

DISEÑO DEL PLAN ÓPTIMO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN  
CONFIABILIDAD EN PROYECTOS DE INGENIERÍA

RICARDO JOSÉ TATIS BELEÑO  
JANIO JAVIER RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MINOR EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL  
CARTAGENA-BOLÍVAR

2008

DISEÑO DEL PLAN ÓPTIMO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN  
CONFIABILIDAD EN PROYECTOS DE INGENIERÍA

RICARDO JOSÉ TATIS BELEÑO  
JANIO JAVIER RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

**Monografía presentada como requisito para obtener el título de Ingeniero  
Mecánico.**

DIRECTOR DEL PROYECTO

Camilo Cardona  
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MINOR EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL  
CARTAGENA-BOLÍVAR

2008

Cartagena de Indias, D.T y C de 2008

Señores:

**COMITÉ DE EVALUACIÓN**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Ciudad

Cordial saludo,

La presente tiene como objetivo presentar a ustedes la monografía titulada:

**“DISEÑO DEL PLAN ÓPTIMO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD EN PROYECTOS DE INGENIERÍA”**, elaborada por los estudiantes, RICARDO TATIS BELEÑO Y JANIO RODRÍGUEZ MARTÍNEZ, para obtener el título de Ingeniero Mecánico.

De ante mano manifiesto mi participación en la orientación y mi aprobación con el resultado obtenido.

Atentamente;

---

**CAMILO CARDONA**

Director del proyecto

Cartagena de Indias, de 2008

Señores:

**COMITÉ DE EVALUACIÓN**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Ciudad

Cordial saludo,

A continuación presentamos a su consideración la monografía titulada: “**DISEÑO DEL PLAN ÓPTIMO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD EN PROYECTOS DE INGENIERÍA**”, como requisito para obtener el título de Ingeniero Mecánico otorgado por la Universidad Tecnológica de Bolívar.

Atentamente;

---

**RICARDO J. TATIS BELEÑO**

---

**JANIO J. RODRÍGUEZ MARTÍNEZ**

**Nota de Aceptación:**

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Brindo todos mis agradecimientos a Dios por obsequiarme la capacidad de simplificar conceptos y  
por permitir la culminación de esta etapa de mi vida.

Gracias a mis padres Ariel Tatis y Fanny Beleño por su apoyo incondicional y su lucha inalcanzable  
para la obtención de esta meta.

A mis hermanos por sus buenos deseos y la alegría que los caracteriza.

Dedico este logro a Veronica Marrugo por su amor sincero y su comprensión en los momentos de  
dificultad.

Al Ing. Camilo Cardona por colmarme de conocimiento y guiarme en la realización de este proyecto.

A todos los profesores, compañeros y amigos que de alguna forma contribuyeron en el desarrollo  
de este logro

*¡MUCHAS GRACIAS!*

***RICARDO JOSÉ TATIS BELEÑO***

Dedicado a Dios por darme salud y vida. A mis padres Janio Rodríguez y Esperanza Martínez quienes con su amor, apoyo incondicional y sabios consejos, han sabido formarme para afrontar la carrera. A mi hermana Mónica Rodríguez por ayudarme a madurar en cada etapa de mi vida. A

Yessenia Tinoco por su amor y compañía.

Agradezco a todos mis amigos y compañeros que hicieron más fácil este difícil trayecto.

*MUCHAS GRACIAS*

***JANIO J. RODRÍGUEZ MARTÍNEZ***

## GLOSARIO

CAPEX	Gastos de capital
OPEX	Gastos operacionales
RM	Mantenimiento y confiabilidad
QRA	Análisis de riesgos cuantitativos
RAM	Confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad
RCM	Mantenimiento centrado en confiabilidad
LCC	Costo de ciclo de vida
CMMIS	Sistema computarizado de manejo de información de mantenimiento
FMECA	Modos de falla, efectos y análisis de criticidad
KPI	Indicadores claves de Mejora
MI	Ítem mantenible
MTBF	Tiempo medio entre fallas
MTTF	Tiempo medio de falla
MTTR	Tiempo medio de reparación
MTTM	Tiempo medio de mantenimiento
PM	Mantenimiento preventivo
RA	Confiabilidad y disponibilidad
TTF	Tiempo de falla
TTR	Tiempo de reparación
RBI	Inspección basado en riesgos

