



2. ANTECEDENTES

En esta sección repasaremos conceptos relativos a la situación actual del mantenimiento, con datos de costes de la Asociación Española de Mantenimiento, especificaremos el ámbito general en el que se encuentra ubicado el proyecto que nos ocupa, justificando la existencia real del conjunto de necesidades que se intentan cubrir con el desarrollo de este proyecto y se establecerá el ámbito Normativo en el que se encuentra ubicado el documento.

2.1. El Mantenimiento. Situación Actual en el Mundo Industrial.

Este apartado se encuentra estructurado en 5 puntos, el primero de ellos hace referencia a la importancia del mantenimiento en nuestros días, conoceremos datos estimativos del coste de mantenimiento en los distintos sectores productivos de nuestro país y el porcentaje de los mismos respecto al total de costes. El segundo punto se refiere a los tipos de enfoques que actualmente una empresa establece para la mejora de su funcionamiento y gestión, el tercer punto hace referencia a las necesidades de proyectar sistemas de producción eficaces, pasando necesariamente por establecer un mantenimiento adecuado y eficaz que asegure la disponibilidad de los equipos. En el siguiente punto se definen conceptos tales como la dirección de operaciones y la ingeniería de mantenimiento que hacen referencia a la fase operativa de los equipos y que se orientan en relación a la utilización lo más económica posible de unos medios humanos y materiales con la finalidad de transformar materias primas en productos terminados, o en ejecutar servicios demandados por clientes. Se concluye el apartado con un quinto punto que detalla el concepto del ingeniero de mantenimiento, su perfil y sus funciones dentro de la organización.

2.1.1. La importancia del mantenimiento en nuestros días

Como es conocido, por mantenimiento se entiende (UNE-EN 13306, 2001) una combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el



ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo, o devolverlo, a un estado en el cual puede desarrollar una función requerida.

De acuerdo con los datos de la Asociación Española de Mantenimiento AEM de año 2000, el coste directo de este conjunto de actividades en España (en concreto se estima en el citado informe el número de recursos destinados por empresas, entidades, administraciones públicas y particulares a la compra de recambios, repuestos y accesorios, al pago de los trabajos contratados a terceros – materiales y mano de obra – originados por la reparación de averías, desgastes y roturas, y a la retribución del personal de plantilla de las empresas o entidades, destinado a realizar su propio mantenimiento) fue de 9.300.000 millones de pesetas (55.894 millones de euros) en el año 2000, lo que supone aproximadamente un 9.4% del Producto Interior Bruto del año en cuestión. Costes directos que se distribuyen conforme a la figura 1.1 incluida en el mismo informe.

Obviamente, los costes indirectos del mantenimiento, es decir, aquellos resultados que se producen en empresas y entidades, medidos como ahorros o incrementos de costes de operación a consecuencia de la buena o mala gestión del mantenimiento, exceden a buen seguro los datos ofrecidos con anterioridad. Sin embargo, tal y como se indica en el informe de la AEM (ver Tabla 1), son datos difícilmente cuantificables, de manera que los costes directos de mantenimiento son quizás la única variable susceptible de ser cuantificada con razonable fiabilidad.

Sectores	Millones de Euros	Distribución %
<ul style="list-style-type: none">Sector Primario Agricultura, pesca, ganadería, forestal	1742,9351	3.1
<ul style="list-style-type: none">Sector Secundario Industria, construcción	19532,8934	35.0



• Sector Terciario Comercio, Servicios, Transportes, Comunicaciones	7452,55009	13.3
• Sector Público Administración Central, Comunidades Autónomas, Seguridad Social, Corporaciones Locales	5469,21015	9.8
• Sector Privado Particulares en viviendas, enseres y vehículos	21696,537	38.8
TOTAL	55894,1257	100.0

Tabla 2.1 Gastos estimados de mantenimiento en España (Fuente AEM, 2000).

La magnitud de estos valores da una clara idea de la importancia del mantenimiento en nuestra sociedad actual, de lo fundamental que puede resultar para un país como el nuestro el que exista una mayor cultura de mantenimiento a todos los niveles y en todos los ámbitos. Estos valores justifican, por tanto, la inversión que podamos hacer, en el mundo de la ingeniería, para el desarrollo de metodologías, técnicas, modelos y herramientas en general, que nos permitan mejorar la eficacia y eficiencia cotidianas en la gestión del mantenimiento.

NOTA: Según la AEM en el 2005, el porcentaje de producto interior bruto que representan los costes de mantenimiento sigue siendo el 9,4%. En su libro *El Mantenimiento en España* publica este dato y la tabla 2.1, que hemos adjuntado en este documento, pero actualizada para 2005. No presento estos datos debido a que no he tenido acceso al citado documento.



2.1.2. Enfoques para la mejora de la gestión.

Existen distintos enfoques que tradicionalmente se adoptan para intentar mejorar la gestión del mantenimiento en las empresas. En muchas ocasiones, la gerencia de la empresa decide optar por políticas similares a las de las empresas del sector. Se trata de realizar "copias" de políticas de mantenimiento (esto se conoce también como "Benchmarking") a intervalos regulares de tiempo. Se persigue con ello evitar quedar atrapado en determinados modos de pensamiento y actuación en la gestión. Las empresas que siguen esta práctica se sitúan a remolque de aquellas tecnológicamente más avanzadas. Esta claro que la opción por una política de este tipo genera poco ímpetu para el desarrollo de una gestión competitiva, aquella propia de una empresa que quiere ser líder en su mercado.

Otro enfoque típico que se ha seguido en determinadas empresas es ir impulsando proyectos puntuales dentro del área de mantenimiento. Conforme aparecen diferentes "siglas" que caracterizan distintas metodologías de mantenimiento, la gerencia realiza una apuesta por alguna de ellas, asumiendo que supondrá un cambio en la forma de hacer las cosas, suponiendo una repercusión favorable a corto plazo en los resultados empresariales. Este tipo de actuaciones son muy valiosas bajo determinados aspectos, pero tienen el riesgo de ocasionar el apego de los gestores de mantenimiento a *slogans* y tendencias eventuales. El resultado puede ser la pérdida de orientación del mantenimiento respecto a los objetivos fundamentales del negocio.

Es común también creer encontrar en la consultoría externa la solución a los múltiples problemas que se derivan de la gestión y la ingeniería del mantenimiento. Se declina en muchos casos la opción sobre la paternidad del *know-how* de la gestión, que se confía a la empresa consultora, en otros esta paternidad es compartida.

En la implementación de políticas cruciales para la empresa, y salvo que exista alguna implicación especial por parte de la consultora, es difícil conseguir mediante agentes externos el apoyo suficiente



Pues bien, frente al enfoque anterior, la idea más novedosa consiste en abordar la problemática del mantenimiento partiendo de la premisa de que cada ambiente industrial es único y donde ningún conjunto general de procedimientos funciona en todo tipo de condiciones. Es por esto que hay que apoyarse en métodos y técnicas que ayuden a comprender cada día más el sistema, a encontrar los puntos críticos, a buscar soluciones creativas y a obtener una mejora continua dentro de una organización que debe tener capacidad para aprender.

2.1.3. **Proyectando sistemas de producción eficaces**

Un sistema de producción es eficaz (CEI 50(191), 1990) cuando demuestra su aptitud para responder a una demanda de servicio de unas características cuantitativas dadas. La eficacia de un sistema productivo dependerá de su capacidad y de su disponibilidad.

En cuanto a la capacidad del sistema productivo podemos definirla como su aptitud, en condiciones internas dadas (por ejemplo, con cualquier combinación de equipos en diferentes estados de funcionamiento posible, averiados o no), para responder a una demanda de servicio de unas determinadas características cuantitativas. Mientras que la disponibilidad del sistema de producción será la aptitud del mismo para estar en situación de realizar una función requerida en condiciones dadas en un instante dado, o durante un intervalo de tiempo dado, suponiendo que se proporcionan los medios exteriores necesarios.

Otro concepto importante de presentar es el término *seguridad de funcionamiento* que expresa un concepto general, sin carácter cuantitativo, que engloba al conjunto de propiedades utilizadas para describir la disponibilidad de un sistema de producción y los factores que la condicionan, (ver Figura 2.1): fiabilidad, mantenibilidad y logística de mantenimiento.



Figura 2.1 Factores que condicionan la disponibilidad de un sistema.



El mantenimiento incide en cada uno de estos factores que pasamos a definir a continuación.

En primer lugar, la *fiabilidad* se define como la aptitud de un elemento para realizar una función requerida, en unas condiciones dadas de empleo y mantenimiento, durante un intervalo de tiempo dado. Esto significa que sin un adecuado mantenimiento, las previsiones de fiabilidad de los equipos no se cumplen. Circunstancia que muchas veces no es tenida en cuenta en la industria. En ocasiones se adquieren equipos para trabajar en condiciones duras de operación, con la confianza de que la fiabilidad que asegura su fabricante garantizará un mejor resultado en la disponibilidad de los mismos. Curiosamente, en muchos casos, los equipos teóricamente más fiables ofrecen un resultado parecido a los equipos reemplazados, ni mucho menos cercano a lo que cabía esperar teniendo en cuenta la información ofrecida por el fabricante. Si el mantenimiento de los equipos no era y continua sin ser el adecuado, si se continúan haciendo las cosas mal, la disponibilidad esperada estará siempre amenazada.

En segundo lugar, la *mantenibilidad* de un elemento se define como su aptitud, en condiciones dadas de utilización, para ser mantenido o restituido, a un estado en el que pueda realizar una función requerida. Siempre y cuando, de igual forma, su mantenimiento se lleve a cabo en condiciones dadas, y utilizando procedimientos y medios establecidos. Un ejemplo simple lo tenemos en la accesibilidad y facilidad para el diagnóstico en determinados equipos industriales cuyas condiciones de limpieza y mantenimiento no son las adecuadas. En aquellos casos en que la suciedad y la acumulación de polvo o barro son importantes, los tiempos de diagnóstico se multiplican, los problemas se complican a la hora de ser resueltos, suelen además provocarse nuevos problemas intentando solventar los antiguos, etc.

