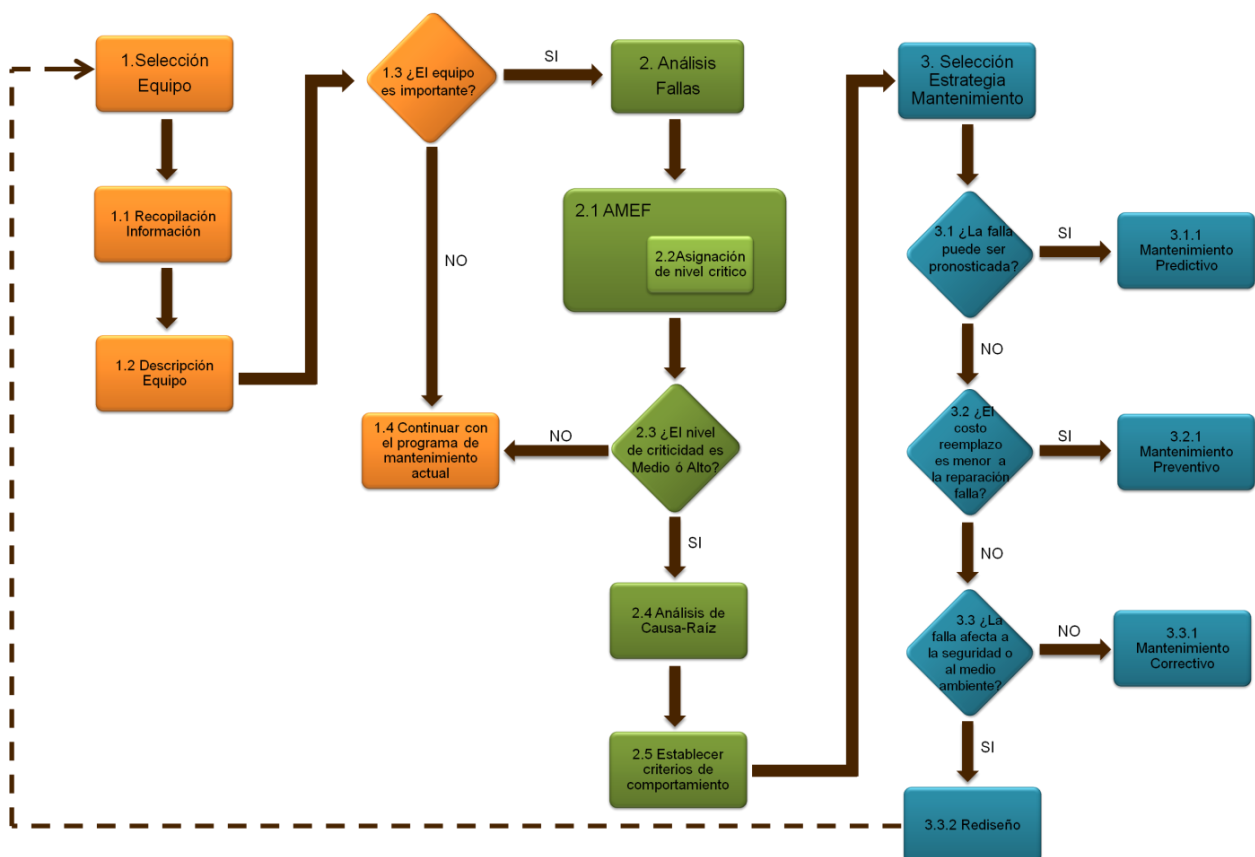


### 3. METODOLOGIA

El uso del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) consiste en la aplicación de una serie de pasos apoyados en la utilización de diversas herramientas para alcanzar la confiabilidad a nivel componente, sistema y planta, con la finalidad de lograr y mejorar la productividad de la central. La figura 3.1 muestra el diagrama de flujo del MCC, el cual consta de tres fases. La primera fase la integran la recopilación de información, después se analiza la situación actual del sistema dividiendo el proceso general de producción en subprocesos y por último y se selecciona el equipo que estará bajo análisis del MCC mediante una evaluación para identificar el equipo importante que integra al subsistema.



