

MODELO PARA UTILIZAR SAP COMO HERRAMIENTA PARA OPERAR UN  
MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

ALFONSO HUMBERTO SEVERINO TRILLOS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BOGOTÁ  
2009

DEFINICIÓN DE UN MODELO PARA UTILIZAR SAP COMO HERRAMIENTA  
PARA OPERAR UN MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN  
CONFIABILIDAD

ALFONSO HUMBERTO SEVERINO TRILLOS

Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: CARLOS MARIO TAMAYO DOMÍNGUEZ  
Ingeniero Mecánico  
Magister en Administración

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BOGOTÁ  
2009

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor quiere agradecer a mi esposa Adriana Alonso y mi hijo Raúl Andrés Severino Alonso que me aguantaron este último tiempo, donde les saqué tiempo de dedicación para ellos y me embebí en el documento que ahora estoy presentando.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	1
1. MARCO CONCEPTUAL .....	2
1.1 RCM .....	2
1.1.1 Historia del mantenimiento:.....	2
1.1.2 Modelos de Gestión De Mantenimiento.....	4
1.1.3 Conceptos generales de RCM .....	9
1.1.4 Indicadores de gestión del modelo RCM.....	33
1.2 MANTENIMIENTO EN SAP.....	40
1.2.1 Sistemas de Información De Mantenimiento.....	40
1.2.2 Definición de ERP (Enterprise Resource Planning) .....	43
1.2.3 Generalidades de SAP .....	46
1.2.4 Módulo de mantenimiento de planta (PM) en SAP.....	55
2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	74
2.1 HERRAMIENTAS DE SAP ÚTILES .....	74
2.1.1. Herramientas para montar en SAP las definiciones hechas por RCM.....	74
2.1.2. Herramientas para Gestión del modelo RCM en SAP .....	79
2.2 GAP Y RESTRICCIONES.....	79
3. MODELO PROPUESTO .....	81
3.1 DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE OBJETOS .....	81
3.2 FUNCIONES Y ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO .....	81
3.3 FALLAS FUNCIONALES Y MODOS DE FALLA .....	81
3.4 EFECTOS DE LA FALLA .....	82
3.5 CONSECUENCIA DE LA FALLA .....	83
3.6 SELECCIÓN DE LA POLITICA DE GESTIÓN DE FALLAS.....	84
3.7 ANALISIS Y GESTIÓN DEL MODELO DE RCM.....	85
4. GUÍA DE IMPLANTACIÓN DEL MODELO .....	86

4.1	EMPRESAS QUE TIENEN SAP Y DESEAN IMPLEMENTAR LA GESTIÓN CON RCM	86
4.1.1.	Definición del modelo de RCM para la empresa.....	86
4.1.2.	Implementación en SAP del modelo de RCM diseñado para la empresa .....	88
4.2	EMPRESAS CON RCM Y DESEAN IMPLEMENTAR SAP.....	90
4.2.1.	Fase 1: Preparación del proyecto.....	91
4.2.2.	Fase 2: Business Blueprint .....	91
4.2.3.	Fase 3: Realización.....	91
4.2.4.	Fase 4: Preparación para producción. ....	92
4.2.5.	Fase 5: Puesta en producción y soporte.....	92
5.	CONCLUSIONES.....	93
	BIBLIOGRAFÍA.....	94

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del Mantenimiento .....	4
Figura 2. Visión General del Modelo de Gestión de Mantenimiento .....	5
Figura 3. Niveles y Categorías del Mantenimiento .....	5
Figura 4. Diagrama de flujo del RCM.....	11
Figura 5. Taxonomía de Planta .....	13
Figura 6. Capacidad de funcionamiento de los activos.....	14
Figura 7. Tiempos de fallas, de funcionamiento y demás que impiden la funcionalidad o no del sistema o equipo.....	19
Figura 8. Matriz de riesgo.....	24
Figura 9. Patrones de falla.....	25
Figura 10. Curva P-F .....	27
Figura 11. Ejemplo de diagrama de selección .....	32
Figura 12. Relación entre las métricas por fases de implantación del modelo RCM.....	33
Figura 13. Cálculo CMD .....	38
Figura 14. Continuación Cálculo CMD .....	39
Figura 15. Componente del Sistema de Información.....	41
Figura 16. Actividad de Mantenimiento.....	42
Figura 17. Estructura de un Sistema de Información.....	42
Figura 18. Estructura de SAP .....	45
Figura 19. Estructura módulo de mantenimiento de SAP .....	57
Figura 20. Mantenimiento en varios centros .....	59

Figura 21. Estructura de Objetos Técnicos .....	61
Figura 22. Estructura gestión de mantenimiento .....	64
Figura 23. Procesamiento del aviso .....	65
Figura 24. Estado del Equipo .....	66
Figura 25. Ciclo de mantenimiento preventivo .....	66
Figura 26. Plan de mantenimiento.....	66
Figura 27. Flujo de Información entre SAP y Software de RCM .....	66
Figura 28. Roadmap de implantación de SAP.....	66

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fortalezas de TPM y RCM.....	9
Tabla 2. Factores que influyen en la disponibilidad.....	36
Tabla 3. Costos de la orden.....	68
Tabla 4. Herramientas de SAP útiles para montar en SAP las definiciones hechas por RCM.....	74
Tabla 5. Herramientas de SAP útiles para la gestión del modulo RCM.....	79

## RESUMEN

**TÍTULO:** MODELO PARA UTILIZAR SAP COMO HERRAMIENTA PARA OPERAR UN MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

**AUTOR:** ALFONSO HUMBERTO SEVERINO TRILLOS

**PALABRAS CLAVES:** Mantenimiento centrado en confiabilidad, RCM, ERP, SAP, Módulo de Mantenimiento, PM

**DESCRIPCION:** La presente monografía consiste de un estudio teórico de cómo es posible administrar desde el sistema de información de SAP la gestión de mantenimiento basada en un modelo RCM.

El alcance del presente documento es especificar en un modelo la forma cómo es posible administrar cada parte de la estrategia diseñada por la estrategia RCM, este modelo permitirá tener la información requerida para posteriormente hacer análisis de la misma para determinar la efectividad de la gestión. El modelo es totalmente teórico, no se desarrollará en el sistema.

En el marco teórico en el que de forma independiente se describen las principales características tanto del modelo de gestión RCM, como del módulo de mantenimiento del ERP de SAP, mientras que en el análisis de la información recopilada, buscando hacer un enlace entre las características requeridas para la gestión de RCM y las herramientas del módulo de mantenimiento de SAP y las características que no se pueden suplir con estas herramientas. Finalmente se presenta un modelo que busca resumir y establecer la forma como se puede realizar la administración de la información y la forma como se pueden manejar los GAPS..

También se presentan unas breves guías de implantación que proporcionan luces sobre lo que se debe tener en cuenta cuando se desea implantar la gestión de RCM con SAP, se incluyen dos secciones la primera cuando una empresa tiene SAP y decide implantar RCM y la otra con el caso en el que la empresa tiene implantada la metodología RCM y se desea montar SAP.

---

\* Modelo para utilizar SAP como herramienta para operar un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad  
\*\*Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Especialización en Gerencia de mantenimiento. Director: Ing. Carlos Mario Tamayo

## SUMMARY

**TITLE:** DEFINITION OF A MODEL TO USE SAP LIKE TOOL TO OPERATE A MODEL OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE.

**AUTHOR:** ALFONSO HUMBERTO SEVERINO TRILLOS

**KEY WORDS:** RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE, RCM, ERP, SAP, Plant maintenance module, PM.

**SUBJECT:** This monograph provides a theoretician study about the form how it could be to manage a reliability centered maintenance model in the information system of SAP. This document's scope is to specify, in a model, how could be manage the strategy design to use Reliability Centered Maintenance, this model will provide the information required to analyze the management effectiveness. The model is theoretical; the system is not going to be developed.

First, in the theoretical frame, it is described in an independent form, the most important characteristics of the Reliability Centered Maintenance and the plant maintenance (PM) module in the ERP of SAP, later in the information analyses, it is compared this characteristics to define how it can be done the relationship between the Reliability Centered Maintenance requirement characteristics and the tools of the plant maintenance module and the requirements that the system can't supply, there are tables with this analysis that specify the characteristics that sap can cover (including de functionality of SAP that could be used) and the gaps that the system can't. Finally it is presented the model that compile this analyze and establishes the form to administer the information.

There are short guides about de implementation of the RCM management with SAP too. In this section there are two ways, the first is when de enterprise has SAP and is implementing RCM, the other one is when it has RCM and is implementing SAP.

---

\*Model for using SAP as a tool to operate a model of reliability-centered maintenance

\*\*School of Mechanical Engineering. Maintenance management Specialization. Director: Ing. Carlos Mario Tamayo

## INTRODUCCIÓN

Siendo SAP el líder indiscutido en el mercado de los ERP y la estrategia de Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) un modelo de gestión del mantenimiento que se está implantando en forma sistemática en las empresas, se encuentra muy importante contar con herramientas en el sistema de información de la empresa para la administración del mantenimiento basado en esta estrategia.

La experiencia del autor en la implantación del módulo de mantenimiento del ERP de SAP en diferentes empresas, ha mostrado que en el sistema de información es posible tener mucha información útil para la gestión de RCM, sin embargo es muy importante saber qué herramientas son las que se pueden utilizar para poder realizar el diseño de la implantación con las definiciones adecuadas. El objetivo de la presente monografía es presentar las herramientas que pueden ser útiles para la gestión, así como establecer las limitaciones del sistema en el manejo de información requerida para la gestión del modelo.

La metodología que se seguirá para el desarrollo corresponde a la definición, por separado, tanto de los principios básicos de RCM como de la forma como se puede administrar el mantenimiento en SAP, luego se hará un análisis de las coincidencias y restricciones para la administración de RCM en el ERP de SAP.

## **1. MARCO CONCEPTUAL**

### **1.1 RCM**

#### **1.1.1 Historia del mantenimiento:**

El mantenimiento ha estado presente desde la revolución industrial, sin embargo inicialmente era una función secundaria que realizaba el mismo operario de las máquinas, sin embargo cuando apareció la producción en línea se observó la necesidad de tener un grupo de personas especializadas que pudieran realizar las reparaciones de forma más rápida y eficiente, sin embargo todavía seguían realizándose únicamente acciones correctivas.

Durante la segunda guerra mundial se encuentra la necesidad de lograr que las fallas no se presenten en los equipos, entonces se busca realizar actividades de mantenimiento antes que sucedan las fallas, para esto se realizan acciones preventivas, realizan cambio de piezas según calendario o por la operación de los equipos.

A finales de 1950, la industria aeronáutica tenía un problema, ya que se presentaba una gran cantidad de accidentes causados por fallas en los equipos, como en esos momentos el mantenimiento se basaba en el preventivo, entonces lo que se hacía era suponer que se tenían mal definida la frecuencia de cambio de los equipos, por lo que el desgaste se producía antes que se realizara el reemplazo del equipo. Por este motivo entre los años 1960 y 1970 se creó la teoría de RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), como un método para

definir las mejores políticas para realizar el mantenimiento de los activos. Sobre esta misma base ha seguido trabajando hasta que en 1980 la ATA se creó el MSG-3, el cual fue modificado en 1988 y en 1993, y que es él que hoy guía la definición del mantenimiento para las aerolíneas comerciales actualmente.

Por esta misma época se empezaron a desarrollar las técnicas del mantenimiento predictivo, que son herramientas para determinar el mejor momento para realizar alguna acción de mantenimiento sobre los activos.

En 1970 en Japón se desarrolló la teoría de TPM, fue introducido por Toyota y surgió de la necesidad de ir más allá de la programación del mantenimiento, para lograr introducir en el concepto de calidad total, es decir cero fallas.

A partir de esta época se han presentado grandes variaciones en los modelos de gestión de mantenimiento pasando por mantenimiento proactivo, mantenimiento reactivo, mantenimiento de clase mundial, etc. Todas estas estrategias de mantenimiento se basan en la tecnología y ninguna de ellas por sí sola es buena o mala, lo que es necesario es analizar cuál es la que mejores resultados puede dar en una empresa específica.

La evolución del mantenimiento se puede observar en la Figura 1.

**Figura 1. Evolución del Mantenimiento**



González, Carlos Ramón. Evolución del mantenimiento. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO, Clase Principios de mantenimiento (2007: Bogotá).

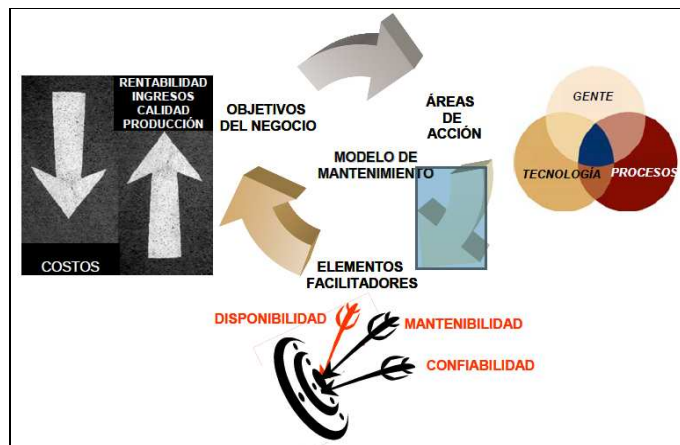
### 1.1.2 Modelos de Gestión De Mantenimiento

Es importante entender el mantenimiento como un proceso estratégico de la empresa ya que es por su medio que se puede lograr el mejor rendimiento de los activos; “no obstante lo anterior, todavía existe un número muy limitado de organizaciones a nivel mundial que aplican un concepto holístico y sistémico de gerencia de activos, sustentándose en un enfoque de mejoramiento continuo como el eje principal para la optimización del uso de los mismos”<sup>1</sup>.

Para generar un modelo de gestión de mantenimiento para una empresa, lo primero que se necesita es establecer un marco conceptual de lo que es o debe ser el mantenimiento, para esto se puede generar un enunciado que englobe una misión, la cual debe convertirse en la base de la gestión. En este enunciado se deben tener en cuenta como factores preponderantes, entre otros, la rentabilidad, confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, seguridad y calidad.

<sup>1</sup> Canales, Arturo; Pacheco, Pedro y Sarno, Emilio. Modelo Gerencial de Mantenimiento – Fundamento Filosófico. En: Congreso Reliability World 2006 Latin America. (2006 : Monterrey, México)

**Figura 2. Visión General del Modelo de Gestión de Mantenimiento**



Canales, Arturo; Pacheco, Pedro y Sarno, Emilio. Modelo Gerencial de Mantenimiento – Fundamento Filosófico. En: Congreso Reliability World 2006 Latin America. (2006 : Monterrey, México)

Para el análisis de los modelos de gestión de mantenimiento el presente documento se tomará el modelo del enfoque sistémico del mantenimiento el cual define cuatro niveles en la gestión del mantenimiento (Ver figura 3).

**Figura 3. Niveles y Categorías del Mantenimiento**



Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín, Colombia, Editorial AMG, 2008. P.51.

El Nivel instrumental hace referencia a todos los elementos requeridos para poder realizar las acciones definidas en el nivel operacional sobre las máquinas; en el nivel operacional se definen las posibles acciones a realizar en el mantenimiento de los equipos según los requerimientos de los clientes. En el nivel operacional se definen las posibles acciones a realizar en el mantenimiento de los equipos según los requerimientos de los clientes. El nivel tres, táctico, se refiere a las diferentes formas de administración del mantenimiento, entre estas formas se destacan: el mantenimiento productivo total (TPM), el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), el mantenimiento proactivo, el mantenimiento reactivo, el mantenimiento de clase mundial, etc.; en el nivel estratégico se definen las metodologías utilizadas para evaluar la efectividad de las tácticas desarrolladas.<sup>2</sup>

En el nivel de operaciones (nivel 2) del enfoque sistémico de mantenimiento se encuentran las acciones a realizar en el mantenimiento, estas acciones se pueden clasificar como:

- **Acciones Correctivas:** Estas acciones son las que buscan solucionar las fallas que se presentan en los equipos, estas actividades pueden realizarse de forma que sea una solución temporal para continuar con la operación (desvare) o de forma que sea una reparación definitiva, en cuyo caso se conocen las causas raíz del problema y se puede actuar en consecuencia.<sup>3</sup>
- **Acciones Modificativas:** Estas acciones buscan la razón primaria de las fallas repetitivas que no se han podido solucionar de forma definitiva y establece tareas de modificación de los equipos para solucionarlas. También se consideran

---

<sup>2</sup> Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín, Colombia, Editorial AMG, 2008. P.51 y 52.

<sup>3</sup> Ibid., p. 259 y 260

acciones modificativas aquellas en las que se cambian parámetros de los equipos, no para solucionar una falla sino para mejorar su desempeño en la producción.<sup>4</sup>

- Acciones Preventivas: Cuando se conocen las fallas con sus características (periodicidad, función que afecta, efecto, etc.) es posible determinar la ejecución de actividades proactivas antes que la falla suceda para evitar que ésta se presente. Cuando las acciones se toman con una periodicidad fija (puede ser basada en la actividad del equipo (Horas de operación, cantidades producidas, etc.) o en el tiempo calendario) estas son consideradas como preventivas. Dentro del mantenimiento preventivo se incluyen también las acciones son basadas en las condiciones de desgaste de un elemento del equipo.<sup>5</sup>

- Acciones Predictivas: En el mantenimiento predictivo, el momento de realizar las actividades proactivas se determina por medio del análisis de una o varias variables, las cuales están relacionadas con la ocurrencia de la falla, de forma que esta condición no llegue a producir fallas que afecten la operación o causen daños mayores.<sup>6</sup>

En el tercer nivel se encuentra la definición de las formas de la gestión de mantenimiento, se va a tratar muy brevemente algunas de ellas, en forma general es importante decir que ninguna de las tácticas, por sí sola, es buena ni mala, lo importante es que se seleccione la que más se ajuste a las necesidades de la empresa, por lo que su selección se debe hacer de acuerdo con estas necesidades y a las acciones de mantenimiento que la empresa se encuentra en capacidad de ejecutar.

---

<sup>4</sup> Ibid., p. 260 y 261

<sup>5</sup> Ibid., p. 261 a 264

<sup>6</sup> Ibid., p. 264 a 266

- Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance TPM): El mantenimiento productivo total consiste en que todo el personal se involucre en las actividades de mantenimiento, haciendo estas productivas. Los objetivos del TPM son:

- Mejorar la efectividad de los equipos
- Mejorar la eficiencia y la efectividad del mantenimiento
- Capacitar mediante un proceso continuo
- Efectuar una administración temprana de los equipos
- Que los operarios se encarguen de las labores básicas de los equipos<sup>7</sup>

- Mantenimiento Basado en Confiabilidad (Reliability Centered Maintenance RCM): El mantenimiento centrado en confiabilidad es una metodología por la que se estudia un equipo o una planta en detalle, predice cómo puede fallar y pone en su lugar la mejor estrategia de mantenimiento para evitar que se presenten las fallas o minimizar las pérdidas causadas por su ocurrencia<sup>8</sup>.

- TPM y RCM Combinados: La combinación de estas dos metodologías busca aprovechar las fortalezas de cada una de ellas, de forma que se deja a RCM fijar y administrar el mantenimiento preventivo y predictivo, mientras que TPM gestiona el proyecto general de la mejora. Como se observa en la Tabla 1, cada una de las políticas tiene fortalezas en distintas áreas por lo que se hacen complementarias.

---

<sup>7</sup>González, Carlos Ramón. Evolución del mantenimiento. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO, Clase Principios de mantenimiento (2007: Bogotá).

<sup>8</sup>Soldalini, Mike. Maintenance Systems: Reliability Centered Maintenance – what is it? . En Process Plant and Equipment UP – TIME [En línea] . Volume 3 Edition 3. Disponible en <[www.feedforward.com.au](http://www.feedforward.com.au)>

**Tabla 1. Fortalezas de TPM y RCM**

<b>TPM</b>	<b>RCM</b>
Limpieza	Procesos Automatizados
Orden	Mantenimiento Predictivo y Preventivo
Implicación de los Trabajadores	Seguridad y Medio Ambiente

- **Mantenimiento Proactivo:** “Es una metodología en la cual el diagnóstico y las tecnologías de orden predictivo son empleados para lograr aumentos significativos de la vida de los equipos y disminuir las tareas de mantenimiento, con el fin de erradicar o controlar las causas de fallas de las máquinas”<sup>9</sup>.
- **Mantenimiento Reactivo:** En el mantenimiento reactivo solo se realiza mantenimiento cuando los equipos van a fallas, esta clase de mantenimiento es válida para empresas que tienen una alta rotación de equipos.
- **Mantenimiento de Clase Mundial:** Es una táctica que busca reorientar la estrategia hacia el mantenimiento proactivo, teniendo como base prácticas estandarizadas, gestión autónoma, competitivo y con índices de desempeño clase mundial.