Mientras que fiabilidad y mantenibilidad hacen referencia a aptitudes propias de elementos o de sistemas, inherentes a los mismos, la logística de mantenimiento tiene que ver con aspectos organizativos, es la aptitud de una organización de mantenimiento, en unas condiciones dadas, para proporcionar sobre demanda los medios necesarios para mantener un elemento conforme a una política de mantenimiento dada.

Las anteriores definiciones nos enseñan cómo el mantenimiento condiciona la eficacia de los sistemas productivos y debe considerarse por tanto como un aspecto estratégico, crucial para la obtención de una ventaja competitiva de la empresa, de los productos y



servicios suministrados por la misma. Además, estas definiciones nos enseñan igualmente la importancia de la consideración del mantenimiento de un elemento, no sólo en su fase de operación, sino fundamentalmente en la fase de preparación del mismo (concepto, diseño, fabricación, montaje y puesta a punto), en la cual se condicionan su fiabilidad y mantenibilidad, y por tanto se compromete la gran mayoría del coste de su ciclo de vida.

2.1.4. Dirección de operaciones, gestión e ingeniería del mantenimiento.

Centrándonos ahora en la fase operativa de los equipos, veremos a continuación el papel de la moderna ingeniería del mantenimiento en este período del ciclo de vida de los mismos, y su relación con la dirección de operaciones.

La función producción, se conoce también como función operativa y la gestión de la producción se denomina entonces gestión o dirección de operaciones, que se orienta a la utilización más económica de unos medios por unos empleados u operarios, con la finalidad de la transformación de unos materiales en producto, o la realización de unos servicios.

La dirección de operaciones se lleva a cabo en la práctica mediante la interacción de distintos subsistemas (ver figura 2.2) que componen el sistema productivo. Por lo general, pueden distinguirse en la empresa los siguientes subsistemas:



Figura 2.2. Diagrama de Dirección de Operaciones

Subsistema de planificación. Encargado fundamentalmente de la previsión de la demanda y del establecimiento de los planes de producción a medio y largo plazo, es decir, las cantidades de cada artículo a producir en cada período de tiempo durante un determinado horizonte de planificación. Para ello en este subsistema se contrastan



las previsiones de la demanda con las limitaciones de capacidad existentes, con los niveles de inventarios disponibles y con las políticas de servicio al cliente.

Subsistema de programación. Este subsistema transforma el plan de producción resultado del proceso de planificación, en un programa diario de producción, mucho más detallado en el tiempo y en las cantidades a producir. Se trata en definitiva de asignar órdenes de producción pendientes a centros de trabajo concretos, en períodos de tiempo determinados. La necesidad de programación aumenta cuando la diversidad de artículos ofrecidos por la empresa crece.

Subsistema de seguimiento y control. Este subsistema tiene como función principal supervisar y asegurar que las previsiones establecidas en los programas de producción se cumplan en la ejecución real de los mismos. Se trata básicamente de hacer un seguimiento detallado de las órdenes de producción y corrección de las desviaciones que puedan surgir, y de controlar los niveles de inventario y movimientos de material a través de todo el sistema logístico de la empresa

Subsistema de costes. Cuyo propósito es la determinación del coste de cada uno de los productos y servicios, valorando los distintos factores productivos que intervienen en la consecución de los mismos y asegurando que se cumplen con las previsiones, o se eliminan las desviaciones, respecto al estándar establecido.

Dentro de cada uno de estos subsistemas se utilizan distintos métodos que ayudan en los distintos procesos de toma de decisiones que tienen lugar. Este es el caso, por ejemplo, de las técnicas de programación matemática utilizadas en el subsistema de planificación, o de los métodos y algoritmos de secuenciación de operaciones en máquinas dentro del subsistema de programación, de las técnicas ABC (Activity Base Costing - Sistemas de Costes Basados en Actividades) utilizadas en el subsistema de costes, o de las técnicas CPM (Critical Path Method - Método del Camino Crítico) dentro del subsistema de seguimiento y control.

A su vez, el desarrollo de los modernos sistemas de producción exige unos avanzados conocimientos tecnológicos en aspectos relacionados, por ejemplo, con la ingeniería de procesos o con los sistemas de comunicaciones. Es decir, las necesidades actuales de la función producción en la empresa exceden en contenido y



conocimientos a aquellos que incluimos dentro de lo que hemos denominado dirección de operaciones.

Requieren de soluciones de ingeniería específicas para la resolución de problemas técnicos ligados a los sistemas físicos (ver en Figura 2.3).

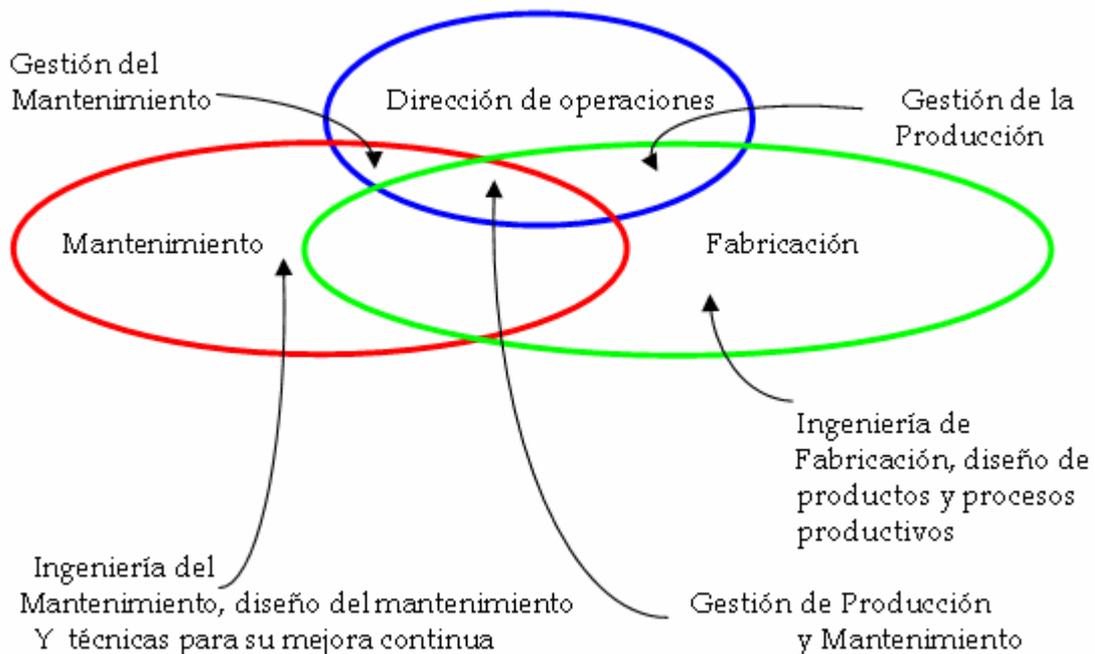


Figura 2.3. Dirección de operaciones, mantenimiento y fabricación

La gestión del mantenimiento, al igual que sucedía con la dirección de operaciones, se orienta a la utilización más económica de unos medios, por unos empleados u operarios, con la finalidad ahora de conservar y/o restituir los equipos de producción a unas condiciones que les permitan cumplir con una función requerida.

En la práctica, la gestión del mantenimiento se implementa de forma idéntica a la dirección de operaciones, pues la gestión del mantenimiento forma parte de la dirección de operaciones. Sin embargo, utiliza una serie de métodos y técnicas específicos para la resolución de problemas muy concretos, ligados por completo al proceso de toma de decisiones en mantenimiento. Estos métodos y técnicas intentan recoger y tratar convenientemente la complejidad del problema, ofrecer a los gestores de mantenimiento soluciones para priorizar y enfrentarse a los problemas y establecer fórmulas para encontrar más fácilmente respuestas a los mismos. En los siguientes



párrafos hemos recogido testimonios que abundan en la necesidad de una mayor ordenación de estos métodos y técnicas específicos de mantenimiento.

Vagliasindi (1989), señala como para realizar el conjunto de actividades que componen la gestión del mantenimiento no es fácil encontrar en la empresa los procedimientos, y sistemas de ayuda a la toma de decisiones, que faciliten el proceso de mejora continua. Este autor señala como normalmente existe una gran diversificación de los problemas a resolver por el gestor de mantenimiento, incluso en compañías que pertenezcan al mismo sector productivo, y esto hace muy difícil el diseño de una metodología operativa de aplicación general.

Hipping (2000) presenta una lista de las barreras más importantes en la implementación adecuada de sistemas para la gestión de mantenimiento. La lista es el resultado de encuestas pasadas a gestores, supervisores y operadores de mantenimiento en distintas empresas, quienes indican que la falta de conocimiento de la planta y de los procesos que en ella tienen lugar es la principal limitación a para la gestión adecuada del mantenimiento. En segundo lugar se coloca la ausencia de datos históricos del funcionamiento y mantenimiento de la planta. En tercer lugar se sitúa la falta de apoyo de la alta dirección, y a continuación el miedo a las paradas del proceso de producción para la realización de actividades de mantenimiento. Sus conclusiones tienen que ver con la necesidad de que la alta dirección de la empresa estudie mejor cómo apoyar al proceso de toma de decisiones en mantenimiento, de que se cuantifiquen mejor los objetivos de cada política y los resultados de las mismas, de que se formule de forma más clara la metodología de gestión. Un último postulado del estudio aconseja que estas iniciativas se realicen por separado, llamando la atención sobre las mismas, y no conjuntamente a otras medidas de mejora, que pudieran restarles protagonismo.

Jonsson (2000) comenta igualmente la ausencia clara de configuraciones adecuadas para la gestión del mantenimiento en la industria, configuraciones que ayuden a entender las verdaderas dimensiones de la función mantenimiento. Señala cómo investigaciones sucesivas (Wireman, 1990; Jonsson, 2000) muestran como el mantenimiento se encuentra aun en una fase de subdesarrollado en un tanto por ciento importante de compañías manufactureras.



Para dar respuesta a todo lo anterior, podemos decir que en los últimos años se produce un gran avance en una serie de tecnologías específicas de mantenimiento en distintos apartados (en aspectos relacionados, por ejemplo, con los sistemas de monitorización y conocimiento de la condición, con los sistemas de protección y control, con técnicas de ayuda al diagnóstico, con técnicas de automantenimiento, etc.) separados de aquellos que tradicionalmente se incluyen dentro de la dirección de operaciones y de la ingeniería de fabricación, y que han cobrado una personalidad propia. El resultado de lo anterior es lo que hoy conocemos como ingeniería del mantenimiento.