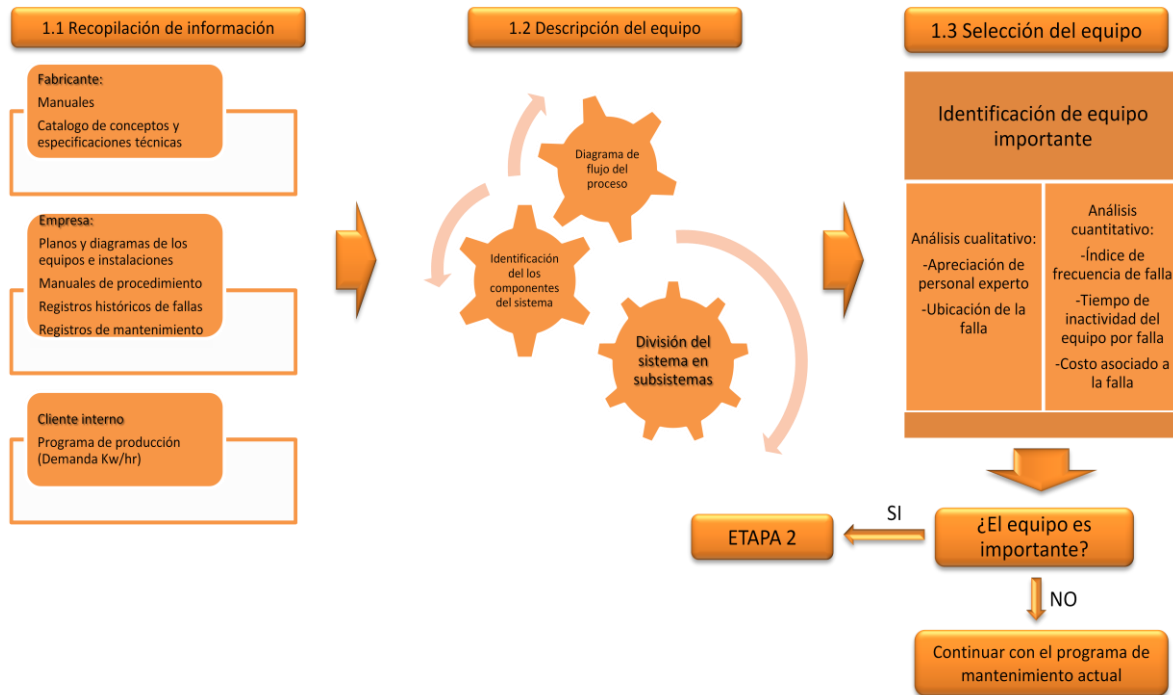
**Figura 3.1** Diagrama de flujo de aplicación general del MCC (elaboración propia).

La segunda fase esta direccionada al equipo importante en donde se incluye el análisis de modo y efecto de fallas (AMEF), el cual permite identificar las funciones del equipo, el modo de falla y las causas de la misma las cuales están asociadas a otra etapa de la fase que consiste en la clasificación del impacto de la falla; continuando con el AMEF se identifican los efectos de las fallas y finaliza con el análisis de los componentes críticos que tiene por objetivo clasificar los riesgos como alto, medio o bajo. Los riesgos clasificados como alto y medio, continúan con análisis de causa raíz para descubrir las causas que originan las fallas e identificando los elementos asociados. Y por último, la tercera fase corresponde a la selección de la estrategia de mantenimiento.

A continuación se describen más a detalle cada una de las fases del diagrama general de aplicación del MCC

### **3.1 Fase I. Identificación de los elementos de estudio para el MCC**

La primera fase va dirigida a identificar los equipos y elementos involucrados en la implementación del MCC. Como se muestra en la figura 3.2 esta fase está integrada por tres partes: recopilación de información, diagrama de flujo del proceso y selección del equipo.



**Figura 3.2** Fase I. Identificación de los elementos de estudio para el MCC (elaboración propia).

Al iniciar el plan de implementación del MCC es importante realizar una exploración sobre los datos necesarios que permitirán su desarrollo, por tal motivo la recopilación de la información será a partir de varias fuentes:

- **Fabricante:** el fabricante o proveedor de los equipos asociados al proceso productivo, proporcionan cierta información útil, tal como manuales de uso, catálogos de conceptos y especificaciones, diseños o diagramas de los componentes, así mismo en las pólizas de garantía establecen la duración del equipo y recomendaciones para reparaciones o sustitución de las partes.
- **Empresa:** dentro de la empresa se encuentra la mayor disponibilidad de datos e información y para el análisis del MCC es necesario contar con los manuales de procedimientos asociados al equipo, planos y diagramas y registros como históricos de fallas, de mantenimiento preventivos y correctivos ejecutados, número y frecuencia de mantenimientos preventivos dentro del período, costos de mantenimiento, entre otros.