### **1.1.3 Conceptos generales de RCM**

RCM se refiere a un programa de mantenimiento programado diseñado para alcanzar la confiabilidad inherente de los equipos. El objetivo del programa es lograr la disponibilidad inherente para la que fue diseñado el equipo y hacerlo al menor costo posible. Con esta filosofía cada mantenimiento programado que se ejecuta es generado por una razón identificable y específica. Para lograr esto se analizan todas las fallas funcionales de los equipos y sus consecuencias,

---

<sup>9</sup> Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín, Colombia, Editorial AMG, 2008. P.277

entonces se clasifican las fallas según la severidad de las consecuencia y para todas aquellos elementos significantes (aquellos cuyas fallas involucran la seguridad operacional o tienen consecuencias económicas mayores) se evalúan las tareas propuesta de acuerdo con criterios de aplicabilidad y efectividad; el programa de mantenimiento planificado incluye entonces todas las tares necesarias para asegurar la disponibilidad operativa y de seguridad, y únicamente aquellas tareas que lograrán este objetivo.<sup>10</sup> Es importante entender que por medio del mantenimiento únicamente se puede alcanzar la confiabilidad inherente del equipo, no se puede mejorar, esta está dada por el diseño del equipo y sólo se puede aumentar por medio de modificaciones del mismo.

Según la norma SAE JA1011 “RCM es un proceso específico utilizado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales de cualquier activo físico en un contexto operativo dado”<sup>11</sup>.

Para que un esquema de mantenimiento de sea considerado RCM debe asegurarse de responder las siguientes siete preguntas satisfactoriamente y que sean respondidas en la secuencia que se muestra a continuación:

- Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño asociados deseados del activos en su contexto operativo presente (funciones)?
- En qué forma puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales)?
- Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
- Qué sucede cuando ocurre cada falla (efecto de falla)?
- De qué manera afecta cada falla (consecuencia de falla)?

---

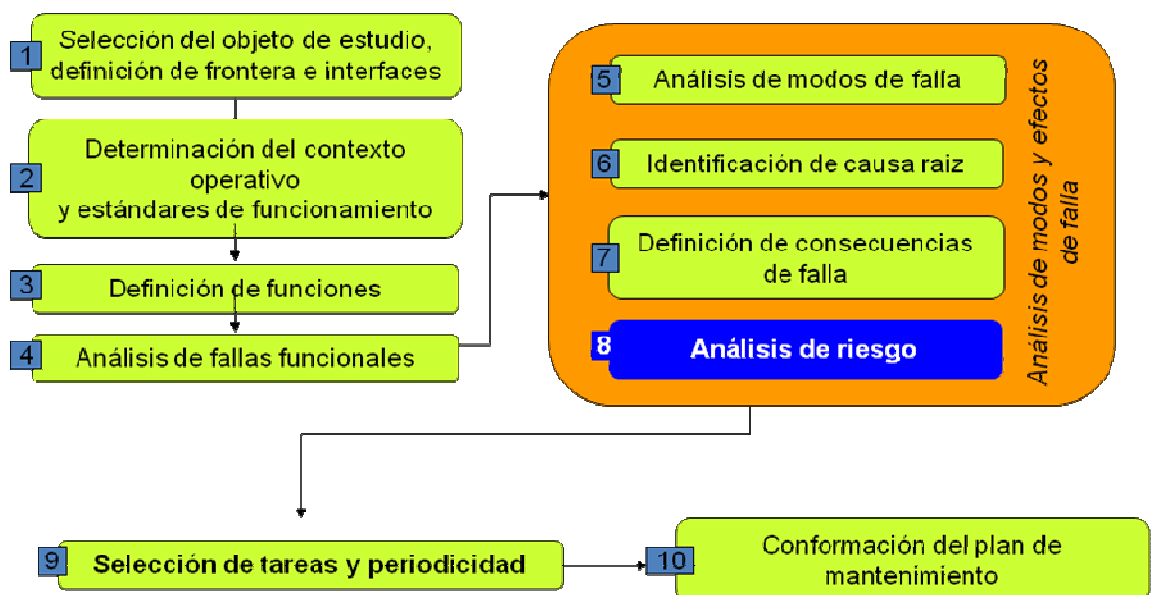
<sup>10</sup> HEAP, Howard y NOWLAN, F. Stanley. Reliability-centered maintenance. Washington, D.C.: Dolby Access Press, 1978. p. vii

<sup>11</sup> SAE. SAE JA1011 Evaluation criteria for Reliability-centered Maintenance (RCM) processes. Warrendale, PA : SAE, 1999. p. 5.

- Qué podría ser hecho para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivos e intervalo de tareas)?
- Que podría ser hecho si no se encuentra una tarea proactiva utilizable (acciones por defecto)?

La figura 4 muestra el diagrama de flujo del RCM que indica la forma como se debe seguir la metodología para la implantación del modelo.

**Figura 4. Diagrama de flujo del RCM**



Ortiz, Daniel. El método. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO, Clase Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM (2008: Bogotá).

- Selección y clasificación de los sistemas y equipos: En las preguntas definidas para establecer un proceso como RCM no se define la forma como se selecciona y priorizan los elementos a los que se les va a establecer el esquema de mantenimiento por medio de RCM.

Un mismo equipo puede ser considerado para algunas aplicaciones como un elemento relevante para aplicarle RCM, mientras que en otro ambiente

operacional el mismo equipo no incluirse en el estudio. En una empresa es posible que se incluyan todos los equipos en el modelo RCM, pero en otros casos se definen unos equipos para el modelo inicialmente y dejar otros equipos para implantar el modelo posteriormente.

El primer paso consiste en definir la estructura jerárquica del sistema incluyendo el sistema sus subsistemas, bajando hasta los equipos y los componentes. Una planta se define como un “grupo de sistemas que funcionan conjuntamente para suministrar una salida o producto, mediante el proceso y manipulación de una materia prima o elementos almacenados”<sup>12</sup>.

Un elemento de estudio para RCM es un conjunto de componentes que forman un conjunto identificable, y que realizan al menos una función importante, por sí solo. (Ej.: bomba, válvula, motor). En esta definición, una válvula de disparo puede ser clasificada como un objeto o elemento de estudio para RCM, pero no su actuador.<sup>13</sup>

En la definición del elemento de estudio es necesario definir las fronteras físicas, que se incluye en el estudio, qué no se incluye en el estudio, ya sea porque se encuentra fuera de la frontera o porque no es un elemento de interés y por último se incluyen las interfaces del sistema (entradas, salidas, conexiones).

Una definición del contexto operativo para un activo físico típicamente incluye una breve descripción general de cómo y dónde va a ser usado, criterios generales de funcionamiento que controlan características como salidas, rendimiento de proceso, seguridad, integridad ambiental y así sucesivamente.”<sup>14</sup>

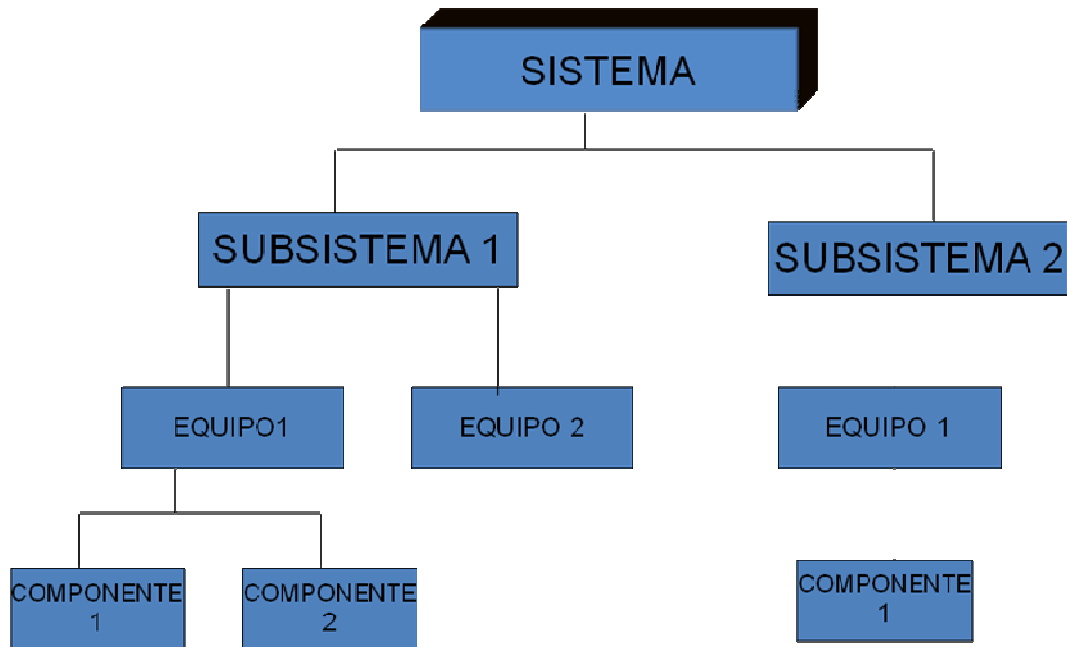
---

<sup>12</sup> Ortiz, Daniel. Taxonomía de la planta. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO, Clase Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM (2008: Bogotá).

<sup>13</sup> Ibid.

<sup>14</sup> SAE. SAE JA1012 A guide to the Reliability-centered Maintenance (RCM) standard. Warrendale, PA : SAE, 2002. p. 8.

**Figura 5. Taxonomía de Planta**



- **Funciones:** Las funciones de un equipo identifica las razones por las cuales fue comprado. Existen dos clases de funciones:

- **Funciones primarias:** Son la razón de ser del sistema o equipo

- **Funciones Secundarias:** Son funciones adicionales que cumple el equipo, normalmente para ayudar a cumplir con las funciones primarias, pueden incluir características como integridad ambiental; seguridad o integridad estructural; control, contención o confort; apariencia; elementos y sistema de protección; economía y eficiencia; funciones superfluas<sup>15</sup>.

Se deben listar todas las funciones del equipo, no incluir partes o componentes del equipo. La definición de la función debe incluir un verbo, un objeto y un estándar

---

<sup>15</sup> Ibid., p. 9.

de desempeño, para las funciones de los elementos de protección, dado que la función es condicionada a que suceda alguna otra acción, entonces normalmente se inicia con el vocablo “si”.

El estándar de desempeño debe incluir el nivel deseado de operación, un equipo puede tener capacidad para un mejor desempeño, sin embargo el sistema se define de acuerdo con la operación requerida. Un equipo tiene una capacidad inicial que es la definida por las condiciones de fabricación, pero el deterioro hace que normalmente no trabaje a estas condiciones. Por definición en el mantenimiento centrado en confiabilidad el mantenimiento debe asegurar que el sistema trabaje en el funcionamiento deseado.

**Figura 6. Capacidad de funcionamiento de los activos.**



RAMÍREZ, Ramón; VILLARREAL, Fernando; ACOSTA, Julio. Plan piloto de RCM2 en la empresa Polipropileno del Caribe S.A. (PROPILCO S.A.). Cartagena, 2004, 60 h. Trabajo de grado (Especialista en Gerencia de Mantenimiento). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. p. 31

De acuerdo a si operación puede detectar o no una falla estas se pueden clasificar en:

- Funciones evidentes: “Una función evidente es aquella cuya falla será evidente para la operación durante el desarrollo de sus responsabilidades normales”<sup>16</sup>.
- Funciones ocultas: “Una función oculta es aquella cuya falla no será evidente para la operación durante el desarrollo de sus responsabilidades normales.”<sup>17</sup>

En la definición de las funciones del elemento de estudio es muy importante incluir la definición del contexto operativo, que identifica las circunstancias en las cuales opera. “Las funciones, modos de fallas, consecuencias de la fallas y las políticas de administración de la fallas que serán aplicadas a cualquier activo dependerán no solo por lo que es el activo, sino por las circunstancias exactas bajo las cuales él será usado. Como resultado, estas circunstancias necesitan ser claramente definidas antes de responder la cuestión anterior.

- Fallas funcionales: Las fallas funcionales responden la pregunta en qué forma puede fallar en el cumplimiento de sus funciones?

Una falla es una condición no satisfactoria. En otras palabras, una falla es una desviación identificable de las condiciones originales, la cual es insatisfactoria para un usuario particular. Sin embargo, la determinación de que una condición es insatisfactoria depende de las consecuencias de la falla en un contexto operativo específico. “La falla funcional se define como la inhabilidad de un activo para cumplir un estándar de funcionamiento deseable por el usuario”<sup>18</sup>, se define a partir de las funciones establecidas para el equipo o sistema, se deben buscar todas las posibles fallas para cada una de las funciones.

---

<sup>16</sup> HEAP, Op. cit., p. 21.

<sup>17</sup> Ibid., p. 21.

<sup>18</sup> ORTIZ, Op. cit.

Las fallas se pueden clasificar en:

- Fallas totales: Falla en la que el elemento no está en capacidad de cumplir con la función.
  
- Fallas parciales: Falla en la que el elemento puede cumplir con la función pero no alcanza los niveles de desempeño establecidos.

Se requiere definir las fallas parciales por separado de las fallas totales porque normalmente tienen diferentes causas y consecuencias.

En la definición de las fallas “es posible identificar algunas condiciones físicas que indican que esta falla es inminente. Bajo estas circunstancias es posible remover el elemento del servicio antes del punto de falla funcional. Cuando estas condiciones se pueden identificar son definidas como Falla Potencial”<sup>19</sup>

- Modo de Fallas: El modo de falla responde la pregunta qué causa cada falla funcional?

El modo de falla es el evento que causa una falla funcional<sup>20</sup>. Es necesario listar todas las posibles causas de fallas, tanto las que han ocurrido en el pasado, las que se están previniendo con un programa de mantenimiento preventivo, como las que no han ocurrido pero en el contexto operativo del sistema es probable que sucedan.

---

<sup>19</sup> HEAP, Op. cit., p. 19

<sup>20</sup> ORTIZ, Op. cit.

La descripción del modo de falla tener un nivel de detalle que facilite la selección de tareas de mantenimiento adecuadas, debe contener al menos un objeto y un verbo, no debe extenderse demasiado pero ser lo suficientemente clara.

Una herramienta que se puede utilizar para determinar los modos de fallas es la “causa raíz” que es una herramienta de confiabilidad utilizada para determinar hasta tres niveles de causas para cualquier evento específico de falla, utiliza la lógica y un árbol de causas para encontrar las causas originales del evento. Para poder realizar el análisis de causa raíz es necesario seguir las siguientes recomendaciones:

- No destruir la evidencia
- Documentar la evidencia
- Iniciar rápidamente la investigación
- Evitar las conclusiones simplistas
- No centrarse solo en el punto de falla
- Reproducir la evolución de la falla o accidente, utilizando evidencias objetivas, entrevistas, registros, datos, etc.
- Efecto de la falla: El efecto de la falla responde la pregunta qué sucede cuando ocurre cada falla?

“Los efectos de la falla deben describir que podría pasar si no se realiza una tarea efectiva para anticipar, prevenir o detectar la falla”<sup>21</sup>. Es importante tener presente que RCM hace diferencia entre lo que sucede cuando ocurre una falla (efecto) y como afecta la falla (consecuencia)<sup>22</sup>. La lista debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación o análisis de la falla, tales como:

➤ Qué síntoma hay que identifique que la falla ocurrió: La descripción de los efectos de la falla debe especificar si es posible identificar de alguna manera que la falla se ha presentado, por ejemplo si se tienen indicadores de seguridad como luces o sonidos o si se presentan síntomas distinguibles en la operación como ruido, vibración, disminución de la velocidad, etc. Si el sistema tiene un elemento de protección para la falla es necesario describir cuál es el comportamiento si el sistema va a falla cuando la protección se encuentra en estado de falla.<sup>23</sup>

➤ De qué modo representa una amenaza para la seguridad y el medio ambiente: Si es posible que como efecto de la falla alguna persona resulte herida o muerta o que se viole algún estándar o norma ambiental. Dentro de este ítem se incluyen definiciones como “aumento del riesgo de incendio o explosión”, “escape de químicos peligrosos”, “riesgo de electrocución”, etc.<sup>24</sup>

➤ De qué manera afecta a la producción o a las operaciones: El efecto de falla debe especificar como se ve afectada la producción y por cuánto tiempo. El tiempo de afectación de la producción debe incluir todo el tiempo de parada, no solo el tiempo de reparación en la figura 7 se puede observar los componentes del tiempo de parada.

---

<sup>21</sup> SAE. SAE JA1011 Evaluation criteria for Reliability-centered Maintenance (RCM) processes. Warrendale, PA : SAE, 1999. p. 11.

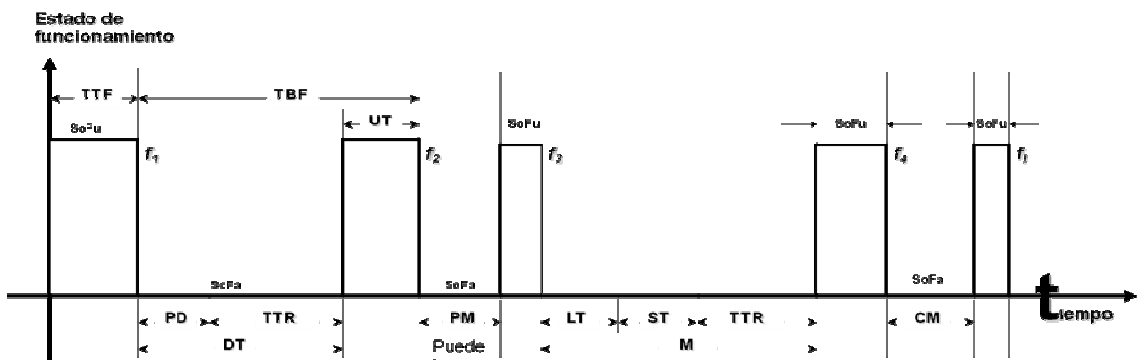
<sup>22</sup> SAE. SAE JA1012 A guide to the Reliability-centered Maintenance (RCM) standard. Warrendale, PA : SAE, 2002. p. 19.

<sup>23</sup> Ibid., p. 20.

<sup>24</sup> Ibid., p. 20.

Otras definiciones que se deben incluir en la forma cómo la falla afecta la operación es en parámetros como velocidad de operación, calidad (características de calidad, incrementos de desperdicio, aumento de reclamos de cliente, etc.), efectos en otros equipos o sistemas, costo de operación, etc.<sup>25</sup>

**Figura 7. Tiempos de fallas, de funcionamiento y demás que impiden la funcionalidad o no del sistema o equipo**



Donde

**TTF = Time To Failure** = Tiempo hasta Fallar (se usa en equipos que solo fallan una vez, no reparables).

**TBF\_ Time Between Failures** = Tiempo entre Fallas.

**UT = Up Time** = Tiempo Útil en el que equipo funciona correctamente.

**DT = Down Time** = Tiempo no operativo.

**f<sub>i</sub>** = Falla *i*-ésima

**TTR = Time To Repair** = Tiempo que demora la reparación.

**CM = Corrective Maintenance** = Tiempo que demora la reparación correctiva o modificativa.

**PM = Planned Maintenance** = Mantenimientos Planeados (preventivo y/o predictivo). Mubray los denomina Tareas Proactivas.

**LT = Logistical Times** = Tiempos logísticos o administrativos (Incluye MD (Maintenance Delays) demoras y retrasos de mantenimiento).

**ST = Supplies Times** = Tiempos de suministros de repuestos, insumos o de recursos humanos.

**NTTR = Net Time To Repair** = Tiempo Neto para la reparación, no incluye ni demoras, ni tiempos logísticos, ni tiempos de suministros, ni otros tiempos exógenos que impiden la reparación.

**PD = Production Delays** = retrasos en producción para informar y notificar a mantenimiento de la no funcionalidad del equipo o sistema, o demoras en la producción por causas imputables a ella (falta de materias primas, falta de personal, etc.).

Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín, Colombia, Editorial AMG, 2008. P.59.

➤ Qué daños físicos han sido causados por las fallas.

➤ Qué debe hacer para reparar la falla.

<sup>25</sup> Ibid., p. 20.

- Consecuencia de la falla: La consecuencia de la falla responde la pregunta de qué manera afecta cada falla?

