

# **R&M – FIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD**

## **ÍNDICE**

<b>1. Introducción a la Fiabilidad y Mantenibilidad (R&amp;M)</b>	<b>1</b>
1.1. Visión General de la Reliability and Maintainability (R&M)	1
1.1.1. Beneficios del Plan de R&M	2
1.1.2. Consideraciones Sobre la Seguridad	2
1.1.3. Costo del Ciclo de Vida Reducido	3
1.2. Implantación de R&M Durante las Cinco Fases del Proceso del Ciclo de Vida de los Equipos de Fabricación	4
1.2.1. Introducción	4
1.2.2. Proceso de Gestión del Programa en Cinco Fases	5
1.2.2.1. Fase 1 – Concepto	5
1.2.2.2. Fase 2 - Diseño / Desarrollo	6
1.2.2.3. Fabricación e Instalación	6
1.2.2.4. Fase 4 - Funcionamiento y Apoyo	7
1.2.2.5. Fase 5 - Reciclado y/o Desechado	7
1.2.3. Guía de Aplicación del Plan de R&M	8
1.2.4. Adaptación de las Actividades de R&M a lo Largo de las Fases del Ciclo de Vida	9
1.3. Fiabilidad	10
1.3.1. Funcionamiento Satisfactorio	11
1.3.2. Periodo Especificado de Tiempo	11
1.3.3. Condiciones Ambientales	11
1.3.4. Vida de un Equipo y Tasa de Fallo	12
1.3.4.1. Periodo de Fallo Prematuro	12
1.3.4.2. Periodo de Vida Útil	14
1.3.4.3. Periodo de Envejecimiento	14
1.4. Mantenibilidad	15
1.4.1. Estrategias de Mejora de la Mantenibilidad Durante el Diseño	15
1.4.1.1. Seguridad	15
1.4.1.2. Accesibilidad	16

1.4.1.3.	Diagnóstico .....	16
1.4.1.4.	Hardware Exclusivo y de Conexión/Desconexión Rápida .....	17
1.4.1.5.	Prácticas de Construcción Habituales.....	17
1.4.1.6.	Herramientas Comunes.....	17
1.4.1.7.	Códigos de Colores .....	17
1.4.1.8.	Técnicas de Gestión Visual .....	17
1.4.1.9.	Gestión de Piezas de Recambio .....	19
1.4.1.10.	Procedimientos de Mantenimiento .....	19
1.4.1.11.	Modularidad .....	20
1.4.1.12.	Estandarización .....	20
1.4.1.13.	Formación, Documentación y Ayuda en el Trabajo .....	20

## 1. Introducción a la Fiabilidad y Mantenibilidad (R&M)

### 1.1. *Visión General de la Reliability and Maintainability (R&M)*

La Fiabilidad y Mantenibilidad (Reliability & Maintainability) es una herramienta básica de lo que se ha dado en llamar Gestión Temprana del Equipo (Early Equipment Management), ingrediente clave para mantener la eficiencia productiva y para conducir a unos costos del ciclo de vida totales inferiores; lo que resulta necesario para afirmar la ventaja competitiva tan importante en el entorno turbulento en el que se mueve la industria moderna. Además, por la valiosa información que genera para los proyectos futuros y por estar diseñada para su implementación desde el concepto del equipo hasta su desechado/reciclado involucrando a proveedor y cliente, queda englobada dentro de la Ingeniería Simultánea, condición necesaria en la industria actual del automóvil. Los parámetros básicos de esta técnica son:

- Fiabilidad es la probabilidad de que la maquinaria o equipos de fabricación en general puedan funcionar continuamente, sin fallos, durante un intervalo de tiempo especificado, en las condiciones establecidas. El incremento de fiabilidad implica menos fallos de la maquinaria y consecuentemente un menor tiempo de parada y pérdida de producción.
- Mantenibilidad es una característica de diseño, instalación y funcionamiento, que generalmente se expresa como la probabilidad de que una máquina se pueda mantener en unas condiciones operativas especificadas, o devolver a dichas condiciones, dentro de un intervalo de tiempo también especificado, cuando el mantenimiento se realiza de acuerdo con los procedimientos preescritos.

La Fiabilidad y Mantenibilidad (R&M) es una característica vital de la maquinaria y equipos de fabricación, que permiten a los fabricantes que la utilizan convertirse en competitivos a nivel mundial. Una eficiente planificación de la producción depende de un proceso que tiene como resultado la fabricación de piezas de alta calidad, a un ritmo especificado, sin interrupción. La fiabilidad y mantenibilidad predecible de la maquinaria y equipos de fabricación es un ingrediente clave para el mantenimiento de la eficiencia de producción y para un eficaz despliegue de los principios 'Just-in-Time' (Justo-a-Tiempo). La mejora de la R&M conduce a unos costos totales inferiores del ciclo de vida, lo que es necesario para mantener la ventaja competitiva.

Este proyecto trata de apoyar tales objetivos con la mejora continua de la maquinaria, después de su instalación. La implantación con éxito de un plan de R&M requiere un esfuerzo de colaboración entre usuario y proveedor. Ninguno de los participantes en el proceso puede lograr los objetivos por sí mismo.

### 1.1.1. Beneficios del Plan de R&M

La mejora de los resultados de Fiabilidad y Mantenibilidad (R&M) nos lleva a una disponibilidad mejorada. La alta disponibilidad de la maquinaria de producción ofrece los medios para elaborar productos de alta calidad constante a costos inferiores y con niveles de rendimiento superiores. La satisfactoria aplicación de las técnicas de R&M tiene un efecto positivo sobre la moral del empleado y su amor propio, dado que al reducir el tiempo de parada, también reduce significativamente la tensión y frustración que sufre el operario.

La Tabla siguiente muestra los beneficios que la mejora de la R&M de los equipos reporta tanto al usuario como al proveedor:

