto cualitativas como cuantitativas que son normalmente utilizadas para medir, evaluar y predecir la confiabilidad. Generalmente, el personal de planta suele atemorizarse por la complejidad de tales técnicas, pero lograr la confiabilidad operacional no es una tarea sencilla y requiere de la aplicación de herramientas relativamente complejas, acorde a la complejidad misma de alcanzar la confiabilidad al nivel necesario, deseado o posible. Una vez que seamos capaces de cuantificar la confiabilidad, al menos potencialmente, es posible predecirla, compararla, comprobarla, controlarla y mejorarla. No es posible vivir todo el tiempo alejado, divorciado o huyendo de las herramientas estadísticas cuando de confiabilidad se trata.

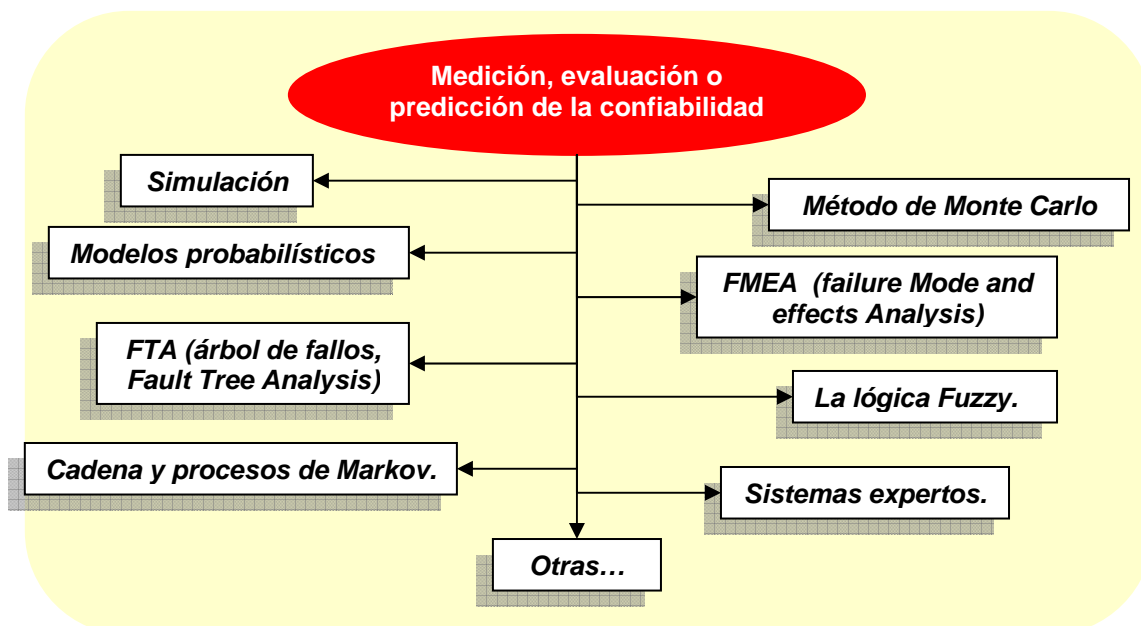


Figura 2. Algunas herramientas para medir, evaluar o predecir la confiabilidad en general.

En la **figura 3** se aprecia un esquema con la representación de un “campo de fuerzas”. Se trata de la existencia de los diferentes tipos de fallos, acorde al nivel de pérdida de función, y de si pertenecen a la categoría de ocultos (hasta el momento estos no han sido reconocidos aún en muchas organizaciones), junto a los defectos crónicos tolerados. Del otro lado del campo de fuerzas, se encuentran una serie de contramedidas. El sentido de éstas consiste en la eliminación de los fallos y defectos crónicos a un nivel mínimo, o a cero, si fuera posible y procedente. ¿Cuáles son las fuerzas dominantes en su organización, las de la derecha o las de la izquierda? ¿Sufre y asimila su empresa las consecuencias de los fallos y defectos crónicos o las de trabajar con eficacia y eficiencia?