Si bien la ingeniería y la gestión del mantenimiento tienen objetivos o metas similares (por ejemplo y durante un cierto período del ciclo de vida de una empresa, éstos podrían ser: la consecución de una disponibilidad dada de los equipos a un mínimo coste), es importante constatar que el entorno en el que ambas operan difiere notablemente. De manera más específica, la ingeniería del mantenimiento es una función analítica, cuyo desarrollo debe de ser por tanto metódico y dotado de una alta premeditación. Por el contrario, la gestión del mantenimiento se realiza normalmente en adversas circunstancias y con alto nivel de estrés, teniendo como objetivo prioritario la inmediata restitución de los equipos a sus condiciones de operación, utilizando para ello los recursos disponibles.



Para finalizar esta sección, según el informe AMPC 706-132 (1075), la ingeniería del mantenimiento debe contribuir al logro de los siguientes objetivos:

- mejorar las operaciones de mantenimiento,
 - reducir la cantidad y frecuencia de mantenimiento,
 - reducir los efectos de la complejidad de los sistemas,
 - reducir el nivel de especialización técnica en mantenimiento requerido al personal,
 - reducir la cantidad de aprovisionamientos,
 - optimización de la frecuencia y cantidad de mantenimiento preventivo a realizar,
 - mejorar y asegurar la máxima utilización de las instalaciones de mantenimiento,
- y
- mejorar la organización de mantenimiento.

2.1.5. El ingeniero de mantenimiento

Desde hace más de una década, el ingeniero de mantenimiento se ha convertido en una figura fundamental del mantenimiento moderno. Según Furlanetto (1991) las funciones del ingeniero de mantenimiento actual pueden sintetizarse en los dos siguientes apartados: proyectar el mantenimiento y promover la mejora continua y la formación en mantenimiento.

El significado del primer apartado, proyectar el mantenimiento, está ligado sobre todo a escoger el enfoque más conveniente para el mantenimiento de una determinada instalación, en relación a los objetivos fijados de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, costes, etc. (objetivos estratégicos de la organización). Significa, por tanto, determinar para cada elemento de las instalaciones, y en función de las consecuencias que origina su fallo sobre el sistema total, cuáles deben ser: su tasa admisible de fallo, su mantenibilidad requerida, y proyectar los instrumentos y recursos necesarios para lograr lo anterior. El proyecto de una organización de mantenimiento coherente con la política de la organización, y con los instrumentos



operativos a su disposición, llevará al ingeniero de mantenimiento al diseño, entre otras cosas, de:

- Los planes básicos de mantenimiento aplicando metodologías adecuadas.
- Los estándares y procedimientos para las intervenciones de mantenimiento.
- El sistema de información de mantenimiento.
- Los criterios para la gestión de los repuestos y materiales de mantenimiento.
- etc.

La ingeniería de mantenimiento, además de optimizar las decisiones actuales, debe ocuparse igualmente de mejorar el mantenimiento futuro de las instalaciones. Son éstas, tareas más costosas de sistematizar, y que requieren del desarrollo de una alta sensibilidad en la organización a la recepción de todas aquellas ideas innovadoras que puedan aparecer y que contribuyan a la mejora de la eficacia y eficiencia del mantenimiento. El ingeniero de mantenimiento debe ser, en este sentido, punto de referencia de la organización, principal promotor de la formación continua y de la sensibilización sobre la problemática del mantenimiento.

2.2. La Fiabilidad Operacional

Es la capacidad de un sistema, representado por sus procesos, tecnología y recursos humanos, para cumplir sus funciones, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico.

La mejora de la fiabilidad operacional depende de la interacción entre los equipos, los procesos, los humanos y el ambiente operacional. No obstante la incertidumbre está presente y los resultados siempre están sujetos a condiciones de riesgo.

La fiabilidad operacional está conformada por:

- **Fiabilidad Humana:** Aspectos relacionados con la formación, conocimientos de las personas y grado de integración en la actividad.
- **Fiabilidad del Proceso:** Aspectos relativos al correcto funcionamiento del proceso, dentro de sus condiciones de diseño y a la comprensión de los distintos subprocesos y actividades que lo componen.



- Fiabilidad de Equipos: Incorporación de la fiabilidad de los equipos desde su fase de diseño y extensión de los tiempos promedios de operación.
- Mantenibilidad de Equipos: Establecer correctas y eficaces técnicas de mantenimiento, fomentar multioficios y habilidades dentro de la organización y conseguir reducir el tiempo promedio de reparación de los equipos.

Para optimizar la fiabilidad operacional existen diversas metodologías de mantenimiento, ninguna de ellas asegura por si misma la optimización, pero contribuye a ésta si se emplea en los contextos adecuados.

2.3. Técnicas modernas de Gestión del Mantenimiento en la fase operativa de los Equipos.

En esta sección realizaremos una descripción de las técnicas modernas de gestión del mantenimiento en las que nos apoyaremos a lo largo de la ejecución de este proyecto.

Comenzaremos definiendo la técnica de *análisis de criticidad* que nos permitirá jerarquizar los elementos de nuestros equipos en base al concepto de criticidad, seguiremos con la técnica de *cuantificación del riesgo total anualizado (RTA)* con la que se consigue jerarquizar los problemas que aparecen en los distintos elementos de un equipo a partir de cuantificar económicamente el riesgo total en el año (euros/año). La tercera técnica definida será la de *Análisis Causa-Raíz (ACR)* que permite de forma sistemática eliminar las causas que originan los fallos en los equipos, seguidamente se presentará la *metodología del mantenimiento centrado en fiabilidad (RCM)* definida como una metodología en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la fiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos.



Las dos últimas técnicas que se introducirán serán la *metodología de inspección basada en riesgo*, que determina la probabilidad del fallo en equipos que transportan y/o almacenan fluidos y las consecuencias que estas pudieran generar sobre las personas, el ambiente y los procesos, y el *proceso de optimización del coste -riesgo-beneficio (OCR)* que permite identificar la frecuencia óptima de aplicación de las actividades de mantenimiento, a partir del análisis en conjunto de los modos de fallos y la frecuencia de aparición de los mismos, los costes de mantenimiento programado y no programado y las consecuencias de los fallos dentro del contexto operacional

2.3.1. Técnica *Análisis de Criticidad*

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos, y técnicos). El termino “critico” y la definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones y van a depender del objetivo que se esta tratando de jerarquizar. Desde esta óptica existen una gran diversidad de herramientas de criticidad, según las oportunidades y las necesidades de la organización.

Para nuestro proyecto se propondrá una metodología que prioratiza en función del Riesgo de los fallos en los elementos ($Riesgo = Frecuencia\ de\ fallos * Consecuencias$).

Las distintas fases que componen el análisis de criticidad se detallan a continuación:

- Fase 1. Selección de los elementos a evaluar: En esta fase de la técnica seleccionamos los equipos objeto de análisis.

En nuestro caso serán los elementos de los equipos críticos del parque de maquinaria. Para definirlos se realiza, en el punto 4.3 del documento, una evaluación en términos de coste e intervenciones de mantenimiento de todos los equipos de la organización.

- Fase 2. Definición de la ponderación para los distintos parámetros del análisis: El análisis está referido a conceptos de riesgo, por definición, el riesgo es el producto de la frecuencia de fallos y de sus consecuencias; éstas últimas dependen a su vez de los conceptos de impacto y flexibilidad operacional,



costes de mantenimiento e impacto en la seguridad humana y ambiental. Todos estos conceptos han de ser ponderados para poder servir como criterios de clasificación de importancia entre los elementos de los activos que vamos a analizar.

- Fase 3. Ejecución del análisis: Una vez seleccionados los equipos y la ponderación de los conceptos resta evaluar la criticidad de los mismos, y clasificar los elementos elaborando la denominada *matriz de criticidad*. La criticidad se evalúa de acuerdo a los cálculos que se resumen en la siguiente tabla:

Frecuencia de Fallos	Impacto Operacional:	Flexibilidad Operacional:	Costes de Mantenimiento	Impacto en SAH
Evaluar	Evaluar	Evaluar	Evaluar	Evaluar
<i>Consecuencia: C = (IO+FO)+CM+ISAH</i>				
<i>Criticidad Total: CT = F • C</i>				

La *matriz de criticidad* (ver figura 2.4) clasifica los elementos de acuerdo a su frecuencia de fallos y a sus consecuencias. Posee tantas filas como frecuencias de fallos se consideren y tantas columnas como consecuencias se evalúen.

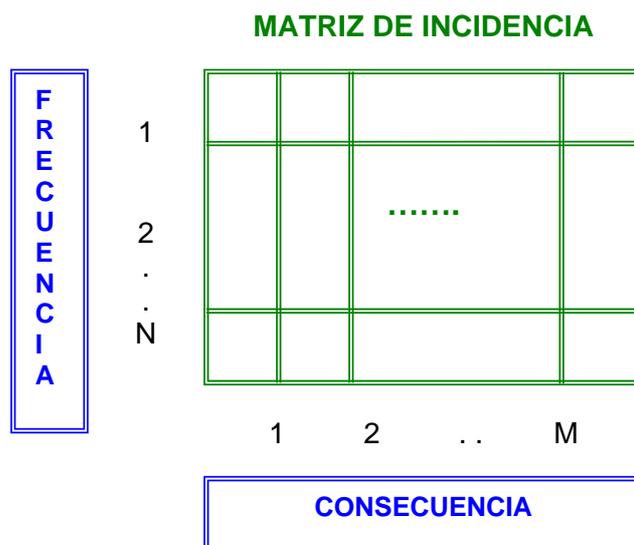


Figura 2.4 Representación genérica de la Matriz de Incidencia



2.3.2. Técnica *Cuantificación del Riesgo Total Anualizado (RTA)*

Es una técnica que jerarquiza los problemas que aparecen en los distintos elementos de un equipo a partir de cuantificar económicamente el riesgo total en el año (euros/año).

Fase 1. Identificar los problemas que pueden aparecer: En esta primera fase de la técnica se seleccionan los problemas que pueden aparecer en los equipos objeto de análisis.