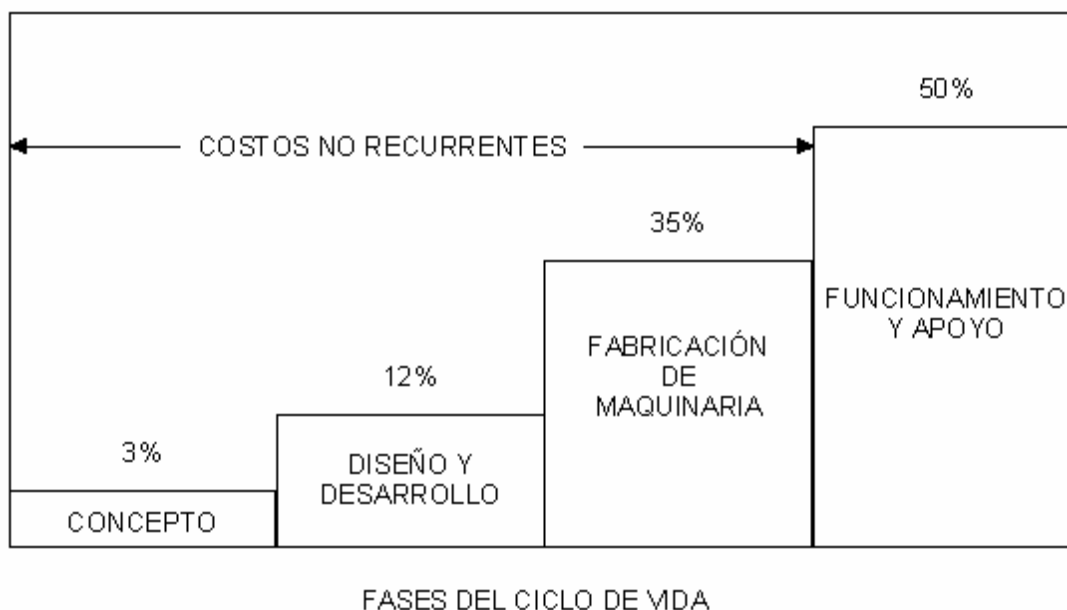
<b>Beneficios de la R&amp;M para el usuario y el proveedor</b>	
<b>Beneficios del Usuario</b>	<b>Beneficios del Proveedor</b>
Mayor disponibilidad de equipos y maquinaria	Costos de garantía reducidos
Eliminación/Reducción del tiempo de parada no programado	Costos de fabricación reducidos
Costos de mantenimiento reducidos	Costos de diseño reducidos
Programa de trabajo estabilizado	Mejora de las relaciones con el usuario
Mejora de la capacidad de comportamiento J-I-T	Mayor satisfacción del usuario
Mejora de la rentabilidad	Mejora de la situación en el mercado
Mejora de la satisfacción del empleado	Ventaja competitiva en el mercado
Reducción global de los costos de producción	Mejora de la satisfacción del cliente
Calidad más constante de productos/piezas	Mejora de la comprensión de aplicaciones de productos
Menor necesidad de existencias en proceso para cubrir los tiempos de parada	Incremento del volumen de ventas
Menor Coste de Ciclo de Vida (LCC) de los equipos	

### 1.1.2. Consideraciones Sobre la Seguridad

En cualquier programa de R&M, debe siempre tenerse muy en cuenta la seguridad. Los beneficios de un diseño mejorado no pueden comprometer la capacidad que tienen la maquinaria de fabricación y los equipos de funcionar seguros y de que se pueda realizar el mantenimiento sin riesgo para el personal. Las características de seguridad pasiva deben constituir siempre el primer criterio de buen diseño.

### 1.1.3. Costo del Ciclo de Vida Reducido

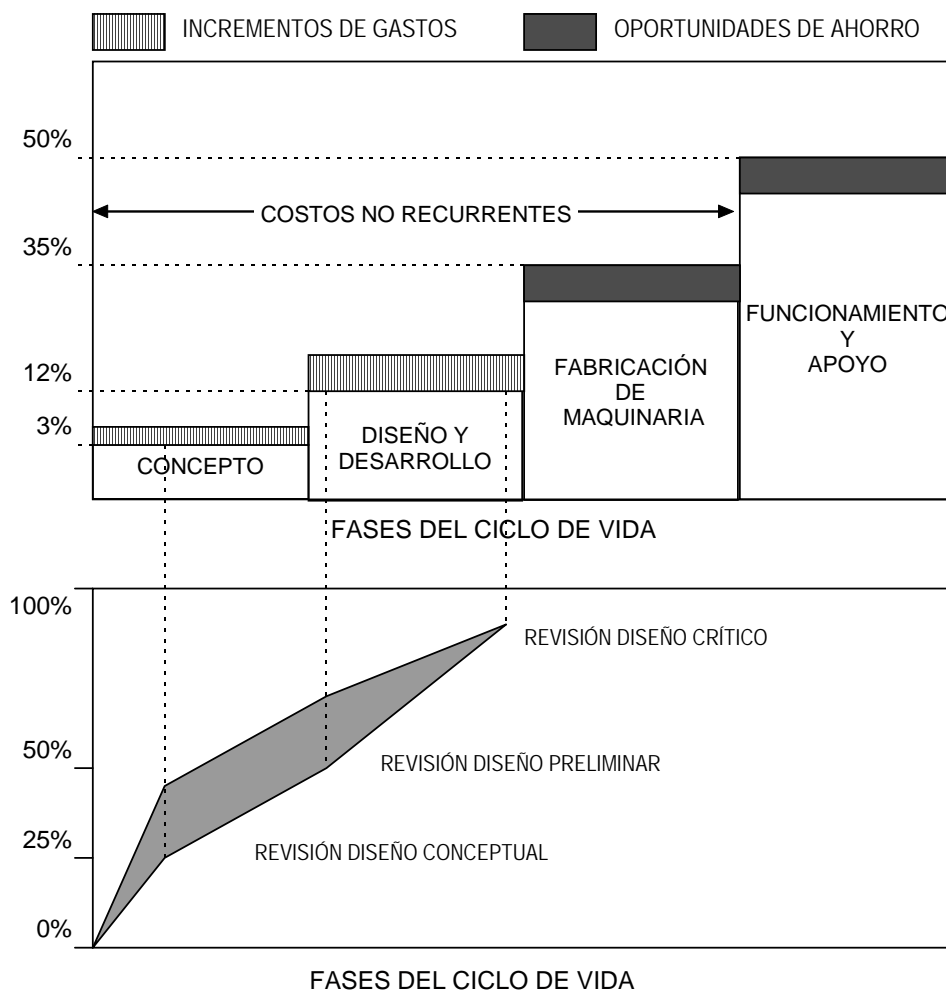
El Costo del Ciclo de Vida / Life Cycle Cost (LCC) se refiere al costo total de un sistema durante la totalidad de su vida útil. El LCC es la suma de los costos no recurrentes más los costos de funcionamiento y apoyo. La figura siguiente muestra que el funcionamiento y apoyo generalmente consumen sobre un 50% del LCC total.



El LCC se puede reducir acentuando la R&M durante las etapas de concepción y desarrollo. Utilizando la R&M para minimizar las tensiones (eléctrica, mecánica, térmica, etc.), el equipo tendrá menos tendencia a fallar durante el funcionamiento y los costos de funcionamiento y apoyo, que representan la mayoría -o todo- el LCC, disminuirán.

El siguiente gráfico ilustra cómo un ligero incremento en el gasto, para implantar las prácticas R&M durante las etapas de concepto y de diseño, puede disminuir drásticamente los costos de funcionamiento y apoyo. Es importante considerar la R&M desde la etapa más temprana del programa. Los estudios industriales demuestran que hasta un 95% del LCC se determina durante las etapas de concepción y desarrollo. Por lo tanto, una vez que el nuevo equipo ha llegado a la etapa de construcción, sólo queda una oportunidad del 5% para mejorar la fiabilidad o mantenibilidad del equipo. Sobre este 5% es donde se va actuar en el presente proyecto.

