



CRIM

Identificación de la mejor estrategia de mantenimiento para plantas de procesamiento complejas

KARI SAARINEN, SHIVA SANDER TAVALLAEY, PATRIK M. WESTERLUND – Cambiar de una estrategia de mantenimiento reactivo a una de mantenimiento preventivo puede producir importantes ahorros de costes en muchos sectores industriales. Sin embargo, en las industrias de transformación, una instalación puede tener muchos miles de elementos que merezcan mantenimiento, lo que hace poco práctica o incluso imposible una estrategia de mantenimiento exclusivamente preventivo. ¿Cómo determinar la estrategia mixta óptima de mantenimiento para tales situaciones? El CRITicality-analysis-based Maintenance [Mantenimiento basado en análisis de criticidad] (CRIM) presenta una metodología de planificación sistemática del mantenimiento para identificar equipos críticos y planes adecuados de mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y del proceso. El método utiliza una evaluación rápida de la criticidad de los equipos de la planta antes de un análisis del coste del ciclo de vida.



CRIM puede proporcionar una estrategia rentable de mantenimiento para toda la planta gracias a la utilización sistemática del análisis de criticidad, el análisis del coste del ciclo de vida y las estimaciones de la vida útil.

El término “optimización del mantenimiento” guarda relación con una amplia gama de métodos, desde los empíricos, basados en la simple experiencia, hasta los métodos sistemáticos complejos. Ejemplos de métodos sencillos incluyen el mantenimiento donde se tiene en funcionamiento el equipo hasta que se produce el fallo, adecuado para equipos redundantes y con una tasa de fallos muy baja; el mantenimiento basado en el tiempo (TBM), más eficaz cuando la revisión general o la sustitución

del equipo es barata en comparación con el coste de un fallo y predomina un modo de fallo conocido y sencillo; y el mantenimiento basado en la condición (CBM), que es el que presenta mejor relación entre coste y eficacia para equipos críticos.

Los métodos más complejos incluyen el mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM), el método más minucioso para determinar el procedimiento de mantenimien-

to proactivo correcto que se debe usar para una alta fiabilidad del sistema; y el mantenimiento productivo total (TPM), que combina unas políticas de gestión de

la calidad total y el mantenimiento proactivo a fin de conseguir el máximo rendimiento de la producción. El RCM es un método bastante oneroso y el TPM se centra en maximizar la producción de las máquinas, por lo que ninguno de ellos es

Los factores que influyen en la criticidad se determinan por consenso con los expertos de mantenimiento y del proceso.

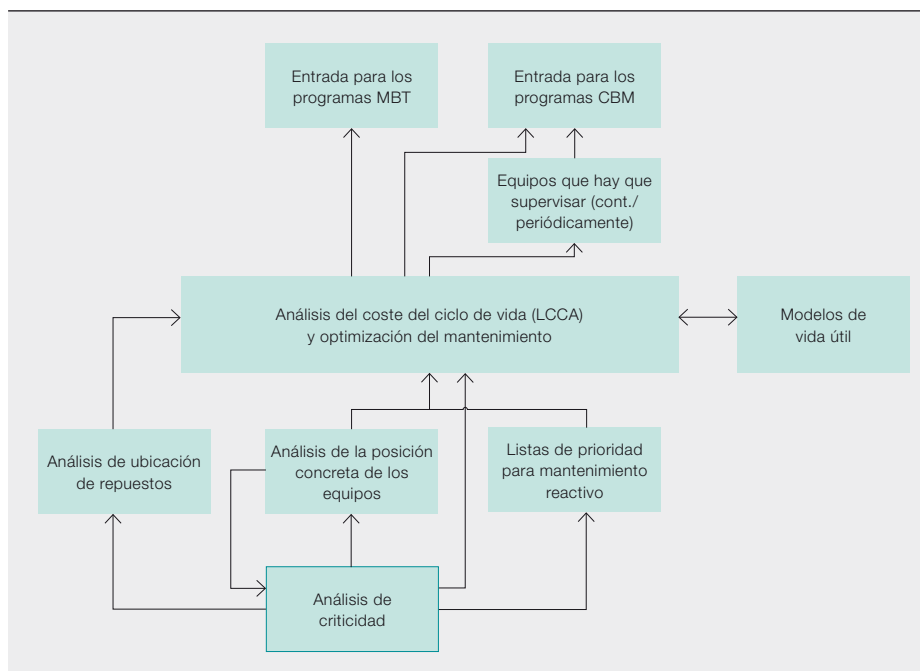
apropiado en el contexto que aquí se contempla. Sin embargo, la metodología CRIM de ABB resulta apropiada ya que puede proporcionar una estrategia de

Imagen del título

La decisión sobre las estrategias adecuadas de mantenimiento en una planta con muchos miles de dispositivos (como esta instalación de peletización de mena de hierro) puede ser difícil. CRIM ayuda a identificar planes de mantenimiento adecuados.