En nuestro caso serán los elementos de los equipos críticos del parque de maquinaria. Para definirlos se realiza, en el punto 4.3 del documento, una evaluación en términos de coste e intervenciones de mantenimiento de todos los equipos de la organización.

Fase 2: Determinar los parámetros siguientes:

F: Frecuencia de Fallos (fallos/año)

CMO: Costes Mano Obra (€)

CM: Costes Materiales (€)

CAR: Costes Anuales de Reparación (€/año)

TR: Tiempo de Reparación (horas)

IP: Impacto de Producción (€/hora)

FASE 3. Ejecutar el análisis: Para realizar el análisis debemos calcular los siguientes parámetros:

PE: Penalización * Evento fallo (€/fallo)

PAF: Señalización anual por evento de fallos (€/año)

RTA: Riesgo total anualizado (€/año)

Las ecuaciones que nos permiten calcularlos son las siguientes:

$$CAR = F \cdot (CMO + CM)$$

$$PAF = F \cdot PE$$

$$PE = TR \cdot IP$$

$$RTA = CAR + PAF$$



2.3.3. Análisis Causa-Raíz (ACR)

Es una metodología que permite de forma sistemática eliminar las causas que originan los fallos en los equipos, causas que si son corregidas evitaran la recurrencia de los mismos.

Los beneficios que se consiguen con la metodología son:

- Reducción del número de fallos e incidentes.
- Reducción de las diferencias de producción y de gastos asociados a los fallos.
- Fortalecimiento de la fiabilidad, seguridad y protección medioambiental.
- Mejora de la eficiencia, rentabilidad y productividad en las operaciones y el mantenimiento.

El proceso de análisis causa-raíz se aplica en contextos que presenten las siguientes características:

- Análisis de fallos repetitivos en procesos y/o equipos críticos.
- Análisis de errores humanos, en el proceso de diseño, en la aplicación de procedimientos y en la supervisión.
- Análisis de deficiencias organizacionales.

El esquema general de la aplicación (ver figura 2.5) consiste en la ejecución de cinco actividades sistematizadas, se parte de la formación de un equipo natural de trabajo, se define y jerarquiza los problemas que aparecen, a continuación se realiza el diagnóstico determinando las causas raíces de los problemas, y se identifican e implantan las soluciones, terminando con la evaluación de la efectividad de la solución implantada.

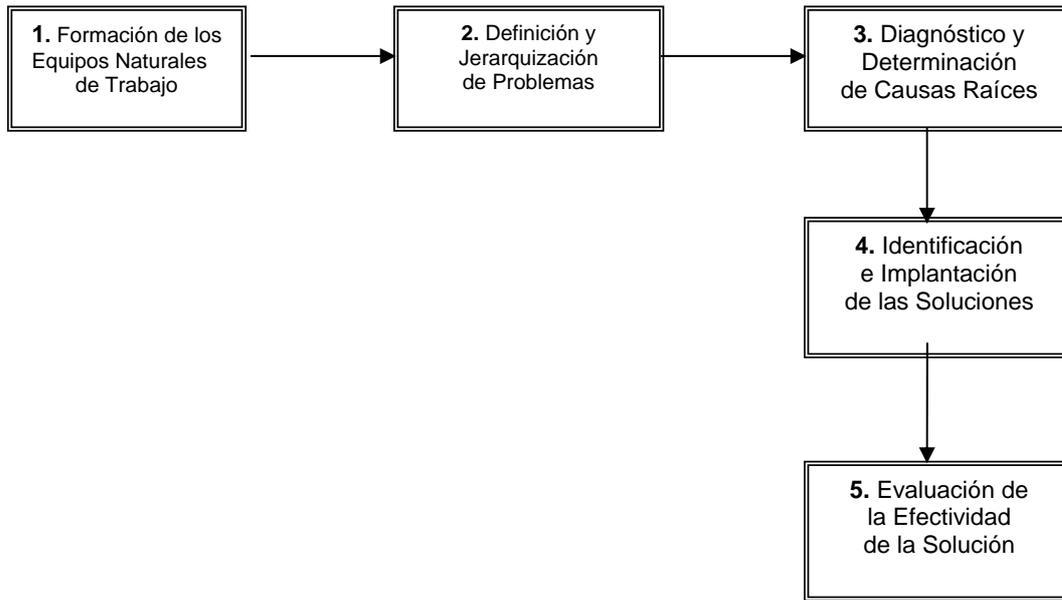


Figura 2.5: Esquema general de aplicación del ACR

Las distintas fases de aplicación del método se detallan a continuación:

Fase 1. Formación de Equipos de Trabajo: Los equipos naturales de trabajo son grupos de personas con diferentes funciones dentro de la organización que necesitan trabajar juntas por un periodo determinado para analizar problemas interdepartamentales comunes, buscando un mismo objetivo, la solución de los problemas.

La conformación básica de un equipo de trabajo es:

- Operador: Expertos en el manejo y operabilidad de los equipos y procesos.
- Asesor: Asesor de la metodología a aplicar.
- Operario: Expertos en reparación y Mantenimiento de sistemas y equipos.
- Ingeniero de Procesos: Aporta la visión global del proceso.
- Programador: Aporta la visión sistemática de la actividad.
- Especialistas: Expertos en áreas específicas que puedan ser de utilidad.



Entre las características de un equipo efectivo de trabajo nos encontramos:

- Atmósfera informal y relajada para facilitar la participación de todos los miembros.
- Aceptación y compromiso común con el objetivo.
- Se escucha a todos los miembros y no hay temor a realizar sugerencias ni observaciones.
- Las decisiones se toman en consenso y son discutidas ampliamente.
- Las críticas son amplias y frecuentes y no desembocan en ataques personales.
- No está cerrado a ayudas externas.
- Las acciones son asignadas a miembros del grupo y cerradas por ellos mismos.
- Los resultados son validados por el mismo proceso de análisis, garantizándose su implantación.

Fase 2. Definición y Jerarquización de Problemas: El proceso de definición del problema debe incluir las siguientes preguntas:

¿Qué Ocurrió?

¿Cuándo Ocurrió?

¿Dónde Ocurrió?

¿Con qué frecuencia ocurre?

¿Cuál es el impacto en Seguridad, Ambiente, Producción y Mantenimiento?

En contrapartida, no deben aparecer las siguientes preguntas:

¿Quién? Ya que el objetivo es la prevención y no el culpable.

¿Por qué? Se aplica en el análisis y no en la fase de definición.

¿Cómo? Se aplica en la fase de análisis no en la de definición.

Fase 3. Diagnóstico y Determinación de las Causas Raíces: Las distintas fases que componen esta actividad son las siguientes:



Analizar las Evidencias Físicas. Las evidencias físicas son las evidencias reales encontradas una vez que ocurre el incidente o evento de un paro imprevisto.

Identificación de causas probables y establecimiento de Hipótesis. Las hipótesis son listas de posibles mecanismos que provocan los eventos de fallo. Normalmente, si una hipótesis es validada automáticamente se convierte en una causa raíz Física. Los tipos de causas raíces son las siguientes:

- *Causa Raíz Física*: Aquellas que involucran a materiales y tangibles.
- *Causa Raíz Humana*: Aquellas que involucran fallos debido a una intervención inapropiada de un ser humano.
- *Causa Raíz Latente*: La falta o deficiencia en los sistemas gerenciales y administrativos (reglas, procedimientos...) o en las “normas culturales” que permiten que un fallo ocurra.

Fase 4 Identificación e Implantación de las Soluciones: Si solo es posible identificar una solución, se procede a realizar un análisis del coste de riesgo frente a los beneficios para evaluar si es viable implantar la solución. En el caso de encontrar varias soluciones se procede a ejecutar la siguiente sistemática:

1. Generar Soluciones Alternas. Se refiere a la fase de generar soluciones posibles fiables previas a su evaluación. Las soluciones deben ser alternativas para ser consideradas independientemente.
2. Jerarquización de las Soluciones. En esta etapa se priorizan las soluciones de acuerdo al análisis de coste del riesgo frente a los beneficios de las mismas.
3. Evaluación de la “Resistencia al Cambio”. Una vez que las soluciones están jerarquizadas se procede a evaluar las consecuencias que derivarán en su implantación evaluando las dificultades de adaptación de las soluciones propuestas a nuestro entorno.



4. Validar con el Equipo de Trabajo. En esta fase, previa a diseñar un plan de implantación, las soluciones deben ser validadas dentro del ámbito del equipo de trabajo que está ejecutando el análisis causa-raíz.
5. Diseñar Plan de Implantación. Es la última fase antes de implantar la solución y consiste en una planificación estratégica y ordenada de las fases de implantación en la organización de la solución adoptada.
6. Aplicación de la solución. La última fase es directamente incorporar la solución al entorno de operación.

Las soluciones deben seleccionarse si éstas evitan o reducen la recurrencia de los fallos.

Por otro lado, la solución debe estar soportada en un problema de análisis del coste del riesgo frente a los beneficios que se obtienen, de forma que su implantación esté justificada; de esta forma, a menos que la recurrencia del fallo genere problemas legales o de seguridad ambiental, la solución planteada desde un punto de vista técnico no es suficiente para ser adoptada.

Adicionalmente, la solución tiene que tener vigencia en el tiempo.

Fase 5. Evaluación de la Efectividad de las Soluciones: (ver figura 2.6). El siguiente diagrama resume la secuencia de acciones a ejecutar para la evaluación de la efectividad de las soluciones propuestas.