El gráfico ilustra también los puntos en los cuales se producen las tres revisiones de diseño dentro de cada una de las fases del ciclo de vida. Este gráfico también estima cual es la parte del LCC que queda predeterminada en cada fase. Se muestra una gama sombreada de los LCC predeterminados, ya que los costos varían según el caso concreto objeto de estudio.



## 1.2. Implantación de R&M Durante las Cinco Fases del Proceso del Ciclo de Vida de los Equipos de Fabricación

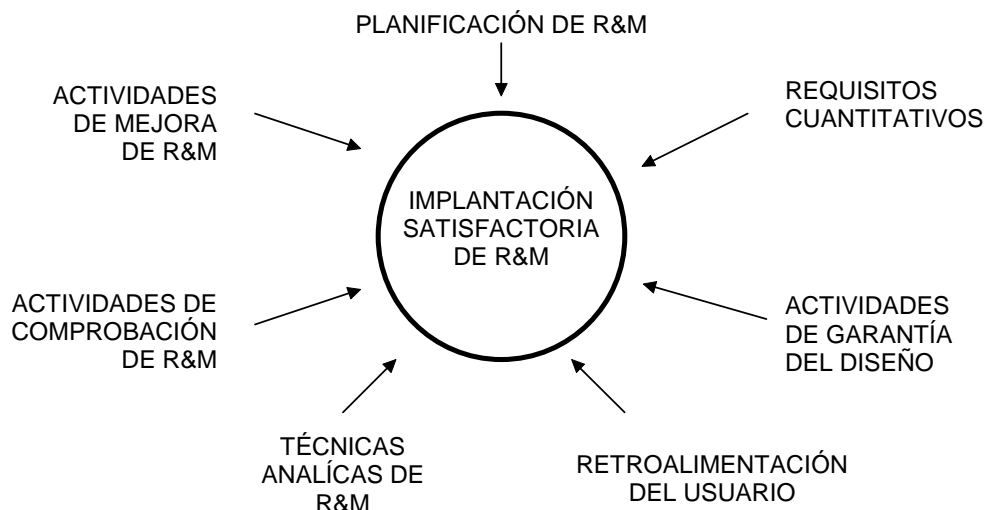
### 1.2.1. Introducción

La R&M deberá implantarse durante todas las fases del ciclo de vida del equipo. La implantación con éxito de la R&M depende de una estrecha comunicación entre el usuario y el proveedor. Esta comunicación debe comenzar durante la concepción del proyecto y continuar a través de toda la vida de los equipos, para garantizar que se identificarán los problemas de los mismos, se determinarán sus causas raíces y se implantarán las medidas correctoras pertinentes.

El logro de unos niveles racionales de R&M pocas veces se produce por casualidad. Necesita planificación, definición de metas, filosofía de diseño, análisis, evaluación y retroalimentación para una mejora continua. La Dirección de la Empresa deberá reconocer el valor de la R&M y comprometer la mano de obra y recursos necesarios para alcanzar la meta. Sin tal compromiso, la probabilidad de conseguir las metas en R&M es baja. Para lograr

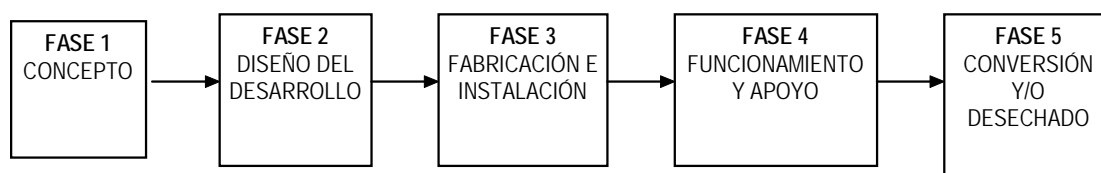
satisfactoriamente los objetivos cualitativos y cuantitativos de la R&M se necesita un esfuerzo de equipo que implique a todos los departamentos de la empresa.

El siguiente esquema muestra siete prácticas clave para una satisfactoria implantación de la R&M.



### 1.2.2. Proceso de Gestión del Programa en Cinco Fases

La siguiente figura revisa las fases típicas del proceso de desarrollo de un equipo de fabricación. El proceso arranca en la Fase 1 con la definición del concepto y continúa hasta el desechado y/o reciclado en la Fase 5. Este procedimiento puede adaptarse a cualquier programa de desarrollo de maquinaria y equipos de fabricación.



*Las 5 Fases del Ciclo de Vida de un Equipo.*

#### 1.2.2.1. Fase 1 – Concepto

La primera fase consiste en la investigación y un desarrollo limitado del diseño que generalmente tiene como resultado una propuesta. Durante esta fase, tanto el usuario como el proveedor deben trabajar conjuntamente para establecer los requisitos del sistema. El equipo del usuario deberá contar con operadores de la máquina, personal de mantenimiento y de ingeniería y el equipo del proveedor deberá incluir al personal de ingeniería, de servicio y de montaje en planta y a los subproveedores. Los requisitos medioambientales y de finalidad de la maquinaria deben quedar definidos durante esta fase, al igual que ocurre con los asuntos de seguridad, metas para la Fiabilidad y la Mantenibilidad y metas para el costo del ciclo de vida.

La ingeniería simultánea podrá introducirse, bien en la Fase 1 o bien en la Fase 2, dependiendo de la situación concreta y del equipo y maquinaria de fabricación específicos.

#### *1.2.2.2. Fase 2 - Diseño / Desarrollo*

La Fase de Diseño y Desarrollo determina la mayoría del costo del ciclo de vida. Durante ella se incorporan todos los elementos de la fase conceptual. Los asuntos de seguridad, ergonomía, accesibilidad y otros temas de mantenimiento se diseñan desde el interior del sistema. También debe formalizarse la asignación de requisitos Fiabilidad y Mantenibilidad. Los componentes y los proveedores de componentes se seleccionarán basándose en las estadísticas predictivas de R&M que proporcionen las experiencias de programas similares.

La revisión de diseño garantiza que el diseño planificado probablemente satisfará todos los requisitos del modo más eficaz en costos, considerando todas las variables y limitaciones y prestando especial atención a la mantenibilidad. Típicamente hay dos revisiones del diseño en la fase 2: una revisión preliminar, que precede al compromiso con un planteamiento de diseño definitivo. La revisión de diseño crítica determina la disponibilidad global de producción antes de homologar los planos para la función de fabricación.

Deberán realizarse regularmente unas sesiones de revisión del diseño para garantizar una comunicación transparente entre el usuario y los proveedores de equipos y de maquinaria de fabricación. Los operadores, personal de mantenimiento o ingenieros de productos deberán participar en la revisión de diseño, de manera que todos aquellos involucrados en el proyecto entiendan la finalidad del diseño.