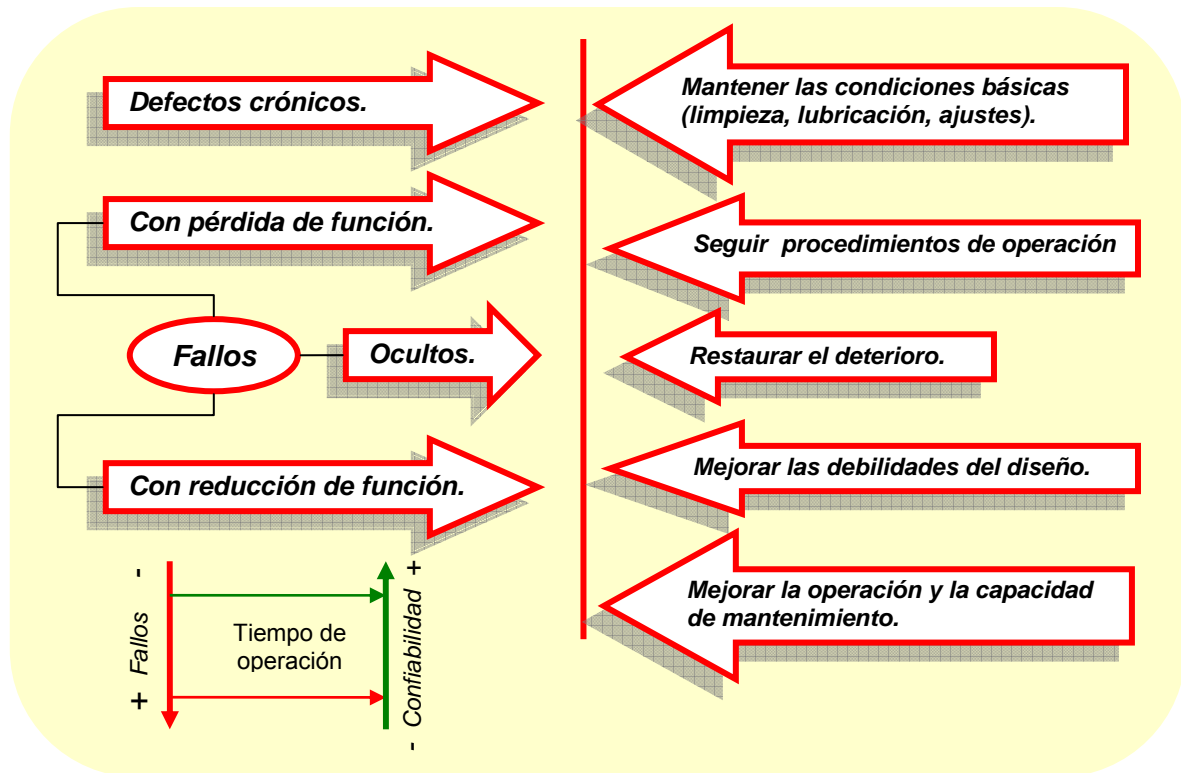


Figura 3. Campo de fuerzas: fallos y defectos vs. contramedidas.

Generalmente, el conjunto de acciones para lograr un fin se sintetizan en un programa. El autor considera que los once pasos del *programa de fiabilidad para equipos y sistemas*, enunciado en el *Juran's Quality Control Handbook* describe bien la secuencia a seguir para lograr dominio y conocimiento basado en hechos, relacionado con los niveles de confiabilidad que se pretenden. Los pasos descritos en la bibliografía mencionada, con ligeras modificaciones, son:

1. Establecer objetivos de fiabilidad.
2. Determinar modelos de fiabilidad.
3. Asignar objetivos de fiabilidad.
4. Predecir la fiabilidad.
5. Analizar efectos y modos de fallos.
6. Identificar componentes críticos.
7. Revisar el diseño.
8. Seleccionar a los proveedores.
9. Controlar la fiabilidad en la producción.
10. Realizar ensayos de fiabilidad.
11. Realizar informes de fallos y acciones correctivas.

En la **figura 4** se pueden observar una serie de ejemplos de acontecimientos catastróficos que han ocurrido a consecuencia de fallos en algunos, o en una combinación, de los cuatro elementos que determinan la confiabilidad integral de los activos. El lector puede indagar aún más sobre estos sucesos ejemplificados y extraer provechosas enseñanzas. ¿Se atrevería usted a realizar el análisis de cada acontecimiento catastrófico referenciado en la **figura 4**, con el apoyo de las cuatro componentes que inciden en la confiabilidad del activo, representadas en la **figura 1**?



El **Tacoma** en el instante del colapso.