La principal herramienta para definir las consecuencias de las fallas es la descripción de sus efectos. Los modos de falla pueden afectar de diversas formas, unos causan problemas en la producción (la producción, la calidad del producto o el servicio al cliente); otros aumentan los riesgos de seguridad o de afectar el medio ambiente; algunos incrementan los costos operativos (incremento de consumo de energía, materias primas, etc.). Existen algunos que tienen impacto en más de una de estas áreas. Existen todavía algunos que puede parecer que no tienen ningún efecto por sí solos, pero aumentan el riesgo de que se produzcan modos de fallas más serios.<sup>26</sup>

“Las consecuencias de una falla determinan la prioridad de las actividades de mantenimiento o los requerimientos de mejora de diseño para prevenir su ocurrencia.”<sup>27</sup> La naturaleza y severidad de los efectos de la fallas dependen del contexto operativo del activo, de los estándares de desempeño que aplican para cada función y de los efectos físicos de cada modo de falla<sup>28</sup>.

Las consecuencias de las fallas se pueden agrupar en las siguientes categorías:

➤ Consecuencias de seguridad: Una falla tiene consecuencias en seguridad si tiene un efecto directo en la seguridad, es decir que existe una alta probabilidad que cause una muerte o lesión a una persona. En el caso de las fallas con consecuencias de seguridad, se realizan todas las actividades requeridas para

---

<sup>26</sup> Ibid., p 21.

<sup>27</sup> HEAP, Op. cit., p. 25.

<sup>28</sup> SAE. SAE JA1012 A guide to the Reliability-centered Maintenance (RCM) standard. Warrendale, PA : SAE, 2002. p. 21.

prevenir su recurrencia, inclusive rediseñar una pieza de equipo; si el rediseño toma mucho tiempo es necesario tomar otras medidas en el intermedio.<sup>29</sup>

➤ Consecuencias ambientales: “Una falla tiene consecuencias ambientales si hay una probabilidad intolerable que pueda violar cualquier estándar o regulación ambiental conocida”<sup>30</sup>. Este es otro nivel de seguridad, por lo que al igual que en el caso anterior se deben tomar todas las medidas posibles para prevenir estas fallas.

➤ Consecuencias operacionales: “En cualquier caso en el que la necesidad de corregir una falla modifica las operaciones planeadas, la falla tiene consecuencias operacionales”<sup>31</sup>. En estos casos las consecuencias son económicas, e debe incluir los costos ocasionados por los efectos de la falla, adicionalmente al costo de la reparación. En general las fallas afectan las operaciones de las siguientes cuatro formas: la salida o desempeño total de la producción, la calidad del producto, el servicio al cliente o el incremento de los de operación. Como estas consecuencias tienden a ser de naturaleza económica, entonces normalmente son evaluadas en términos económicos para decidir si se deben realizar actividades para prevenirlas.

➤ Consecuencias no operacionales: Hay muchos tipos de fallas funcionales que no tienen efectos adversos directos en la capacidad operacional, en consecuencia los costos generados por la falla se limitan a los costos del mantenimiento correctivo. Las fallas potenciales caen en esta categoría, el propósito de utilizar la

---

<sup>29</sup> HEAP, Op. cit., p. 26

<sup>30</sup> SAE. SAE JA1012 A guide to the Reliability-centered Maintenance (RCM) standard. Warrendale, PA : SAE, 2002. p. 23

<sup>31</sup> HEAP, Op. cit., p. 27

falla potencial para prevenir la falla funcional es reducir las consecuencias de las fallas en muchos casos hasta el nivel de los costos del reemplazo y reparación.<sup>32</sup>

➤ Consecuencias de fallas ocultas: Otra clase importante de fallas que no tienen consecuencias inmediatas son las fallas de los elementos con funciones ocultas. Por definición las fallas ocultas no tienen efectos adversos directos, sin embargo las consecuencias pueden ser mayores si una falla oculta no se detecta y corrige. La consecuencia de cualquier falla de función oculta es incrementar la exposición de una falla múltiple, en estos casos “las consecuencias de las fallas son muchas veces asociadas en términos de una de secuencia de eventos independientes, donde varias fallas sucesivas pueden causar consecuencias que ninguna de las fallas podría producir individualmente. La probabilidad que una falla múltiple ocurra si al iniciar la operación todos los elementos se encuentra operativos es de la multiplicación de la probabilidad de que ocurra cada uno de los elementos de forma independiente, pero esta probabilidad aumenta si alguno de los elementos están en falla al momento de iniciar la operación. Debido al incremento de probabilidad de una falla múltiple los elementos de funciones ocultas son puestas en una categoría especial, y los elementos que no tienen ninguna otra tarea de mantenimiento son programados para tarea de hallazgo de fallas<sup>33</sup>.

Para analizar las consecuencias de las fallas es muy importante tener en cuenta el análisis de riesgo de las mismas, el cual se define como:

Ecuación 1. Riesgo

$$R = S \times O$$

---

<sup>32</sup> Ibid., p. 28

<sup>33</sup> Ibid., p. 28.

Donde R es el riesgo que representa la consecuencia de la falla, el riesgo proporcionará un método para priorizar las consecuencias de las fallas; O corresponde a la probabilidad que un modo de falla ocurra y S es la severidad que es un indicador de qué tan grave es la consecuencia del modo de falla.

La severidad se calcula para cada posible consecuencia del modo de falla, para definir la severidad total de un modo de falla se sigue la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Severidad

$$S = (FO \times K_{FO}) + (SF \times K_{SF}) + (MA \times K_{MA}) + (IC \times K_{IC}) + (OR \times K_{OR}) + (OC \times K_{OC})$$

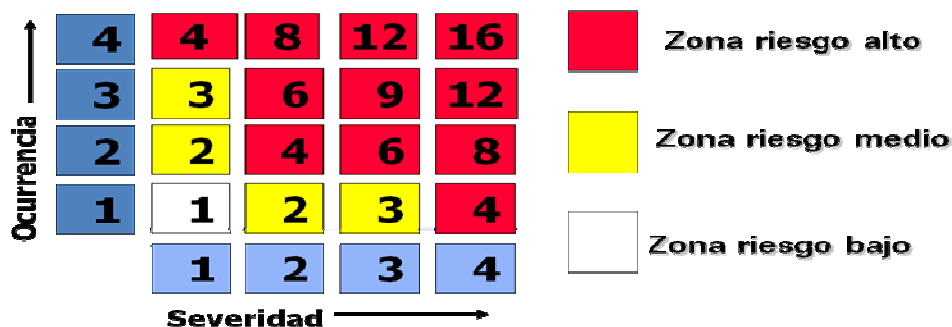
Donde FO es la severidad de una falla oculta, SF la de una consecuencia de seguridad física, MA una consecuencia al medio ambiente, IC una consecuencia en la imagen corporativa, OR una consecuencia operacional con costos de reparación y OC una consecuencia operacional con efectos para el cliente.  $K_i$  corresponde a un factor de ponderación que se establece para cada una de las consecuencias de acuerdo con los requerimientos de la empresa, la sumatoria de los  $K_i$  debe ser uno.<sup>34</sup>

La figura 8 representa la matriz de riesgo con la que se puede evaluar las consecuencias de los diferentes modos de falla.

---

<sup>34</sup> Ortiz, Daniel. Análisis de riesgos y criticidad. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO, Clase Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM (2008: Bogotá).

Figura 8. Matriz de riesgo



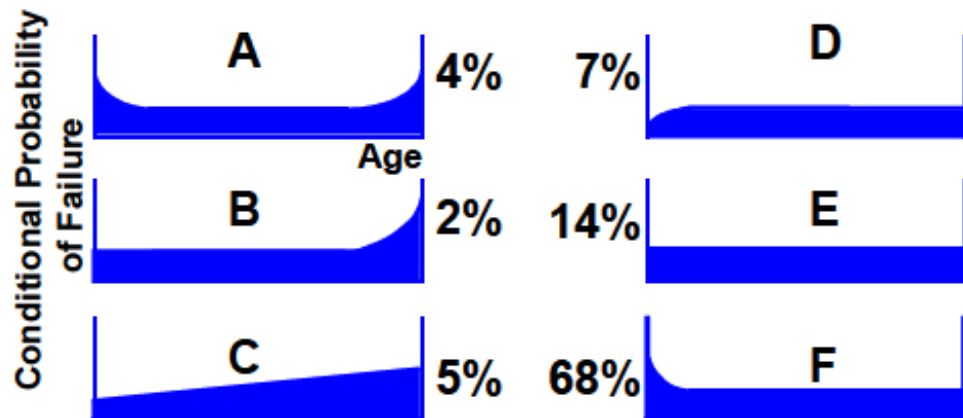
Ortiz, Daniel. Análisis de riesgos y criticidad. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO, Clase Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM (2008: Bogotá).

- Selección de la política de administración de la falla: Esta sección responde a las preguntas qué podría ser hecho para predecir o prevenir cada falla? y qué podría ser hecho si no se encuentra una tarea proactiva utilizable?

➤ Relación entre la edad del equipo y la falla: Un elemento importante al momento de decidir cuál es la mejor política para administrar una falla consiste en analizar el comportamiento de la falla con relación a la edad del equipo. El proceso más general de falla relaciona el stress y la resistencia del equipo. Una falla funcional ocurre cuando las dos curvas se intersecan, lo que quiere decir que el stress supera la resistencia. Como las condiciones de resistencia inicial, así como el stress al que es sometido cada equipo es diferente, sin embargo si se analizan estadísticamente se puede demostrar que cuando se analizan muchas piezas del mismo equipo sus fallas tenderán a concentrarse en una edad promedio. Es importante anotar que esto es cierto para equipos simples o para un modo de falla en equipos complejos, sin embargo si se verifican todos los modos de fallas de un equipo complejo, estos tiempos promedio, se encontrarán en un amplio rango de la escala de tiempo. En la figura 9 se encuentran los patrones de probabilidad condicional de falla en función de la edad del equipo, el patrón A, conocido como la curva de la bañera muestra tres regiones claramente identificables: La primera consiste en la región de mortalidad infantil que es el periodo inmediatamente después de la fabricación u overhaul en el cual hay una probabilidad de falla relativamente alta; una región de probabilidad de falla constante y relativamente

baja y una región de desgaste, en la cual la probabilidad de falla comienza a incrementarse rápidamente con la edad.

**Figura 9. Patrones de falla**



Se observa que sólo dos curvas presentan características de desgaste con la edad (Patrones A y B), si el patrón de fallas presenta esta característica se puede decir que la tasa de falla disminuirá si el elemento es reemplazado justo antes que entre en la zona de desgaste, siempre y cuando la probabilidad de que el elemento llegue a esa edad sea alta. Solo dos de las curvas patrón presentan características de desgaste, sin embargo estas dos curvas son asociadas con una gran cantidad de elementos. Para los elementos que no presentan zona de desgaste, su desempeño no podría ser aumentada por la imposición de vida límite. De hecho, después de cierta edad la probabilidad condicional de falla se mantiene en una tasa constante.<sup>35</sup> Igualmente se puede observar que otras dos curvas patrón muestran elementos que presentan una alta mortalidad infantil, lo que quiere decir que siempre que se realiza un reemplazo existe una alta probabilidad que fallen.

<sup>35</sup> HEAP, Op. cit., p. 47.

➤ Tareas de mantenimiento: Los programas de RCM consisten de tareas específicas seleccionadas sobre la base de las características de confiabilidad actuales del equipo que están tratando de proteger. Todas estas tareas pueden ser descritas en términos de cuatro formas básicas de mantenimiento preventivo, cada una de las cuales es aplicable bajo un grupo de circunstancias única.

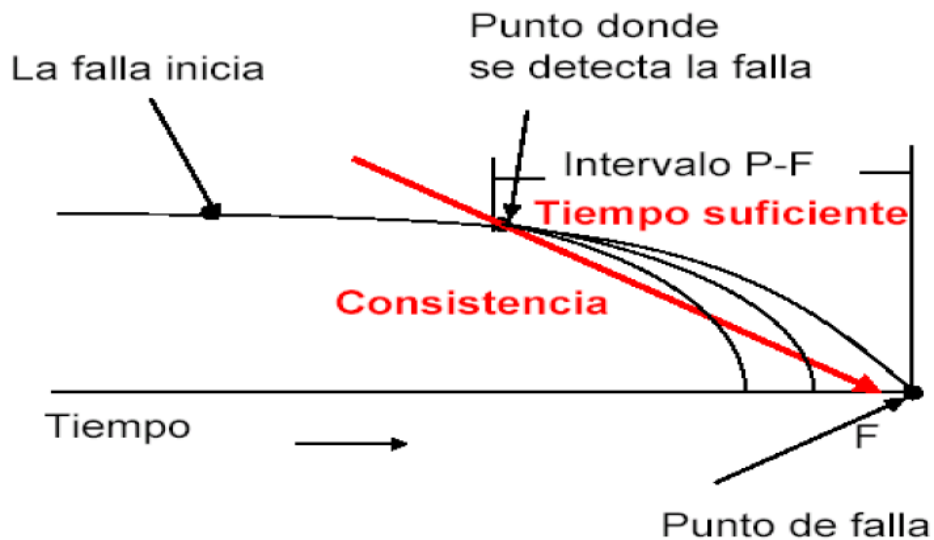
Las tareas por condición (*Scheduled on-condition task*) buscan conocer la condición de los equipos, para definir acciones que eviten la falla funcional y evitar las consecuencias de las mismas. “Cualquier tarea por condición (o predictiva o basada en condición o tarea de monitoreo de condición) que sea seleccionada debe cumplir con los siguientes criterios adicionales: debe existir claramente definida una falla potencial; debe existir un intervalo P-F identificable (o periodo de desarrollo de la falla); el intervalo de la tarea debe ser menor que el intervalo P-F más corto esperado; debe ser físicamente posible realizar las tareas a intervalos menores que el intervalo P-F; el tiempo más corte entre el descubrimiento de la falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional (El intervalo P-F menos el intervalo de la tarea) debe ser lo suficientemente largo para predeterminedar la acción a ser tomada en cuenta para prevenir, eliminar o minimizar las consecuencias del modo de falla”<sup>36</sup>

La curva P-F muestra el proceso de falla desde que se empieza a deteriorar el elemento, pasando por el punto P que es el momento en el que se puede detectar la falla potencial y si no es corregida continua el deterioro hasta el punto F donde se produce la falla (Figura 10).

---

<sup>36</sup> SAE. SAE JA1011 Evaluation criteria for Reliability-centered Maintenance (RCM) processes. Warrendale, PA : SAE, 1999. p. 12

Figura 10. Curva P-F



RAMÍREZ, Ramón; VILLARREAL, Fernando; ACOSTA, Julio. Plan piloto de RCM2 en la empresa Polipropileno del Caribe S.A. (PROPILCO S.A.). Cartagena, 2004, 60 h. Trabajo de grado (Especialista en Gerencia de Mantenimiento). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. p. 47

Las tareas por condición pueden ser clasificadas las siguientes técnicas por condición: técnicas basadas en la variación de la calidad del producto; técnicas de monitoreo de efectos primarios (velocidad, flujo, presión, temperatura, potencia, corriente, etc.); técnicas basadas en los sentidos humanos (vista, olfato, tacto, sonido); técnicas de monitoreo de condición (equipos de medición especiales)

Las tareas de sustitución cíclicas (*Scheduled replacement*) consisten en reemplazar un equipo o sus componentes a frecuencias determinadas independientemente de su estado<sup>37</sup>. "Cualquier tarea de sustitución cíclica que sea seleccionada debe satisfacer los siguientes criterios adicionales: debe existir una edad claramente definida (preferiblemente demostrable) a la cual hay un incremento en la probabilidad condicional del modo de falla en consideración; una

<sup>37</sup> Ortiz, Daniel. Selección de tareas. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO, Clase Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM (2008: Bogotá).

proporción suficientemente grande de las ocurrencia de esta falla debe ocurrir después de esta edad para reducir la probabilidad de fallas prematuras a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo”<sup>38</sup>

La vida límite se pueden establecer para prevenir fallas críticas en cuyo caso se llama SAFE-LIFE Limits o pueden ser establecidas porque son costo efectivas para prevenir fallas no críticas en cuyo caso se llaman ECONOMIC-LIFE Limits. Normalmente son determinadas por el fabricante basado en un ambiente de pruebas, pero como la relación entre el ambiente de pruebas y la operación no es idéntica entonces normalmente la vida útil promedio se divide por un factor de seguridad.

La tarea de reacondicionamiento cíclico (*Scheduled overhaul*) “es la reparación, el ajuste, tratamiento, o limpieza de equipos, a frecuencias determinadas, independientemente de su estado”<sup>39</sup>. “Cualquier tarea de reacondicionamiento cíclico que sea seleccionada debe satisfacer los siguientes criterios adicionales: debe existir una edad claramente definida (preferiblemente demostrable) a la cual hay un incremento en la probabilidad condicional del modo de falla en consideración; una proporción suficientemente grande de las ocurrencia de este modo de falla debe ocurrir después de esta edad para reducir la probabilidad de fallas prematuras a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo; la tarea debe restaurar la resistencia a falla (condición) del componente a un nivel que es tolerable para el dueño o usuario del activo”<sup>40</sup>

Las reparaciones realizadas deben llevar al equipo o elemento a un estado tal que pueda cumplir un nuevo intervalo de tiempo igual al que se estableció para la

---

<sup>38</sup> SAE. SAE JA1011 Evaluation criteria for Reliability-centered Maintenance (RCM) processes. Warrendale, PA : SAE, 1999. p. 12

<sup>39</sup> Ortiz, Daniel. Selección de tareas. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO, Clase Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM (2008: Bogotá).

<sup>40</sup> Ibid., p 13

primera ejecución, esta frecuencia está dada por la edad en la cual se aumenta la probabilidad de falla.

Las tareas de búsqueda de fallos (Scheduled function test) “consisten en verificar una función oculta, con intervalos regulares para verificar si esta ha fallado o permanece activa”<sup>41</sup>. “Cualquier tarea de búsqueda de fallos seleccionada debe satisfacer los siguientes criterios adicionales (búsqueda de fallos no aplica para modos de fallas evidentes): la base sobre la cual se selecciona el intervalo debe tomar en cuenta la necesidad de reducir la probabilidad de las fallas múltiples del sistema de protección asociado a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo; la tarea debe confirmar que todos los componentes cubiertos por el modo de falla se encuentra operativos; las tareas de búsqueda de fallos y el proceso de selección de intervalo asociado deberían tener en cuenta cualquier probabilidad de que la tarea por sí misma podría dejar la función oculta en un estado de falla; debe ser físicamente posible ejecutar la tarea a los intervalos especificados”<sup>42</sup>.

Como se explicó anteriormente, normalmente cuando se trata de administrar el mantenimiento de funciones ocultas se busca prevenir las fallas múltiples, que ocurren cuando una función protegida falla cuando la protección se encuentra en estado de falla. Se dice que la probabilidad de ocurrencia de una falla múltiple está definida por la ecuación siguiente:

### Ecuación 3. Probabilidad de Falla múltiple

$$P_{\text{Falla múltiple}} = P_{\text{Falla función protegida}} \times \text{Indisponibilidad promedio de la protección}$$

---

<sup>41</sup> Ortiz, Daniel. Selección de tareas. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO, Clase Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM (2008: Bogotá).

<sup>42</sup> SAE. SAE JA1011 Evaluation criteria for Reliability-centered Maintenance (RCM) processes. Warrendale, PA : SAE, 1999. p. 14

“Lo que permite concluir que la probabilidad de falla múltiple se puede reducir por medio de la reducción de la no disponibilidad de la protección, o en otras palabras aumentando su disponibilidad”<sup>43</sup>

En el caso de algunas fallas que son evidentes y que no afectan la seguridad o el medio ambiente o que son ocultas y la falla múltiple asociada no afecta la seguridad o el medio ambiente, la política de gestión de las fallas más costo-efectiva podría ser simplemente permitir que la falla ocurra y entonces todos los pasos necesarios para repararla, en otras palabras operar hasta que falle (Run to failure)

Las tareas de rediseño se utilizan cuando se requiere del equipo una confiabilidad superior a la propia, no se puede encontrar tareas de mantenimiento que suplan las fallas, si sus consecuencias son de seguridad o afectan el medio ambiente, o, dependiendo de las consecuencias, es más económico rediseñar que mantener.<sup>44</sup>

➤ Selección de la política de gestión de fallas: Para la selección de la política existen dos métodos posibles para llegar a una definición, el primero es la aproximación rigurosa y la segunda la aproximación por diagrama de decisión.

La aproximación rigurosa para la selección de la política de gestión de falla requiere usuarios para definir las consecuencias económicas, de seguridad y ambientales para cada modo de falla, para considerar todas las políticas de gestión de fallas técnicamente viables que podrían ser aplicadas a cada modo de falla y para seleccionar la política de gestión de fallas que cubre más efectivamente con las consecuencias económicas, de seguridad y ambiental.

