

Mantenimiento Predictivo (CBM)

4.1 Consideraciones generales

Dentro del mantenimiento preventivo se encuentra esta otra rama destinada a predecir la ocurrencia de una falla. La provisión de máquinas y los equipos de una empresa se realiza en base a especificaciones técnicas bien precisas de acuerdo al proceso en el que se desarrollarán. Por su parte la empresa a través de la gerencia de compras realiza una búsqueda en el mercado para satisfacer tanto las especificaciones como el precio recurriendo a dos o más proveedores o fabricantes. Por lo general como solución de compromiso se optará por aquella alternativa que cumpla las condiciones básicas de productividad y calidad al menor costo. Mantenimiento debe procurar que el proveedor entienda los problemas que la empresa tendrá si las especificaciones no se respetan y exigir a compras que las mismas se cumplan al mejor nivel tecnológico, lo que a veces por una cuestión de presupuesto no es posible. Por otro lado el fabricante también en una cadena de exigencias debe procurar que a su vez sus proveedores le suministren componentes confiables a un costo razonable y deberá fabricar el equipo de manera que cumpla o supere las especificaciones. Sumado a lo anterior es posible que las máquinas una vez emplazadas y en producción no sean operadas y cuidadas inicialmente de acuerdo a lo que se recomienda, lo que redundará en una pérdida de las condiciones técnicas originales de instalación. Por todo lo expuesto hasta aquí se desprende que los equipos fallarán antes de lo previsto de manera inesperada y con consecuencias mas o menos graves dependiendo todo esto de múltiples factores. Por lo tanto si se trabaja en todos los niveles del ciclo de vida del equipo de acuerdo a las especificaciones técnicas de construcción, instalación, manutención y operación se estará reduciendo la probabilidad de la aparición de fallas, aunque la eliminación absoluta de estas sea imposible. En efecto, pese a toda prevención, la concurrencia de múltiples factores puede disparar el mecanismo que deriva en una falla y por ello es necesario poder anticiparse a su ocurrencia. Este es el fin del mantenimiento predictivo, es decir es un conjunto de técnicas destinadas a pronosticar fallas y alertar al mantenimiento programado para evitarlas. De esta manera se puede establecer el punto a partir del cual la probabilidad de que el equipo falle tiene niveles indeseables.

Los tipos de fallas que pueden ocurrir están vinculados a la etapa de la vida del equipo. Así se tiene:

- -Fallas durante la instalación y puesta en marcha de los equipos
- -Fallas que ocurrirán de manera normal y aleatoria después de la instalación
- -Fallas en el último período de vida del equipo.

En el primer caso las fallas se producen en el inicio de las operaciones y su probabilidad es alta pero con una fuerte pendiente de reducción. En la fase de ajuste del equipo estas anomalías se deben a desviaciones en la fabricación, montaje, instalación o a equivocaciones en el diseño, aunque también se pueden atribuir a defectos en los componentes provistos por terceros. En este período la curva de probabilidad tendrá una caída pronunciada no por el hecho de que los componentes o conjuntos no fallarán en adelante, sino porque serán reemplazados aquellas partes deficientes y serán corregidos los defectos de fabricación o diseño .

A continuación se presenta un andar de la curva de la tasa de falla estabilizado donde los desperfectos del equipo y de sus elementos constitutivos registran un nivel casi constante de desviaciones. Solo puede ser superado mediante un diseño mejorado del equipo y la provisión de componentes de mayor calidad, por ende mas costosos. Es necesario establecer si el nivel de fallas previsto en esta depresión satisface las necesidades del proceso, pero lo importante es que en esta etapa se espera un comportamiento estable y por lo tanto de mayor previsión.

La próxima etapa en la vida de un equipo está signada por una tasa de falla creciente por desgaste de los componentes hasta un punto en que si no se actúa con anticipación se producirá inoperatividad del medio. Aquí se hace necesario efectuar una evaluación de los costos para mantener el equipo en operación en función de la vida útil remanente del mismo ya que no solo se debe considerar el costo de las reparaciones sino la pérdida de productividad y de calidad del producto.