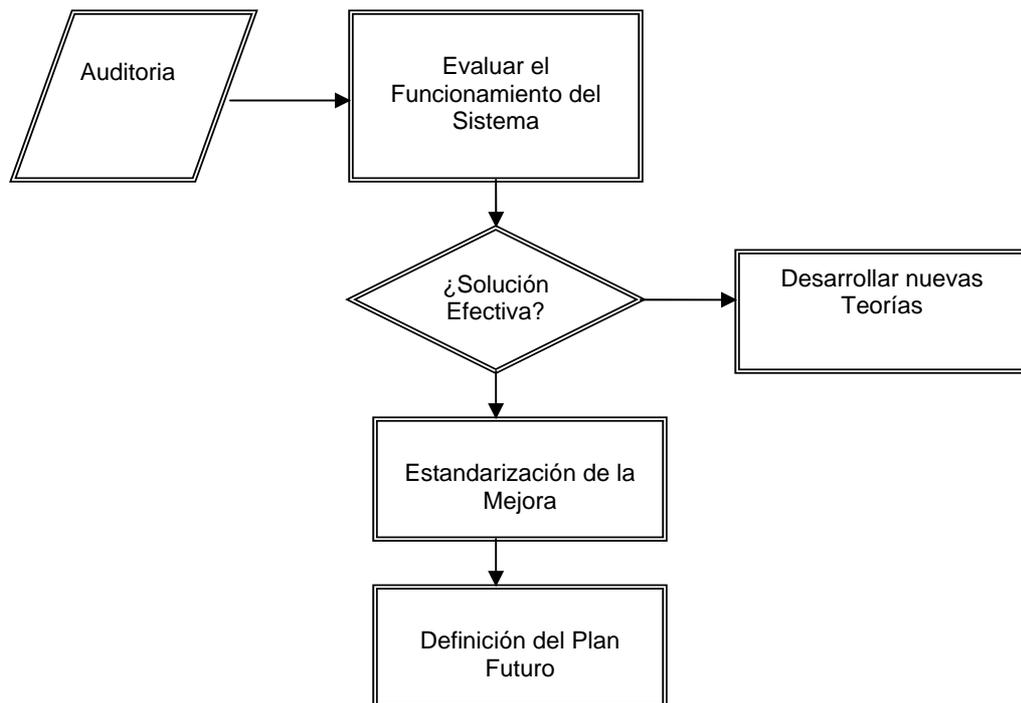


Figura 2.6 Esquema para la evaluación de la efectividad de las soluciones

Las características generales de las distintas fases se resumen a continuación:

Evaluar el Funcionamiento del Sistema. Se realiza una auditoria para evaluar el funcionamiento del sistema, se pretende conocer si la solución adoptada es efectiva.

En caso negativo se procede a desarrollar nuevas teorías sobre los problemas, y en caso positivo se procede a estandarizar la mejora.

Estandarización de la Mejora. Cuando se ha evaluado la efectividad de la solución y el resultado es positivo se generan estándares que ayuden a la correcta implantación y desarrollo de la solución.

Definición de un Plan Futuro. Si todo funciona de forma correcta se planifica las actuaciones futuras definiendo el correspondiente Plan.



2.3.4. Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (RCM)

El mantenimiento centrado en fiabilidad se define como una metodología en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la fiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, teniendo presente los posibles efectos que originarán los modos de fallos de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

Las características generales de la metodología pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Es una herramienta que permite ajustar las estrategias de mantenimiento al entorno de operación del activo.
- Es un procedimiento sistemático que genera planes óptimos de mantenimiento.
- Es una filosofía nueva que implica, normalmente, un cambio cultural en la propia organización.
- Genera resultados más satisfactorios en equipos que presenten una gran diversidad de modos de fallos.
- Es una metodología que necesita un medio o largo plazo de tiempo para su consecución.

La metodología RCM propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes 7 preguntas claves:

1. ¿Cuál es la función del activo?
2. ¿De qué formas puede fallar?
3. ¿Qué origina el fallo?
4. ¿Qué pasa cuando falla?
5. ¿Importa si el activo falla?
6. ¿Se puede hacer algo para prevenir el fallo?
7. ¿Qué pasa si no podemos prevenir el fallo?



El proceso de implantación se fundamenta en la capacidad del equipo natural de trabajo, el cual se encargará de responder a las siete preguntas claves, siguiendo el esquema que se detalla a continuación (ver figura 2.7):

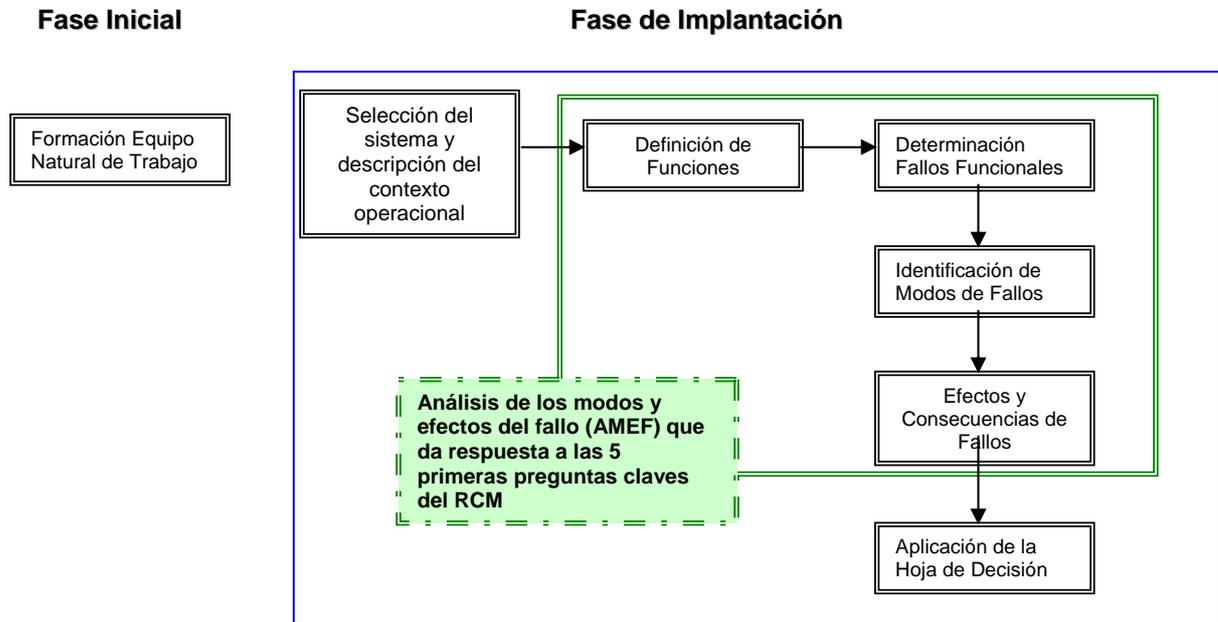


Figura 2.7. Fases de la Metodología RCM

El análisis de modos y efectos de fallo (AMEF) es una herramienta para la optimización de la gestión de mantenimiento en una organización determinada. Se fundamenta en una metodología sistemática que permite identificar los problemas antes de que ocurran y puedan afectar a procesos y productos dentro de un área determinada de la organización.

De esta forma, podemos concluir que el objetivo básico del AMEF es encontrar las formas o modos en los cuales puede fallar un activo dentro de un proceso, e identificar las posibles consecuencias de los fallos en función de tres criterios básicos en el RCM: seguridad humana, seguridad medio ambiente e impacto en la producción.

Fase 1. Formación del Equipo Natural de Trabajo. Un equipo natural de trabajo se define, dentro del contexto del RCM, como un conjunto de personas de diferentes funciones de la organización que trabajan juntas durante un periodo de tiempo determinado en un clima de potenciación de energía, para analizar problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común.



Las características y componentes de los equipos naturales de trabajo son semejantes a las expuestas en la descripción del análisis causa-raíz, recogido en el apartado 2.3.3 de este documento.

Fase 2. Selección del Sistema y descripción del Contexto Operacional. Un sistema es un conjunto de equipos lógicos los cuales cumplen con una serie de funciones requeridas. La mayoría de los sistemas se establecen en base a los procesos importantes en una organización. El análisis RCM no tiene porqué abarcar todos los sistemas, normalmente se preestablece una jerarquización de los mismos en base a su criticidad.

En cuanto a la definición del contexto operacional se necesitaría realizar lo detallado a continuación:

- **Resumen Operativo:** Especificar el propósito que cumple el sistema a analizar, describiendo los equipos, procesos y dispositivos de seguridad implicados, así como detallar las metas relativas a la seguridad y medio ambiente y establecer planes futuros.
- **Personal:** Especificar la rotación de turnos de trabajo, las operaciones realizadas y los parámetros de calidad definidos.
- **División de Procesos:** Especificar la división del proceso en sistemas, definir los límites de los mismos y listar los componentes de los mismos, incluyendo indicadores y dispositivos de seguridad.

Una herramienta gráfica que facilita la visualización del contexto operacional, es el diagrama de entrada-proceso-salida (ver figura 2.8):

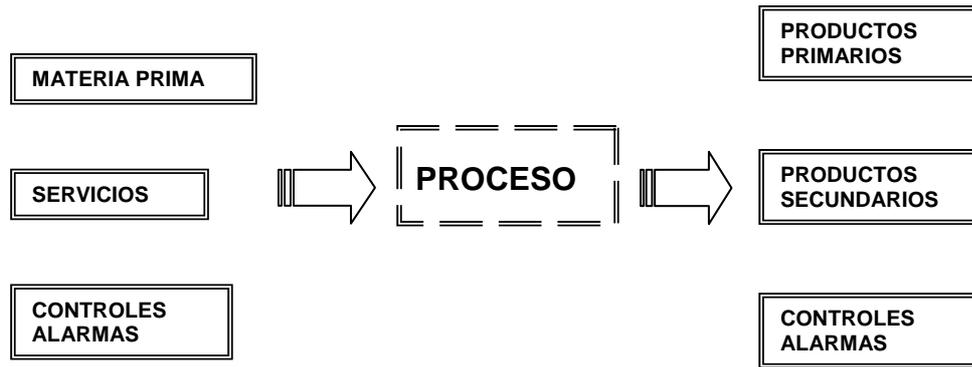


Figura 2.8. Diagrama de Entrada-Proceso-Salida

Con referencia a las entradas, se definen los conceptos siguientes:

Materia Prima: Recursos tomados directamente por el sistema para su empleo.

Servicios: Recursos empleados por el sistema para la transformación de la materia prima.

Controles: Entrada referida a los sistemas de control y sus efectos sobre el equipo; generalmente no necesitan ser registrados como una función separada ya que su fallo siempre está asociado a una pérdida de señal de salida en alguna parte del proceso.

Con referencia a las salidas, los conceptos que se definen son:

Productos Primarios: Constituyen los principales propósitos del sistema.