---

<sup>43</sup> SAE. SAE JA1012 A guide to the Reliability-centered Maintenance (RCM) standard. Warrendale, PA : SAE, 2002. p. 29

<sup>44</sup> Ortiz, Daniel. Selección de tareas. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO, Clase Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM (2008: Bogotá).

El diagrama de decisión es una estructura jerárquica de preguntas que lleva a definir cuál es la tarea de mantenimiento más efectiva para cada modo de falla. Los diagramas de decisión parte de asumir que las consecuencias de seguridad y ambientales deberían ser solucionadas antes que las consecuencias económicas y que existen actividades de mantenimiento que siempre son más efectivas que otras.

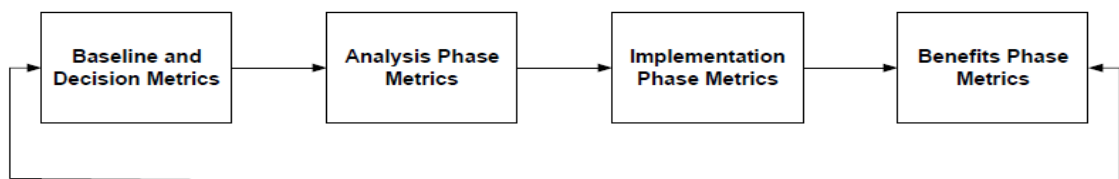
El diagrama de decisión que se observa en la figura 11, muestra la combinación de una jerarquía de consecuencias y una jerarquía de políticas de gestión de falla.



#### 1.1.4 Indicadores de gestión del modelo RCM

Para poder analizar el desempeño de la operación del mantenimiento con un modelo RCM es muy importante definir indicadores que permitan analizar el comportamiento de los activos administrados y realizar una comparación con la operación anterior. Las métricas que se utilizan para el análisis son diferentes de acuerdo a la fase en la que se encuentra el proyecto, en la figura 12 se observa cómo se relacionan las métricas entre las diferentes fases del proyecto. Algunos indicadores se van pasando de fase a fase y en la fase de beneficios se tienen indicadores comunes con la fase de decisión para poder tener una comparación entre el antes y el después de la implantación.

**Figura 12. Relación entre las métricas por fases de implantación del modelo RCM**



Algunas de los indicadores más importantes a tener en cuenta para la gestión de los activos son:

- **Efectividad:** Este indicador expresa que tan bien el producto o proceso cumple con las expectativas del usuario final. La efectividad se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Efectividad

$$\text{Efectividad} = \text{Disponibilidad} \times \text{Confiabilidad} \times \text{Mantenibilidad} \times \text{Capacidad}$$

En otras palabras es producto de la probabilidad de que un sistema o equipo esté disponible para realizar sus obligaciones, por la probabilidad que operará por un

determinado tiempo sin fallar, la probabilidad que sea reparado sin demasiados tiempos de pérdidas por mantenimiento y por la probabilidad que pueda desarrollar la actividad de producción de acuerdo con los estándares de operación establecidos.<sup>45</sup>

- Disponibilidad: “La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado”<sup>46</sup>.

La disponibilidad se puede calcular como:

Ecuación 5. Disponibilidad<sup>47</sup>

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\textit{T tiempo en el que el dispositivo opera correctamente y funciona bien}}{\textit{T tiempo en el que el elemento o máquina puede operar}}$$

La disponibilidad se clasifica de la siguiente manera

- Disponibilidad Inherente ( $A_i$ ): es la probabilidad que el sistema opere satisfactoriamente cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas y un entorno ideal de soporte logístico, es decir, con la disponibilidad adecuada de personal, repuestos, herramientas, equipos de prueba y demás, son considerar ninguna demora logística o administrativa. La disponibilidad inherente no contempla los mantenimientos planeados (preventivos y predictivos). Se puede calcular según la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Disponibilidad inherente

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

---

<sup>45</sup> Barringer, H. Paul. Availability, Reliability, Maintainability and Capability. Beaumont, Texas. 1997. p. 2

<sup>46</sup> Amendola, Luis. Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento. p. 2

<sup>47</sup> Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín, Colombia, Editorial AMG, 2008. P. 59.

Donde MTBF es el tiempo medio entre fallas y MTTR el tiempo medio de reparación.

➤ Disponibilidad alcanzada ( $A_A$ ): “Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas y un entorno ideal de soporte logístico, sin considerar ningún retraso logístico o administrativa pero involucrando en sus cálculos los tiempos imputables a las actividades planeadas de mantenimiento”<sup>48</sup>. Se calcula según la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Disponibilidad alcanzada

$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM + M}$$

Donde MTBM es el tiempo medio entre mantenimientos (Mantenimiento preventivo y correctivo) y se calcula como:

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_F}}$$

Y M es el tiempo promedio por actividad de mantenimiento.

➤ Disponibilidad operacional ( $A_O$ ): “Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas en un entorno real de soporte logístico, abarcando por lo tanto dentro de los tiempos de mantenimiento, los tiempos causados por los retrasos logísticos y administrativos, es decir, todos los tiempos concernientes al estado de recuperación, incluyendo el mantenimiento programado y no planeado”<sup>49</sup>. Se calcula según la siguiente ecuación:

Ecuación 8 Disponibilidad operacional

---

<sup>48</sup> Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín, Colombia, Editorial AMG, 2008. P. 60.

<sup>49</sup> Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín, Colombia, Editorial AMG, 2008. P. 60.

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + M'}$$

Donde M' es el tiempo promedio de las actividades de mantenimiento incluyendo los tiempos por mantenimiento preventivo.

➤ Disponibilidad operacional generalizada ( $A_{GO}$ ): Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas en un entorno real de soporte logístico, abarcando por lo tanto dentro de los tiempos de mantenimiento, los tiempos causados por los retrasos logísticos y administrativos, es decir, todos los tiempos concernientes al estado de recuperación, incluyendo el mantenimiento programado y no planeado, igualmente para los tiempos medios entre mantenimientos se incluyen los tiempos de la puesta a punto. Se calcula según la siguiente ecuación:

$$A_{GO} = \frac{MTBM'}{MTBM' + M'}$$

Donde MTBM' se calcula igual que en el caso anterior solo que se incluyen los tiempos de preparación.

Los factores que pueden afectar a la disponibilidad se observan en la tabla 2.

**Tabla 2. Factores que influyen en la disponibilidad**

	Tiempo de no disponibilidad Down Time de cualquier índole	Fallas que implican reparación correctiva	Mantenimientos planeados preventivos y predictivos	Tiempos Administrativos	Retrasos logísticos de insumos, repuestos o recursos humanos	Tiempos logísticos que generan indisponibilidad = suma de ADT + LDT'	Ready time. Tiempo en que el equipo está disponible pero no produce.
$A_G$							
$A_G$	X						
$A_I$		X					
$A_A$		X	X				
$A_o$		X	X	X	X	X	
$A_{GO}$		X	X	X	X	X	X

Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín, Colombia, Editorial AMG, 2008. P. 68.

- **Confiabilidad:** Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado; en otras palabras es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Existen diferentes procedimientos para obtener una predicción del sistema y componentes, como modelos matemáticos, técnicas de simulación y determinación de valores límites. El manejo estadístico incluye el cálculo de parámetros de Weibull sea por método gráfico o por mínimos cuadrados.
- **Mantenibilidad:** A la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo, pueda llegar a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica la realización de unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción.

Para el análisis de los indicadores de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD) se sigue el ciclo de información de la figura 13

Figura 13. Cálculo CMD

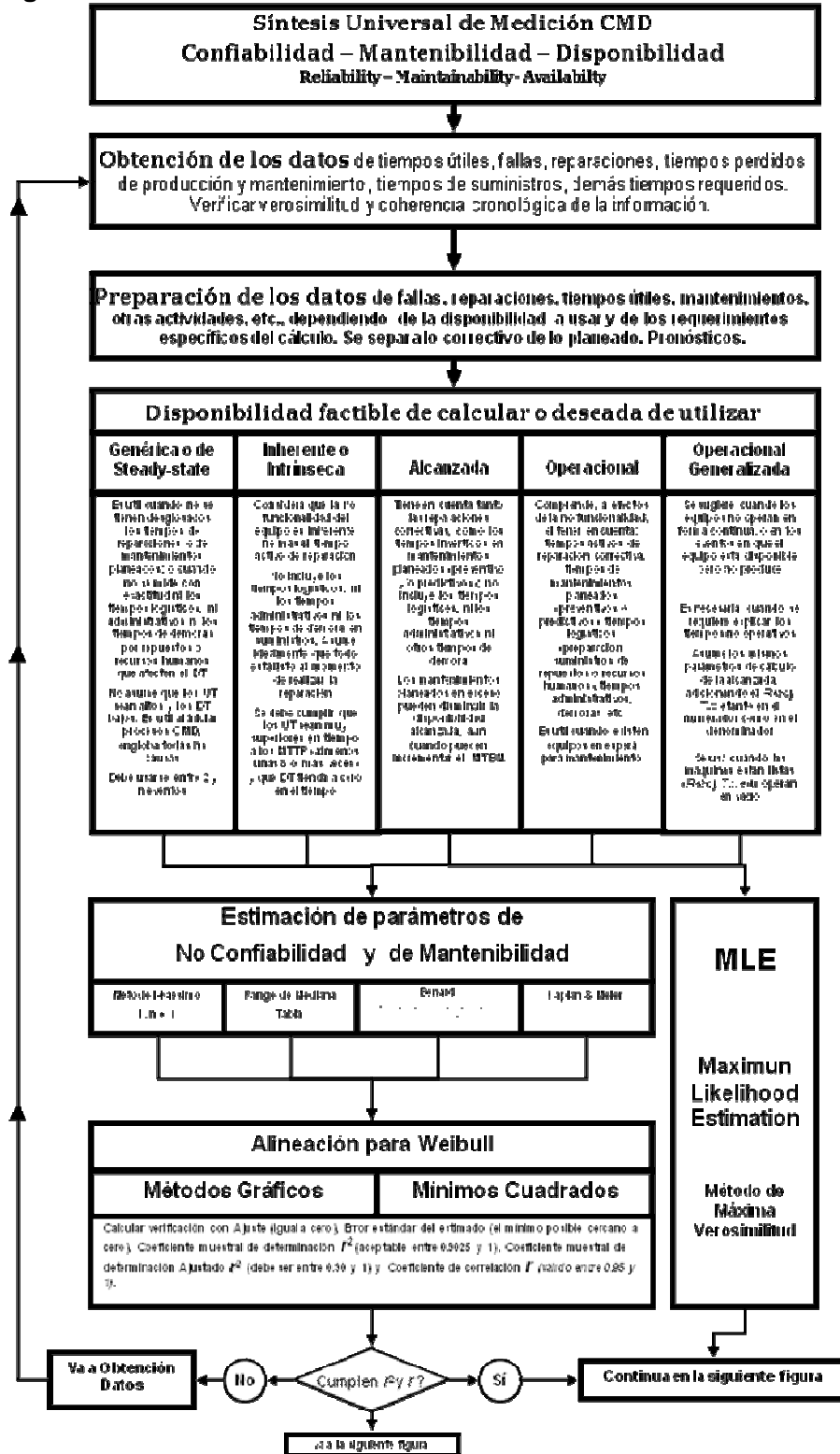
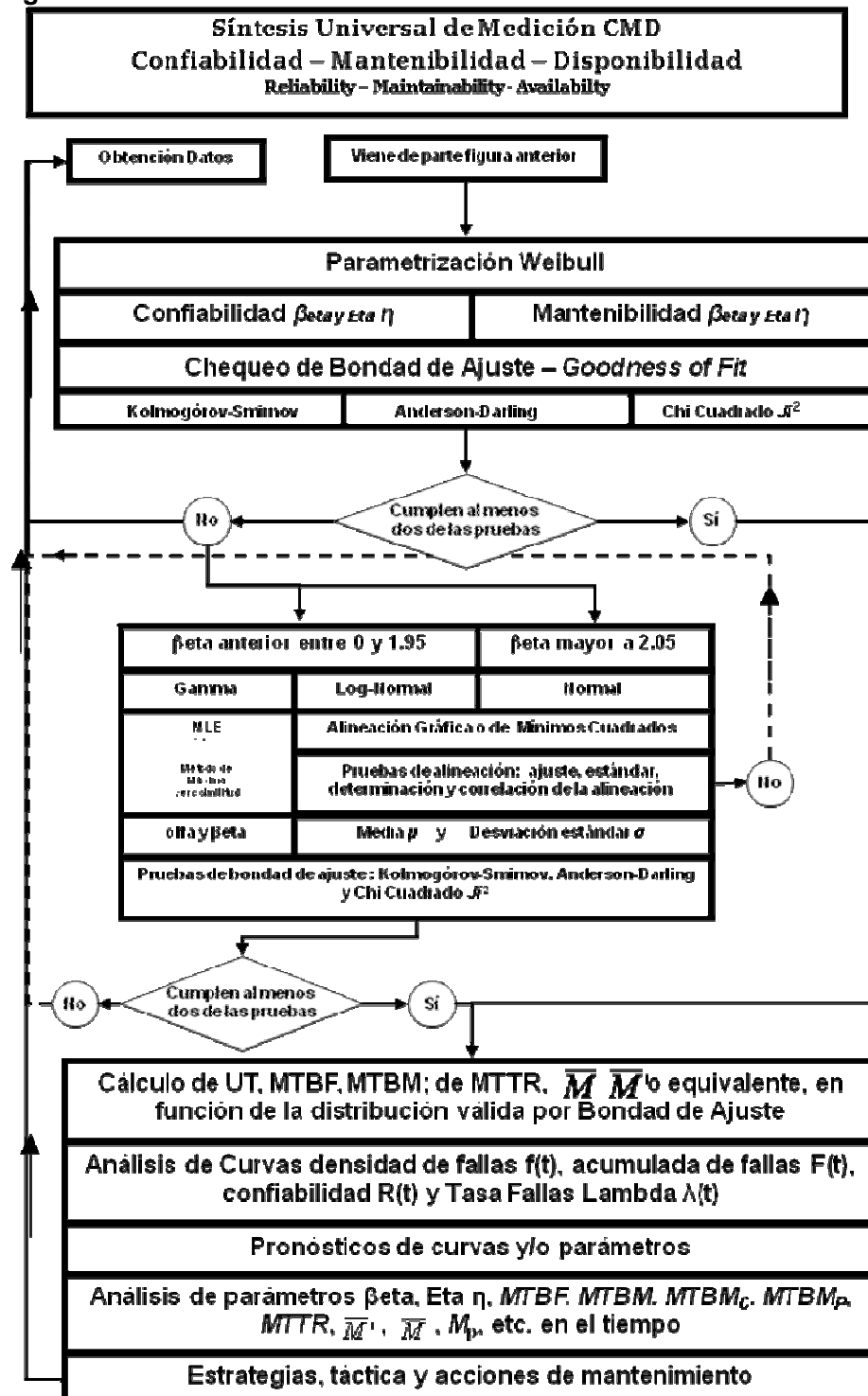


Figura 14. Continuación Cálculo CMD



Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín, Colombia, Editorial AMG, 2008. P. 57 y 58.

## 1.2 MANTENIMIENTO EN SAP

### 1.2.1 Sistemas de Información De Mantenimiento

Para hablar de los sistemas de información de mantenimiento, es importante definir primero lo que es un sistema de información. “Un sistema de información es un sistema computarizado que procesa datos (hechos) y produce información”<sup>50</sup>, el sistema de información debe administrarse de forma que se conviertan en la columna vertebral de la ejecución de la función para la que fueron implementados. Los sistemas de información se justifican únicamente si cumplen una función determinada dentro de la empresa.

Los componentes de un sistema de información son:

- Información: Dentro de este campo se encuentran todos los datos (Procesados (Información) y no procesados) que se ingresan al sistema de información.
- Personas: Corresponde a todas las personas involucradas en la administración de los datos y la información. La administración incluye la consecución, tratamiento y análisis de la información.
- Recursos: Son todos los recursos materiales utilizados para la administración de los datos y la información. Normalmente estos recursos son informáticos y de comunicación pero no tiene que ser necesarios referidos a estos.
- Actividades: Consiste en las actividades realizadas para la administración de los datos y la información. En estas actividades deben encontrarse reflejados los

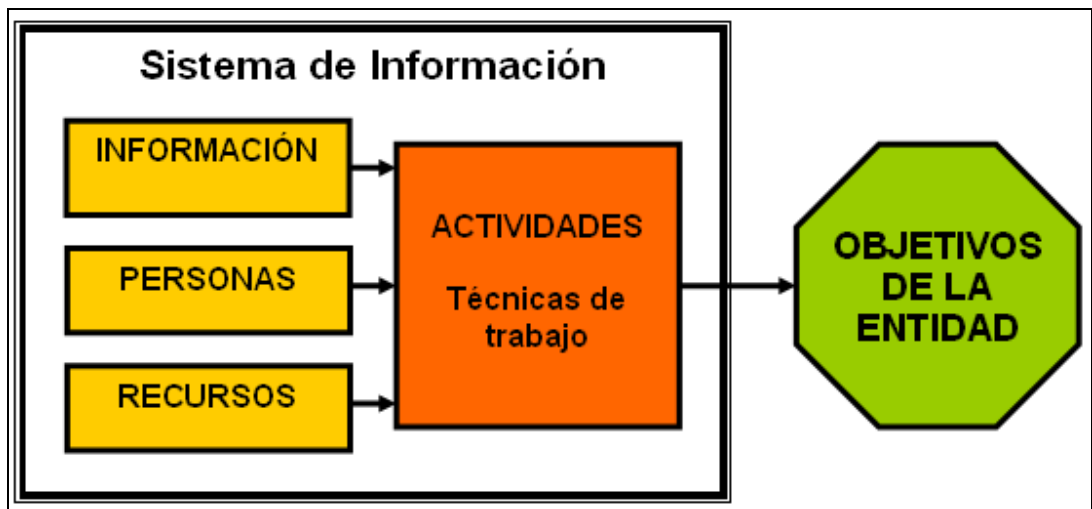
---

<sup>50</sup> SHIM, Jae, SIEGEL, Joel y CHI, Roger. Respuestas rápidas para sistemas de información. México D.F.: Prentice Hall, 1999. p. 1

Procesos y Procedimientos; los Formatos, Flujos y Logística y los Controles y Mecanismos de Seguridad.

Estos componentes se unen para alcanzar las Estrategias, Objetivos y Políticas de la compañía.

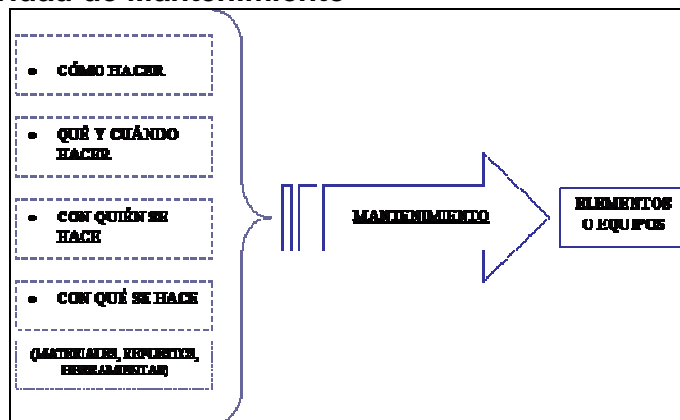
**Figura 15. Componente del Sistema de Información**



Un sistema de información de mantenimiento es aquel sistema de información que se utiliza para lograr los objetivos del departamento o área de mantenimiento, en él se gestiona la información requerida para administrar el mantenimiento.

Todas las actividades de mantenimiento requieren información acerca de a qué se le va a hacer, qué y cuando se le va a hacer, quién lo va a hacer y qué recursos se requieren para hacerlo (como se observa en la figura 16). Estas son las cuestiones que tiene que resolver el sistema de información de mantenimiento.