Especial significación tuvo el desastre del puente de **Tacoma**. Este caso trascendió por su carácter *sui generis*, al ser considerada la mayor calamidad en la historia de la construcción de puentes en Estados Unidos

El 28 de enero de 1986, el transbordador espacial **Challenger** estalló con siete astronautas a bordo al minuto de haber despegado.



Memorial en honor a los siete astronautas del **Challenger**. Arlington Nacional Cemetery.



La **P-36** cojea y nunca más será vista.

La plataforma petrolera más grande del mundo yace hundida a más de 1340 metros bajo la superficie del mar. El suceso aconteció el 20 de marzo de 2001 a 126 kilómetros de la costa de Macaé, Brasil.

catástrofe ecológica provocada por el hundimiento del petrolero **Prestige** en las costas de Galicia, ocurrida en noviembre del 2002.



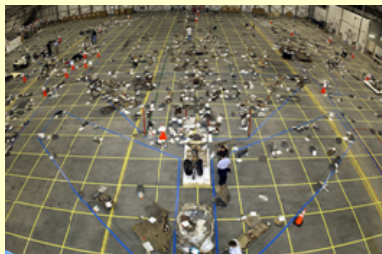
Ya en pedazos el **Prestige** se hunde irremediamente.



Ciudad abandonada de **Pripyat***, a 4 km de la central de Chernobil.
*Archivo del autor.

Madrugada del 26 de abril de 1986: fallo catastrófico del bloque energético número cuatro de la **Central Electronuclear de Chernobil**, Ucrania. Con anterioridad se habían producido desperfectos que requerían detener el reactor, pero nadie tomó esa decisión. Indagaciones posteriores determinaron que la causa inmediata del accidente radicó en el incorrecto trabajo del personal de operaciones. Sin embargo, las causas de fondo y definitivas fueron las insuficiencias en el diseño.

La colosal y penosa misión de intentar reconstruir el Columbia, pedazo a pedazo, como parte de la investigación.



Chernobil, el desastre industrial más grande hasta el momento.

En 1999, uno de los intentos de lanzar al Columbia con el telescopio Chandra, fue abortado cuando apenas faltaban seis segundos para despegar. El 1 de febrero de 2003, Testigos reportan escuchar un ruido ensordecedor y ver fuego y luces sobre el cielo de Texas. El Columbia desapareció para siempre.

Figura 4. Catástrofes: el resultado más letal e impresionante de la falta de confiabilidad integral.

MODELO PARA COSTOS DE 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 (ver nuevamente la **figura 3**).

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. En la **figura 5** se representa una relación de conceptos y acciones de mantenimiento que demuestran como la prevención de fallos, y sus correspondientes consecuencias, desembocan -en última instancia- en incrementos de disponibilidad, mantenibilidad y de confiabilidad en el contexto. Más adelante se continua el análisis de la relación de estos tres conceptos.