La evaluación de la criticidad incluye el análisis cuantitativo de los eventos y los fallos y el proceso de su ordenación según la gravedad de las consecuencias.

1 Diagrama de flujo del proceso CRIM



mantenimiento rentable para toda la planta al utilizar sistemáticamente el análisis de criticidad (CA), el análisis del coste del ciclo de vida (LCCA) y las estimaciones de la vida útil.

Análisis de criticidad

La criticidad es una medida relativa de las consecuencias de un fallo. De la misma forma, una evaluación de la criticidad incluye el análisis cuantitativo de eventos y

fallos, y su ordenación según la gravedad de las consecuencias del fallo. En otras palabras, en este método sólo se evalúan las consecuencias de los fallos; las probabilidades de fallo se consideran posteriormente en el LCCA.

En la reunión del equipo de CA el coordinador plantea un conjunto de cuestiones cuidadosamente seleccionadas y escoge los niveles de criticidad para cada factor de criticidad.

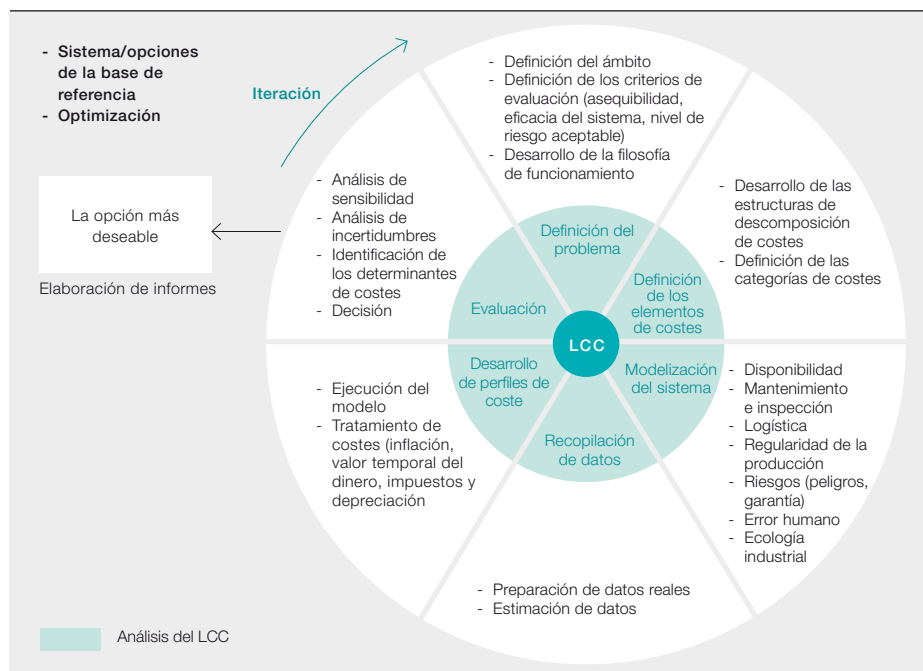
CRIM

El proceso CRIM se inicia con un análisis de criticidad, un proceso fundamental en cualquier método de mantenimiento y fiabilidad → 1. El CA proporciona la base para determinar el valor de los equipos específicos y el impacto que tiene sobre la seguridad de las personas, el medio ambiente y el proceso de producción. El CA determina asimismo el nivel de atención que precisan los equipos en cuanto a la estrategia y las tácticas de mantenimiento.

El segundo paso del proceso CRIM es el LCCA, que se lleva a cabo para los objetos críticos a fin de demostrar las ventajas de usar determinados programas de mantenimiento para ese objeto → 1.

Con un proceso bien definido y las herramientas adecuadas, es posible evaluar de forma rentable miles de piezas de equipos.