En cada una de estas etapas se utilizan distintas funciones de distribución de la probabilidad de fallas, según la que mejor reproduzca el fenómeno.

Finalmente la función que representa la tasa de falla de los equipo a lo largo del tiempo tiene un gráfico llamado *curva de Davis* mas conocida como *curva de la bañera* por semejanza con la forma de esta.(Figura 4.2.1)

4.2 Análisis de las condiciones

La forma de predecir la aparición de fallas mas utilizada es mediante el relevamiento de las condiciones o síntomas que manifiestan los componentes de los equipos, de ahí el nombre de *mantenimiento basado en las condiciones* o CBM. Esta es la base difundida del mantenimiento predictivo y a diferencia del análisis estadístico que requiere una gran masa de datos históricos para establecer la probabilidad de falla, el CBM realiza relevamientos de los parámetros significativos de los elementos considerados críticos de los equipos.

Cada órgano de máquina tiene características funcionales y dimensionales establecidas en el diseño y se deben mantener a lo largo de toda la vida útil del equipo.

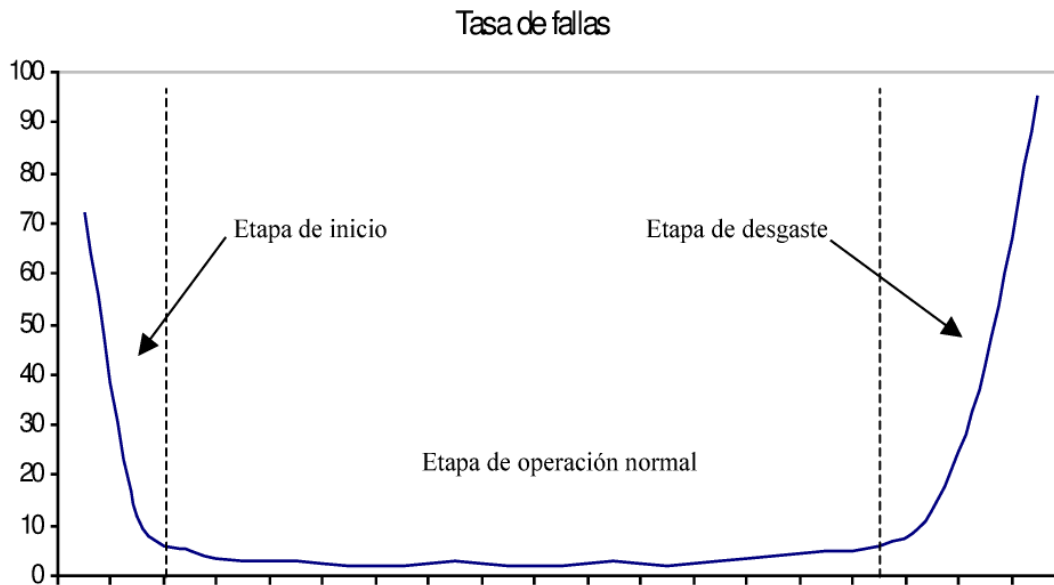


Figura 4.2.1

El ingeniero Rittmeister propone en su trabajo “Mantenimiento: Conceptos Básicos” considerar el conjunto de las especificaciones originales de diseño de un componente de máquina $\{E_0\}$ tal que:

$$\{E_0\} = \{E_{01}, E_{02}, E_{03}, \dots, E_{0n}\}$$

y el conjunto de las mismas especificaciones de diseño que han cambiado con el correr del tiempo , $\{E\}$

$$\{E\} = \{E_1, E_2, E_3, \dots, E_n\}$$

por lo que al cabo de un determinado tiempo:

$$\{E_0\} \rightarrow \{E\} \text{ y } E_{01} \rightarrow E_1$$

$$E_{02} \rightarrow E_2$$

.....