En esta fase, el diseño deberá incluir unos planes de pruebas adecuados, acordados tanto por el usuario como por el proveedor, para demostrar el cumplimiento de los requisitos, teniendo previsto el desmontaje y montaje en la planta del usuario. Se negociará la responsabilidad de recogida de datos y de realización de análisis e informes.

El proveedor y el usuario deberán negociar unas metas significativas de R&M y unos requisitos para la futura monitorización y responsabilidad compartida de recogida, análisis y presentación de datos.

#### *1.2.2.3. Fabricación e Instalación*

Durante el montaje y fabricación de la máquina, deberán monitorizarse los logros de los requisitos de R&M. También deberán comunicarse los temas que afecten a la Fiabilidad y la Mantenibilidad a los ingenieros de diseño, para garantizar que los rediseños incluyen las mejoras de R&M. Deberán identificarse las variables del proceso de fabricación que afectan a la R&M, estableciéndose unos objetivos de control.

Algunos de los acontecimientos que se producen durante la Fase 3 requieren una atención adicional:



- Se desarrollan procedimientos de mantenimiento. Un representante del usuario deberá estar implicado en este proceso.
- La formación comienza en esta fase y continúa en la siguiente.
- Las pruebas de aceptación de la máquina, que habrán sido acordadas en la Fase 2, deberán realizarse antes del desmontaje y montaje.
- La recopilación de la base de datos de R&M comienza durante las pruebas de aceptación de la máquina. Deberán documentarse todos los problemas encontrados en esta fase para servir de referencia futura y como candidatos a la mejora continua.
- La máquina será transferida desde las instalaciones del proveedor de maquinaria y equipos de fabricación a la planta del usuario. Deberán identificarse los procesos de montaje críticos durante el desmontaje.
- El montaje es un paso crítico. La máquina debe volverse a montar de acuerdo con los requisitos de fabricación. Deberá prestarse especial atención a los procesos de montaje críticos identificados durante el desmontaje.
- Podrían presentarse algunos fallos de mortalidad infantil durante el arranque inicial. Deberán hacerse todo tipo de esfuerzos para eliminar los fallos de mortalidad infantil durante la instalación y el periodo de depuración.

#### *1.2.2.4. Fase 4 - Funcionamiento y Apoyo*

Durante esta fase, el equipo ha sido enviado e instalado en el emplazamiento del usuario y está en total funcionamiento. La recogida de datos y la retroalimentación son muy importantes en esta fase. Los mecanismos de recogida de datos deberán implantarse, siendo acordados por ambas partes. La información recogida durante esta fase se utiliza para facilitar el crecimiento de la R&M y la mejora continua. Durante esta fase deberá realizarse periódicamente mantenimiento preventivo. Para que la iniciativa de R&M tenga éxito, los proveedores de maquinaria de fabricación y equipos y los proveedores de componentes deberán tener acceso a los registros de mantenimiento y a las bases de datos de R&M.

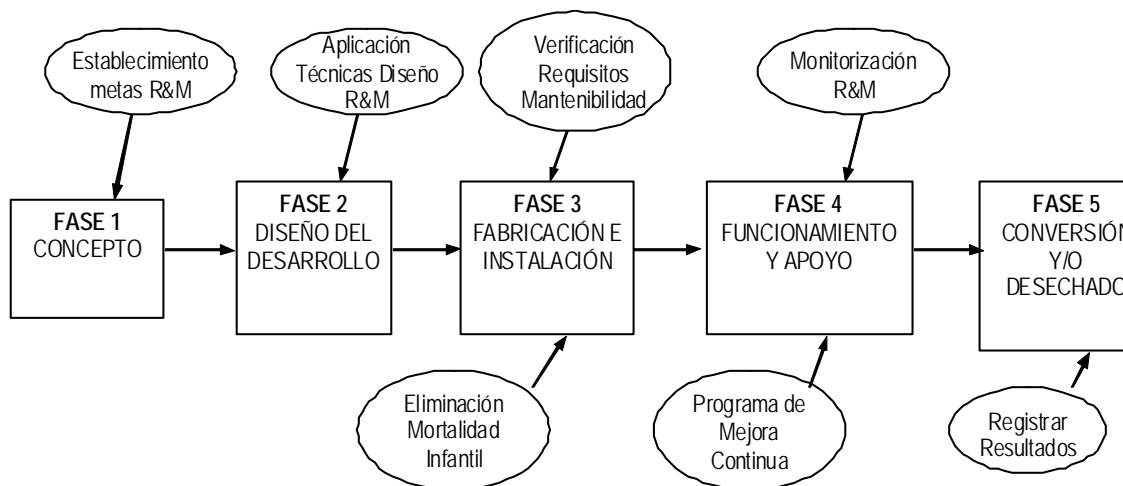
#### *1.2.2.5. Fase 5 - Reciclado y/o Desechado*

Esta fase es el final de la vida útil esperada de la máquina. En caso de producirse un creciente índice de fallos, que haya tenido como resultado un creciente gasto en mantenimiento, quizá deba desecharse, o quizá deba reconstruirse en un estado equiparable al de nuevo. Alternativamente, la máquina podría estar todavía en buenas condiciones, pero las necesidades de producción pudieran haber cambiado, demandando un importante reciclado de la máquina, para poder utilizarla en la fabricación de otros productos. Cuando se produce un desechado, reconstrucción o reciclado, deberá registrarse la retroalimentación procedente de la planta del

usuario. La información se utilizará para el crecimiento de la R&M y la mejora continua en futuras generaciones de maquinaria.