- Cliente: representa un factor importante dentro de la implementación del MCC ya que la efectividad del proceso productivo va encaminado al cumplimiento y satisfacción de la demanda establecida por cliente. Por tal motivo, los requerimientos del cliente permiten establecer las metas y objetivos de producción, así como la determinación de la disponibilidad necesaria de los equipos.

La siguiente etapa está relacionada con la descripción del sistema a analizarse, en donde es importante hacer un desglose de lo general hasta lo más específico, indicando la relevancia o impacto del sistema sobre el proceso. El uso de herramientas como el diagrama de flujo y diagramas de bloques resulta útil, ya que permite visualizar las diferentes etapas del proceso productivo e identificar los componentes importantes del sistema.

La última parte, consiste en la identificación del equipo importante y equipo general, ya que no es necesario aplicar MCC a todo el equipo (sin embargo puede hacerse) por lo tanto el proceso de selección permite asegurar la inversión de tiempo y recursos en donde más se requiere y a los componentes más significativos dentro del proceso.

La selección se realiza a partir de un análisis cualitativo y cuantitativo. El análisis cuantitativo está relacionado con el índice de frecuencia de la falla asociado a cada componente, el tiempo de inactividad del equipo por la falla que involucra el tiempo en que se repara el equipo, y en caso de no contar con las piezas de repuesto también se suma el tiempo de suministro de las partes así como el tiempo requerido para que el equipo vuelva a funcionar (tiempo de arranque de la máquina). Por último se consideran los costos involucrados con la ocurrencia de la falla.

El análisis cualitativo está principalmente vinculado por las recomendaciones del personal involucrado, tomando como referencia sus experiencias para ayudar a

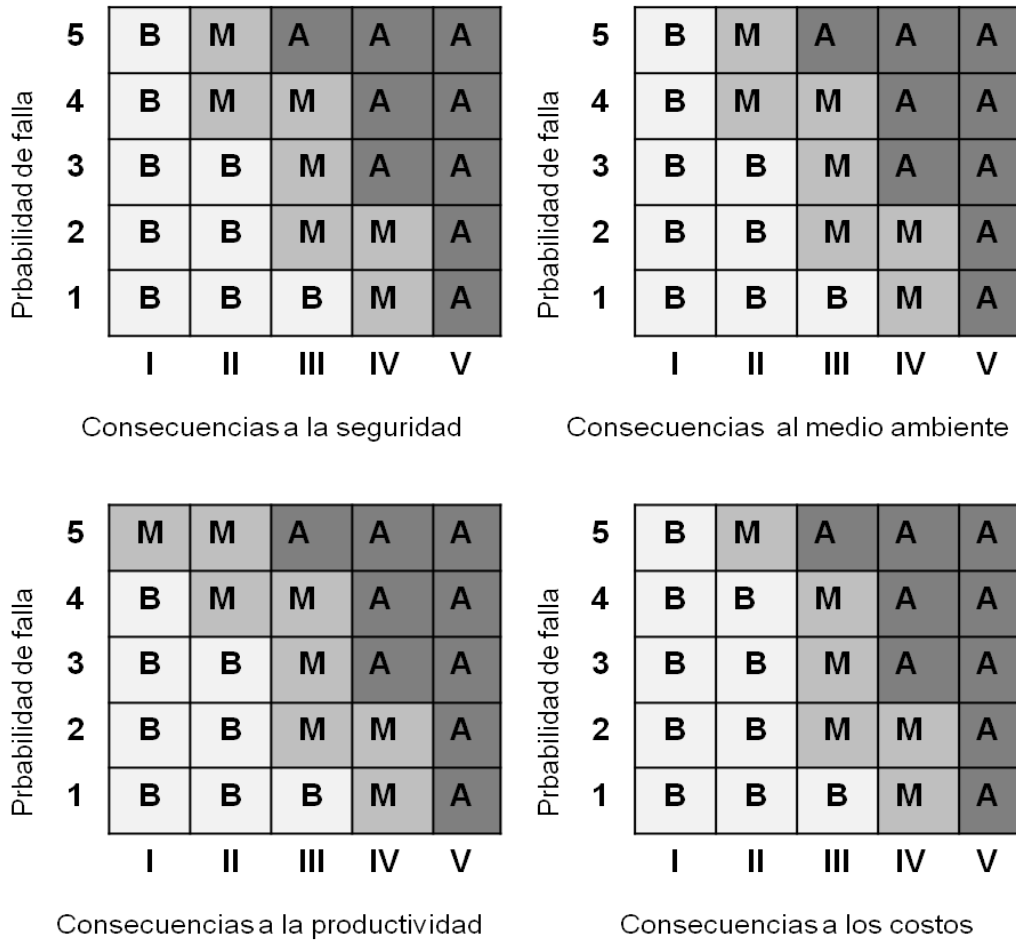
identificar que elementos son los más importantes, así como la ubicación de los mismos dentro del proceso productivo. Así el equipo seleccionado como importante continuará con la segunda fase.