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>16</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>18</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>19</b>
<b>1. MARCO REFERENCIAL</b> .....	<b>20</b>
<b>1.1. GESTIÓN DE ACTIVOS</b> .....	<b>20</b>
1.1.1. Objetivos del Modelo de Gestión de Activos.....	21
1.1.2. Costo del ciclo de vida del activo (Evaluación de Alternativas).....	21
1.1.3. Confiabilidad Operacional .....	23
1.1.4. Desempeño líder en confiabilidad y mantenimiento.....	24
<b>1.2. GESTIÓN DE PROYECTOS DE INGENIERÍA</b> .....	<b>27</b>
1.2.1. Fase de definición y desarrollo (MOC y evaluación de alternativa) .....	28
1.2.2. Fase de ejecución (Gerenciamiento de proyectos).....	29
1.2.3. Fase de operación .....	29
1.2.4. Responsabilidades en la Estructuración y Ejecución de Proyectos de Inversión .....	30
1.2.5. Estrategia Propuesta para Incorporar los Elementos de Gestión de Activos a la Gerencia de Proyectos .....	32
<b>1.3. CONFIABILIDAD DESDE DISEÑO EN PROYECTOS</b> .....	<b>33</b>

1.3.1. Confiabilidad en la etapa de definición y desarrollo .....37

1.3.2. Utilización de técnicas de Confiabilidad para el diseño del Plan Óptimo

38

**2. INFORMACIÓN DE CALIDAD .....41**

**2.1. OBJETIVO .....41**

**2.2. ESTRATEGIA .....41**

2.2.1. Beneficios del RIM ..... 42

2.2.2. Obtención de información de calidad ..... 44

2.2.3. Proceso de recopilación de información ..... 45

2.2.4. Descripción de límites ..... 47

2.2.5. Taxonomía ..... 48

2.2.6. Tiempos de mantenimiento ..... 49

2.2.7. Estructura de la información ..... 50

2.2.8. Información de falla ..... 51

2.2.9. Clasificación del mantenimiento ..... 52

2.2.10. Información del mantenimiento ..... 53

**2.3. ALCANCE .....54**

**3. DISEÑO DEL PLAN ÓPTIMO DE MANTENIMIENTO – RCM.....55**

**3.1. OBJETIVO .....55**

**3.2. ESTRATEGIA .....55**

3.2.1. Generalidades ..... 56

3.2.2. Modelo general del RCM .....	60
3.2.3. Fase Inicial.....	61
3.2.4. Fase Taller .....	66
3.2.5. Fase Implementación.....	69
<b>3.3. ALCANCE .....</b>	<b>70</b>
<b>4. PROCEDIMIENTOS DETALLADOS DE MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD</b>	<b>72</b>
<b>4.1. OBJETIVO .....</b>	<b>72</b>
<b>4.2. ESTRATEGIA .....</b>	<b>72</b>
4.2.1. JSA – Job Safety Analysis .....	72
4.2.2. Beneficios del JSA.....	73
<b>4.3. ALCANCE .....</b>	<b>77</b>
<b>5. ESTRATEGIA ÓPTIMA EN SUMINISTRO, BODEGA E INVENTARIOS.....</b>	<b>78</b>
<b>5.1. OBJETIVO .....</b>	<b>78</b>
<b>5.2. ESTRATEGIA .....</b>	<b>78</b>
5.2.1. Implementación del Plan y Gestión.....	79
5.2.2. Optimización de inventario.....	79
5.2.3. Impacto en la estrategia de compras .....	80
<b>5.3. ALCANCE .....</b>	<b>80</b>

<b>6. ESTRATEGIAS, POLÍTICAS Y METAS DEL MANTENIMIENTO MODERNO</b>	
82	
6.1. OBJETIVO .....	82
6.2. ESTRATEGIA .....	82
6.3. ALCANCE .....	83
<b>7. ENTREGABLES DEL PROYECTO .....</b>	<b>84</b>
<b>8. NORMAS Y ESTÁNDARES A UTILIZAR .....</b>	<b>88</b>
8.1. SAE JA-1011 STANDARD .....	88
8.2. ESTÁNDAR NORSOK Z-008.....	89
8.3. NORMA ISO 14424 .....	90
8.4. ESTÁNDAR PAS 55 .....	91
<b>9. SOFTWARE DE ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD .....</b>	<b>92</b>
<b>10. RECURSOS DE PERSONAL.....</b>	<b>94</b>
10.1. ORGANIGRAMA BASE DE UN EQUIPO DE TRABAJO.....	94
10.2. PERFILES DE UN EQUIPO DE TRABAJO .....	94
10.3. LÍDER DEL PROYECTO.....	96
10.4. INGENIERO DE CONFIABILIDAD Y MANTENIMIENTO .....	96
10.5. TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO .....	97
10.6. OPERADOR .....	98