Antes de iniciar el análisis de criticidad, el coordinador de ABB pide al cliente que cargue una lista de todas las posiciones de equipo que se vayan a analizar en la herramienta de CA. En la reunión del equipo de CA, el coordinador plantea un conjunto de cuestiones cuidadosamente seleccionadas para cada posición y, entre las respuestas, escoge los niveles de criticidad adecuadamente calibrados para cada uno de los factores de criticidad considerados. Estos factores habrán sido identificados previamente en las discusiones con los expertos de mantenimiento y del proceso. El nivel final de criticidad que



La diferencia entre las pérdidas de producción debidas a fallos de los equipos y las debidas a una acción de mantenimiento preventivo es el elemento fundamental del análisis.

El LCCA es una actividad colectiva que comprende muchas clases de análisis encaminados a determinar los costes y la rentabilidad de un sistema o pieza de equipo a lo largo de su vida útil.

se genera automáticamente para cada recurso tiene en cuenta el tiempo de inmovilización, el tiempo de respuesta de la producción, la capacidad, la calidad, el medio ambiente, la seguridad y las pérdidas de energía producidas por los fallos de los equipos y los eventuales efectos secundarios. A partir de todo ello se prepara un informe de CA.

El análisis del coste del ciclo de vida

El LCCA es una actividad colectiva que incluye muchas clases de análisis destinados a determinar los costes y la rentabilidad de un sistema o pieza de equipo a lo largo de su vida útil, incluyendo I+D, construcción, explotación, mantenimien-

to y eliminación → 2. El LCCA comienza con el proceso de definición del problema como se muestra en la figura y continúa en el sentido de las agujas del reloj de manera iterativa hasta que se hayan satisfecho todos los criterios definidos en el primer proceso.

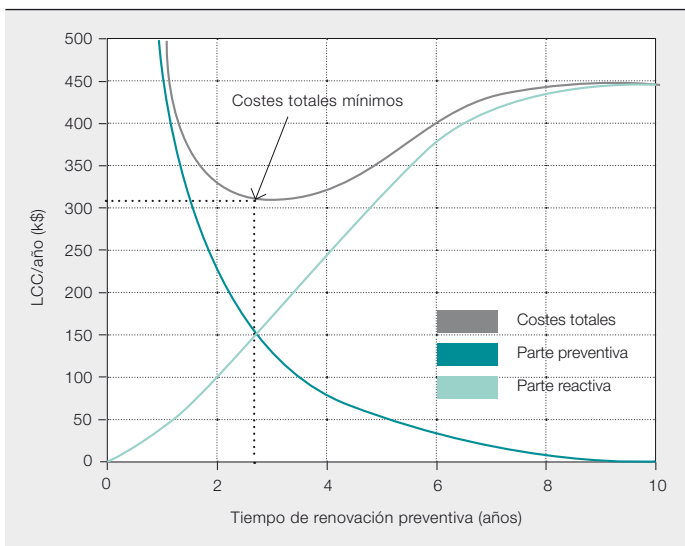
En el caso del CRIM, el problema consiste en determinar los costes medios de mantenimiento a largo plazo por unidad de tiempo que sean mínimos, calculados para estrategias de mantenimiento reactivo, basado en el tiempo y basado en la condición.

El concepto de LCCA aplicado aquí sólo considera aquellos costes que dependen de la estrategia de mantenimiento seleccionada para esa pieza de equipo. Por tanto, el único coste de capital considerado es el coste del equipo específico necesario para el CBM. En consecuencia, no hay ningún coste de capital relacionado con la estrategia de mantenimiento reactivo. El coste de explotación se divide entre el coste anual fijo y los costes debidos a las acciones de mantenimiento reactivo o preventivo. El coste anual fijo incluye sólo los costes debidos a la vigilancia de la condición.

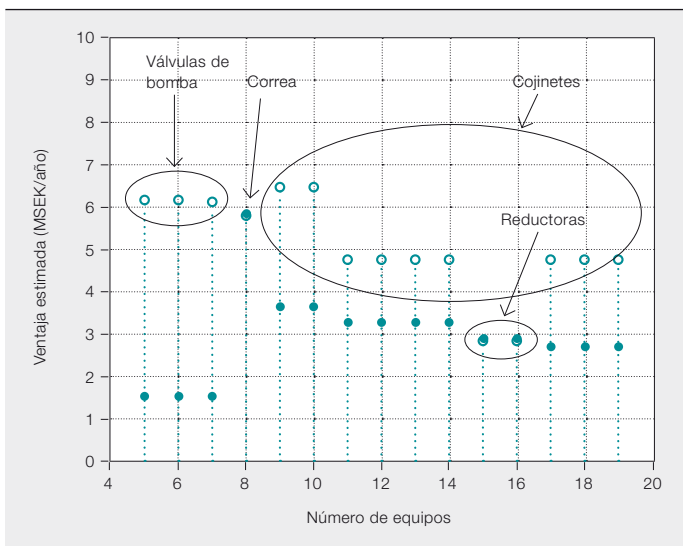
El elemento fundamental del análisis es la diferencia entre las pérdidas de producción debidas a fallos de los equipos y las debidas a una acción de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento proactivo o preventivo se inicia basándose en las predicciones de la necesidad de mantenimiento y su