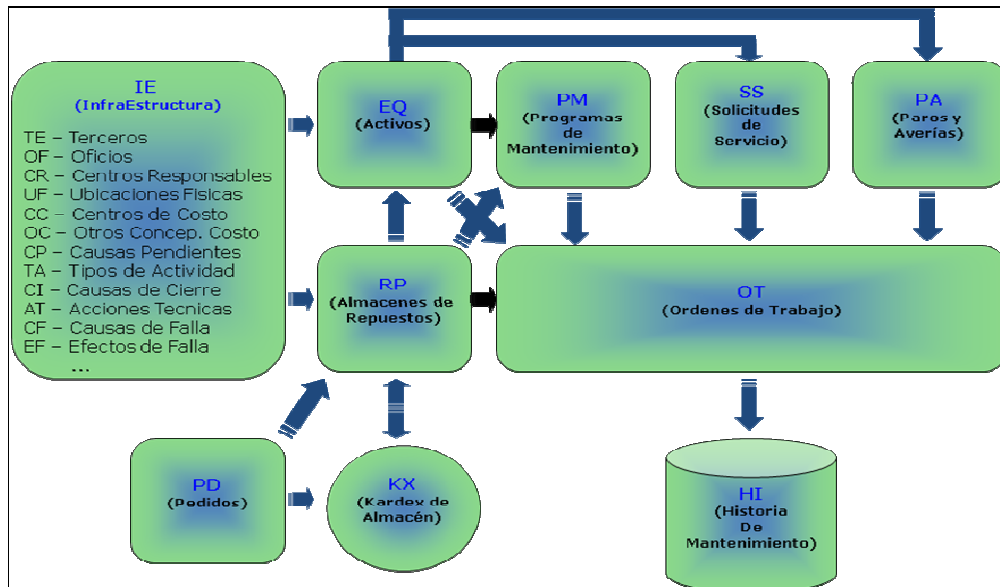
**Figura 16. Actividad de Mantenimiento**



Duarte, Nelson, Ramírez José. Software demostrativo para sistemas de información en mantenimiento. Bucaramanga, 2000. p. 6

En la figura 17 se observa la estructura de un sistema de información de mantenimiento cuyos componentes básicos son:

**Figura 17. Estructura de un Sistema de Información.**



PINILLA, Pablo. Sistemas de información de mantenimiento. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO (2009: Bogotá).

- **Programas de Mantenimiento:** En este módulo se controla la ejecución de actividades que se ejecutan de forma periódica; en el corto plazo se busca la

generación automática de las órdenes de trabajo, en el largo plazo proporciona información para la planeación y presupuestación del mantenimiento.

- **Solicitudes de Servicio:** Por medio de las solicitudes de servicio los clientes de mantenimiento pueden informar las necesidades que presentan, para que mantenimiento proceda a analizar su posible ejecución por medio de una orden de trabajo.
- **Paros y Averías:** Cuando ocurre una parada o avería de los equipos productivos, producción informa a mantenimiento la ocurrencia para que este proceda a ejecutar las actividades requeridas para su solución por medio de la orden de trabajo.
- **Órdenes de Trabajo:** En las órdenes de trabajo mantenimiento controla la planeación y ejecución de sus actividades; estas pueden ser creadas de forma manual o automática (a partir de los programas de mantenimiento). Por medio de la orden se obtiene el presupuesto y el costo real de la ejecución de una actividad específica de mantenimiento.
- **Historial de Mantenimiento:** Todas las actividades realizadas por mantenimiento se encuentran registradas en el sistema de información de mantenimiento, y este, con base en esta información, genera reportes de gestión para la toma de decisiones.

### **1.2.2 Definición de ERP (Enterprise Resource Planning)**

Cuando se empezaron a introducir las tecnologías de información en las empresas, cada área de la empresa introdujo un software independiente que cubría sus necesidades específicas; estos diferentes sistemas no se comunicaban entre sí, por lo que se hacía preciso que documentos físicos se pasaran entre las

áreas para que sean diligenciados en el software específico. Por ejemplo cuando llegaba un pedido de cliente el área comercial de la empresa digitaba en su sistema la orden, esta posteriormente era enviada al almacén para procesar la salida del materia, por lo que el almacenista nuevamente digita el pedido, posteriormente el área financiera nuevamente digita el pedido para registrar las cuentas por pagar y los ingresos. Este esquema de trabajo traía consigo una serie de riesgos, ya que los documentos se podían traspapelar o era posible que cada vez que se digitaran se cometieran errores.

Posteriormente se introdujeron los sistemas ERP, que buscan integrar en un solo software las necesidades de cada área de la empresa. EL ERP nace inicialmente como una metodología a partir del MRP (Material Requirements Planning) y el MRP (Manufacturing Resource Planning) II. Es importante reconocer ahora que la función de mantenimiento no es, y nunca ha sido, parte de la metodología de MRP / MRP II ni ERP, sin embargo muchos de los fabricantes han incluido un módulo de mantenimiento en su sistema, aunque en muchos casos lo hacen más como un anexo que como parte de su filosofía.

En la Figura 18 se encuentran los módulos que conforman un ERP, estas funcionalidades se pueden agrupar en la siguiente clasificación:

Figura 18. Estructura de SAP



- Logística: Comercial, Gestión de Materiales (Compras e inventarios), Producción, Calidad, Mantenimiento.
- Finanzas: Gestión Financiera, Costos, Activos Fijos, Proyectos
- Recursos Humanos
- Funcionalidades Específicas: Soluciones de industria, Workflow.

En los sistemas ERP todos los módulos se encuentran integrados, de forma que un pedido de ventas registrado por un vendedor, se observa en el almacén de productos terminado como una necesidad de producto para ser entregado, no es necesario registrarlo nuevamente, de igual forma una vez se ha entregado la mercancía en el almacén además de disminuir el inventario de productos, se genera un documento contable que automáticamente actualiza la contabilidad, de esta forma cada área conoce la información relevante para ellos, que es generada

en otra, sin necesidad de registrar nuevamente el documento, esto gracias a que es un único sistema con una base de datos común.

El ERP busca cubrir las actividades primarias de la cadena de valor (Logística, operaciones, Ventas y servicio), incluyendo módulos adicionales para las actividades secundarias (Contabilidad, finanzas, tesorería, recursos humanos, proyectos, etc.). A partir de estos se han desarrollado gran variedad de soluciones especiales para integrar otros entes externos relevantes para la gestión de la empresa, estos pueden ser CRM (Customer Relationship Management), SCM (Supply Chain Management), SRM (Supplier Relationship Management), etc. Dentro de esta gama de productos el ERP se ubica en la zona operativa de la empresa.

### **1.2.3 Generalidades de SAP**

SAP (Sistemas Aplicaciones productos en Procesamiento de Datos) con sede en Waldorf (Alemania) es el segundo proveedor de Software empresarial en el mundo. SAP es al mismo tiempo el nombre de la empresa y un sistema de información modular totalmente integrado que cubren prácticamente todos los aspectos de la gestión empresarial.

SAP AG fue fundada en 1972 por cinco antiguos trabajadores de IBM, uno de ellos, Wellenreuther, había desarrollado un paquete de contabilidad financiera para una empresa llamada Naturin, SAP compró los derechos del Software y sobre él iniciaron el diseño y aplicación de un sistema financiero. Simultáneamente desarrollaron un sistema de gestión de materiales como un software a la medida para ICI, su primer cliente, pero se reservaron los derechos de propiedad para SAP. Con estas bases se diseñaron los módulos Financiero (FI) y de Gestión de Materiales (MM), que fueron los primeros de los que se llamó el sistema R lanzado en 1973. En 1979 se lanza SAP R/2 un sistema que corría en un Mainframe, el

sistema contaba con módulos como Contabilidad, Procesos de manufactura, logística de la cadena de abastecimiento entre otros.

En 1992 SAP desarrolla SAP R/3 que posteriormente migra a MySAP.com, esta es el Software sobre el que se va a desarrollar el presente documento. Está compuesto por diferentes módulos que cubren las funciones típicas de cualquier organización. Cada módulo administra tareas específicas, pero está integrado con los demás según se requiera. Los principales módulos son:

- Gestión Financiera (FI): Este módulo cubre todas las necesidades que debe cumplir el departamento financiero de una empresa. Entre las principales funcionalidades se encuentran:

- Flujo de datos abierto e integrado: Mediante actualizaciones automáticas se asegura el flujo de datos de la Gestión financiera y los otros componentes del Sistema SAP. Los datos están a disposición dentro de la Gestión financiera en el tiempo real. Las contabilizaciones efectuadas en las cuentas auxiliares crean una contabilización correspondiente en la contabilidad general. Preparación de información operativa para ayudar a la toma de decisiones estratégica dentro de la organización.

- Integración de Gestión financiera con otros componentes: Todas las operaciones relevantes para contabilidad realizadas en los componentes de Logística se contabilizan en tiempo real para Gestión financiera por medio de la determinación de cuentas automática. Se pueden transferir también estos datos a Controlling (CO). Esto asegura que se reflejen exactamente los movimientos logísticos de mercancías (tales como las entradas y salidas de mercancías) en las actualizaciones de contabilidad.

- Integración dentro de Gestión financiera: Cada contabilización que se hace en las cuentas auxiliares crea una contabilización correspondiente en las cuentas de mayor asignadas. De este modo las cuentas auxiliares se concilian siempre con el libro mayor.
  
- Libro mayor (FI-GL): La tarea central de la contabilidad principal consiste en proporcionar un cuadro general de la contabilidad y las cuentas externas. El registro de todas las operaciones contables en un sistema de software completamente integrado con todas las otras áreas operacionales de la empresa garantiza que los datos de contabilidad siempre estén completos y sean exactos.
  
- Acreedores (FI-AP): Este componente registra y gestiona los datos de contabilidad de todos los acreedores. También es parte integrante del sistema de compras: Las entregas y las facturas se gestionan dependiendo de los acreedores. El sistema activa automáticamente las contabilizaciones en respuesta a las operaciones. Asimismo, el sistema proporciona los importes de las facturas al componente de aplicación Caja para optimizar la planificación de liquidez.
  
- Deudores (FI-AR): Este componente registra y gestiona los datos de contabilidad de todos los deudores. Además, es parte integral de la gestión de ventas. Todas las contabilizaciones efectuadas en la Contabilidad de deudores se registran directamente en el libro mayor. Las diferentes cuentas de mayor se actualizarán dependiendo de la operación efectuada (por ejemplo, créditos, anticipos, efectos, etc.).
  
- Tesorería (FI-TR): El área de Tesorería comprende los componentes Gestión de caja, Gestión de tesorería. El análisis de la liquidez actual y de la situación de riesgo permite poder tomar decisiones respecto a las inversiones futuras de la empresa y a la reunión de fondos. Adicionalmente en esta decisión se consideran

las condiciones del mercado financiero. A continuación, las operaciones financieras derivadas de esta decisión se introducirán en la Gestión de tesorería.

➤ Impuestos: Se puede utilizar el Sistema SAP para gestionar varias clases de impuestos según los requerimientos legales de un país o de una región. Los componentes de Gestión financiera: Deudores (FI-AR), Acreedores (FI/AP) y Libro Mayor proporcionan todas las funciones del sistema de impuestos como las siguientes: Cálculo de impuestos el sistema calcula importes de impuestos con o sin el descuento por pronto pago, según la base gravable; Se usan los indicadores de impuestos para calcular y verificar los importes; Contabilización del IVA; Correcciones; Informes de impuestos.

- Costos (CO): El Controlling le proporciona la información para facilitar las decisiones de gestión. Facilita la coordinación, el control y la optimización de todos los procesos en una empresa. Esto implica registrar tanto el consumo de los factores de fabricación como los servicios suministrados por una empresa.

Además de documentar sucesos reales, la tarea principal del Controlling es la planificación. Puede determinar desviaciones mediante la comparación de datos reales con datos de plan. La determinación de dichas desviaciones permite controlar flujos empresariales.

Las cuentas de explotación, como la que corresponde al cálculo del margen de cobertura, se utilizan para controlar la rentabilidad de áreas concretas de una organización y de la organización completa.

Los submódulos del módulo de costos son:

➤ Contabilidad de clases de coste (CO-OM-CEL): La Contabilidad de clases de coste y de ingresos le proporciona un resumen de los costes e ingresos de una

empresa. La mayoría de los valores se transfieren automáticamente desde la Gestión financiera al Controlling. La contabilidad de clases de coste y de ingresos solamente calcula costes que no representan otro gasto o solamente representan un gasto en la Gestión financiera.

➤ Contabilidad de centros de coste (CO-OM-CCA): La contabilidad de centros de coste se emplea para poner en práctica el Controlling en una organización. Es útil para imputar gastos generales a la ubicación en la que se han producido.

➤ Contabilidad de costes por actividad (CO-OM-ABC): La contabilidad de costes por actividad analiza aquellos procesos empresariales en los que intervienen varios departamentos de una organización. Mediante este proceso se establecen prioridades para los objetivos de la organización y para la optimización de los flujos empresariales.

➤ Órdenes CO (CO-OM-OPA): Utilice órdenes CO para agrupar y gestionar los costos de actividades específicas. A las órdenes se les puede asignar un presupuesto, que supervisa el sistema, a fin de asegurar que no se exceda.

➤ Controlling de costes del producto (CO-PC): El Controlling de costes del producto calcula los costes que se producen durante la fabricación de un producto o el suministro de un servicio. Permite calcular el precio mínimo de un producto de modo que su comercialización sea provechosa.

➤ Cuenta de resultados (CO-PA): La cuenta de resultados analiza el beneficio o la pérdida de una empresa por sectores del mercado individuales. El sistema imputa los costes correspondientes a los ingresos para cada sector del mercado.

➤ Contabilidad de centros de beneficio (EC-PCA): La contabilidad de centros de beneficio evalúa el beneficio o la pérdida de áreas independientes de una empresa. Estas áreas son responsables de sus costes e ingresos.

- Sistema de Proyectos (PS): Todos los proyectos, sean grandes o pequeños requieren planeación y control de las actividades que se deben realizar. El módulo de sistema de proyectos proporciona las herramientas necesarias para realizar este control. Una de las grandes fortalezas de este módulo es la integración con los demás módulos de SAP. Entre las integraciones importantes se destacan Ventas y distribución (SD), Gestión de Materiales (MM), Costos (CO) y Finanzas (FI). Para la administración de un proyecto en SAP lo primero que se debe hacer es su definición como proyecto incluyendo una descripción, las fechas de inicio y finalización, los datos organizativos, etc. Luego se establece la estructura de descomposición del proyecto (WBS), la cual describe los elementos que conforman la estructura del proyecto y que contienen diferentes tareas como elementos. Las actividades se establecen como una red identificándose para cada una la forma como se ejecutan y las relaciones de dependencia con las demás.

Teniendo el proyecto definido es posible establecer los costos planeados, los costos reales se irán asociando al proyecto con la ejecución de cada una de las tareas. En la ejecución se realiza la notificación de los tiempos reales de ejecución y sus fechas. Una vez concluido el proyecto se podrán liquidar sus costos al objeto que finalmente los debe contener (Activo Fijo, Centro de costos, etc.)

- Ventas y distribución (SD): Este módulo presta soporte a todas las tareas que tienen lugar durante los procesos de la venta, el despacho y la facturación. Dentro de los elementos que cubre se encuentra el soporte a preventa, el procesamiento de cotizaciones, el procesamiento de los pedidos de venta, el despacho, la facturación y el sistema de información de ventas. Sus principales subcomponentes son:

- Datos maestros (SD-MD): A los clientes (interlocutores comerciales) se les venden o envían productos o se les prestan servicios, estos en conjunto con los productos y/o servicios conforman los datos maestros.
  
- Soporte de Ventas (SD-CAS): El componente soporte de Ventas le ofrece una amplia gama de funciones para la gestión de oportunidades. Ayuda a su departamento de ventas y de marketing a servir a los clientes existentes y, al mismo tiempo, a desarrollar nuevos negocios.
  
- Funciones básicas (SD-BF): Las funciones básicas más importantes son: Determinación de precios, Verificación de disponibilidad, Gestión de créditos, Determinación de material, Determinación de mensajes, Gestión de texto, Determinación de impuestos, Determinación de cuentas.
  
- Ventas (SD-SLS): Una venta le permite ejecutar diferentes operaciones comerciales que se basan en documentos de ventas definidos en el sistema. Se diferencian cuatro grupos de documentos de ventas: Consultas y ofertas de cliente; Pedidos de cliente; Contratos marco, como los pedidos abiertos y los planes de entregas; Reclamaciones, por ejemplo entregas gratuitas, solicitudes de abono y notas de cargo y devoluciones.
  
- Facturación (SD-BIL): La facturación representa la etapa de tratamiento final de una operación comercial en ventas y distribución. La información sobre la facturación está disponible en cada una de las etapas de gestión de pedidos y de entregas. Este componente contiene las siguientes funciones: Creación de Facturas basadas en entregas o servicios; emitir abonos y notas de cargo; creación de facturas proforma; cancelar operaciones de facturación; funciones de determinación de precio generales; emitir rappels; transferir datos de facturación a Gestión financiera (FI).

- **Gestión de materiales (MM):** El objetivo del módulo MM es proporcionar un soporte detallado de las actividades diarias para todo tipo de empresas que consuman materiales en sus procesos<sup>51</sup>. Se incluye todo el ciclo de la operación del material: determinación de necesidades, compra y almacenamiento. Los principales submódulos son:

- **Planificación de necesidades sobre consumo (MM-CBP):** La función principal de la planificación de necesidades de material es la de supervisar stocks y, en concreto, crear automáticamente propuestas de pedidos para el departamento de compras y de fabricación (órdenes previsionales, solicitudes de pedido repartos). El objetivo se alcanza con ayuda de varios métodos de planificación de necesidades, cada uno de los cuales utiliza procedimientos diferentes.

- **Compras (MM-PUR):** Las tareas del componente de Compras aparecen indicadas a continuación: aprovisionamiento externo de materiales y servicios; determinación de posibles fuentes de aprovisionamiento para una necesidad identificada por el sistema de planificación y control de necesidades o surgida directamente dentro de un área de especialización; supervisión de entregas y pagos a los proveedores.

- **Gestión de stocks (MM-IM):** Este componente trata las siguientes tareas: gestión de stocks por cantidad y valor; planificación, entrada y documentación de todos los movimientos de mercancías; realización del inventario físico.

- **Verificación de factura logística (MM-IV):** En la verificación de facturas de logística se verifican las facturas recibidas en relación con su contenido, precios y aritmética. Cuando se contabiliza la factura, se graban los datos de factura en el

---

<sup>51</sup> ASAP World Consultant, Blain Jonathan. Edición Especial SAP R/3. 2ª Edición. PRENTICE HALL IBERIA. Madrid, 1999.

sistema. El sistema actualiza los datos grabados en los documentos de factura en Gestión de materiales y en Gestión financiera.

- Planeación de Producción (PP): Usado para planear y controlar la producción. Los principales submódulos son:

- Planificación general de ventas (PP-SOP): Por medio de la planificación general de ventas se establecen las necesidades de producción en una integración con los módulos de ventas y costos.

- Programa maestro de producción (PP-MPS): De acuerdo con las definiciones del SOP se realiza el programa de producción que define que es lo que se debe producir para cubrir la demanda.

- Planificación de necesidades (PP-MRP): Por medio del MRP se establecen las necesidades que se tienen para producir lo que se ha definido en el MPS.

- Control de fabricación (PP-SFC): Por medio de órdenes de fabricación se controla la ejecución de la fabricación.

- Cálculo de costos (PP-PC): Este submódulo proporciona el análisis de la estructura de costos de la producción, se pueden incluir costos directos (mano de obra, materias primas, etc.) y costos indirectos (mano de obra indirecta, servicios públicos, etc.)

- Planificación de capacidades (PP-CRP): La planificación de capacidades busca optimizar la planeación de la producción por medio de ayudas gráficas y el análisis de la capacidad del sistema.

- Mantenimiento de planta (PM): Este módulo se explicará en detalle en el siguiente capítulo.