$$E_{0n} \rightarrow E_n$$

Es decir habrá una diferencia entre el estado inicial de un parámetro dado y la condición del mismo al cabo de un tiempo t que llamaremos *degeneración* de la especificación de la pieza y que naturalmente determina la capacidad del componente para seguir funcionando. La degeneración de la variable E_i a lo largo del tiempo establece una curva $E(t)$ permitiendo proyectar en el tiempo en que momento el valor del parámetro es inaceptable (Figura 4.2.2). Las variables de E pueden ser consideradas a partir de ítem operativos como consumos energéticos o de lubricantes o bien como desviaciones de dimensiones o funcionales tal como desgaste de superficies, juego o desalineamiento de partes mecánicas, vibraciones, ruidos o temperaturas por sobre las especificadas. Consideremos

de manera genérica un parámetro E_i y su valor límite E_L por debajo del cual el funcionamiento de la pieza es inaceptable desde el punto de vista técnico económico. Por convenio se ha fijado la degeneración como un fenómeno que disminuye la especificación original pero se podría haber tomado una desviación que se considere como incremento de su valor.

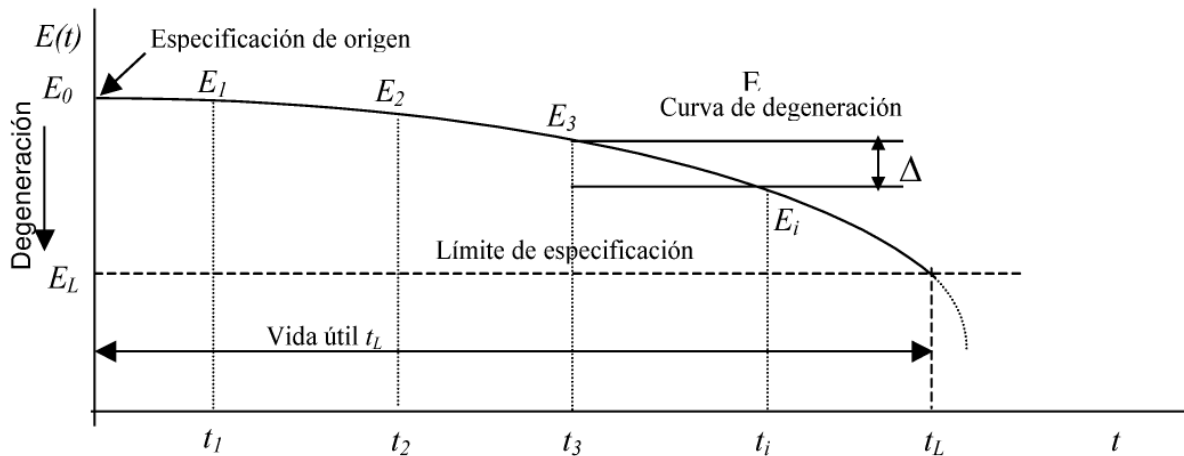


Figura 4.2.2

La degeneración entre dos estados consecutivos es:

$$\Delta = E_i - E_{i-1}$$

las condiciones que hacen que el equipo tenga una degeneración mayor que el límite ($E < E_L$) pueden deberse a que se ha excedido el tiempo de la vida útil del elemento y estamos en la zona donde la falla será inminente y deberá actuar el mantenimiento a roturas. Pero puede ocurrir que la curva de degeneración tenga un cambio brusco en su pendiente y se traspase el piso de E_L antes de terminar con la vida útil t_L prevista, tal vez debido a algún fenómeno imprevisto no ponderado.