3 LCC de un objeto de mantenimiento renovado después de tTB años o en caso de fallo.



4 Ventaja de utilizar MBT (círculos) o control de la condición (estrellas) calculada para equipos con criticidad 4 o 5 del proceso



En el caso del CRIM, el problema consiste en determinar los costes medios de mantenimiento a largo plazo por unidad de tiempo que sean mínimos, calculados para estrategias de mantenimiento reactivo, basado en el tiempo y basado en la condición.

definición no incluye la etapa del diagnóstico. Si el proceso está bien diseñado y preplanificado, el tiempo de inmovilización de la producción debe ser mucho más corto que en el proceso reactivo. Además, todos los materiales necesarios pueden pedirse antes de que se produzca el fallo, de forma que estén listos para ser utilizados cuando se precisen.

De esa forma, el coste medio del mantenimiento a lo largo de un período es una suma de distintos costes de mantenimiento, cada uno de ellos ponderado con la frecuencia del tipo de mantenimiento concreto. Las frecuencias y el número total de acciones de mantenimiento dependen de la estrategia de mantenimiento seleccionada. Estas frecuencias se estiman mediante modelos de la duración de vida que incorporan las condiciones operativas de los objetos de mantenimiento. Estas condiciones: temperatura, suciedad, carga, etc., se evalúan durante el análisis específico para la posición del equipo crítico descrito anteriormente.

El paso siguiente en el análisis es utilizar los modelos de duración de vida y de costes para elaborar el modelo del coste del ciclo de vida (LCC) para cada una de las estrategias de mantenimiento. En un ejemplo de TBM de la vida real, donde el componente se sustituye una vez que alcanza su edad de sustitución preventiva prevista o en el momento del fallo, lo que ocurra antes, el tiempo de sustitución óptimo ha resultado ser de 2,8 años, lo que se traduce en un LCC de 310.000 dólares al año → 3.

También se puede aplicar el LCCA para optimizar la localización de los repuestos calculando distintos LCC para una selección de esas localizaciones.

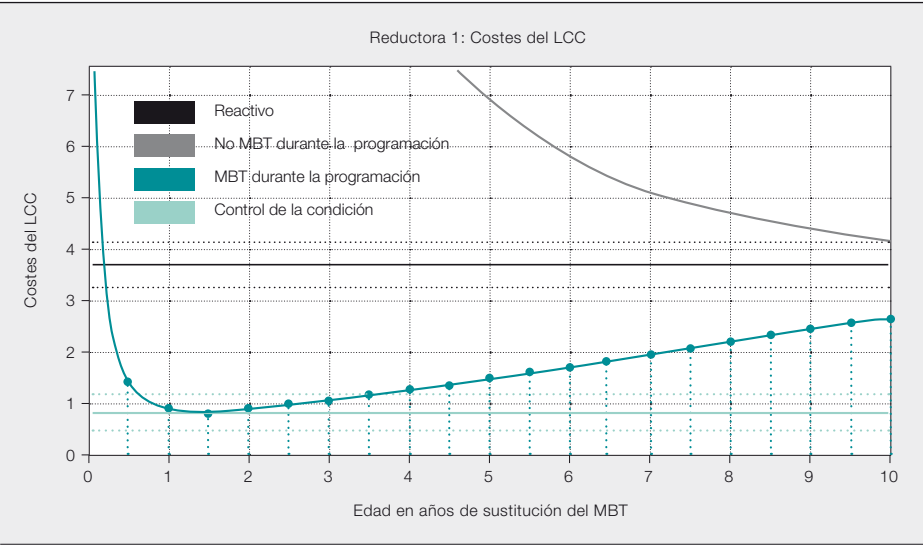
Se puede someter la repercusión sobre el resultado de los cambios en los parámetros de entrada a un análisis de sensibilidad e incertidumbre. La variación de los parámetros de entrada a lo largo de un determinado abanico puede demostrar la repercusión en el coste de los factores y las soluciones de compromiso más importantes.