Productos Secundarios: Estos productos derivan de funciones principales que cumple el sistema, la pérdida de los mismos puede causar, en la mayoría de los casos, la pérdida de las funciones primarias.

Controles-Alarmas: Realizadas por equipos de control especiales preparados para prevenir posibles fallos y por equipos de protección a personas y procesos.



Fase 3. Definición de Funciones. Una función se define como el propósito o la misión de un activo en un contexto operacional específico. La metodología define los siguientes tipos de funciones:

Funciones Primarias: Son las funciones que un activo tiene que cumplir dentro de un proceso, usualmente vienen definidas por el propio nombre del activo. Por ejemplo, la función primaria de una bomba es bombear un determinado fluido.

Funciones Secundarias: Son las funciones que el activo está capacitado para cumplir en adición a las salidas principales descritas por las funciones primarias. Entre las funciones secundarias más características están:

- **Contención:** La mayoría de los activos cuyas funciones primarias son la transferencia de material, especialmente si es un fluido, tienen que contener a su vez a estos materiales.
- **Soporte:** Algunos activos tienen una función secundaria estructural de soporte. Por ejemplo la función primaria de un edificio es proteger a personas, pero además sirve de soporte del techo del mismo.
- **Apariencia:** La apariencia de algunos activos envuelve funciones específicas. Por ejemplo la función primaria de la pintura de los equipos industriales es proteger frente a la corrosión, por otro lado una pintura de color brillante puede ser usada para mejorar la visibilidad del mismo por razones de seguridad.
- **Higiene y Seguridad:** Los activos deben ser capaces de operar de forma segura y limpia.

Funciones de Protección: Existen equipos que tienen como misión proteger en primera instancia a las personas de los posibles efectos de los fallos y posteriormente proteger a los activos.

Funciones de Control: El patrón de funcionamiento de los equipos de control consiste en tomar mediciones con dispositivos especiales, que se encargan de captar señales de temperatura, presión, flujo... las cuales serán traducidas en valores específicos y comparadas con rangos normales de operación, permitiendo de esta forma controlar y vigilar el buen funcionamiento de los distintos procesos.



Funciones Subsidiarias: Son funciones realizadas en el proceso principal por equipos especiales adecuados a procesos específicos que no están relacionados directamente con el producto final del proceso principal.

Fase 4. Determinación de Fallos Funcionales. En el apartado anterior se explicaba como cada activo cumple una función o funciones en un contexto operacional dado. El siguiente paso es determinar como esos activos dejan de cumplir sus funciones, la pérdida de una función es lo que en RCM se denomina *fallo funcional*.

Un *fallo funcional* se define como una ocurrencia no previsible, que no permite que el activo alcance el funcionamiento esperado en el contexto operacional en el cual se desempeña.

El *estándar de ejecución esperado* es el parámetro que permite especificar, cuantificar y evaluar de forma clara la misión de un activo con respecto a la función que se desea que el activo cumpla dentro de un contexto operacional específico.

Para poder identificar de forma clara cuando un activo está cumpliendo su función de forma eficiente, es necesario que el grupo de trabajo defina de forma precisa el estándar de ejecución esperado del activo, dentro del contexto operacional que se encuentre.

Fase 5. Identificación de Modos de Fallos. Los puntos anteriores se han referido a la definición de las funciones de los activos con sus respectivos estándares de ejecución deseados y sus fallos funcionales. Las funciones de los activos en sus contextos de operación y los fallos funcionales dictarán el nivel al cual es requerido el mantenimiento de los mismos. Los fallos funcionales están originados por una serie de causas que se denominan *modos de fallo*.

Las actividades de prevención, anticipación y corrección de fallos funcionales según el RCM deben estar orientadas a atacar modos de fallos específicos. La identificación correcta por parte del grupo de trabajo será el factor básico para la selección adecuada de las actividades de mantenimiento.



En el proceso de análisis de modos de fallos, el grupo de trabajo buscará información sobre la ocurrencia de los fallos, consultando:

- Los operarios que hayan tenido una larga asociación con el activo.
- Los fabricantes y vendedores de los equipos.
- Los registros técnicos existentes de los equipos.
- Base de datos de la organización.
- Otros usuarios de los mismos activos.

Fase 6. Efectos y consecuencias de fallos. El objetivo principal del grupo de trabajo en esta parte del proceso consiste en identificar lo que sucederá en el contexto operacional si ocurre el modo de fallo previamente identificado. La identificación de los efectos del modo de fallo deberá incluir toda la información necesaria que ayude a soportar la evaluación de las consecuencias de los fallos. Para identificar y describir de forma precisa los efectos producidos por cada modo de fallo, el grupo de trabajo debe responder de forma clara las siguientes preguntas:

¿Cómo, si puede ser evidente, se evidencia que un modo de fallo ha ocurrido?

La descripción del efecto del fallo deberá incluir si se la ocurrencia del modo de fallo se evidencia a partir de algún tipo de señal o de manifestación física (ruido, humo...).

¿Cómo podría afectar la ocurrencia de cada modo de fallo a la seguridad humana o al ambiente?

Se debe detallar si existe la posibilidad de que alguna persona pueda ser herida o alguna norma incumplida. Normalmente, estos modos de fallo aparecen por la mala operación de los equipos, derrames de sustancias químicas... y suelen ser inusuales gracias al avance en el diseño moderno de las instalaciones y sus equipos.

¿Cómo afectaría la ocurrencia de cada modo de fallo a la producción y las operaciones?



Se debe describir, si puede aparecer, el impacto en la producción y operaciones de esos modos de fallo. Normalmente, los modos de fallo de este tipo generan paros completos de los procesos, reducción de la calidad de los productos, aumento de costes de los procesos, etc.

Si la aparición de los modos de fallo no es prevenida, se necesitará una enorme cantidad de tiempo y esfuerzo para corregir los mismos, que afectará negativamente a la organización, ya que reparar y corregir los efectos que provoquen esos fallos consume recursos que podrían estar empleándose en otras áreas de forma más eficiente.

Con el fin de poder decidir cual es la mejor actividad de mantenimiento a ejecutar, es necesario que el grupo de trabajo tenga claramente definido el aspecto relativo a las consecuencias de los modos de fallos.

El impacto del modo de fallo en la organización depende del contexto operacional donde trabaje, del estándar de ejecución deseado para una función y de las consecuencias físicas generadas tras el evento.

La combinación de estos tres factores hace que cada modo de fallo tenga una forma característica de impactar en la seguridad, el ambiente y las operaciones. Las categorías en las que se han clasificado los modos de fallo son:

- Modos de Fallo con consecuencias ocultas: Las consecuencias de estos modos de fallo se generan a partir de funciones no evidentes que presentan algunos activos en su contexto operacional, por ejemplo los equipos de reserva, de control o de seguridad.
- Modos de Fallo con consecuencias sobre la seguridad humana y el medio ambiente: Estos modos de fallo surgen a partir de funciones evidentes de los activos y afectarán, en primer lugar a la seguridad humana (accidentes, lesiones...) y en segundo lugar al medio ambiente (incumplimiento de normas, leyes...).
- Modos de Fallo con consecuencias operacionales: Los modos de fallo que afectan a las operaciones surgen de funciones evidentes de los activos cuyos fallos funcionales afectarán de forma importante a la



producción o las operaciones (cantidad de producto, calidad del mismo, costes...).

- Modos de Fallo con consecuencias no operacionales: Surgen a partir de funciones evidentes y sus consecuencias son aceptables respecto a la seguridad, ambiente y operaciones, únicamente repercute en costes directos de su reparación.

Las consecuencias de los modos de fallo se determinan apoyándose en el siguiente diagrama (ver figura 2.9):

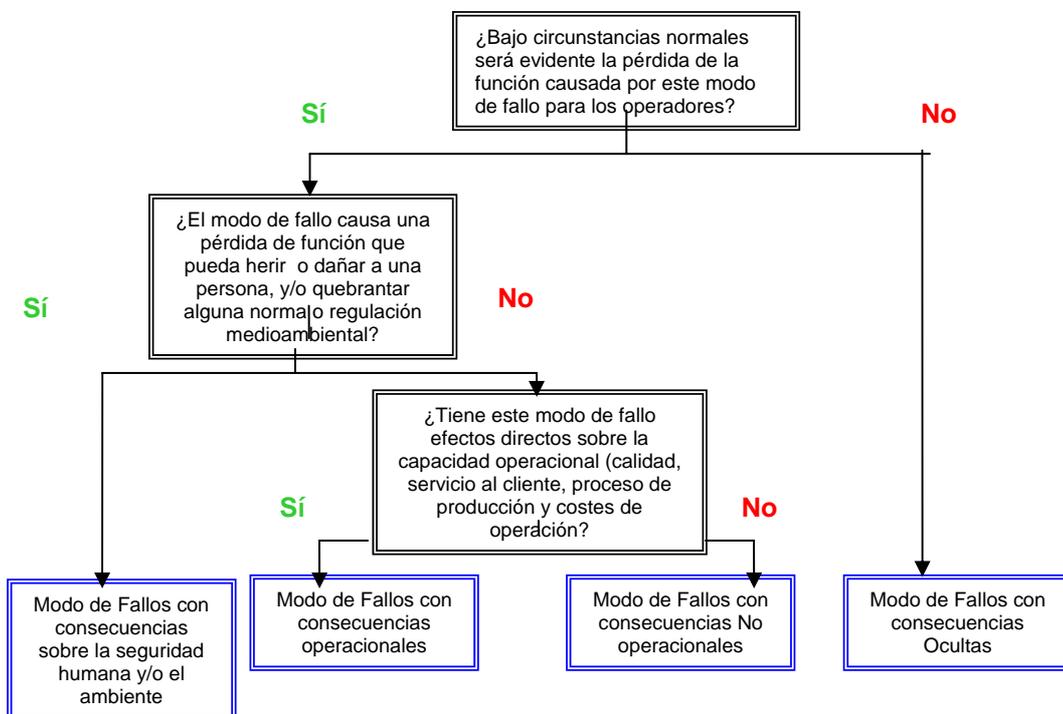


Figura 2.9. Sistemática para determinar las Consecuencias de los Modos de Fallo



Fase 7. Selección de las Actividades de Mantenimiento aplicando la hoja de decisión. Una vez realizado el análisis de modos y efectos de fallos se tiene que realizar la selección del tipo de actividad de mantenimiento que ayude a prevenir la aparición de cada modo de fallo previamente identificado, a partir de la *hoja de decisión*, consistente en una herramienta que permite seleccionar actividades adecuadas de mantenimiento para evitar la ocurrencia de cada modo de fallo o disminuir sus posibles efectos.