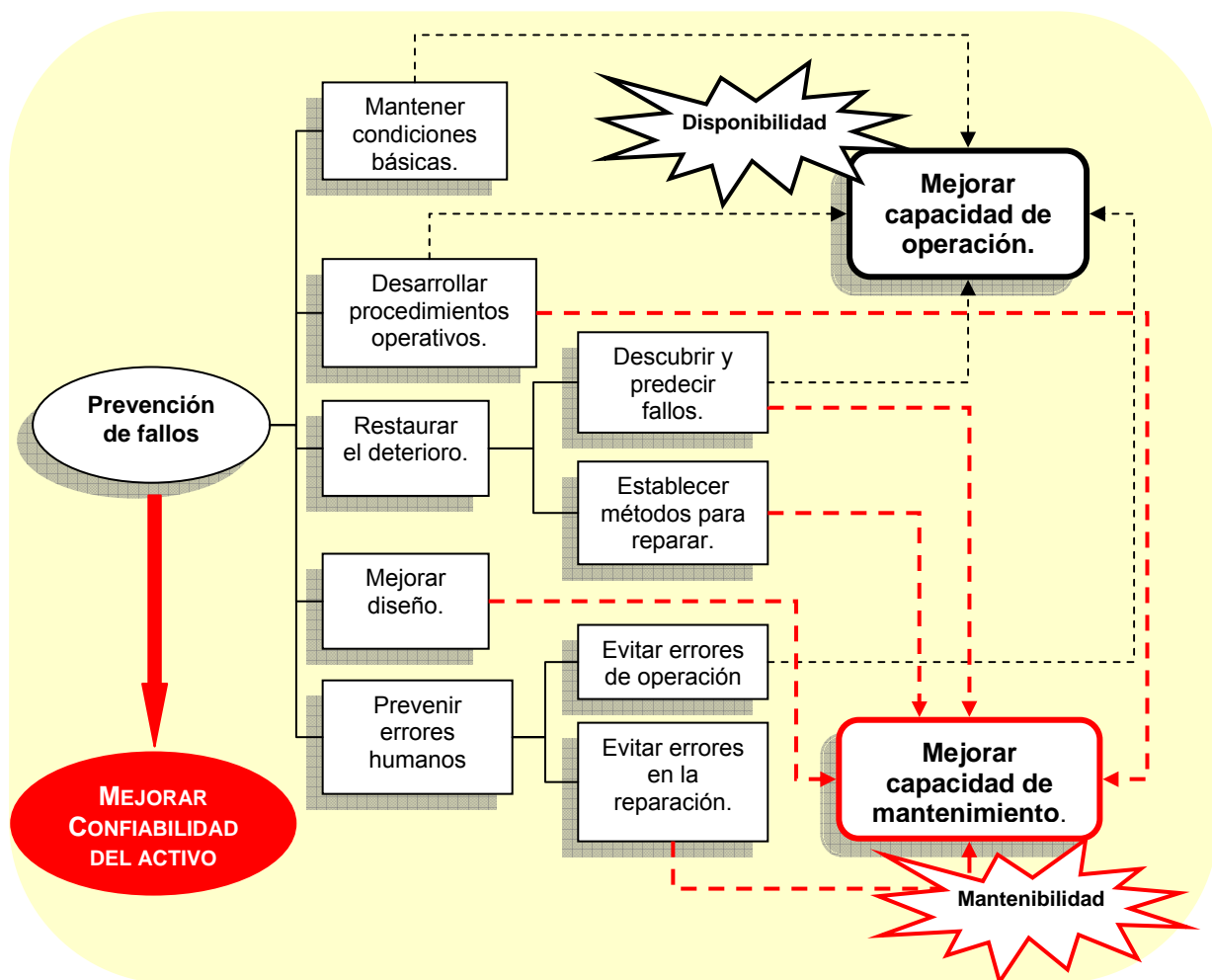


Figura 5. Relación dialéctica entre confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

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 6**. 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 6**, cada organización debe cuantificar sus reales costos y obtener las respectivas curvas de identidad que son particulares para cada empresa.

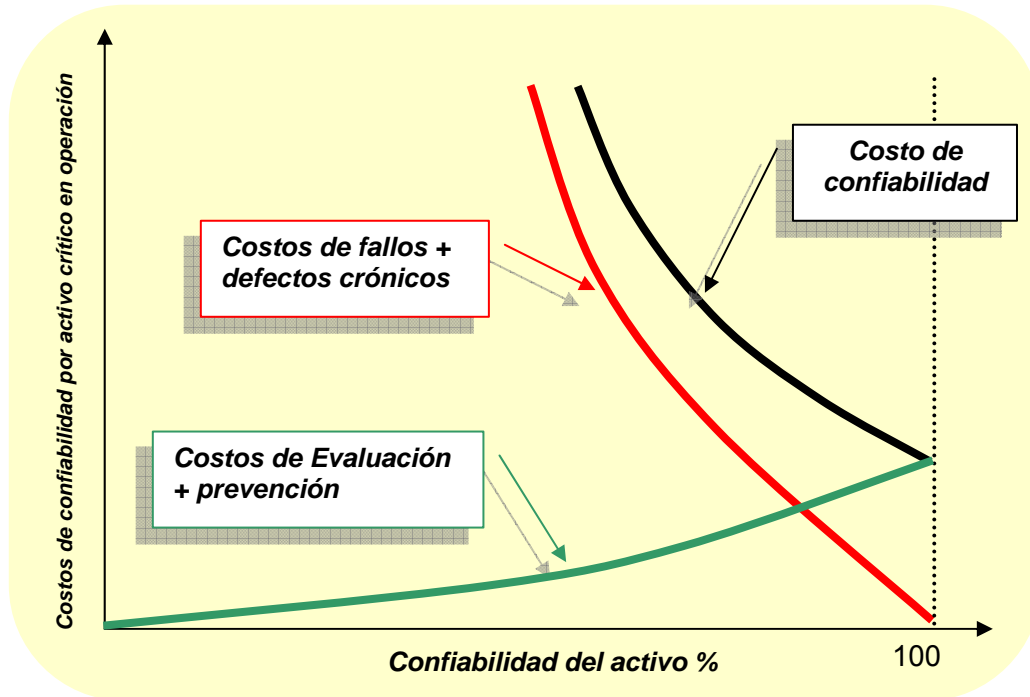


Figura 6. Costos de la confiabilidad.