#### **1.2.4 Módulo de mantenimiento de planta (PM) en SAP**

Por medio del módulo de mantenimiento se administra la planeación, ejecución y el análisis del mantenimiento en el ERP de SAP. La mayor fortaleza que tiene es su integración con los demás módulos logrando que lo que se hace en mantenimiento se pueda ver reflejado en los módulos de producción, costos, ventas, gestión de materiales, etc., entre estas integraciones se puede destacar:

- Producción (PP): planeación de producción sabe en qué momento mantenimiento tendrá ocupadas las máquinas para actividades programadas y de esa manera no planifica producción en la máquina durante el periodo de tiempo establecido.
- Gestión de Materiales (MM): La integración con la gestión de materiales tiene varios aspectos, la primera se puede ver en la verificación de disponibilidad en inventario de forma que desde la orden de mantenimiento es posible verificar si el repuesto requerido se encuentra disponible en inventario o si se debe comprar para el mantenimiento. Por otro lado si se requiere realizar la compra de repuestos no disponibles es posible realizar la solicitud de pedido directamente desde la orden de mantenimiento. Las necesidades que se incluyen en la orden de mantenimiento se crean en la gestión de materiales como reservas que van a afectar la ejecución del MRP para las necesidades futuras de compras.
- Control de Calidad (QM): Para aquellas actividades de mantenimiento, como metrología, que requieren certificación de la calidad o el registro de mediciones realizadas, es posible establecer una integración con el módulo de control de

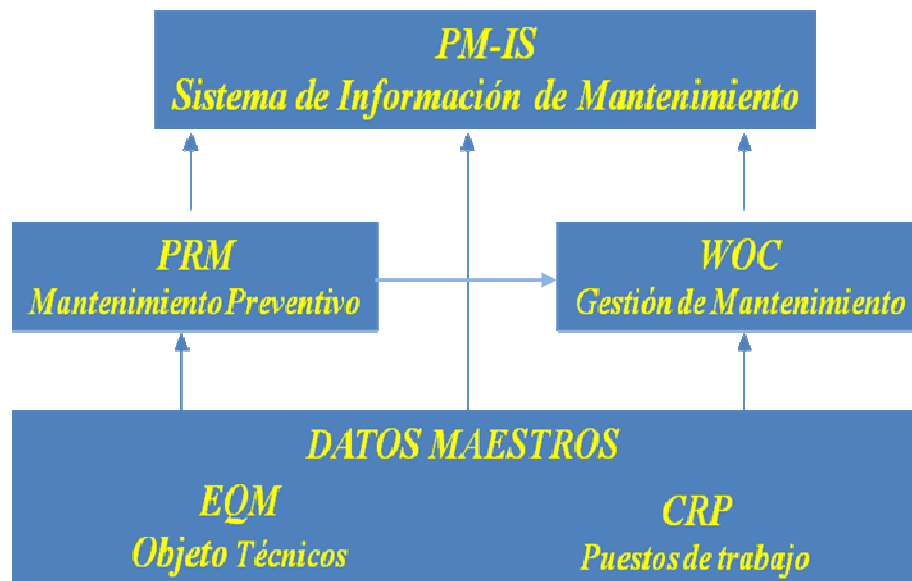
calidad para en un lote de inspección registrar las mediciones y dar una decisión de empleo para el equipo que se encuentra en mantenimiento.

- Recursos Humanos (HR): En la integración con recursos humanos es posible para cada puesto de trabajo de mantenimiento asociar a los empleados que están asignados y en las órdenes de mantenimiento es posible asignar las tareas a un empleado específico. De igual forma cuando el pago es al destajo es posible que las horas notificadas en mantenimiento se pasen al registro de horas trabajadas del trabajador.
- Costos (CO): Para la definición de los costos de mano de obra directa e indirecta en el módulo CO se define una tarifa por hora hombre. De igual manera por la integración total de SAP, cada movimiento de repuestos contra una orden de mantenimiento lleva el registro de los costos de materiales en el mantenimiento para su posterior análisis. Los costos cargados en las órdenes de mantenimiento se liquidan posteriormente al centro de costos productivos a los cuales se les prestó del servicio.
- Sistema de proyectos (PS): Para la realización de proyectos de mantenimiento es posible incluir las funcionalidades de PS para llevar el control de su ejecución. En esta operación las órdenes de mantenimiento se pueden liquidar contra los proyectos de forma que todos los costos se reflejen finalmente en el proyecto.
- Activos Fijos (AA): La integración con activos fijos permite que modificaciones en los datos maestros del activo fijo se vean reflejados en los datos maestros del equipo de mantenimiento y viceversa, de esta manera por ejemplo si mantenimiento traslada un equipo de un centro de costo a otro, en los datos maestros del activo se ve reflejado esta modificación. Por otro lado es posible

liquidar las órdenes de mantenimiento contra un activo fijo de forma que se revalorice el activo.

La estructura del módulo de mantenimiento de SAP se puede observar en la figura 19, los datos maestros son aquellos que no tienen grandes modificaciones en el tiempo y son la base de la operación de los demás submódulos; en la gestión de mantenimiento se administra la ejecución del mantenimiento y el registro y control de las fallas que se presentan; en el mantenimiento preventivo se controla la programación de actividades cuya ejecución es periódica; el sistema de información presenta una serie de reportes estándar del sistema que incluye datos de las otras áreas.

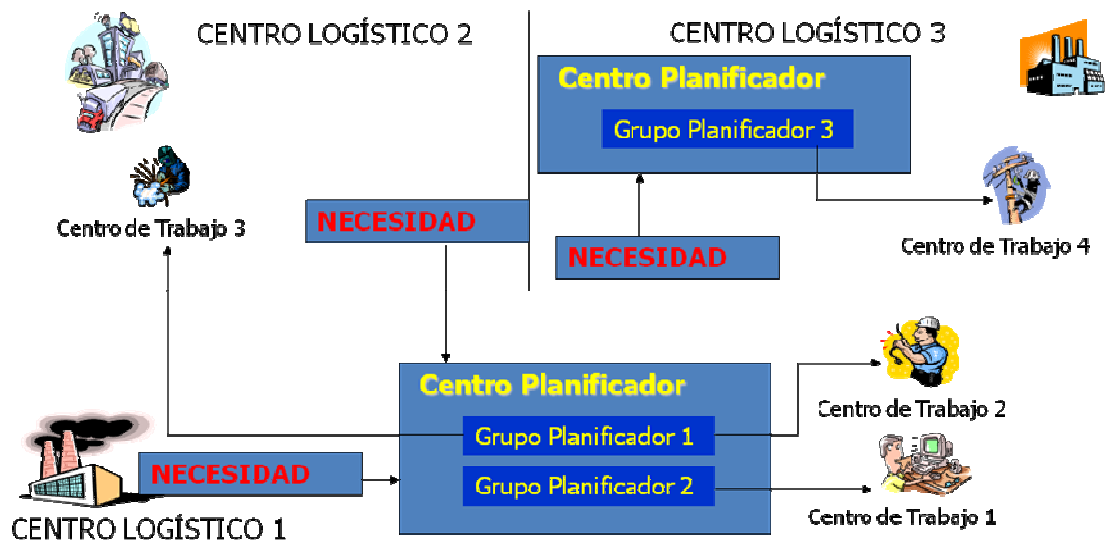
**Figura 19. Estructura módulo de mantenimiento de SAP**



- Estructura organizacional: La estructura organizacional en SAP indica la forma como se interpreta la empresa dentro del sistema, para mantenimiento las estructuras relevantes son:

- Mandante: Es el elemento superior de todas las unidades organizativas, la misma base de datos es válida para todo el mandante, cada mandante tiene datos maestros y sets de tablas independientes. Los datos que se ingresan a este nivel son válidos para todas las demás unidades organizativas. Las autorizaciones de acceso al sistema se hacen a nivel de mandante.
  
- Sociedad: Es la unidad organizacional más pequeña de contabilidad externa para la cual puede ser replicado un sistema completo y autocontenido de mantenimiento de libros contable.
  
- Centro logístico: Es la unidad organizativa base para la operación logística en SAP, un centro divide la empresa desde el punto de vista de producción, compras, planeación de materiales, mantenimiento, etc. Puede representar distintas entidades dentro de la empresa como una planta de producción, un centro de distribución. Para mantenimiento representa el área dentro de la estructura en la que se encuentran los objetos a los cuales mantenimiento les realiza alguna actividad (Equipos, Ubicaciones técnicas, etc.).
  
- Centro planificador de mantenimiento: En centro planificador es un centro logístico en el que se realizan las labores de planeación de mantenimiento. El mantenimiento puede ser planeado de forma centraliza, descentralizada o mixta en una empresa como se muestra en la figura 20.
  
- Emplazamiento: El emplazamiento representa la ubicación física de un objeto dentro de un centro logístico.
  
- Área de empresa: El área de empres se utiliza en el módulo de mantenimiento para determinar el área responsable por el objeto de mantenimiento.

**Figura 20. Mantenimiento en varios centros**



➤ Grupo planificador de mantenimiento: Se asocia al grupo de personas encargado de realizar la planificación del mantenimiento dentro de un centro planificador. En las empresas esta división se puede realizar de varias formas por especialidad (Mecánico, eléctrico, etc.), por secciones de la empresa, etc.

- Puesto de Trabajo (PM-CRP): Los puestos de trabajo en mantenimiento se encuentran dentro de los datos maestros de mantenimiento y son unidades organizacionales en las que se realizan las actividades de mantenimiento. Los puestos de trabajo pueden representar grupos de personas, máquinas o grupos de máquinas. A nivel del puesto de trabajo se define la capacidad que se tiene para la ejecución de las tareas de mantenimiento, con base en la capacidad definida en el puesto de trabajo es posible realizar análisis del uso del puesto de trabajo y realizar un ajuste de capacidades para planificar la realización de los trabajos utilizando de la mejor forma posible los recursos disponible. Los costos asociados a la mano de obra de mantenimiento se establecen a través de los puestos de trabajo. La administración de los costos se realiza a través de la definición de tarifas para la actividad de mantenimiento, la cual es asignada al puesto de

trabajo. Cuando se reporta la utilización del puesto de trabajo (notificación) entonces se multiplica la tarifa por la utilización reportado y ese es el costo asignado a la orden.

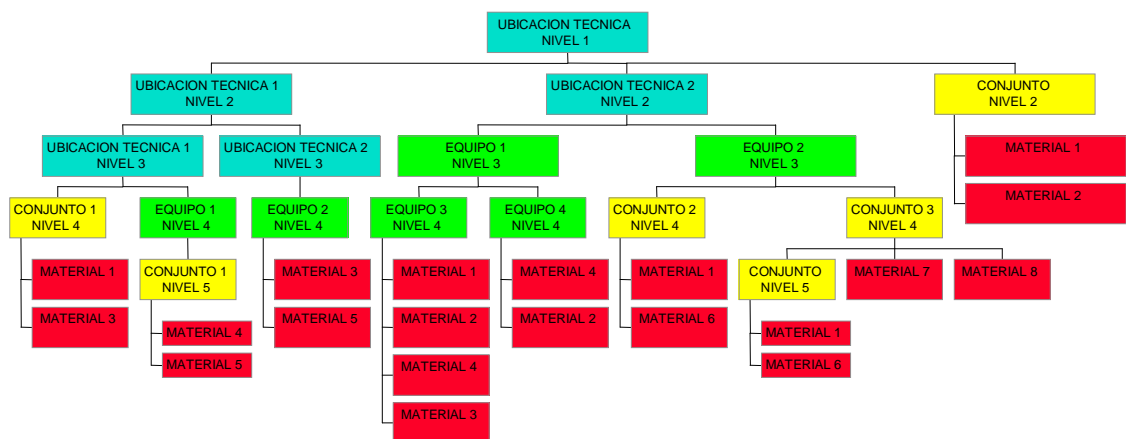
- **Objetos técnicos (PM-EQM):** Se consideran objetos técnicos a aquellos elementos sobre los cuales se pueden realizar actividades de mantenimiento, es muy importante antes de crear los objetos técnicos en el sistema realizar una actividad de levantamiento de información en la que se defina cuáles son relevantes para mantenimiento (requieren actividades de mantenimiento y/o análisis de información), con esta definición se debe definir su estructuración y los elementos en SAP para realizarla (ubicaciones técnicas, equipos, conjuntos, listas de materiales, etc.).

Entre los objetos técnicos se encuentran:

- **Ubicación técnica:** Estructura jerárquica multinivel utilizada para representar los sistemas técnicos de una empresa. Para que un objeto se considere una ubicación técnica debe considerarse que tiene una ubicación fija en la estructura y que requiere actividades independientes de mantenimiento o de análisis de información de mantenimiento. Una ubicación técnica puede representar una ubicación física, una función o un proceso. La estructuración de las ubicaciones técnicas se puede realizar de forma automática, para lo cual se basa en el indicador de estructura que establece la forma como se debe establecer la codificación de las ubicaciones técnicas y los puntos donde se realizan los cambios de nivel. Por otro lado es posible realizar la estructuración de forma manual.
- **Equipos:** Un equipo es un objeto físico sobre el que se pueden realizar labores de mantenimiento independiente y que es móvil, es decir que puede ser montado y desmontado de una ubicación técnica y/o equipo. Otro concepto importante para

la definición de un equipo es el hecho de ser identificable, es decir que en caso de tener dos equipos iguales sea posible identificarlo físicamente y localizarlo en el sistema. Los equipos se gestionan en el sistema para cumplir alguno de los siguientes objetivos: mantener información de datos maestros; planificación de actividades y/o ejecución de actividades de mantenimiento preventivo, correctivo, etc.; mantener el historial de las medidas de mantenimiento realizadas; seguimiento de los costos de mantenimiento o comprobante de los tiempos de operación. La estructura de Ubicaciones técnicas y equipos se observa en la figura 21.

**Figura 21. Estructura de Objetos Técnicos**



➤ **Conjuntos:** Los conjuntos son elementos adicionales en la estructura de objetos técnicos de mantenimiento, que no tienen historial propio, pero que se pueden gestionar en los avisos y órdenes de mantenimiento. El conjunto se define en el sistema como un material, el cual no se compra, ni se almacena y cumple la función de desglosar un nivel más abajo un objeto técnico.

- Enlaces: Las ubicaciones técnicas y los equipos en un sistema operacional pueden conectarse de muy diversas formas con otros sistemas<sup>52</sup>. En SAP es posible crear estas conexiones por medio de los enlaces, su función esencial es enlazar los objetos entre sí. El enlace puede ser en términos de flujo de trabajo, energía, control, etc.
  
- Listas de materiales: La lista de materiales es un listado estructurado materiales (repuestos o conjuntos) que cumple las funciones de estructurar el objeto y facilitar la planeación de los repuestos para la orden de mantenimiento o la hoja de ruta.
  
- Números de serie: Cuando se activa el manejo de los materiales por número de serie es posible identificar en el inventario individualmente cada uno de los objetos y se crea una integración con los equipos definidos en el sistema, de forma que los equipos pueden quedar con un estado en almacén (ALMA).
  
- Sistema de clasificación: Este sistema permite asociar a los equipos o ubicaciones técnicas valores de características específicas que no están asociados directamente en los datos maestros. El sistema de clasificación está conformado por la clase que es el elemento que se asocia al objeto técnico y que sirve como agrupador de características que se quieren evaluar en el equipo. Las características son las variables que se quieren medir para el equipo y para cada objeto tiene un valor determinado.
  
- Puntos de medida: Los puntos de medida son ubicaciones físicas o lógicas para las cuales se describe una condición particular. Los puntos de medida se pueden clasificar como contadores en cuyo caso las medidas ingresadas solo se pueden incluir en forma ascendente o descendente. Para cada punto de medida o

---

<sup>52</sup> ASAP World Consultancy y Jonathan Blain, Edición especial SAP R/3. 2ª edición. Prentice Hall Iberia, Madrid, 1999 página 435

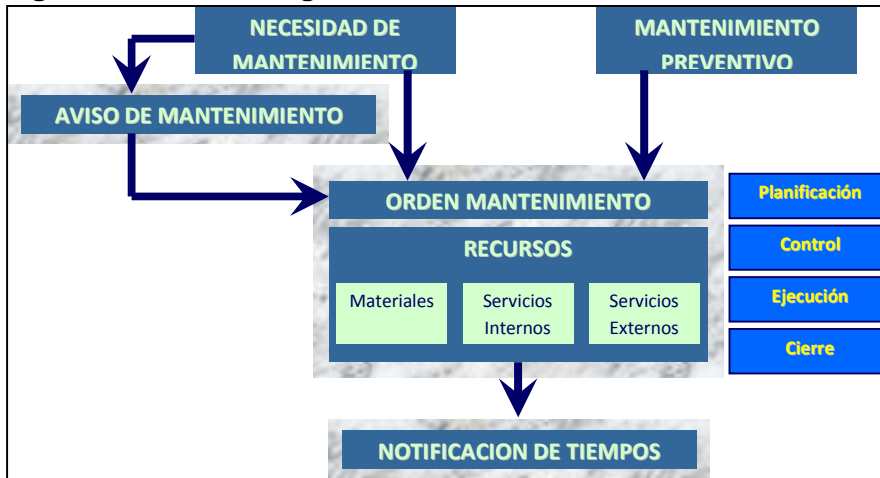
contador es posible ingresar valores o lecturas que representan la situación de la variable en un momento dado. Las lecturas (documentos de medida) se pueden ingresar manualmente en forma individual, sin embargo para facilitar el ingreso de lecturas colectivas es posible crear listas de puntos de medida (inclusive si son de diferentes objetos técnicos) en las que es posible ingresar el valor de la lectura de los puntos listados en un solo paso. Cuando un contador tiene el mismo comportamiento de otro que se encuentra en un objeto superior en la estructura es posible activar la transferencia de valores, de esta forma cuando se hace la lectura del objeto técnico superior, se transfiere la diferencia al contador inferior.

➤ Documentos: Por medio del Sistema de Gestión Documental (DMS) de SAP, es posible asociar documentos (archivos) a los objetos técnicos de mantenimiento, por medio de esta asociación es posible crear un link con documentos como planos, manual de operación, manual de mantenimiento, etc., para los objetos técnicos.

- Gestión de mantenimiento (PM-WOC): En esta área del módulo se realiza la gestión de la ejecución del mantenimiento, así como el registro y control de las fallas que se presentan en los objetos técnicos. En otras palabras se administra el mantenimiento correctivo. La estructura de la gestión de mantenimiento se observan en la figura 22. La gestión de mantenimiento está conformada por tres documentos principalmente:

➤ Aviso de Mantenimiento: El aviso de mantenimiento es el documento por el cual se informa la presencia de alguna avería o la solicitud de algún servicio para un objeto técnico por parte de los clientes del mantenimiento. Es posible crear diferentes clases de avisos según la necesidad y los requerimientos que se le hacen al departamento de mantenimiento, por ejemplo aviso de avería para las fallas que se presentan en los equipos, la solicitud de mantenimiento para los requerimientos al departamento de mantenimiento que no tienen relación con

**Figura 22. Estructura gestión de mantenimiento**

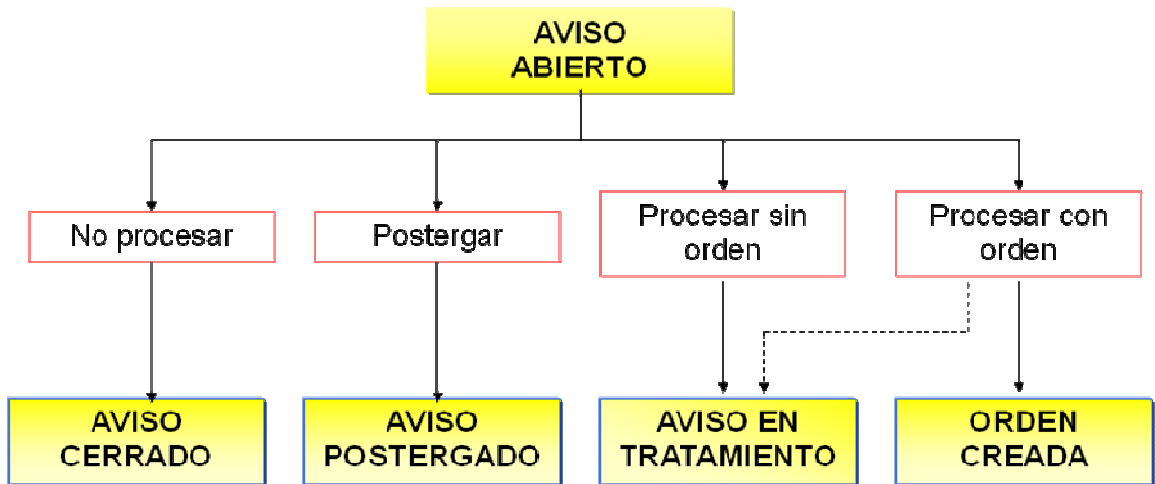


fallas, etc. Las clases de aviso de mantenimiento controlan definiciones como la asignación del número del aviso, la información del objeto técnico de referencia (si se ingresa equipo, ubicación técnica, conjunto, número de material – número de serie, etc.).

Cuando se crea un aviso de mantenimiento este se encuentra en estado abierto, sobre este aviso mantenimiento puede decidir si no lo va a procesar por lo que se cierra directamente, o si lo va a postergar por lo que lo pasa a un estado de postergado o si lo va a poner en tratamiento, para ponerlo en tratamiento puede hacerse asociándolo a una orden en cuyo caso adicionalmente obtiene el estado de orden asignada. Este procesamiento se puede observar en la en la Figura 23.

En el aviso de mantenimiento se lleva el registro de las fallas que se presentan en los objetos técnicos, para poder establecer estadísticas sobre las fallas se manejan por intermedio de catálogos en los que se codifican los síntomas, las causas y las acciones que se realizaron para corregirlas.

**Figura 23. Procesamiento del aviso**



Los catálogos se encuentran conformados por grupos de códigos y códigos que representan cada una de los posibles partes de objetos, síntomas, causas o acciones. Esta codificación permite generar estadísticas de las fallas presentadas y las soluciones implementadas.