<b>10.7. AUXILIAR DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>98</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>100</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO A: PLANTILLA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	
<b>ANEXO B: ANÁLISIS FUNCIONAL DEL PROCESO DE CLINKERIZACION DE UNA PLANTA CEMENTERA</b>	
<b>ANEXO C: PLAN ÓPTIMO DE MANTENIMIENTO PARA UNA PLANTA CEMENTERA</b>	
<b>ANEXO D: INSTRUCTIVO Y RUTINA DE MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA CEMENTERA</b>	
<b>ANEXO E: ANÁLISIS DE RIESGOS OPERACIONALES</b>	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de gestión de activos (Shell Global Solutios – SGS).....	20
Figura 2. Costos asociados al ciclo de vida del activo .....	22
Figura 3. Confiabilidad Operacional.....	23
Figura 4. Desempeño líder en mantenimiento .....	26
Figura 5. Costas asociados al ciclo de vida de los activos .....	26
Figura 6. Plan de ejecución de proyectos .....	35
Figura 7. Típica retroalimentación de análisis desde la recolección de información de confiabilidad y mantenimiento.....	43
Figura 8. Típica fuente de información.....	47
Figura 9. Ejemplo de diagrama de limites (bombas).....	484
Figura 10. Ejemplo Taxonomía .....	49
Figura 11. Tiempos de Mantenimiento.....	50
Figura 12. Estructura lógica de la información .....	51
Figura 13. Clasificación de Mantenimiento .....	53
Figura 14. Fases de la Implementación del RCM .....	61
Figura 15. Desarrollo de fallas .....	68
Figura 16. Plantilla elaboración análisis de trabajo seguro .....	77
Figura 17. Metodología para elaborar los planes anuales de mantenimiento.....	84
Figura 18. Organigrama base de un equipo de trabajo.....	94

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Actividades a desarrollar en la Gestión de Activos .....	32
Tabla 2. Información de Fallas.....	84
Tabla 3. Información de Mantenimiento.....	84
Tabla 4. Matriz de Riesgo de Mantenimiento.....	84
Tabla 5. Clase de consecuencia .....	84
Tabla 6. Impacto del RCM en la optimización de inventarios .....	79

## INTRODUCCIÓN

Asegurar la producción en una planta es una tarea que debe ser cumplida por las empresas para poder garantizar su posición en el mercado, este objetivo solo se puede lograr si los procesos implicados son ejecutados de manera confiable.

El principal objetivo de la existencia de cualquier sistema diseñado por el hombre es proporcionar utilidad, mediante la realización de una función requerida, de aquí que, una vez que se proporciona la funcionalidad, la principal preocupación del usuario es alcanzar la disponibilidad y seguridad más elevadas posibles, con la menor inversión en recursos. El proceso durante el que se mantiene la capacidad del sistema para realizar una función, es conocida como proceso de mantenimiento, y se define como “el conjunto de tareas de mantenimiento realizadas por el usuario para mantener la funcionalidad del sistema durante su utilización”

La consecución de dicho conjunto de tareas es la optimización de las mismas (en una relación costo – beneficio) y así, asegurar que cualquier activo físico continúe realizando su función, en el contexto operacional en el que se encuentre. Las fases definidas para la obtención de las **Tareas Optimas** son las siguientes:

*1. Información de calidad; 2. Diseño del plan óptimo de mantenimiento (RCM); 3. Elaboración de estándares y procedimiento; 4. Inventario óptimo; 5. Estrategia, políticas y metas.* La cuales serán descritas detalladamente en esta monografía.

Por consiguiente, el principal objetivo de esta monografía es listar las fases básicas y detalles específicos de cómo diseñar un plan óptimo de mantenimiento desde el arranque de una planta bajo el enfoque de la metodología RCM (*Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*), de tal manera, que los cimientos de la arquitectura organizacional de la gestión de activos sean caracterizados y determinantes para la construcción de los pilares claves del desempeño líder de mantenimiento, sostenible y a costo óptimo.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La ejecución de técnicas metodológicas de mantenimiento, tales como, RCM, RCA, RBI, etc. están limitadas a plantas en operación, pudiéndose decir que la mayoría de los problemas de mantenimiento se adquieren con las instalaciones nuevas, debido a que no se tienen en cuenta las herramientas descritas anteriormente en las fases de diseño de los proyectos. Por lo tanto se generan incremento de costos, (seguridad, medioambiental, indisponibilidad), a lo largo del ciclo de vida de los activos, lo que estimula a indagar que la mayoría de esos problemas podrían ser minimizados si durante la ejecución del diseño del proyecto se plantearan las consideraciones adecuadas.