### **3.2 Fase II. Análisis de fallas**

La segunda fase permite obtener los elementos necesarios para seleccionar la estrategia de mantenimiento más adecuada a cada equipo, mediante la aplicación de dos importantes herramientas: el AMEF y análisis de causa raíz.

El AMEF inicia con un listado de todas las funciones y estándares de funcionamiento asociados al equipo, es importante definir y detallar cada una de ellas para poder analizar los siguientes pasos. La siguiente etapa es la definición de los modos de falla, ya que permite comprender exactamente qué es lo que se tratará de prevenir, y deben ser definidos a un nivel de análisis adecuado para la organización. La tercera parte la constituye un listado de los efectos de la falla, indicando lo que pasaría si cada modo de falla ocurriera, después se enlistan las causas de las fallas usando la técnica de los cinco porqué.

Otra parte importante que se ha agregado al AMEF es el análisis de criticidad de la falla, tomando como referencia la matriz propuesta por Dacheng y Jinji (2010). Los criterios de evaluación propuestos por los autores han sido modificados y adoptados a esta investigación, considerando manuales propios de la organización bajo estudio, así como indicadores ya establecidos. De tal manera que la matriz de asignación del nivel de criticidad queda como se indica en la figura 3.3 y los criterios de asignación se muestran en la tabla 3.1.



**Figura 3.3** Matriz de asignación de nivel de criticidad

| Nivel                        |     | Criterio  |
|------------------------------|-----|---|
| P1                           | V   | Muerte inmediata o dentro de 30 días después del accidente  |
| Consecuencias a la seguridad | IV  | Discapacidad física ,pérdida de la función auditiva, visual o de otro tipo;   |
|                              | III | peligro grave para la salud humana  |
|                              | II  | Daños moderados en el cuerpo humano; discapacidad a corto plazo en función de los órganos auditivos, visuales o de otro tipo; |
|                              | I   | leve o moderado riesgo para la salud humana   |
|                              |     | Daños leves, sin discapacidad de las funciones  |
|                              |     | No hay daños en el cuerpo. No hay peligro para la salud humana  |

---

|   |   |
|---|---|
| P2<br>Consecuencias<br>al medio<br>ambiente | <p data-bbox="422 193 1395 583">V Existen daños irreparables a seres humanos, flora, fauna o elementos naturales, el alcance de los daños traspasa el área de influencia del centro de trabajo en grandes distancias, no se han adoptado mecanismos de control, la duración del posible efecto adverso causado al medio ambiente es mayor a un año, ó la importancia del aspecto ambiental es de interés para la mayoría de las partes interesadas (comunidad, organismos de gobierno, proveedores y personal de CFE).</p> <p data-bbox="422 598 1395 1031">IV Los daños a los elementos naturales que requieren medidas de restauración complejas, el alcance de los daños incluye el centro de trabajo y un área adyacente, existen mecanismos de control instalados pero no funcionan adecuadamente o no son suficientes, la duración del posible efecto adverso causado al medio ambiente es mayor a un mes hasta un año, ó la importancia del aspecto ambiental es de interés para alguna de las partes interesadas (comunidad, organismos de gobierno, proveedores y personal de CFE).</p> <p data-bbox="422 1045 1395 1478">III Los daños a los elementos naturales que requieren medidas de restauración mayores, el alcance de los daños se da en la mayoría de las áreas del centro de trabajo, existen mecanismos de control instalados y funcionan adecuadamente pero no son suficientes, la duración del posible efecto adverso causado al medio ambiente es mayor a una semana hasta un mes, ó la importancia del aspecto ambiental con respecto al interés mostrado por las partes interesadas (comunidad, organismos de gobierno, proveedores y personal de CFE) es secundario.</p> <p data-bbox="422 1493 1395 1887">II Los daños a los elementos naturales que requieren medidas de restauración simples, el alcance de los daños se da solo en algunas áreas del centro de trabajo, existen mecanismos de control instalados y funcionan adecuadamente, la duración del posible efecto adverso causado al medio ambiente es menor o igual a una semana, o la importancia del aspecto ambiental con respecto al interés mostrado por las partes interesadas (comunidad, organismos de gobierno, proveedores y personal de</p> |
|---|---|