También se controlan en el aviso los tiempos de parada de la máquina, registrando las siguientes fechas: fecha de creación del aviso que es la fecha en la que se creó el aviso; fecha de inicio de la avería que corresponde a la fecha en la que se detectó la avería; la fecha de fin de la avería en la que se registra el momento en que se corrigió la falla y la fecha de cierre del aviso que consiste en la fecha en la que se cambia el aviso al estado de cerrado. Adicionalmente se tiene un indicador de sí la avería causó la parada del equipo y el tiempo de parada que el sistema calcula como el fin de avería menos el inicio de avería pero puede ser modificado manualmente. Con base en estos datos se calcula el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación según las siguientes fórmulas, según lo que se observa en la figura 24.

Ecuación 9. Tiempo medio de reparación

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TP_i}{n}$$

Ecuación 10. Tiempo medio entre reparaciones

$$MTBR = \frac{\sum_{i=1}^n TO_i}{n}$$

### Figura 24. Estado del Equipo

TO<sub>1</sub>

TO<sub>2</sub>

TO<sub>3</sub>

Durante el cierre de las actividades de mantenimiento realizadas para cumplir con lo solicitado en el aviso de mantenimiento es muy importante incluir en el aviso los hallazgos técnicos como son la fecha de fin de avería, el tiempo de parada, las causas y acciones realizadas, etc.

➤ Órdenes de mantenimiento: En las órdenes de mantenimiento se planifica, programa y controla la ejecución de las tareas de mantenimiento; puede hacerse referencia a uno o varios objetos técnicos, de forma tal que las tareas definidas queden registradas en su historial. Es posible crear diferentes clases de órdenes, según los requerimientos o tipos de tareas de mantenimiento se ejecuten. Las clases de órdenes controlan elementos en la orden como la numeración, la forma de programación, la definición de en qué centro se puede utilizar, entre otros.

La orden de mantenimiento se puede crear a partir de un aviso de mantenimiento, de forma manual o a partir de la programación de un plan de mantenimiento. Cuando la orden se crea a partir del plan de mantenimiento esta contiene todas las operaciones incluidas en la hoja de ruta asociado. Con respecto a los avisos es posible asignar varios avisos a una misma orden, sin embargo un aviso solo puede estar asociado a una sola orden.

Durante la planificación se pueden incluir los recursos requeridos para la ejecución, estos recursos pueden ser repuestos, mano de obra propia, servicios contratados, herramientas especiales, etc. En una misma orden de mantenimiento es posible realizar varias actividades de mantenimiento esto se realiza por medio de la definición de operaciones y suboperaciones; a este nivel se asignan los recursos requeridos. Además de los recursos a cada operación se le puede planificar la duración esperada en tres parámetros que son la duración de la tarea, la cantidad de personas asignadas y el trabajo en horas hombre.

Para cada operación ingresada en una orden de mantenimiento es posible asociar los repuestos requeridos, estos pueden ser de inventario, en cuyo caso se reclaman en el almacén de repuestos o externos, por lo que se tiene que salir a comprar en el momento que se necesitan; de igual manera se hace la definición de si la operación se realiza con mano de obra propia o por medio de la contratación de un servicio.

La programación de la orden de mantenimiento se hace con base en los tiempos (duración) estipulados en cada operación, el sistema asume que todas las operaciones se realizan de forma secuencial (una operación después de la anterior), sin embargo es posible establecer una relación de ordenación estableciendo las dependencias de cada operación (Inicio – inicio, inicio – fin, fin – inicio, fin – fin) y si existen periodos de espera entre ellas. La programación de la orden de mantenimiento se puede realizar hacia adelante, en cuyo caso el sistema inicia la programación a partir de la fecha de inicio extremo, calculando la fecha de fin extremo, o hacia atrás por lo que el sistema toma la fecha de fin y programa en sentido inverso. La programación se puede representar por medio de diagramas de GANT o de PERT.

Para poder ser ejecutada una orden debe primero ser liberada, este proceso consiste en la aprobación de ejecución, una vez liberada la orden de

mantenimiento esta puede ser impresa y a partir de ese momento se crean las solicitudes de mantenimiento de los repuestos no de inventario y la reserva de los repuestos de inventario son efectivas para la planificación de necesidades. A la orden no se le pueden imputar costos reales antes de ser liberada.

El cierre de la orden se realiza en dos pasos, primero un cierre técnico que indica que todas las tareas de mantenimiento programadas han sido ejecutadas, luego un cierre comercial que hace que no sea posible imputarle ningún costo adicional al mantenimiento.

Desde el punto de vista de costos, la orden es un colector temporal de costos, lo que quiere decir que los costos reales imputados a la orden se deben liquidar posteriormente a un elemento de costos (Centro de costos, Activo, Material, etc.) de forma definitiva. En la orden se podrán apreciar los costos planeados y los costos reales, los primeros se establecen cuando en la planeación se establecen automática de acuerdo a los costos de los recursos requeridos, mientras que los reales dan cuando en la ejecución se utilizan dichos recursos, de acuerdo con los consumos realizados. En la Tabla 3 se observa la forma como se establecen los costos planeados y reales a la orden de mantenimiento.

**Tabla 3. Costos de la Orden**

<b>RECURSO</b>	<b>COSTOS PLANEADOS</b>	<b>COSTOS REALES</b>
Mano de obra propia	Se calcula multiplicando las horas planeadas en la orden para los puestos de trabajo por la tarifa establecida para la actividad del puesto de trabajo.	Se calcula multiplicando las horas reales notificadas por la tarifa establecida para el puesto de trabajo.
Mano de Obra Externa	Se planea según el valor que se coloque en la solicitud de pedido de los servicios a contratar.	Se calculan según lo establecido en el pedido de compra y lo que se dé por aceptado en la hoja de entrada de servicio. Si existe diferencia en la verificación de facturas es ajustado.

<b>RECURSO</b>	<b>COSTOS PLANEADOS</b>	<b>COSTOS REALES</b>
Material de Inventario	El costo del material de inventario se toma del valor unitario que se tiene en el inventario multiplicado por la cantidad planeada en la orden.	El costo real consiste en los consumos de materiales de inventario (planeados o no planeados) multiplicado por los costos unitarios del inventario.
Material externo	Para el material externo, al igual que para la mano de obra externa, el costo planeado consiste en el establecido en la solicitud de pedido creada para solicitar la compra del material.	El costo real se toma de las cantidades de repuestos imputados a la orden ingresados en el módulo de gestión de materiales, multiplicado por el precio unitario establecido en el pedido de compra.
Costos Indirectos	Es posible definir costos indirectos asociados a la orden de mantenimiento, estos pueden ser mano de obra indirecta, depreciación, servicios públicos, etc. El costo plan se calcula a partir de las horas planificadas y una tarifa establecida o como un porcentaje del costo de la mano de obra.	El costo real se calcula de acuerdo con las horas reales notificadas para la orden de mantenimiento y la tarifa parametrizada o por el porcentaje del costo real de la mano de obra notificada.

Una vez se han realizado todas las tareas de mantenimiento y todos los costos reales se han ingresado a la orden, esta se liquida. La liquidación consiste en pasar los costos reales imputados a la orden al elemento de costos definitivo que debe contenerlos.

➤ Notificación de tiempos: La notificación de tiempos consiste en registrar en el sistema la duración real de las tareas de mantenimiento, en la notificación se puede registrar la fecha y hora de inicio, la fecha y hora de fin y el tiempo real del trabajo realizado. Si existe integración con recursos humanos también es posible realizar la notificación de forma individual para cada técnico que realiza una actividad.

- Mantenimiento preventivo (PM-PRM): “El proceso de mantenimiento preventivo incluye todos los trabajos de mantenimiento que pueden ser planeados con respecto al alcance del trabajo y las fechas, incluyendo inspecciones regulares, tareas de mantenimiento recurrentes y reparaciones planeadas. El objetivo de las tareas de mantenimiento preventivos es prevenir las fallas del sistemas y otros objetos técnicos”. El mantenimiento planificado se puede controlar por tiempo, en cuyo caso la frecuencia se da en unidades de tiempo calendario, por actividad para el cual la frecuencia de ejecución depende de la utilización del equipo o por estado, en el que la medida de mantenimiento se basa en un valor de diagnóstico. El ciclo del mantenimiento preventivo se observa en la Figura 25.

**Figura 25. Ciclo de mantenimiento preventivo**



- Hoja de ruta: La hoja de ruta es una lista estructurada de las tareas que se deben realizar para la ejecución del mantenimiento y puede ser utilizada para estandarizar la ejecución de las tareas repetitivas y planearlas más eficientemente. La hoja de ruta incluye: las tareas internas (Tiempos), las tareas externas (Terceros), los materiales requeridos, los medios auxiliares de fabricación (Herramientas) y la frecuencia de ejecución de cada tarea (solo para el mantenimiento por estrategia).
- Plan de mantenimiento: El plan de mantenimiento es el objeto central para el mantenimiento preventivo, está compuesto por los datos de programación, que

contiene toda la información necesaria para saber cómo se debe realizar la programación del plan, información como frecuencia de ejecución, factor de decalaje (indica cómo se afecta la programación en caso que la ejecución de las actividades se adelanten o se atrasen), etc., y la posición que describe el tipo de medidas de mantenimiento que deben llevarse a cabo regularmente en un objeto técnico o un grupo de objetos técnicos, en la posición se especifica a que objeto técnico se le van a realizar las actividades y se le asocia la hoja de ruta con las tareas a realizar. Un plan de mantenimiento puede tener una o varias posiciones. La estructura de un plan de mantenimiento se observa en la figura 26

**Figura 26. Plan de mantenimiento**



Existen diferentes clases de planes de mantenimiento dependiendo de la forma como se realiza la programación de sus actividades, el primero es el plan de ciclo individual en el cual todas las actividades especificadas en la hoja de ruta se ejecutan en una misma frecuencia; el mantenimiento de ciclo múltiple donde la programación de las actividades se da según varias condiciones (por ejemplo cada diez mil kilómetros o un año); por último encontramos el plan de mantenimiento por estrategia que se utiliza cuando las tareas programadas en el plan se ejecutan en diferentes frecuencias (por ejemplo el cambio de aceite se

hace cada seis meses y el cambio de filtro se hace cada doce meses), en este caso la programación se realiza a través de un elemento llamado estrategia que está compuesto por unos datos de programación que indican la forma como se deben programar y los paquetes que establecer las frecuencias controladas por la estrategia. Para el mantenimiento controlado por estrategia, cada tarea de la hoja de ruta se asocia a uno o más paquetes de la estrategia.

➤ Programación del plan de mantenimiento: El proceso de programación de los planes de mantenimiento se encarga de revisar si es necesario crear órdenes de mantenimiento para la ejecución de las actividades del plan de acuerdo con las frecuencias de ejecución definidas. Cuando el plan es por estrategia la programación verifica en que fecha se debe ejecutar el mantenimiento y el paquete que se debe ejecutar, selecciona las operaciones que tienen ese paquete y crea una orden con esas operaciones. Para los otros dos tipos de planes se determina la fecha en que se ejecuta el mantenimiento y se crea una orden con todas las operaciones de la hoja de ruta.

Para determinar la fecha en que se debe realizar el mantenimiento para el mantenimiento basado en actividad el sistema se basa en el contador del objeto de referencia, tomando como base la actividad anual definida en los datos maestros del contador el sistema calcula la actividad diaria y partiendo del último documento de medida ingresado se calcula la fecha proyectada de la ejecución del mantenimiento, la cual se va ajustando con cada lectura que se hace del contador.

➤ Ordenes de mantenimiento: Una vez se ha programado el plan de mantenimiento el proceso continúa como en la gestión de mantenimiento con la planeación, programación, ejecución y cierre de las órdenes de mantenimiento. Con el cierre de la orden de mantenimiento se cierra la toma de mantenimiento

preventivo, por lo que se puede hacer el cálculo de los decalajes para las programaciones siguientes.

- Sistema de información de mantenimiento (PM-IS): Por medio del sistema de información de mantenimiento es posible generar reportes con base en la información ingresada en los submódulos anteriores. En SAP existen tres formas por las cuales es posible analizar la información.

- Historia de mantenimiento: En este punto se utiliza la información registrada en las órdenes y los avisos de mantenimiento y se realizan tratamientos de lista para visualizar la historia de un objeto de mantenimiento dado, en estos listados no se realizan cálculos y el análisis se tiene que realizar de forma individual. SAP tiene la facilidad de utilizar órdenes históricas que permite ingresar la información de la orden sin afectar la contabilidad, de esta forma es posible ingresar el historial de otros sistemas.

- Sistema de información de mantenimiento: El sistema de información de mantenimiento consiste en una organización de tablas especiales en SAP que permiten la generación de reportes con indicadores de gestión de forma rápida. Los reportes estándar están compuestos por unas características que consisten en los elementos de búsqueda y los elementos sobre los que se hace el análisis y los ratios que son las variables que se miden. Todos los reportes permiten navegar por las características, llegando cada vez a un nivel más bajo de la información y luego devolverse sobre el mismo modelo.

## 2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

### 2.1 HERRAMIENTAS DE SAP ÚTILES

#### 2.1.1. Herramientas para montar en SAP las definiciones hechas por RCM

**Tabla 4. Herramienta de SAP útiles para montar en SAP las definiciones hechas por RCM**

<b>Necesidad RCM</b>	<b>Funcionalidad SAP</b>
Estructura de elementos críticos	La estructura de sistemas y equipos que componen la planta se pueden representar en SAP por medio de la estructura de Ubicaciones Técnicas y equipos, bajando incluso hasta los componentes (repuestos) que tiene el equipo.
Límites e interfaces	Los límites e interfaces se pueden documentar en archivos externos a SAP, en los que se tenga un diagrama funcional, las fronteras (que se incluye y que no), las interfaces (entradas, conexiones, señales, etc.), las características técnicas, las condiciones operativas y las condiciones ambientales. En este documento también se podría incluir las funciones (primarias y secundarias). Una vez se tiene el documento, por medio de la funcionalidad DMS (Document Management Service) de SAP se puede anexar a la ubicación técnica o equipo correspondiente.

<b>Necesidad RCM</b>	<b>Funcionalidad SAP</b>
Funciones primarias y secundarias	Una vez definidas las funciones de los sistemas, subsistemas y equipos, es posible ingresarlos en el texto extendido de las ubicaciones técnicas y equipos, como datos meramente informativos.
Fallas funcionales	Las fallas funcionales que se definan se pueden incluir en el sistema como Síntomas de avería, para que cuando se esté trabajando con el sistema se pueda tener el historial de las fallas funcionales que se han presentado.
Modos de fallas	Los modos de falla que se encuentren en el estudio de RCM se pueden incluir en SAP como Causas de falla en los catálogos, para que sean usados en los avisos de mantenimiento y tener el historial de los modos de falla que se han presentado para cada una de las fallas funcionales definidas.
Efecto de la falla	<p>El campo de repercusión del aviso de mantenimiento se puede incluir los efectos que tiene un modo de falla, de igual manera se puede incluir el equipo y la ubicación técnica afectados si la afectación es a otros objetos. Cuando la falla no es total es posible definir códigos para establecer el estado de la instalación antes, durante y después de la falla y el porcentaje de operación posible en cada uno de estos momentos.</p> <p>Por medio del catálogo de acciones se puede establecer las actividades requeridas para solucionar el modo de falla, una vez que se ha presentado.</p>

<b>Necesidad RCM</b>	<b>Funcionalidad SAP</b>
Consecuencias de la falla	<p>Para el manejo de las consecuencias de las fallas se puede hacer una definición de la prioridad de las fallas en los avisos de mantenimiento, de forma que las prioridades activas en el sistema podrán ser:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Riesgo para la seguridad del personal</li> <li>2. Riesgo para el medio ambiente</li> <li>3. Consecuencia operacional</li> <li>4. Consecuencia no operacional</li> </ol> <p>Para las consecuencias operacionales se pueden ampliar las prioridades incluyendo temas como parada de producción, disminución de la calidad, disminución de la velocidad, etc.</p>
Actividades de mantenimiento	<p>Para las diferentes políticas de gestión de los modos de falla que se definan se podrá incluir en SAP la forma de administrarla</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tareas por condición: para el mantenimiento con una política de tareas por condición es posible incluir en SAP planes de mantenimiento con la frecuencia establecida según las condiciones de la curva P-F para la detección de la falla potencial. Una vez se detecta la falla potencial se crea un aviso y una orden de mantenimiento para la gestión de las tareas que se tengan que realizar para impedir que el modo de falla ocurra.</li> </ul>

<b>Necesidad RCM</b>	<b>Funcionalidad SAP</b>
Actividades de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="616 365 1441 936">• Tareas de reacondicionamiento cíclico: Por medio de los planes de mantenimiento es posible realizar la programación de las tareas requeridas para restablecer las condiciones de resistencia a la falla iniciales, la orden para la ejecución de este programa se creará según la frecuencia establecida por el modelo RCM, es decir con un periodo equivalente a la edad en la que la probabilidad de falla aumenta de forma significativa. La frecuencia de ejecución de las tareas de reacondicionamiento cíclico se podrá tener en tiempo calendario o por la actividad del objeto.</li> <li data-bbox="616 947 1441 1359">• Tareas de sustitución cíclica: Al igual que las tareas de reacondicionamiento cíclico estas tareas se podrán administrar por medio de planes de mantenimiento. En la hoja de ruta asociada al plan se incluirán todas las tareas que se requieren para sustituir el elemento, incluyendo todos los recursos requeridos para su realización (Mano de obra, repuestos, servicios externos, etc.).</li> </ul>

<b>Necesidad RCM</b>	<b>Funcionalidad SAP</b>
Actividades de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rediseño: Cuando se requiere el rediseño de un sistema o equipo, en SAP se puede controlar todo el proceso de diseño y fabricación del mismo (si la empresa va a realizar por sí misma la modificación), esto lo podrá realizar generando un proyecto en el módulo PS o, si no se encuentra implantado, por medio de una o varias órdenes de mantenimiento. En caso de requerir la solicitud a un proveedor el rediseño el control de los costos se podrá llevar por medio de una orden de mantenimiento. En el sistema se podrá realizar el control de las actividades que se deben realizar mientras se ejecuta el rediseño.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento no programado: Cuando la política seleccionada es operar hasta que falle, la definición de falla que se presenta (Falla funcional, modo de falla, repercusión y consecuencias) se podrá administrar en el aviso de mantenimiento, mientras que la ejecución de la reparación (incluyendo los recursos requeridos y los realmente utilizados) se controlarán en la orden de mantenimiento.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarea de búsqueda de fallas: Esta tarea se podrá controlar para su ejecución por medio de los planes de mantenimiento, que se podrán administrar con la frecuencia definida para la tarea. Las fallas ocultas encontradas se podrán administrar por medio de avisos y órdenes de mantenimiento.</li> </ul>

## 2.1.2. Herramientas para Gestión del modelo RCM en SAP

**Tabla 5. Herramientas de SAP útiles para la gestión del modelo RCM**

<b>Necesidad RCM</b>	<b>Funcionalidad SAP</b>
Cálculo de la Disponibilidad del equipo	En SAP no se cuenta con un reporte estándar que permita calcular directamente la disponibilidad de un equipo o ubicación técnica, sin embargo cuenta con herramientas que permiten calcular el Tiempo medio de reparación y el tiempo medio entre reparaciones, según lo que se definió en las ecuaciones 2 y 3. Para que la disponibilidad que se desea tener en cuenta (genérica, inherente, alcanzada, operacional u operacional general) para determinar la forma como se deben completar los campos de inicio de avería, fin de avería y duración de la parada. Con el cálculo de estos índices es posible realizar el cálculo de la disponibilidad del equipo.
Sistema de información	El sistema de información de SAP permite analizar el desarrollo de la ejecución de los planes de mantenimiento, por lo que se puede medir la efectividad en la ejecución de las diferentes tareas. Así mismo por medio de las estadísticas de fallas es posible analizar las fallas funcionales que se están presentando en la planta y la repercusión que están teniendo.

## 2.2 GAP Y RESTRICCIONES

- Con el manejo de las funciones en el texto extendido de las ubicaciones técnicas y los equipos, los fallas funcionales y modos de falla en los catálogos de mantenimiento para su administración en los avisos, no se encuentra una relación

directa entre los tres elementos que muestre la falla funcional que función afecta y el modo de falla a que falla funcional afecta.

- En el manejo de los planes de mantenimiento no se cuenta con la información de qué modo de falla específico está previniendo, para poder realizar un análisis de su efectividad.
- SAP no cuenta con herramientas estadísticas que le permitan realizar el análisis completo de la gestión del mantenimiento centrado en confiabilidad, solo es posible generar informes acerca de una de las disponibilidades (la que se seleccione) y no es posible obtener las gráficas estadísticas de confiabilidad y mantenibilidad.