Para el análisis del gráfico se debe considerar que:

1. Los costos de **fallos** y **defectos crónicos** son iguales 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 son iguales 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.

LA MATRIZ DE EVALUACIÓN: COMPLEJIDAD VS. CRITICIDAD

El esfuerzo que se invierte en un activo para que este libre de fallos depende de su **complejidad** y de su **criticidad** dentro de la función que cumple. La matriz donde se representan los activos de acuerdo a su complejidad y criticidad se representa en la **figura 7**. En los cuadrantes uno (1) y cuatro (4) el análisis no resulta complicado. En el cuadrante uno (1) no es necesario realizar mayores esfuerzos para incrementar la **fiabilidad**. Todo lo contrario sucede en el cuadrante cuatro (4), donde es vital prevenir los fallos y sus consecuencias además de realizar esfuerzos por mejorar la **confiabilidad en el contexto** dada una elevada **confiabilidad intrínseca**. En el cuadrante tres (3), el hecho de disponer de activos de alta complejidad exige valores elevados de confiabilidad aún sin ser estos activos críticos. En este caso, tanto como los casos que caigan en el cuadrante dos (2), vale la pena realizar un estudio pormenorizado de si vale la pena o no realizar esfuerzos en el incremento de la **confiabilidad** o de la **mantenibilidad**.

Consecuentemente, los activos que queden clasificados en los cuadrantes de la matriz de la **figura 7**, han de haberse sometidos con anterioridad al correspondiente análisis de criticidad y complejidad. La ubicación en los cuadrantes de la matriz se debe interpretar como una forma organizativa que contribuya a definir la política de mantenimiento para cada grupo de activos, según los criterios de criticidad y complejidad. Estos últimos, a su vez, contienen a otro grupo de criterios que previamente debió ser estudiado. Jamás se debe interpretar la clasificación, resultante de la aplicación de la matriz, como inamovible ni se deben permitir los análisis mecanicistas. De suceder tal cosa, pierde totalmente su sentido orientativo.