Cuando se seleccione el tipo de actividad, se procede a especificar la acción de mantenimiento concreta a ejecutar y la frecuencia de ejecución de la misma.

La selección de la actividad de mantenimiento se realiza aplicando la hoja de decisión (ver figura 2.10):

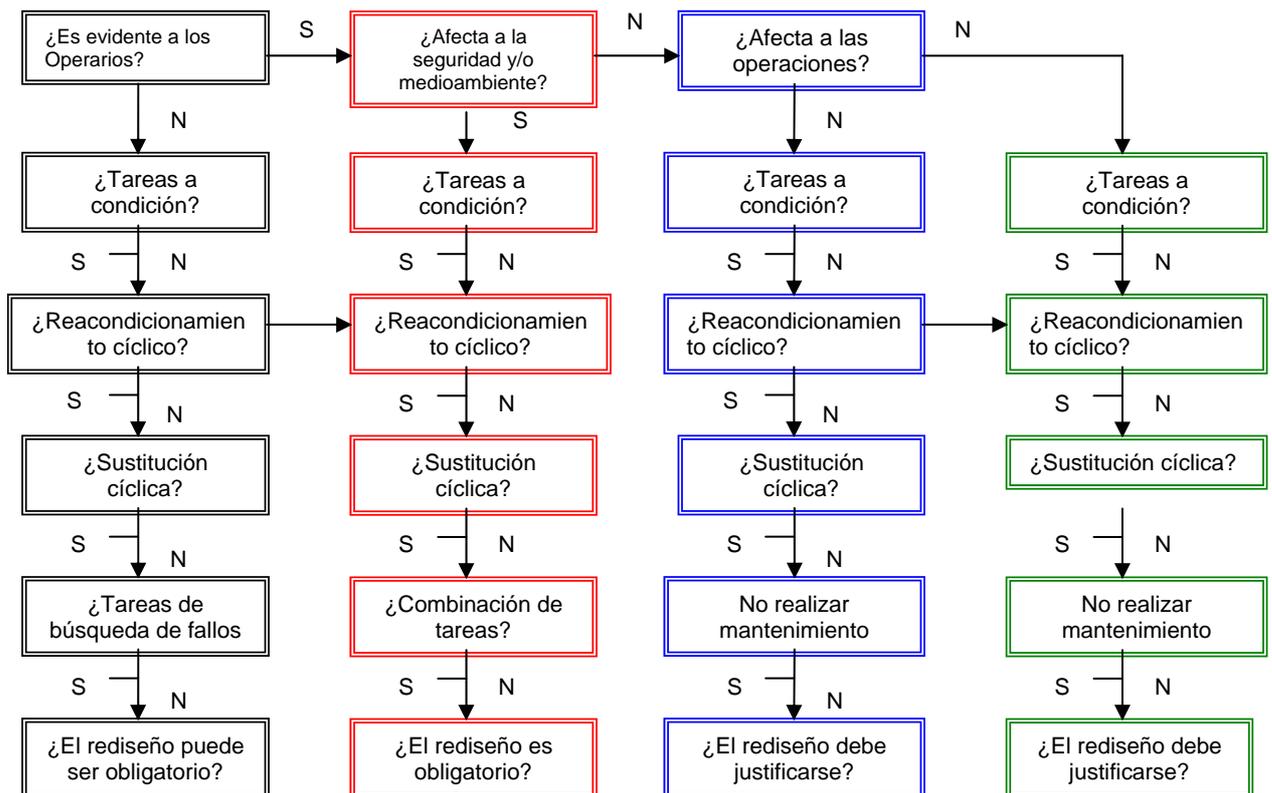


Figura 2.10. Hoja de Decisión del RCM



El RCM clasifica las actividades de mantenimiento a ejecutar en dos grandes grupos: las de mantenimiento preventivo y las actividades correctivas, estas últimas, se ejecutarán sólo en el caso de no encontrar una actividad efectiva de mantenimiento preventivo. Cada grupo de actividades de mantenimiento tiene sus respectivos tipos de tareas de mantenimiento, las cuales se mencionan a continuación:

Actividades Preventivas

1. *Tareas programadas en base a condición.* Las actividades programadas en base a condición (predictivas), se basan en el hecho de que la mayoría de los modos de fallos no ocurren instantáneamente, sino que se desarrollan progresivamente en un periodo de tiempo. Si la evidencia de este tipo de modo de fallos puede ser detectada bajo condiciones normales de operación, es posible que se puedan tomar acciones programadas en base a la condición del activo, que ayuden a prevenir estos modos de fallo y eliminar sus consecuencias. El momento en el proceso en el cual es posible detectar que el fallo está ocurriendo o está a punto de ocurrir es conocido *como fallo potencial*.
2. *Tareas de reacondicionamiento.* Se refieren a las actividades periódicas que se llevan a cabo para restaurar un activo a su condición original, es decir, actividades de prevención realizadas a los activos a un intervalo de frecuencia menor al límite de vida operativo del activo, en función del análisis de sus funciones en el tiempo.

En este tipo de actividades, el activo es puesto fuera de servicio, se realiza una inspección general y se reemplazan, si es necesario, las piezas defectuosas. Las tareas de restauración programadas son conocidas como *overhauls*, y su aplicación más común es en equipos mayores: compresores, turbinas, calderas...

NOTA: Ha sido objeto de este proyecto diseñar un procedimiento de reparación general (overhaul) adaptado a las necesidades de la organización y con la finalidad de integrarse en un sistema de gestión de la calidad ISO 9001:2000.



3. *Tareas de Sustitución-Reemplazo Programado*

Este tipo de actividad está orientada específicamente hacia el reemplazo de componentes o partes usadas de un activo a un intervalo temporal inferior al de su vida útil (antes que fallen). Las actividades de reemplazo devolverán la condición original al componente, ya que sustituyen uno viejo por uno nuevo, la diferencia con las anteriores es simplemente que éstas inciden en los componentes y las de reacondicionamiento involucran a todos los componentes de un equipo mayor, además de que un overhaul no implica una sustitución de piezas viejas sino que puede limitarse a acciones de limpieza, reparación, inspección...

4. *Tareas de Búsqueda de Fallos Ocultos*

Tal y como se definió en apartados precedentes, los modos de fallos ocultos no son evidentes bajo condiciones normales de operación, por lo que este tipo de fallos no tienen consecuencias directas, pero éstas consecuencias pueden propiciar la aparición de fallos múltiples dentro de un contexto operacional.

Uno de los caminos que puede ayudar a minimizar los efectos de un fallo múltiple es tratar de disminuir la probabilidad de ocurrencia de fallos ocultos, chequeando periódicamente si la función oculta está trabajando correctamente.

Actividades Correctivas. Cuando las actividades de prevención para un determinado modo de fallo, no son técnicamente factibles, o no son efectivas, se aplican actividades correctivas. Las actividades correctivas a aplicar son:

1. *Rediseño*

En el caso de no conseguir actividades de prevención que ayuden a reducir los modos de fallos que afecten a la seguridad o al ambiente a un nivel aceptable, es necesario realizar un rediseño que minimice o elimine las consecuencias de esos modos de fallos.



2. Actividades de Mantenimiento No Programado

En el caso de no conseguir actividades de prevención económicamente más baratas que los posibles efectos derivados de los modos de fallos con consecuencias operacionales o no operacionales, se podrá tomar la decisión de esperar hasta el fallo y actuar de forma correctiva.

La implantación del RCM en una organización permitirá:

- Lograr importantes reducciones del coste del mantenimiento.
- Optimizar la fiabilidad operacional, maximizando la disponibilidad y mejorando la mantenibilidad de los equipos.
- Integrar las tareas de mantenimiento con el contexto operacional de los equipos.
- Fomentar el trabajo en grupo.
- Incrementar la seguridad operacional y la protección del medioambiente.
- Optimizar la aplicación de actividades de mantenimiento teniendo en cuenta la criticidad y relevancia de los activos dentro del contexto operacional.
- Establecer un sistema eficiente de mantenimiento preventivo.
- Aumentar el conocimiento del personal.
- Facilitar el proceso de normalización ISO, a través de la creación de procedimientos de trabajo y registros.
- Desarrollar un sistema de manejo de datos eficiente.

Los beneficios de la implantación del RCM en una organización son los resumidos en la tabla siguiente (ver tabla 2.2):



Beneficios del Mantenimiento Centrado en Fiabilidad				
CALIDAD	TIPO DE SERVICIO	COSTO	TIEMPO	RIESGO
<p>Aumenta la disponibilidad de las instalaciones (2-10%).</p> <p>Elimina los fallos crónicos.</p> <p>Aumenta la flexibilidad operacional.</p> <p>Programas de mantenimiento basado en datos reales.</p>	<p>Mejora del Trabajo en equipo y la comunicación.</p> <p>Ayuda al mejor entendimiento del requerimiento de los clientes.</p> <p>Disminuye las paradas no programadas.</p>	<p>Reduce los costes de mantenimiento programado.</p> <p>Optimización de los programas de mantenimiento.</p> <p>Administración más eficiente de los contratos.</p> <p>Alarga la vida de los equipos especiales.</p> <p>Actividades de mantenimiento basadas en análisis coste-beneficio.</p>	<p>Reduce los tiempos de inoperatividad de los operarios</p> <p>Reduce la duración de las paradas en la industria.</p>	<p>La seguridad y el ambiente son prioritarios</p> <p>Los fallos que afecten a la seguridad y medio ambiente son inaceptables</p> <p>Reduce al mínimo la posibilidad de fallos múltiples</p>

Tabla 2.2. Beneficios del Mantenimiento Centrado en Fiabilidad.

2.3.5. Metodología de Inspección Basada en Riesgo

Es una metodología que permite determinar la probabilidad del fallo en equipos que transportan y/o almacenan fluidos y las consecuencias que estas pudieran generar sobre las personas, el ambiente y los procesos.