### **3. MODELO PROPUESTO**

Para la gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad en el ERP de SAP se propone el siguiente modelo:

#### **3.1 DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE OBJETOS**

Para la definición de la estructura de objetos, una vez se ha definido los objetos de estudio, estos se pueden crear en la estructura jerárquica de ubicaciones técnicas y equipos en SAP, de tal forma que se le pueda controlar su historial tanto de fallas como de mantenimiento planificado que se le ha ejecutado.

En el caso que se cuente con SAP antes de montar el modelo de gestión de RCM, por medio del sistema de información de mantenimiento (en SAP) se podrá determinar la criticidad de las ubicaciones técnicas y equipos que se encuentran montados.

#### **3.2 FUNCIONES Y ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO**

Se propone incluir las funciones y estándares de desempeño como texto extendido en las ubicaciones técnicas y equipos correspondientes, aunque al presentarse de esta forma no se pueden obtener estadísticas, ni relaciones con las fallas funcionales y los modos de falla, sirve como información al momento que se va realizar una revisión del modelo de RCM que se tiene implementado.

#### **3.3 FALLAS FUNCIONALES Y MODOS DE FALLA**

Las fallas funcionales y los modos de falla se proponen incluir en SAP como los catálogos de síntomas de avería y causas de la avería, de forma que sea posible registrar en los avisos de mantenimiento las fallas que se han presentado con su modo de falla asociado y posteriormente tener estadísticas para analizar el desempeño del modelo RCM implementado.

En la gestión de mantenimiento en SAP se debe tener cuidado en la forma como se ingresa la información, ya que el sistema no controla que el modo de falla corresponda a la falla funcional reportada, en cuyo caso la estadística de fallas podría ser errada.

Si se cuenta con SAP antes de implementar el modelo de gestión RCM, por medio de la estadística de falla se pueden obtener las fallas que se están presentando y las causas que han tenido históricamente estas fallas. Es importante anotar que al momento de la implementación de SAP seguramente las fallas que se incluyeron en los catálogos corresponden a la estrategia tradicional de la gestión de mantenimiento y no a las definiciones de fallas funcionales y modos de falla del modelo RCM.

Como recomendación, si se va a realizar la implantación de SAP y no se cuenta con el modelo RCM pero se tiene la idea de implementarlo en el futuro, lo ideal es utilizar un catálogo con modos de falla estándar, por ejemplo el definido en la ISO 14224 : 2006 Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.

### **3.4 EFECTOS DE LA FALLA**

Para la inclusión de los efectos de las fallas en SAP se recomienda parametrizar el campo de repercusión del aviso con las definiciones de efectos que se deriven del estudio de la implantación de RCM en la planta. Nuevamente SAP no hace control

de relación entre la repercusión ingresada y el modo de falla ingresado en la causa.

### **3.5 CONSECUENCIA DE LA FALLA**

Teniendo en cuenta que el objetivo de obtener la consecuencia de la falla en el modelo RCM es establecer la prioridad que se le debe dar al modo de falla en cuando a la ejecución de las tareas de mantenimiento, se propone incluir en el esquema de prioridades de mantenimiento una definición en la que las prioridades correspondan a consecuencias de falla en el modelo RCM. Por ejemplo que contengan definiciones como:

- Riesgo para la Seguridad Industrial
- Riesgo para el Medio Ambiente
- Parada de la producción
- Disminución de la producción
- Disminución de la calidad
- Consecuencia no operacional

De esta forma tanto en el aviso (gestión de la falla) como en la orden (gestión de la ejecución del mantenimiento) se podrá analizar la ocurrencia y atención prestada a cada una de las consecuencias de los modos de falla que se han presentado, de igual forma en las órdenes que se crean por el mantenimiento planificado se va a conocer la consecuencia del modo de falla que se está previniendo.

### **3.6 SELECCIÓN DE LA POLITICA DE GESTIÓN DE FALLAS**

Como se explicó en las herramientas útiles de SAP, en el sistema se pueden incluir las actividades de mantenimiento que se seleccionen para la gestión de mantenimiento, derivado del análisis de RCM.

Una vez se han establecido las tareas a ejecutar para cada modo de falla, las tareas que correspondan a un mantenimiento programado (Tareas por condición, tareas de reacondicionamiento cíclico, tareas de sustitución cíclica y tareas de búsqueda de falla) se crean planes de mantenimiento para cada una de ellas, en los que se establecen las frecuencias de ejecución y por medio de las hojas de ruta asociadas las actividades que se deben desarrollar. Se recomienda crear clases de planes diferentes para cada una de estas clases de tareas, de forma que se pueda identificar y agrupar.

Para las tareas no programadas (Rediseño y operar hasta falla) se propone la creación de un aviso de mantenimiento para la solicitud de atención, en el que se defina la falla funcional y el modo de falla que causa la solicitud, así como los tiempos de parada y repercusiones que se presenten. A partir del aviso se creará una orden de mantenimiento para el control de la ejecución de las tareas requeridas.

Si se cuenta con SAP antes de implantar el modelo, el análisis de las fallas que se presentan puede ayudar en el establecimiento de las frecuencias requeridas para las tareas programadas. Los planes de mantenimiento, definidos por la estrategia de mantenimiento tradicional, pueden servir como modelo para la creación de los nuevos planes, sin embargo se deben tener en cuenta las limitaciones del modelo con el que se crearon y establecer en el estudio de RCM las actividades que realmente se requieren.

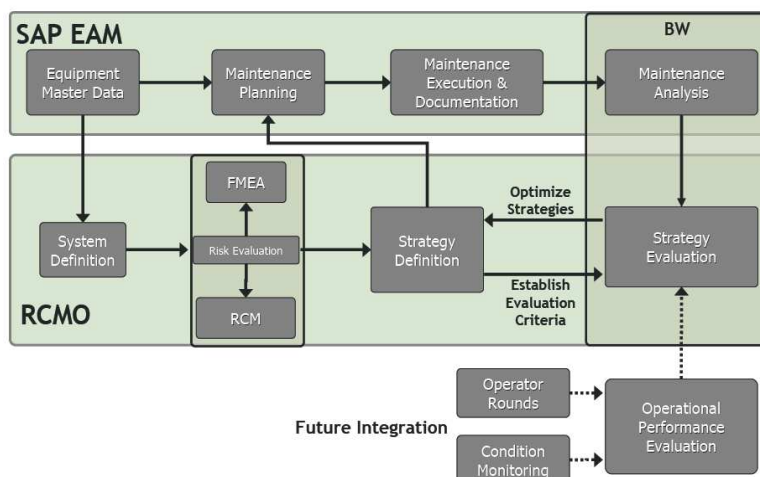
### 3.7 ANALISIS Y GESTIÓN DEL MODELO DE RCM

Para el análisis de la gestión del modelo de RCM se recomienda utilizar los reportes estándar que sean útiles, tales como análisis del objeto, análisis de fabricante, análisis de parada (MTTR y MTBF), análisis de falla, etc. Estos reportes suministrarán herramientas para establecer que tan efectivo ha sido la ejecución de las actividades definidas en el plan.

Sin embargo para el análisis del modelo CMD se recomienda utilizar software especializado con RCM interfazado con el ERP de SAP, de esta forma en este software en el que se tiene todo el análisis estadístico requerido se puede realizar el análisis de las variables y la redefinición de las actividades requeridas, las cuales se devuelven a SAP para su ejecución.

En el estudio realizado por el autor, se encontró que existen algunos software de RCM que ya cuentan con interface certificada con SAP, como son RCMO de Meridium y AWB de ISOGRAPH. En la figura 27 se observa un modelo del flujo de información entre los dos sistemas.

**Figura 27. Flujo de Información entre SAP y Software de RCM**



Wobbe, Mathias y Enders Volker. Theory meets Practice: RCM (Reliability Centered Maintenance) at various SAP Customers. Meridium, 2007.

## **4. GUÍA DE IMPLANTACIÓN DEL MODELO**

### **4.1 EMPRESAS QUE TIENEN SAP Y DESEAN IMPLEMENTAR LA GESTIÓN CON RCM**

SAP puede ser una herramienta útil para la implementación del modelo de gestión de mantenimiento con RCM, para este proceso se observan dos partes de en la instalación, la primera consiste en la creación del modelo y la segunda es la implantación de los resultados obtenidos del estudio del modelo en SAP.

#### **4.1.1. Definición del modelo de RCM para la empresa**

Cuando se desea implementar el modelo de gestión de mantenimiento RCM en una empresa que utiliza SAP como sistema de información de mantenimiento pueden utilizar la información consignada en el sistema para generar el modelo. La información puede ser utilizada en varios de los pasos que se siguen para el diseño del modelo.

- Selección y clasificación de sistemas y equipo: Las definiciones realizadas para establecer la estructura de objetos técnicos (Ubicaciones técnicas, equipos, conjuntos, etc.) puede servir de base para el análisis de los sistemas y equipos a incluir en el modelo RCM, sin embargo bajo este nuevo modelo se hace necesario realizar una nueva definición bajo las limitaciones establecidas por el modelo.

El historial de los equipos instalados en SAP, puede servir para complementar el análisis de criticidad de los equipos y así seleccionar los elementos de estudio más acertados para la implantación del modelo.

- Funciones: Como se dijo anteriormente SAP no cuenta con una herramienta que sirva para administrar las funciones de los objetos técnicos y este no es un campo que se establezca normalmente en la gestión tradicional del mantenimiento, por lo que no se encontraría en el sistema montado.
- Fallas funcionales y modos de fallas: El análisis de avería, reporte estándar del sistema de información de mantenimiento de SAP, podrá ser útil para saber cuáles son las fallas y las causas de falla que se han presentado en la planta durante un periodo de tiempo determinado.

Este reporte podrá ser utilizado para iniciar el análisis de las fallas funcionales, sin embargo, en la implantación de gestión tradicional los síntomas y causas que se ingresan en SAP no se tratan de asociar a las funciones, ni a los conceptos de falla funcional y modos de fallas de RCM. En el caso de utilizar modos de falla genéricos en el diseño inicial de la implantación de SAP, entonces el historial será más aproximado y tendrá un mayor impacto en el modelo que se está diseñando.

- Efectos de la falla: Si en el diseño original se está utilizando el campo repercusión en el aviso es posible obtener la información de los efectos de la falla que se han reportado en los avisos de mantenimiento, este efecto se podrá asociar al modo de falla que también se registra en el aviso de mantenimiento. Nuevamente las definiciones que se encuentran definidas con base en la mirada tradicional del mantenimiento, por lo que solo podrá servir como base para ser adaptado de acuerdo con los conceptos definidos en RCM.

Como dentro de la definición de los efectos de la falla se debe incluir los tiempos de parada y de operación de los equipos, el reporte de análisis de paradas proporciona una herramienta, bajo la condición que las estructuras seleccionadas para el estudio no se modifiquen en gran medida. La limitación que se encuentra

para utilizar esta información consiste en la correcta selección de los elementos base del análisis, ya que solo se deberían incluir los avisos que tienen como causa el modo de falla que se está analizando.

- Consecuencias de las fallas: en el diseño de la implantación del módulo de mantenimiento normalmente no se hacen definiciones que se puedan asociar a las consecuencias de las fallas, por lo que no es posible proporcionar información para este análisis y por consiguiente tampoco para el análisis de riesgo asociado.
- Selección de políticas de administración de fallas: Para establecer que actividades son viables y costo-efectivas para cada modo de falla, es posible analizar las tareas que se están planeando actualmente. El listado de planes de mantenimiento permitirá obtener la lista de las actividades que se están realizando actualmente. Este listado debe ser analizado desde el punto de vista del modelo de RCM para definir cuáles se continuarán ejecutando y cuáles tendrán que ser modificadas de acuerdo con la información generada por el estudio.

Otra herramienta que se podrá utilizar, dependiendo del historial con el que se cuente, podrá ser el análisis de avería, donde es posible verificar que fallas se están repitiendo con frecuencias establecidas para analizar la posibilidad de incluir una actividad programada para prevenir la falla, este análisis se debería hacer únicamente para los objetos de estudio y para los modos de falla que se encuentre necesario realizar actividades programadas.

#### **4.1.2. Implementación en SAP del modelo de RCM diseñado para la empresa**

Una vez se ha diseñado el modelo para la gestión RCM, los resultados se deben ingresar al sistema (SAP) en cada una de las áreas que se definieron en el Capítulo 3 Definición del modelo.

Es posible que para poder continuar con la operación basada en el modelo RCM, se requiera modificar las parametrizaciones realizadas inicialmente en SAP.

- Selección y clasificación de sistemas y equipo: La nueva estructura de objetos que se define debe cargarse en el sistema, si existen modificaciones en la forma como se establece la estructura de ubicaciones técnicas es necesario parametrizar el nuevo indicador de estructura, que es la forma como se establece la métrica para la construcción de las ubicaciones técnicas.

De igual forma si las modificaciones hacen que las ubicaciones técnicas existentes, se lleven a la nueva forma de estructura, se recomienda utilizar el esquema de ubicaciones técnicas alternativas, para conservar el historial de lo que se ha registrado en el sistema hasta ese momento.

Para los equipos es posible que el modelo definido establezca la necesidad de crear nuevos tipos de equipos y clases de objeto. Para los equipos existentes no se les puede cambiar el tipo de equipo, por lo que se recomienda mantener el equipo original, modificando el lugar de montaje según la nueva estructura e ubicaciones técnicas que se monte. Los nuevos equipos se deberán crear en el sistema con las nuevas características definidas para RCM.

- Funciones: Se hace necesario ingresar en los textos extendidos de las ubicaciones técnicas y equipos que se mantienen, las funciones definidas en el modelo. Para los equipos nuevos en el cargue de los equipos se debe incluir esta funcionalidad.

Para la definición de los estándares operacionales, es posible configurar el sistema DMS para asociar al equipo o a la ubicación técnica en el que se encuentren las definiciones de esta parte del diseño, de forma que pueda ser consultado desde SAP.

- Fallas funcionales y modos de fallas: Es necesario actualizar los catálogos de síntoma y causa para incluir las definiciones realizadas por el modelo RCM. Se recomienda mantener la información de los catálogos existentes para poder mantener la historia anterior a la implantación del modelo.
- Efectos de la falla: Se requiere hacer la parametrización de las repercusiones y los estados de falla según las definiciones establecidas por el modelo de RCM. Las parametrizaciones anteriores se recomienda mantenerlas para poder tener el historial de lo que sucedió antes de la implantación del modelo RCM.
- Consecuencias de las fallas: se debe realizar la parametrización de las prioridades establecidas por el modelo y asociar estas prioridades a los avisos y órdenes definidos en el modelo.
- Selección de políticas de administración de fallas: Es indispensable realizar la parametrización de los tipos de plan según las necesidades establecidas por el diseño del modelo RCM.

Cada tarea programada del diseño se debe crear en el sistema como un plan de mantenimiento, al cual se le debe realizar su programación inicial para poder continuar con la operación normal del sistema.

## **4.2 EMPRESAS CON RCM Y DESEAN IMPLEMENTAR SAP**

Para las empresas que tienen como estrategia de mantenimiento RCM y desean implantar SAP la recomendación consiste en realizar la implantación de acuerdo con la metodología de implantación de SAP y tener en cuenta en el diseño de los procesos y de la parametrización a realizar el modelo definido en el capítulo 3. En la figura 28 se observa la ruta que se utiliza para la implantación de SAP.

Figura 28. Roadmap de implantación de SAP.



#### 4.2.1. Fase 1: Preparación del proyecto

El objetivo de esta fase es proporcionar la planificación y preparación inicial para el proyecto SAP. Luego de esta fase se debe tener definido el Project Charter, el cronograma y las condiciones de trabajo para el equipo del proyecto.

#### 4.2.2. Fase 2: Business Blueprint

El propósito de la fase Business Blueprint es entender los objetivos de negocio de la empresa y determinar los procesos de negocio requeridos para apoyar tales objetivos.

En esta fase se realiza el diseño de lo que se va implantar en SAP, es muy importante que se incluyan las definiciones establecidas en el modelo de operación de RCM en SAP para que sea implementado correctamente.

#### 4.2.3. Fase 3: Realización

Esta fase corresponde a la Parametrización total del sistema. La parametrización consiste en modelar SAP para que opere según las definiciones realizadas en el Business Blueprint.

En esta fase se realizan las pruebas individuales e integrales del sistema, es muy importante que dentro del modelo de pruebas se establezcan ciclos para probar la operación de mantenimiento por RCM.

#### **4.2.4. Fase 4: Preparación para producción.**

En esta fase corresponde completar las pruebas finales del sistema, entrenar a los usuarios finales, y preparar el sistema y los datos para el ambiente productivo.

Otro propósito de esta fase es crear y seguir la estrategia de entrada en producción (Cutover). Este plan valida específicamente el total cumplimiento de la estrategia de conversión de datos, los procedimientos de auditoría iniciales y la estructura de soporte del equipo del proyecto.

#### **4.2.5. Fase 5: Puesta en producción y soporte.**

El objetivo de esta fase es pasar de un entorno anterior al productivo a un modo productivo operativo. Para ello, es necesario definir una organización de soporte a los usuarios, no sólo para los primeros días decisivos del modo productivo, sino también para proporcionar soporte a largo plazo

## 5. CONCLUSIONES

- Se encuentra que SAP cuenta con varias herramientas que son útiles para la gestión de mantenimiento basado en RCM, estas herramientas pueden ser utilizadas para hacer operativo el modelo planteado por el estudio de RCM.
- SAP no cuenta con herramientas adecuadas para el análisis del comportamiento del modelo RCM diseñado y su construcción dentro del sistema sería muy compleja, por lo que se recomienda utilizar una interface con software especializado en RCM, hoy en día ya existen algunos de estos software con interfaces certificadas por SAP.
- Para la implantación del modelo de gestión de mantenimiento RCM en una planta que administra el mantenimiento por medio de SAP, el sistema de información puede suministrar información base para el desarrollo del modelo, sin embargo este no se puede realizar en el sistema.
- En la implantación de SAP en una empresa que cuenta con un modelo de gestión de mantenimiento RCM, se debe tener en cuenta las definiciones del modelo en las fases de Business Blueprint y Realización de la implantación.

## BIBLIOGRAFÍA

AMENDOLA, Luis. Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento.

ASAP World Consultancy y Jonathan Blain, Edición especial SAP R/3. 2ª edición. Prentice Hall Iberia, Madrid, 1999.

Barringer, H. Paul. Availability, Reliability, Maintainability and Capability. Beaumont, Texas. 1997.

Canales, Arturo; Pacheco, Pedro y Sarno, Emilio. Modelo Gerencial de Mantenimiento – Fundamento Filosófico. En: Congreso Reliability World 2006 Latin America. (2006 : Monterrey, México)

Duarte, Nelson, Ramírez José. Software demostrativo para sistemas de información en mantenimiento. Bucaramanga, 2000. p. 6

González, Carlos Ramón. Evolución del mantenimiento. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO, Clase Principios de mantenimiento (2007: Bogotá).

HEAP, Howard y NOWLAN, F. Stanley. Reliability-centered maintenance. Washington, D.C.: Dolby Access Press, 1978.

Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín, Colombia, Editorial AMG, 2008.

Ortiz, Daniel. Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO (2008: Bogotá).

PINILLA, Pablo. Sistemas de información de mantenimiento. En: ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO (2009: Bogotá).

RAMÍREZ, Ramón; VILLARREAL, Fernando; ACOSTA, Julio. Plan piloto de RCM2 en la empresa Polipropileno del Caribe S.A. (PROPILCO S.A.). Cartagena, 2004, 60 h. Trabajo de grado (Especialista en Gerencia de Mantenimiento). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica.

SAE. SAE JA1011 Evaluation criteria for Reliability-centered Maintenance (RCM) processes. Warrendale, PA : SAE, 1999.

SAE. SAE JA1012 A guide to the Reliability-centered Maintenance (RCM) standard. Warrendale, PA : SAE, 2002.

SHIM, Jae, SIEGEL, Joel y CHI, Roger. Respuestas rápidas para sistemas de información. México D.F.: Prentice Hall, 1999. p. 1

Soldalini, Mike. Maintenance Systems : Reliability Centered Maintenance – what is it? . En Process Plant and Equipment UP – TIME [En línea]. Volume 3 Edition 3. Disponible en <[www.feedforward.com.au](http://www.feedforward.com.au)>

Wobbe, Mathias y Enders, Volker. Theory meets Practice: RCM (Reliability Centered Maintenance) at various SAP Customers. Meridium, 2007.