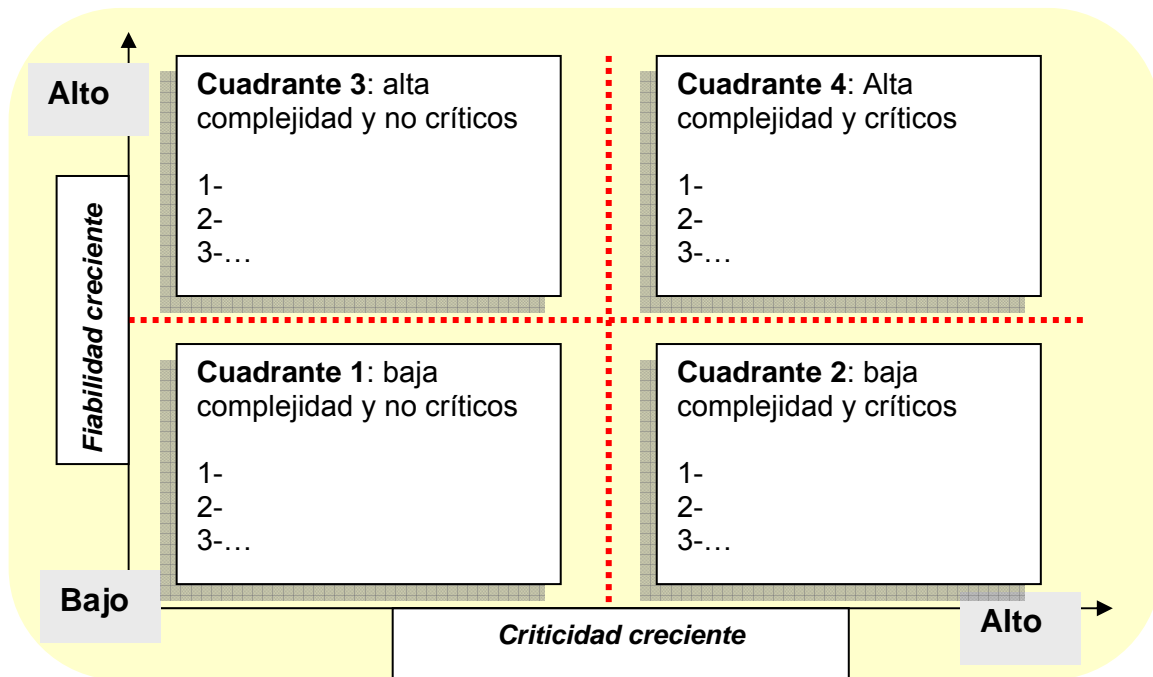


Figura 7. Matriz de evaluación: complejidad vs. Criticidad.

CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD

La **disponibilidad** es la probabilidad de que un activo realice la función asignada cuando se requiere de ella. La disponibilidad depende de cuán frecuente se producen los fallos (**confiabilidad**) y de cuánto tiempo se requiere para corregir el fallo (**mantenibilidad**). De modo que la mantenibilidad queda definida como la probabilidad de que un activo (o conjunto de activos) en fallo, sea restaurado a su estado operativo, dentro de un tiempo determinado, cuando la acción de corrección se efectúa acorde a los procedimientos establecidos por la empresa. Se observa en el esquema que determinado grado de disponibilidad será el resultado del comportamiento de la confiabilidad y la mantenibilidad del activo. ¿Convendrá invertir en mejorar la **confiabilidad** o la **mantenibilidad** para lograr un objetivo de **disponibilidad**?



Figura 8. La disponibilidad como resultado de la confiabilidad y la mantenibilidad.

Las fórmulas de confiabilidad formales consideran suposiciones que no siempre resultan válidas para el análisis. Se puede observar como la disponibilidad, tanto intrínseca como operacional, depende de indicadores de **confiabilidad** y **mantenibilidad**. Es preciso definir de forma transparente cuáles son las bases de cálculo que se establecen para determinar la **disponibilidad**. Pues se acostumbra a enunciar la disponibilidad sin especificar a cuál se está haciendo referencia y cuáles criterios fueron asumidos. A continuación, las fórmulas generalmente aceptadas para determinar la disponibilidad:

$$D_i = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR}$$

$$D_o = \frac{TMEF}{TMEF + TDP}$$

Donde:

Di-Disponibilidad intrínseca.

Do-Disponibilidad operacional.

TMEF-tiempo medio entre fallos.

TMDR-Tiempo medio de reparación.

TDP-Tiempo de paro total

Preciso es reconocer que una **reparación** o una **sustitución** no tienen que necesariamente 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 (hablamos 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.

TASA DE FALLOS Y ALCANCE DEL TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS (TMEF)

Cuando el número de fallos por unidad de tiempo, es decir, la **tasa de fallos** es constante, la distribución del tiempo entre fallos es **exponencial** y es posible entonces, predecir la fiabilidad basándonos en la **distribución exponencial**. Cuando esto no sucede, cabe aplicar alternativamente la **distribución de Weibull** u otras distribuciones de probabilidad. La distribución **exponencial** tiene un amplio uso por su relativa sencillez y porque en gran cantidad de casos, el activo en su conjunto presenta una **tasa de fallos** (λ) constante, independientemente del modelo (o los modelos) de fallo que presenten sus partes componentes individualmente. Cuando el principal mecanismo de fallo es el desgaste, la distribución exponencial no resulta válida. La fórmula de distribución exponencial de la fiabilidad es:

$$R(t) = e^{-t/TMEF} = e^{-\lambda t}$$

Donde:

R(t)-probabilidad de funcionamiento libre de fallos.

e-número de Euler (=2,718).

λ -Tasa de fallo (se supone constante para este caso).

TMEF-Tiempo medio entre fallos.

t-período especificado de funcionamiento libre de fallos.

Haciendo la suposición de que el activo se encuentra en su etapa de vida útil, es correcto aceptar que la tasa de fallos es constante. Ahora bien, en contra de la idea común de creer que existe un 50% de probabilidad de igualar o superar el **TMEF**, sin fallos, se contraponen la realidad que manifiesta que esa probabilidad es sólo del 37%. ¿Se atreve usted a demostrarlo? De modo, que el **TMEF** no es igual a la vida operativa ni tampoco es una medida aproximada de ésta. Se puede demostrar fácilmente que un aumento del **TMEF** no se refleja en un incremento proporcional de la fiabilidad del activo. Preciso será recordar que sólo es posible hablar de **TMEF** para partes, activos y sistemas reparables.