## Resumen de Fases

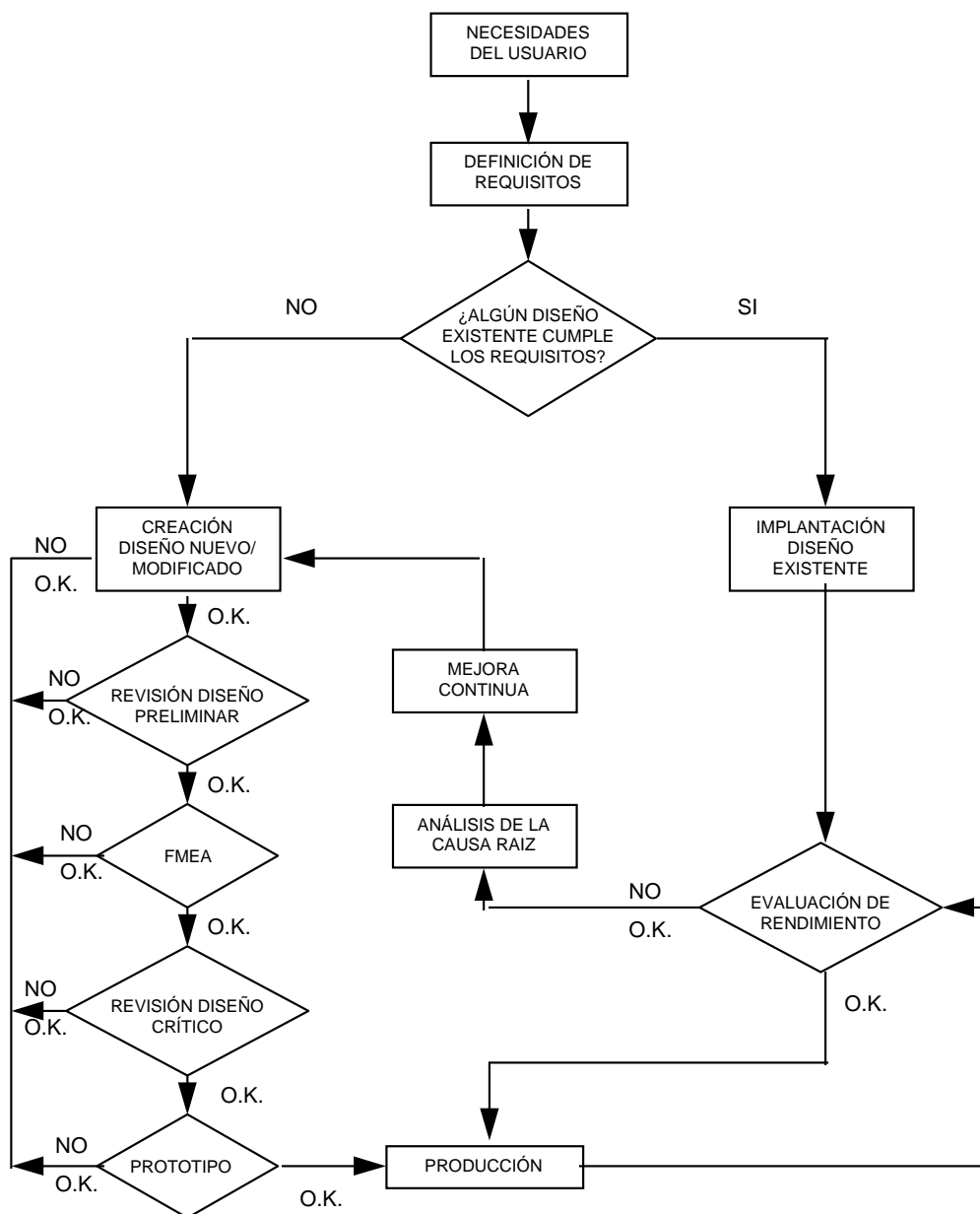
La figura siguiente resume las cinco fases de la vida de un equipo junto con los logros que se espera alcanzar en cada una de ellas:



*Fases de Vida de los Equipos y R&M*

### 1.2.3. Guía de Aplicación del Plan de R&M

La R&M para maquinaria y equipos debe afrontarse de forma sistemática. La siguiente figura proporciona el diagrama de flujo del proceso utilizado el diseño de un nuevo equipo dentro de un Plan de Fiabilidad y Mantenibilidad. Puede verse como se intenta aprovechar al máximo las lecciones aprendidas en el diseño y utilización de anteriores sistemas, de modo que además de abaratar el nuevo equipo, se consigue evitar todos los problemas que ya han sido detectados aumentando de este modo la fiabilidad y la mantenibilidad.



*Diagrama para el Diseño de Nuevos Elementos de Acuerdo con R&M*

#### 1.2.4. Adaptación de las Actividades de R&M a lo Largo de las Fases del Ciclo de Vida

Las actividades de R&M requeridas durante el equipamiento de las fases del ciclo de vida, son una función de los requisitos del equipo y las capacidades del proveedor seleccionado. La adaptación de estos requisitos por parte del usuario garantiza una aplicación eficaz en costos de los elementos del programa de R&M. La figura proporciona un ejemplo de una matriz genérica de programa de R&M. Las X indican cuando se realiza generalmente una actividad del programa de R&M. Para cada aprovisionamiento de los equipos, se desarrollará una Matriz de Programas

similar, para adaptarla a las necesidades de R&M de tal aprovisionamiento. La adaptación específica es una función de la cantidad de desarrollo nuevo requerido, la aplicación final y las capacidades de R&M del proveedor seleccionado

	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5
Requisitos de Fiabilidad	X				
Requisitos de Mantenibilidad	X				
Definición de Fallo	X				
Entorno / Uso	X				
Margen de Diseño		X			
Diseño de Mantenibilidad		X			
Predicciones de Fiabilidad		X			
FMEA (Análisis de Modos y Efectos de Fallos) / FTA (Análisis del Árbol de Fallos)		X			
Revisiones de Diseño		X			
Piezas			X		
Estudios de Tolerancia			X		
Análisis de Tensiones			X		
Pruebas de Cualificación de Fiab.			X		
Pruebas de aceptación de Fiab.			X		
Crecimiento de la F/Mejora de la M				X	
Informe de Fallos				X	
Retroalimentación de Datos				X	
Conversión y/o deshechado					X

*Matriz Genérica del Programa R&M*

### 1.3. Fiabilidad

Para poder medir la fiabilidad, definida como la probabilidad de que la maquinaria o equipos de fabricación en general puedan funcionar continuamente sin fallos, durante un intervalo de tiempo especificado, en las condiciones establecidas, es necesario:

- Enlazar la probabilidad a una definición precisa de funcionamiento satisfactorio.

- Especificar el periodo de tiempo o los ciclos de operación durante los que el funcionamiento satisfactorio debe mantenerse.
- Especificar las condiciones ambientales en las que el equipo va a funcionar.

### **1.3.1. Funcionamiento Satisfactorio**

Puede definirse “Fallo” como el acontecimiento en que la maquinaria o equipo no está disponible para producir piezas en condiciones especificadas cuando así está programado, o no es capaz de producir piezas o realizar las operaciones programadas de acuerdo con la especificación. Para cada anomalía o fallo, se requiere tomar una medida.

El concepto y la cuantificación están sujetos a interpretación, por lo que deben ser claramente definidos en el momento del contrato con el proveedor. Existen varios niveles de fallos según su importancia, pero en general se reduce su clasificación en mayores y menores.

### **1.3.2. Periodo Especificado de Tiempo**

Teóricamente, cada producto tiene una curva de fiabilidad definida por su diseño. Esta función expresa la fiabilidad del sistema a lo largo del tiempo, por lo que teóricamente, para intervalos de tiempo muy largos (tendientes a infinito), la fiabilidad alcanzaría el cero. Esto quiere decir, que para poder realizar unos cálculos útiles, es de vital importancia definir el intervalo de tiempo durante el que se mide la fiabilidad. Por ejemplo, la fiabilidad de un equipo durante 8 horas se representará como R8.

Dado que los productos se deterioran con el uso e incluso con el tiempo aunque no se les utilice, los periodos de tiempo más largos implican menor fiabilidad, por lo tanto, deben definirse periodos de tiempo objetivos para realizar un diseño. Dos típicos periodos de tiempo utilizados son el periodo de garantía y la vida útil.