Con esta metodología, basada en la norma API 580, se optimizan los esfuerzos en inspecciones sobre los equipos y se evalúa el impacto sobre el riesgo de acciones como modificar un proceso, instalar equipos adicionales, etc.

El Riesgo se define como la pérdida potencial asociada a un evento con probabilidad no despreciable de ocurrir en un futuro.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} * \text{Consecuencia}$$



La *probabilidad* depende de los mecanismos de deterioro, tasas de corrosión, calidad/frecuencia de inspección...

La *consecuencia* depende del tipo de fluido, los sistemas de mitigación existentes, impacto operacional, de seguridad y medioambiental, etc.

La metodología se fundamenta en un software que permite modelar el riesgo cualitativa y cuantitativamente, se aplica a patrones de fallos de equipos estáticos, y su producto principal es la *matriz de riesgos* donde se indican los niveles de riesgos de los equipos que se van a inspeccionar. El resultado son los **planes de inspección** sobre los equipos.

Esta metodología se debe aplicar cuando se precise:

- Fijar/Revisar las frecuencias de inspección sobre los equipos.
- Optimizar los costes de las inspecciones.
- Cuantificar/modificar los niveles de riesgo.
- Mejorar la productividad.
- Disminuir los problemas de deterioro de los equipos.

Las distintas fases de la metodología son:

1. Selección de la Unidad de Análisis: Este punto hace referencia a establecer cuál es el equipo (unidad) objeto del análisis, indicando las fronteras que separan este sistema del resto de sistemas que no serán analizados.
2. Recopilación de Información-Selección de Variables. En este punto se realizaría la recogida de toda la información posible y de utilidad que involucre al equipo que se analiza, seleccionando las variables que servirán para el desarrollo de todo el proceso analítico.



3. Cuantificación del Riesgo. En este apartado se procede a la cuantificación del riesgo, que se define como el producto de la probabilidad de fallo y la consecuencia del mismo. El resultado del apartado es la denominada matriz de riesgos (ver figura 2.11), que aparece representada en la figura siguiente:

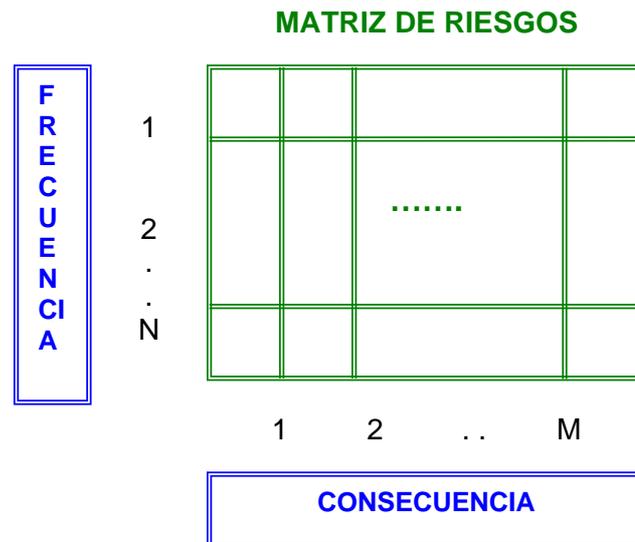


Figura 2.11. Representación Genérica de la Matriz de Riesgos

4. Optimización del Plan de Inspección. Se procede en este punto al desarrollo del plan de inspección óptimo para el equipo.
5. Implantación del Plan de Inspección. Esta fase hace referencia a la implantación del plan óptimo que se detalló en el apartado anterior
6. Evaluación y Seguimiento. Para concluir, el plan de inspección implantado debe llevar asociado un seguimiento y una evaluación para verificar su eficacia.

No es objeto del proyecto analizar con más detenimiento la citada metodología ni realizar ningún caso práctico de aplicación de la misma.



2.3.6. Proceso de Optimización del Coste Riesgo Beneficio (OCR) de las estrategias de Mantenimiento

Es una metodología que permite identificar la frecuencia óptima de aplicación de las actividades de mantenimiento, a partir del análisis en conjunto de los siguientes factores:

- Modos de Fallos – Frecuencia de aparición de los mismos.
- Costes de mantenimiento programado y no programado.
- Consecuencias de los fallos dentro del contexto operacional.

Las bases teóricas de la metodología se presentan en el siguiente gráfico (ver figura 2.12):

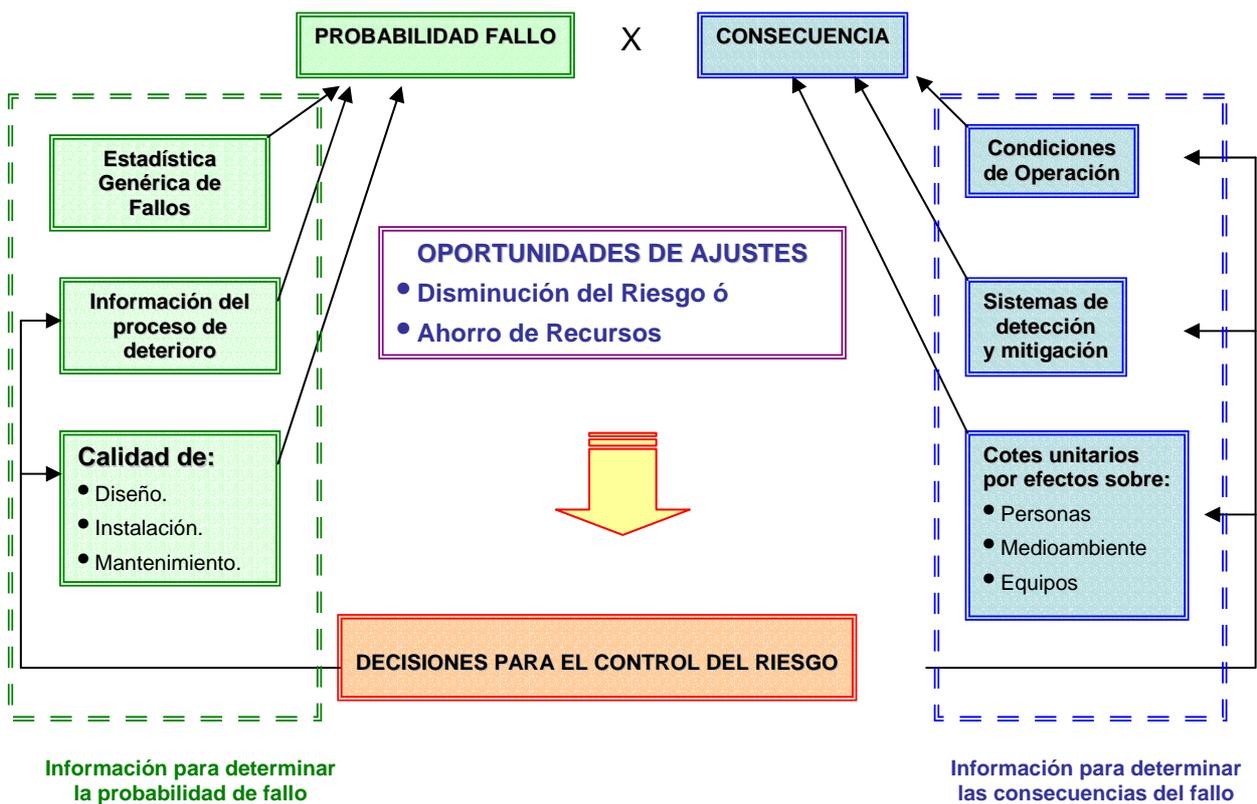


Figura 2.12. Resumen Metodología OCR



En la gráfica que se muestra a continuación (ver figura 2.13) se resume el modelo de decisión:

$$\text{Riesgo Total} = \text{CNP} \cdot (F(t)/t) + \text{CP} \cdot (R(t)/t)$$

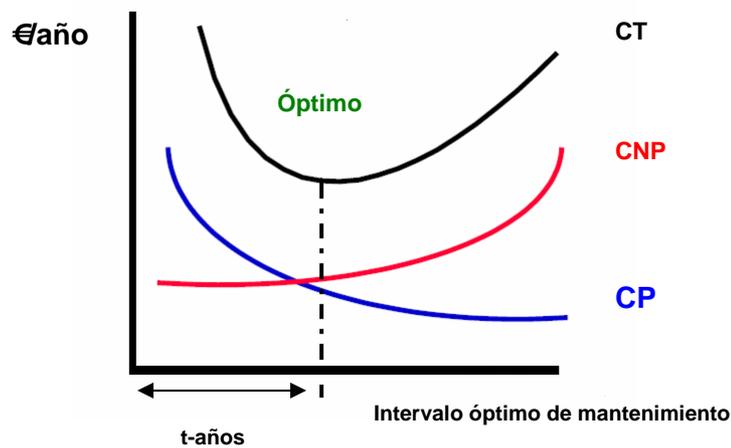


Figura 2.13 Modelo para la Decisión en la técnica OCR

donde:

CT: Es el coste total, suma de los costes planificados y no planificados.

CNP: Costes no planificados

CP: Costes Planificados

F (t): Función de probabilidad de que el equipo falle.

R (t): Función de Fiabilidad, probabilidad de que el equipo no falle.

De esta forma, si la acción de mantenimiento se ejecuta con una frecuencia correspondiente al punto óptimo, entonces se produce un fallo con consecuencias mínimas en el negocio. En caso de ejecutarse en un intervalo situado a la derecha del óptimo, se asume mucho riesgo, pudiendo aparecer el fallo con alta probabilidad, antes de realizar la acción de mantenimiento. Y por último, si la actividad de mantenimiento se ejecuta en un tiempo a la izquierda del óptimo, el riesgo es muy bajo, pero el gasto de realizar la acción no está justificado ya que sería más eficiente trasladar la acción de mantenimiento y ejecutarla en el intervalo óptimo.



Con el método OCR se consigue:

- Optimizar, en cuanto a la relación Producción-Mantenimiento, los costes totales.
- Obtener frecuencias óptimas de actividades de mantenimiento, basadas en su contexto de producción, teniendo presente los costes y los riesgos.
- Extender la vida útil de componentes y equipos.
- Optimizar los inventarios de repuestos.
- Optimizar los recursos necesarios para ejecutar las actividades de mantenimiento.