Por ejemplo, ¿cuál sería la probabilidad de que un compresor funcione sin fallos durante un tiempo igual o superior a 100 horas? La **tabla 1** muestra diferentes valores de **TMEF** necesarios para obtener distintos niveles de fiabilidad:

Tabla 1. Fiabilidad en función del TMEF.

TMEF	R (100) %
500	82
1000	90
2000	95
10 000	99
20 000	99,5

Se evidencia que es necesario que el **TMEF** se incremente en 10 veces (de 2000 a 20 000 h) para lograr un incremento en fiabilidad del 95 al 99,5%. Sin embargo, para valores más bajos de **TMEF** es suficiente que se duplique, para lograr 8 puntos de incremento de la fiabilidad. No sucede igual en los valores mayores donde una duplicación del **TMEF** sólo significa un incremento de 0,5 puntos en fiabilidad.

Bajo esta evidencia sería aconsejable acabar con el mito en torno al **TMEF** y valorarlo objetivamente. La **probabilidad de supervivencia** para un tiempo determinado (**R(t)**), dado un valor de **TMEF** especificado u obtenido, puede resultar un indicador mucho más útil y adecuado para la toma de decisiones en mantenimiento y para evaluar la confiabilidad en el contexto. ¿Coincide usted?

CONCLUSIONES

Cuando hablemos de confiabilidad debemos pensar en un concepto con un entramado de recursos y herramientas que permiten determinarla, predecirla y mejorarla. Es importante hacer notar, que se requiere cuantificar la confiabilidad del activo para poder evaluar si es necesario invertir en mejorarla o en mantenerla. No es posible el tratamiento integral de la confiabilidad de los activos si no se estudian las relaciones entre las diferentes variables que influyen en la confiabilidad intrínseca, la confiabilidad en el contexto real de operación, la confiabilidad humana y la gestión de la confiabilidad. Los costos de la confiabilidad se ven justificados porque reducen los costos por fallos y defectos crónicos que son, en una gran cantidad de casos, muy superiores a los costos de evaluación y prevención necesarios para reducir o eliminar las consecuencias de los primeros mencionados.

Es preciso considerar que existe una relación dialéctica entre **confiabilidad**, **mantenibilidad** y **disponibilidad**. Por ello, no siempre invertir en la confiabilidad del activo es lo mejor para obtener disponibilidad. Es recomendable considerar las posibilidades de mejorar también la mantenibilidad. Por otra parte, en cuanto a los indicadores de confiabilidad, el incremento del **TMEF** no significa un aumento proporcional de la fiabilidad del activo. Siendo relevante considerar que la **probabilidad de supervivencia del activo** (libre de fallos), para unas condiciones y un tiempo especificado, es un indicador que puede resultar de mayor utilidad para quienes operan y mantienen los activos de la empresa. En síntesis, mejorar la confiabilidad a través de una política integral sobre los activos resulta una decisión y una oportunidad de demostrar cuán **eficaces** y **eficientes** se puede llegar a ser, en comparación a lo que somos hoy o fuimos ayer.

La evidencia abrumadora de la necesidad de una elevada confiabilidad en las funciones de los activos para producir y poder hablar de competitividad empresarial, es hoy un hecho innegable. Por ello, están dadas importantes condiciones objetivas para desterrar las viejas ideas y transitar hacia otros paradigmas. La confiabilidad debe incorporarse dentro de cada diseño y cada proceso. No se puede crear mediante inspecciones, ni tampoco a través de pasivas declaraciones y buenos deseos. Si verdaderamente deseamos y necesitamos **eficacia** y **eficiencia** en el mantenimiento, entonces la confiabilidad integral de los activos, será parte implícita de la **estrategia** que se trace y se reflejará explícitamente en las **tecnologías** que se utilicen (ver **figura 9**).

Pero continuemos, en capítulo aparte, con el análisis de estrategias y tecnologías de mantenimiento.