### **1.3.3. Condiciones Ambientales**

Evidentemente son muy importantes en la fiabilidad de los equipos, por lo que en los criterios de diseño de un equipo o proceso, se debe incluir la definición clara y concisa de las condiciones ambientales en las que el mismo va a trabajar, incluyendo no solo los niveles sino también las posibles variaciones que puedan producirse.

Algunos de los factores ambientales de importancia son:

- Temperatura
- Golpes
- Inmersión o salpicaduras

- Ruido eléctrico
- Campos electromagnéticos
- Radiación ultravioleta
- Humedad
- Materiales corrosivos
- Presión o succión
- Contaminación y sus fuentes
- Vibración
- Servicios disponibles

### **1.3.4. Vida de un Equipo y Tasa de Fallo**

En el caso de que se instale un nuevo equipo complejo en la planta de fabricación, como por ejemplo un transfer, se van a producir una cantidad importante de fallos en el inicio del trabajo del nuevo elemento. Conforme la producción crezca, se descubrirán nuevos problemas que se irán solucionando, de modo que la fiabilidad del equipo crecerá hasta estabilizarse en un punto máximo que se considerará el inicio de su vida útil. Análogamente, cuando un equipo supera una cierta edad, su fiabilidad comienza a decaer rápidamente señalando la necesidad de reconvertirlo o desecharlo. La representación de la fiabilidad de este modo, es conocida por su forma como la curva de la bañera, donde se distinguen tres fases:

#### *1.3.4.1. Periodo de Fallo Prematuro*

Durante este periodo la maquinaria de fabricación muestra una alta tasa de fallo que decrece rápidamente según van fallando sus componentes más débiles. Por ello algunos fabricantes de componentes para maquinaria realizan un periodo de funcionamiento denominado “burn-in” donde se hace trabajar al componente previamente a su montaje, de modo que se reduce su mortalidad infantil al eliminarse los componentes más débiles.

La maquinaria, en general, es sometida un periodo de pruebas denominado “run-off” en la planta del proveedor previamente a su desmontado y traslado a la planta cliente, que no debe ser interpretado como un periodo para eliminar los fallos de los componentes menos resistentes. El objetivo del periodo de “run-off” debe ser la comprobación de la calidad, el rendimiento y la precisión del equipo.

Los fallos prematuros se pueden deber a causas como:

- Soldaduras pobres
- Uniones soldadas demasiado frías

- Entalladuras, grietas o golpes
- Mal posicionado de componentes
- Restos de virutas procedentes de la fabricación
- Contaminación
- Materiales subestándares
- Imperfecta instalación o ensamblado
- Porosidad en la fundición
- Inclusiones
- Errores de diseño de ingeniería
- Incorrecta elección de componentes

Fundamentalmente, estos fallos reflejan la fabricación de los componentes y el ensamblado del equipo debido a la capacidad de construcción e instalación del proveedor. Debe ponerse un interés especial en eliminar los fallos en el periodo de “mortalidad infantil” para empezar a lograr un cambio significativo.

La reducción de fallos en este periodo requiere de los esfuerzos combinados de los proveedores de maquinaria y controles, con actividades que deben incluir:

- Desarrollo y uso de prácticas estándares de construcción
- La conexión de los controles a su recepción por los proveedores de maquinaria de modo que funcionen continuamente hasta que llegue el momento de su instalación
- Aumento del ciclado en vacío de las máquinas previamente y durante la fase previa al transporte a la planta del cliente
- Pedir a los proveedores de controles que envíen los resultados de sus pruebas y datos de fallos a los proveedores de maquinaria para su inclusión en la base de datos de R&M de la máquina herramienta
- Especificar al proveedor de maquinaria que los informes todos los fallos producidos durante sus pruebas deben ser registrados y transmitidos con el equipo

Debe asumirse que la tasa de fallo durante este periodo será mayor que durante la vida útil, y que la duración de este periodo depende de la complejidad del equipo, la calidad de los componentes empleados y la capacidad y experiencia en la fabricación y montaje del proveedor.

#### *1.3.4.2. Periodo de Vida Útil*

Durante este periodo el equipo exhibe una tasa de fallo relativamente baja y constante. Esta tasa de fallo es debida a la fiabilidad que proporciona el propio diseño del equipo y a las políticas de mantenimiento practicadas por el usuario. Durante esta fase los fallos se deben a:

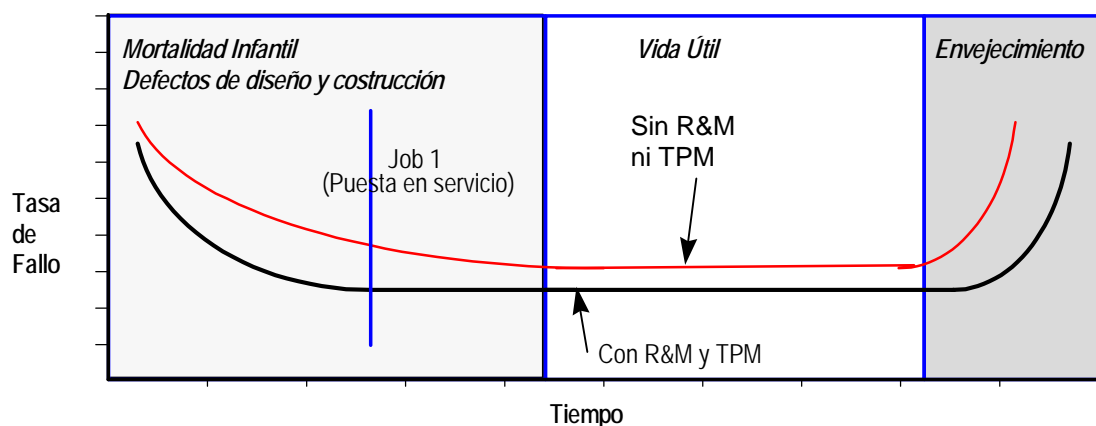
- Factores de seguridad bajos
- Tensiones mayores de las previstas
- Resistencias ocasionalmente bajas de los componentes, debido a la variabilidad de los productos
- Abuso de su uso
- Errores del operador
- Defectos que escapan incluido a los mejores métodos de detección disponibles (por tanto inevitables)
- Mal uso del equipo
- Prácticas de mantenimiento
- Prácticas de gestión

#### *1.3.4.3. Periodo de Envejecimiento*

Al inicio del tercer periodo de la vida del equipo, la tasa de fallo comienza a incrementarse rápidamente, llegando a un punto en el que es más que recomendable la sustitución del equipo o una reparación mayor si se quiere que el equipo continúe en servicio. La aparición de este periodo se debe a gran cantidad de factores que incluyen:

- Corrosión u oxidación
- Fatiga
- Merma o cuarteado en materiales plásticos
- Endurecimiento de los componentes de goma
- Desgaste por fricción
- Cambio químico
- Prácticas de mantenimiento





*Curva de Vida de los Equipos*

Como puede verse en el diagrama superior, uno de los objetivos de la técnica de R&M es la mejora del diseño del equipo, de modo que se reduzca la mortalidad infantil y aumente la vida útil, además de la reducción de la tasa de fallo durante la vida útil. Esta técnica junto con el Mantenimiento Productivo Total (TPM) puede alargar sensiblemente el rendimiento de un equipo y abaratar su mantenimiento a largo plazo.