|                 |     |   |    |       |
|-----------------|-----|---|----|-------|
|                 |     | CFE)  | es | poco. |
|                 | I   | No existen aguas residuales, gases residuales; y los residuos de polvo, olores, ruidos, vibraciones, radiaciones, ondas electromagnéticas, u otros efectos adversos producidos son: dentro de la gama admisible de los índices de protección del medio ambiente |    |       |
|                 |     | o la importancia del aspecto ambiental con respecto al interés mostrado por las partes interesadas (comunidad, organismos de gobierno, proveedores y personal de CFE) es nulo.  |    |       |
| P3              | V   | No hay producción en más de 48 horas  |    |       |
| Consecuencias   | IV  | No hay producción de 36 a 48 horas  |    |       |
| a perdida de la | III | No hay producción de 24 a 36 horas  |    |       |
| producción      | II  | No hay de producción de 12 a 24 horas   |    |       |
|                 | I   | No hay producción en menos de 12 horas  |    |       |
| P4              | V   | >7,584 MW   |    |       |
| Consecuencias   | IV  | 5,688-7,584 MW  |    |       |
| a los costos    | III | 3,792-5,688 MW  |    |       |
| por             | II  | 1,896-3,792 MW  |    |       |
| mantenimiento   | I   | 0-1,896 MW  |    |       |

**Tabla 3.1** Criterios de evaluación para el análisis de componentes críticos

Los elementos con nivel bajo continúan con la estrategia de mantenimiento actual. Los componentes con nivel medio y alto, continúan con la siguiente etapa de la fase, el análisis de causa raíz.

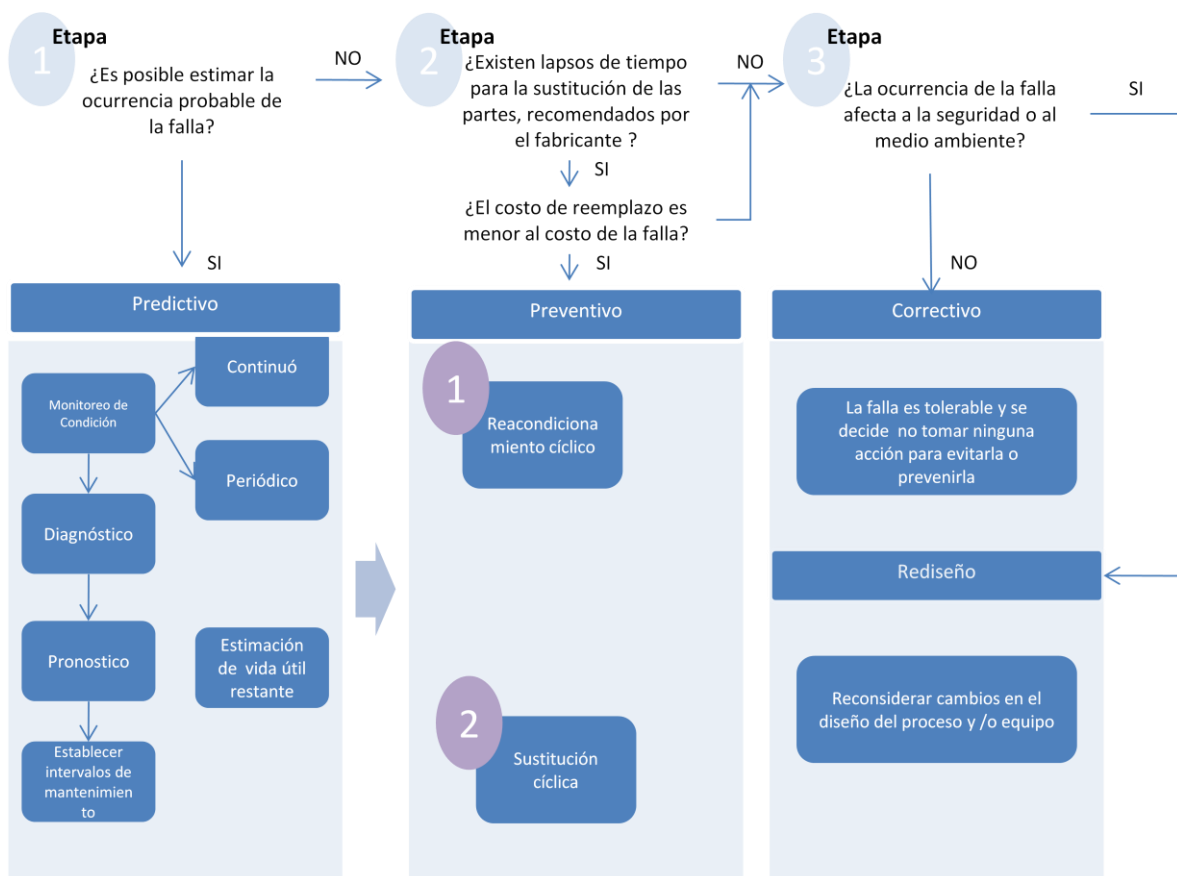
El análisis de causa raíz mediante la aplicación de un árbol de fallas, permitirá obtener los elementos y factores que intervienen en la ocurrencia de fallas, y si éstos pueden ser monitoreados y controlados mediante la selección de una estrategia de mantenimiento, puede llegar a reducirse la incertidumbre de la ocurrencia de fallas.