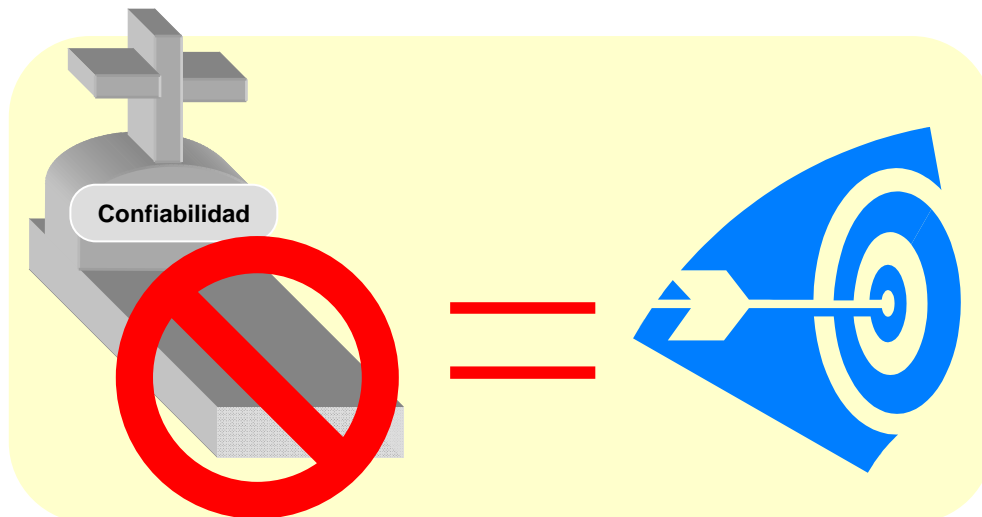


Figura 9. Desarrollar la confiabilidad: ¡Una decisión certera!

BLIBLIOGRAFÍA

- *Juran's Quality Control Handbook*, 4. edición.
- De Bono, Edward: *Tu estás bien , yo estoy mal*.
- MIL-STD-2074. *Failure classification for reliability testing*.
- Nakajima, Seiiki: *Introducción al TPM*.
- <http://en.wikipedia.org>
- <http://www.airdisaster.com>
- <http://grin.hq.nasa.gov>
- Sexto, Luis F.: *Catástrofes. Ni tan inesperadas, ni tan inevitables*. Revista **Bohemia Internacional**, Año 92 No. 2, febrero del 2000.
- Sexto, Luis F.: *El trasbordador espacial (Rumbo al cosmos)*. Revista **Sendas** Año 5 No. 27).
- *Otras notas y reflexiones del autor*.

DEL AUTOR

*M.Sc. Ing. Luis Felipe Sexto / felipe@ceim.cujae.edu.cu

Graduado de Diseñador Mecánico (1992), de Ingeniero Mecánico (1998) y Master en Ingeniería del Mantenimiento Mecánico (2003). Profesor de la Universidad Politécnica de la Habana José A. Echeverría (CUJAE), Centro rector de la enseñanza de la Ingeniería y la Arquitectura en Cuba. Ha desarrollado investigaciones y trabajos de asistencia técnica relacionados con el desarrollo y aplicación de tecnologías de mantenimiento, y temas vinculados, en empresas fundamentalmente pertenecientes a los ministerios de la Industria Básica, el Turismo y la Alimentación. Consultor facilitador para la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en la empresa de Mantenimiento de Petróleos de Cuba (CUPET, 2003-2004). Ha realizado trabajos Asistencia Técnica y consultoría en la gestión de los servicios técnicos de la cadena hotelera dominicana Sol de Plata S.A. (2002). Ha participado como ponente en congresos nacionales e internacionales. Sus trabajos se han expuestos en países como Perú, Bolivia, Argentina, República Dominicana y México. Las temáticas principales de investigación aplicada se asocian a la gestión de calidad, la medición y el control de ruido, y el diagnóstico por vibraciones de máquinas rotatorias. Es uno de los fundadores del Comité Técnico Nacional de Normalización No. 98, Vibraciones y Acústica, perteneciente a la Oficina Nacional de Normalización. Secretario del subcomité No. 1, Ruido del CTN 98. Forma parte del equipo de trabajo que recibió premio de La Academia de Ciencias de Cuba 2001. Nombrado, en junio de 2002, Coordinador Regional de Cuba ante el Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento (COPIMAN), perteneciente a la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (UPADI).

¹ Tema propuesto al autor por el Comité Organizador del Evento.