## 1.4. Mantenibilidad

Es una característica de diseño, instalación y funcionamiento, que generalmente se expresa como la probabilidad de que una máquina se pueda mantener en unas condiciones operativas especificadas, o devolver a dichas condiciones (estado de servicio), dentro de un intervalo de tiempo también especificado, cuando el mantenimiento se realiza de acuerdo con los procedimientos preescritos. En cuanto al diseño del equipo, se refiere a la facilidad que da a los operarios para realizar el mantenimiento.

### 1.4.1. Estrategias de Mejora de la Mantenibilidad Durante el Diseño

Existen una serie de principios que aplicados durante la vida de un equipo facilitan su mantenibilidad como son:

#### 1.4.1.1. Seguridad

La seguridad de las personas (operadores, mantenimiento y usuarios finales) debe ser la principal de las restricciones que se deben aplicar en el diseño, fabricación y operación de los equipos. La ingeniería de seguridad deberá ser introducida en la etapa de diseño, y no después de haber fabricado el equipo. El personal de seguridad deberá ser consultado directamente y desde el principio, para aprovechar al máximo la mejor tecnología disponible, de una manera eficiente, segura y ergonómica. Si se diseña adecuadamente, el entorno del operador no sólo reducirá el riesgo de daños personales sino que también evitará la exposición a riesgos para la salud o actividades que puedan introducir trastornos repetitivos del movimiento. Las guardas de los puntos

de restricción, las etiquetas de seguridad, las guardas del personal, dispositivos de aviso, cierres, bloqueos y otras medidas de seguridad deberán estar ya integradas en el diseño. Los requisitos de seguridad deberán estar incluidos en las especificaciones. Deben cumplirse todas las normas de seguridad aplicables.

#### *1.4.1.2. Accesibilidad*

La accesibilidad significa contar con espacio de trabajo suficiente alrededor del componente para realizar la diagnosis, búsqueda de anomalías, y actividades de mantenimiento completas, de forma segura y eficaz. Deberá preverse el movimiento o desplazamiento de los equipos y herramientas necesarias, considerando las limitaciones ergonómicas humanas.

Los operadores y personal de mantenimiento y servicios deberá ser involucrado en la evaluación de la accesibilidad diseñada, ya que ellos son las personas que mejor conocimiento tienen del modo de realización de los trabajos de reparación y pueden identificar con más facilidad los problemas.

#### *1.4.1.3. Diagnóstico*

Las utilidades de diagnóstico, indicadoras de la situación del equipo, deberán estar incorporadas siempre que sea posible en la maquinaria de fabricación para facilitar los procesos de apoyo de la mantenibilidad.

Los diagnósticos pueden ser tan simples como un visor que indique el estado de los equipos bajo la forma de funciona/no funciona, o tan sofisticados como un sistema experto inteligente con capacidad de analizar un problema y recomendar la solución más probable.

Los sistemas de diagnóstico deberán tener la capacidad de almacenar datos de comportamiento del equipo, como por ejemplo los registros permanentes para el análisis de fiabilidad y la retroalimentación del proveedor. Este sistema deberá servir de apoyo al procedimiento de gestión de incremento de la fiabilidad. La salida de los sistemas diagnósticos deberá tener un formato que sea compatible con programas de gestión con base de datos comercialmente disponibles.

Cuando se utilizan los conjuntos y subsistemas de componentes para crear un sistema de fabricación, deben implantarse "enganches" de hardware y software, en la fase de conceptualización y diseño, para facilitar la integración del sistema de diagnosis en la fase de fabricación.

Los sistemas de diagnosis deberán indicar el componente específico a sustituir o reparar.

#### *1.4.1.4. Hardware Exclusivo y de Conexión/Desconexión Rápida*

El hardware exclusivo y de conexión/desconexión rápida nos proporciona una sustitución fácil y rápida de los componentes, paneles, soportes y chasis. El entorno en que se utilizan estos dispositivos podría restringir el tipo de dispositivo utilizado. También deben configurarse con tales dispositivos premontados las piezas de recambio y los subconjuntos sustituibles. Entre los ejemplos se incluyen:

- Tuercas de chapa, de anclaje y de jaula
- Cierres a presión y rápidos
- Tuercas con remache y auto-remache
- Cierres de cuarto de vuelta

#### *1.4.1.5. Prácticas de Construcción Habituales*

Las prácticas de construcción habituales han dejado el desarrollo de la tirada de las tuberías, de los cableados y de las cañerías a los conocimientos de los operarios de ensamblado en la planta. El personal encargado de la instalación está más cerca de la acción y puede doblar y cortar más eficientemente los materiales para ajustarse a cualquier situación de la forma más útil y eficiente. Dado que cada conexión, junta, curva, etc, representa un modo de fallo potencial, las prácticas de R&M exigen un enfoque más riguroso y técnico en estos procesos: Hasta el último proveedor de maquinaria debe desarrollar un manual práctico ampliamente documentado e instruir a sus operarios con él. Todas las empresas deben influir sobre sus proveedores de maquinaria para reducir el montante de actividades de este tipo que no estén documentadas, analizadas y controladas.

#### *1.4.1.6. Herramientas Comunes*

Deben eliminarse las herramientas especiales. Deben utilizarse herramientas estándares y fácilmente disponibles para realizar el mantenimiento, de este modo, además de facilitar el mantenimiento, se eliminan grandes inversiones y stocks de herramientas.

#### *1.4.1.7. Códigos de Colores*

La maquinaria debe cumplir con los estándares de colores de la planta, de modo que se facilite su mantenimiento.

#### *1.4.1.8. Técnicas de Gestión Visual*

Las técnicas de gestión visual son diferentes para los diversos tipos de equipo. Debe producirse un esfuerzo de equipo entre proveedor y usuario para proporcionar las mejores técnicas al usuario. Dichas técnicas deberán revisarse constantemente en cuanto a su

concepto/diseño, tanto durante la fabricación de la máquina como ya en la planta de fabricación, por parte de todos los miembros del equipo. Las técnicas de gestión visual se utilizan en la maquinaria y en los equipos para que la concienciación del puesto de trabajo llegue a un nivel tal, que permita reconocer rápidamente y de un simple vistazo los problemas y las condiciones anormales. Los sistemas de gestión visual optimizan el proceso de inspección de los equipos, permitiendo una rápida identificación de las anomalías de seguridad, calidad, medio ambiente, equipos y procesos.