Con todo lo expuesto es posible, mediante inspecciones rutinarias, determinar los valores que las especificaciones tienen a lo largo del tiempo y a través de éstas realizar extrapolaciones previendo cuando $E(t)$ corta a E_L y por ende la vida útil del elemento. Por consiguiente lo que se pretende con el CBM es:

- -Anticiparse a la falla midiendo las señales que los componentes emiten.
- -Determinar la vida útil de los componentes críticos.
- -Devolver información a los entes técnicos de manera de corregir o evitar las degeneraciones E_i .
- -Aumentar la vida útil de la máquina, evitar las pérdidas operativas, de calidad, seguridad o ambientales
- -Mantener el valor del activo disminuyendo su depreciación.

La experiencia dice que si no se determina la curva de degeneración o sea el andar del elemento y su duración, el mantenimiento periódico TBM será un gasto mas que un ahorro. A nivel mundial se ha establecido que la implantación del mantenimiento periódico ha aportado ahorros importantes en el costo de transformación del producto pero, en una instancia posterior, cuando se han logrado tener bajo control las grandes desviaciones, los ahorros no son tan significativos. Lo que sucede es

que si no se adecuan las frecuencias de las inspecciones éstas no son lo suficientemente reveladoras de que algo anda mal. Es como si el sistema estuviera sobre dimensionado. Publicaciones especializadas en mantenimiento en los Estados Unidos mencionan que el 30% del costo del mantenimiento puede ser reducido después de haber realizado las primeras mejoras. Es aquí donde toma fuerza la predicción a través de la captación de las señales de los componentes. Establecida claramente la curva de degeneración se pueden predecir el funcionamiento de los puntos críticos y en consecuencia realizar rutinas de inspección más ajustadas.

Las principales técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo son:

- 1) Análisis de vibraciones.
- 2) Análisis termográfico infrarrojo.
- 3) Análisis de los fluidos y aceites.
- 4) Mediciones de las temperaturas.
- 5) Medición de la potencia eléctrica absorbida.
- 6) Percepción de ruidos y vibraciones.

4.3 Análisis de vibraciones

El mantenimiento predictivo de los equipos basada la detección de las vibraciones es una técnica muy difundida y elaborada basada en rigurosas formulaciones físico matemáticas y tiene el aval de muchísima experiencia y de importante instrumental tecnológico. Es en si misma toda una especialidad de la ingeniería y requiere para su desarrollo operativo si bien no un especialista en vibraciones pero si mucha capacitación teórica y exhaustivo entrenamiento en planta.

Las máquinas están compuestas por órganos mecánicos los cuales en su tapa inicial se encuentran perfectamente equilibrados y ajustados. Esto permite que el andar del equipo sea sereno y exento de vibraciones fuera de las especificadas. Pero con el transcurrir del tiempo, como vimos en los párrafos anteriores, hay una degeneración que dependerá del tipo de órgano o de la clase de carga a que cada uno de estos se encuentra sometido y que genera vibraciones imperceptibles primero y luego en oscilaciones de mayor amplitud y en ruidos. Los elementos susceptibles de generar estas señales son los rodamientos deteriorados, ejes rotantes flexionados, árboles motrices desalineados, poleas o volantes desbalanceados o excéntricos, engranajes con defectos en la geometría de sus dientes, correas flojas, falta de lubricación, desequilibrios por deformaciones estructurales o térmicas o fuerzas pulsantes de origen hidrodinámico o aerodinámico.

La vibración es la oscilación de un punto o masa alrededor de una posición de referencia. Los distintos componentes de las máquinas, sometidos a cargas dinámicas vibrarán en distintas frecuencias y amplitudes, siendo estas oscilaciones causa en muchos casos de desgaste de los mismos, de la fatiga de los materiales y también, si no se controla a tiempo, de la rotura de la máquina. El diagnóstico mas elemental es la percepción de la vibración a través de los sentidos pero en esta instancia la degeneración ha seguramente alcanzado niveles peligrosos.

El estudio el movimiento vibratorio considera a todo cuerpo constituido por: su masa, elasticidad y propiedad de amortiguación. Cada una de estos atributos da origen a fuerzas actuantes en el sistema.