Cifras del CRIM

Un CA de dos días en un emplazamiento piloto de un cliente seleccionó 698 piezas de equipos de dos líneas de proceso. La calibración y la presentación duraron aproximadamente medio día. La evaluación de las 100 primeras unidades tomó la otra mitad del primer día. Después, la velocidad de la evaluación varió entre 50 y 100 unidades por hora. El CA alimenta el LCCA y la herramienta relaciona los costes finales calculados por el LCCA para los componentes críticos identificados → 4.

Se pueden resumir todos los resultados del LCC calculados para un objeto, por ejemplo, una caja de engranajes → 5. Las líneas de trazos de la figura muestran las incertidumbres de las distintas estimaciones del LCCA. En este caso, hay un intervalo de tiempo óptimo para que la estrategia de TBM compita con las estrategias correspondientes de CBM. Por otro lado, se demuestra que un TBM que no se produce durante las pausas para mantenimiento programado no presenta ningún

5 LCC del ejemplo de “reductora 1” en función de la edad de sustitución. Se supone una incertidumbre del 10% (líneas de puntos) en los parámetros del modelo de vida útil.



6 La consecuencia de un valor menor de criticidad en el LCC a causa de un cambio en la ubicación de los repuestos

Nombre del grupo	Variación de la criticidad	Variación del LCC (k\$/año)	Coste de las piezas de repuesto (k\$)
Interruptores	5 → 2	350	31
Válvulas de bomba	5 → 3	512	15
Ventiladores de refrigeración	3 → 1	113	3
Sensores	3 → 1	77	3

mínimo y es más caro que el mantenimiento reactivo. Se suele efectuar un análisis de sensibilidad que calcule el efecto de una pequeña variación positiva o negativa del valor de cada parámetro sobre el resultado del LCC. La lista de repuestos generada por la herramienta del CA se utiliza para una posterior optimización de las localizaciones de los repuestos mediante el LCCA. Una comparación del LCC calculado para los objetos listados con dos supuestos diferentes sobre las ubicaciones de los repuestos, a saber, retrasos logísticos de más de un día frente a una hora, indica que, en algunos casos, el LCC puede disminuir drásticamente simplemente disponiendo el repuesto más cerca del equipo, o aumentando la disponibilidad de repuestos. Además, cambiar la ubicación del repuesto puede afectar directamente al valor de la criticidad calculado en la herramienta de CA: en el ejemplo se ha observado una disminución desde el máximo valor de cinco al valor no crítico de dos → 6. Las consecuencias de tal disminución del valor de criticidad puede verse en la variación del LCC → 6. El coste corres-

pondiente de los repuestos empleados en el cálculo es sólo una fracción del coste del LCC.

La solución CRIM

CRIM contribuye en gran medida a la resolución del difícil problema de encontrar una mezcla óptima de estrategias de mantenimiento predictivo, preventivo y de funcionamiento hasta la presentación del fallo para los miles de unidades de equipo de su planta. En el emplazamiento piloto, eligiendo una estrategia adecuada de CBM y aplicando buenos métodos de vigilancia de la condición para las válvulas y cojinetes de bombas críticas, se identificaron ahorros en el LCC de 620.000 dólares al año. Un importante resultado del estudio piloto es que el análisis CRIM sería adecuado durante la fase de diseño de la planta o como parte de la prueba de aceptación en fábrica. Además, es de vital importancia que el proceso incorpore competencia en todos los campos. Quizá el respaldo más fuerte para el método CRIM haya sido el comentario del cliente, “¿Podemos permitirnos abstenernos de realizar un análisis CRIM de toda la fábrica?”

Kari Saarinen
Shiva Sander Tavallaey
ABB Corporate Research
Vasterås, Suecia
kari.saarinen@se.abb.com
shiva.sander-tavallaey@se.abb.com

Patrik M. Westerlund
ABB AB, Process Automation, Mining
Umeå, Suecia
patrik.m.westerlund@se.abb.com

Referencias
[1] Y. Kawauchi y M. Rausand. (1999). Life cycle cost analysis in oil and chemical process industries. Disponible en: <http://www.ntnu.no/ross/reports/lcc.pdf>