Las técnicas de gestión visual típicas incluyen:

- Ajustar las marcas de todos los cierres (tuercas, tornillos, espárragos, etc.), bien sean fijos, ajustables o críticos
- Ajustar las marcas de todos los ajustes de control (presión, flujo, temperatura, velocidad, nivel, voltaje, corriente, etc.)
- Identificación de las gamas y niveles de funcionamiento normales
- Dirección del flujo y codificación de color del producto en tubos y tuberías
- Sentido de rotación (accionamientos, correas, cadenas, motores, etc.)
- Etiquetas de función (interruptores, válvulas, botones, luces, etc.)
- Etiquetas de identificación (armados, paneles, cajas, etc.)
- Filtros (lubricación, hidráulico y aire) que indiquen cuando están sucios
- Filtros etiquetados con el número del elemento del filtro de sustitución
- Accionamientos mediante correa y cadena, con guardas que permitan una rápida inspección y acceso visual
- Sustitución de las etiquetas de numeración de la correa o cadena en las guardas
- Cada punto de lubricación deberá estar etiquetado con el número de producto y el código de color
- Etiquetas sensibles a la temperatura en todos los componentes críticos (motores, accionamientos, controles, unidades hidráulicas, etc.)
- Distribución en planta de los equipos con indicación de todos los puntos de cierre de seguridad del cuadro eléctrico de control (fijados sobre el cuadro de control eléctrico principal)
- Distribución en planta de los equipos con indicación de todos los puntos de llenado de lubricación, frecuencias y códigos de productos (fijados sobre el cuadro de control eléctrico principal)
- La identificación de todos los números de plano de control, en el cuadro de control eléctrico principal

- Señales o alarmas que indiquen una anomalía importante, disparo del interlock de seguridad, procesos fuera de control, etc.
- Lista de inspección del operador de equipos y procesos (fijados sobre el cuadro de control eléctrico principal)

#### *1.4.1.9. Gestión de Piezas de Recambio*

El mantenimiento de la maquinaria de fabricación y de los equipos requiere unas existencias disponibles de piezas de recambio y materiales de apoyo para operar, mantener y revisar los equipos. La gestión de las piezas de recambio identificará y mantendrá disponibles las cantidades necesarias de piezas de recambio, a un costo de inventario óptimo para el usuario de los equipos.

Los planes de apoyo al equipo a través de la gestión de piezas de recambio deberán iniciarse durante la fase de diseño de los equipos y continuaran durante todo el ciclo de vida del equipo. Deberá tenerse en cuenta el tiempo (plazo de entrega) necesario para la solicitud, fabricación y recepción en inventario de las piezas o materiales necesarios, con objeto de evitar costos excesivos de suministro de piezas de recambio en caso de emergencia.

El proveedor de los equipos y maquinaria de fabricación deberá poner a disposición del usuario del equipo una lista de piezas de recambio recomendadas. Deberá gestionarse el aprovisionamiento de piezas de recambio o de sustitución, incluyendo materiales consumibles, con objeto de garantizar que el comportamiento y capacidad de los equipos y maquinaria de fabricación se mantiene al nivel de las especificaciones originales del fabricante o por encima de ellas.

#### *1.4.1.10. Procedimientos de Mantenimiento*

Los procedimientos de mantenimiento deben describir con detalle los ajustes, sustitución y reparación de sistemas, subsistemas y piezas componentes de la máquina. El fabricante del equipo original proporcionará los procedimientos de mantenimiento preventivo recomendados a intervalos basados en el tiempo o en el cómputo de ciclos de la máquina. Deberá darse prioridad a los requisitos de mantenimiento, para permitirle al usuario de los equipos el darle prioridad a los programas de mantenimiento en relación con la importancia de la actividad.

Los procedimientos de mantenimiento deberán estar contenidos en manuales de servicio o en una base de datos computerizada, que refleje el contenido específico y la configuración de los equipos a que se refiere. Deberán incluirse, siempre que sea aplicable, ilustraciones de despieces, fotografías, planos simplificados de montaje y listas de piezas, en relación con los procedimientos y actividades de mantenimiento requeridas. También deberá incluirse, en su caso, información técnica, tal como ajustes de las presiones, secuencias operativas y tolerancias de las piezas móviles.

#### **1.4.1.11.     *Modularidad***

La modularidad requiere que los diseños estén divididos en unidades físicas y funcionalmente separadas, para facilitar su desmontaje y sustitución. La modularidad obliga a que el diseño de componentes se realice como unidades desmontables y sustituibles, para optimizar el diseño y que el tiempo de parada de máquinas sea mínimo. Los conceptos de diseño modular se suelen contemplar en términos de cajas eléctricas negras, tarjetas de circuitos impresos y otros componentes eléctricos de conexión/desconexión rápida. Estos conceptos son también aplicables a los elementos mecánicos de los equipos de producción.

La modularidad ofrece varias ventajas:

- Se pueden simplificar los nuevos diseños y se puede acortar el tiempo de diseño, utilizando bloques de fabricación estandarizados, previamente desarrollados
- Se pueden reducir los conocimientos técnicos especializados
- Resulta más fácil la formación del personal de mantenimiento de planta
- Se pueden realizar los cambios de ingeniería rápidamente con menos efectos secundarios

Algunos ejemplos de componentes mecánicos modulares son los husillos de sustitución rápida, motores y dispositivos reductores, mecanismos de enlace y cambio de herramientas.

#### **1.4.1.12.     *Estandarización***

El diseño de máquinas que incorporen recambios comerciales estándares, de gran disponibilidad y comunes para distintas máquinas contribuye a la mejora de la mantenibilidad y a reducir en gran medida los inventarios y los costes de amortización asociados con los inventarios de recambios.

Cuando se dé la especificación del diseño de la máquina al fabricante de equipo, todos los componentes eléctricos, mecánicos, hidráulicos y neumáticos deben estar estandarizados con componentes de otras máquinas de la planta y con los estándares comerciales.

Los estándares de mantenimiento e ingeniería para la aplicación específica deben ser establecidos durante los procedimientos de aprovisionamiento. Debe auditarse la conformidad con los estándares durante la fabricación del equipo y antes de su transporte a la planta del cliente.

#### **1.4.1.13.     *Formación, Documentación y Ayuda en el Trabajo***

La manera más efectiva de reducir los tiempos de diagnóstico y reparación es asegurarse de que el personal apropiado está bien entrenado y tiene una información clara y concisa del modo de operación del sistema. El uso de dibujos en perspectiva y renderizados

facilitan en gran medida el proceso de documentación. Los proveedores serán conminados a utilizar modernos sistemas de CAD para el desarrollo de su documentación.

Una importante ayuda en el trabajo es el identificar las tareas más importantes y/o difíciles mediante el uso de fotografías y/o planos con instrucciones sencillas de cómo realizar la tarea.