### 3.3 Fase III. Selección de la estrategia de mantenimiento

La selección de la estrategia de mantenimiento cuenta con el siguiente orden de prioridad tal como se muestra en la figura 3.4:

- 1° Mantenimiento predictivo,
- 2° Mantenimiento preventivo,
- 3° Mantenimiento correctivo, y por último
- 4° Rediseño



**Figura 3.4** Fase III. Selección de estrategia de mantenimiento (elaboración propia)

En base a los resultados obtenidos de la fase II del análisis de causa raíz, podemos contestar la siguiente pregunta ¿Es posible estimar la ocurrencia probable de la falla? Si se identifican los elementos y es posible seguir ciertos

indicadores, la estrategia de mantenimiento más adecuada es el mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo inicia con el monitoreo de una condición, el cual puede ser en tiempo o real o periódico; después se ejecuta un diagnóstico de los datos obtenidos para posteriormente realizar un pronóstico de la vida útil restante del equipo. La estimación de la vida útil restante permite establecer con anticipación, los plazos de ejecución del mantenimiento el cual puede consistir en una restauración del equipo o una sustitución de la parte.

Si la respuesta a la pregunta 1 de la figura 3.4 es un NO, se continua con la etapa 2, en donde se pueden obtener tres casos: si el fabricante ha otorgado los plazos de reemplazo de los componentes y además el costo de reemplazo es menor al costo de reparación de la falla, entonces resulta más conveniente aplicar un mantenimiento preventivo que consiste en la restauración o reemplazo de las partes.

El segundo caso establece que el fabricante ha concedido los plazos de sustitución de las partes, sin embargo, el costo de reemplazo es mayor al costo de reparación, por lo tanto se inicia con la tercera etapa.

Y por último, el tercer caso nos dice que el fabricante no ha establecido los plazos de reemplazo de los componentes y no es posible estimarlos, pasando a la tercera etapa.

La última etapa nos muestra dos casos, el primero de ellos establece que la falla no afecta la seguridad ni al medio ambiente, por lo tanto, se aplica un mantenimiento correctivo en donde se ejecutará una acción de mantenimiento hasta que el componente falle.

El último caso es presentado cuando no pudo adjudicarse ningún tipo de mantenimiento, ya que no es posible estimar la ocurrencia probable de la falla, no existen plazos de reemplazo estimados por el fabricante y los costos de mantenimiento son mayores a los de reemplazo además de que afecta a la seguridad y al medio ambiente, por tal motivo la única opción de atender la falla es con el rediseño del equipo o proceso.