## JUSTIFICACIÓN

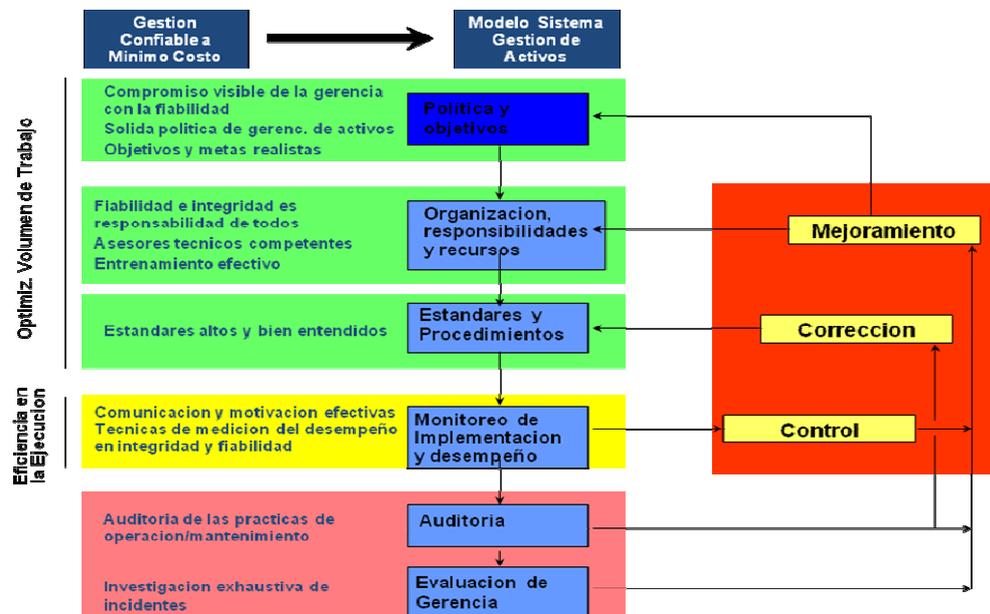
La mejor práctica del Mantenimiento Moderno y que asegura un ciclo de vida costo-efectivo, es definir el Plan Óptimo De Mantenimiento desde la etapa de diseño. Es en esta etapa cuando la aplicación de confiabilidad tiene mayor impacto u oportunidad de afectar los resultados, ya que el proyecto es lo suficientemente flexible para ser modificado o rediseñado sin un impacto elevado en los costes. Esta práctica permite eliminar las futuras consecuencias costosas en la etapa operativa del proyecto, producto del desconocimiento de operadores y mantenedores para un equipo nuevo y evita por ende el aprendizaje basado en consecuencias.

# 1. MARCO REFERENCIAL

## 1.1. GESTIÓN DE ACTIVOS

La Norma Asset Management Pas-55 define la gerencia integral de activos así:  
*“Son todas aquellas actividades y practicas sistemáticas y coordinadas a través de las cuales una organización gerencia de manera optima sus activos físicos y el comportamiento de los equipos, riesgo y gastos durante su Ciclo de Vida Útil con el propósito de alcanzar su plan estratégico organizacional.”* O de manera más simple. *“La mejor manera de gerenciar los Activos para alcanzar un resultado deseado y sustentable”.*

Figura 1. Modelo de gestión de activos (Shell Global Solutions – SGS)



Fuente: Cardona A. Camilo. Curso “Gerencia de Mantenimiento”

### **1.1.1. Objetivos del Modelo de Gestión de Activos**

- Operación altamente confiable de los activos en el largo plazo
- Costo operativo reducido y optimizado
- Cumplir con legislación y normas en integridad
- Mejora Continua de la Gestión de Activos
- El concepto de cero fallas

### **1.1.2. Costo del ciclo de vida del activo (Evaluación de Alternativas)**

El Ciclo de Vida de un Activo es todo lo que ocurre con el activo desde la idea con la cual se lo crea o incorpora a un proyecto, hasta el descarte final, reciclaje ó venta del mismo.

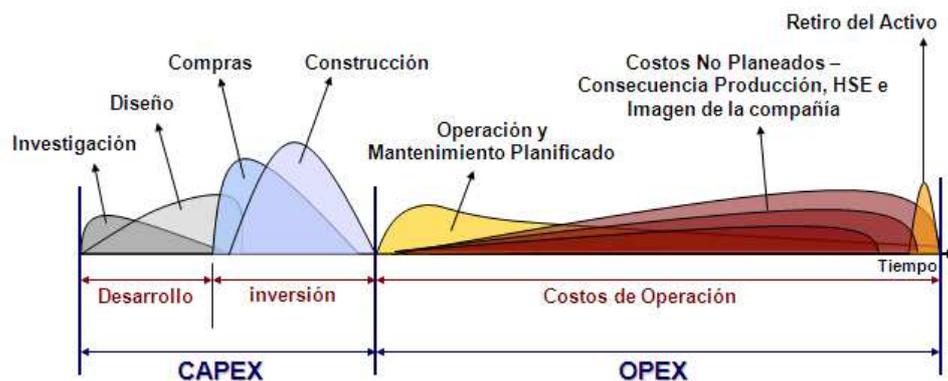
Incluye las siguientes etapas:

- Idea inicial y estudios preliminares.
- Evaluación del contexto total del proyecto, incluyendo estudios de factibilidad técnica, viabilidad económica e impacto ambiental.
- Planeamiento de todas las etapas que abarcará el proyecto.
- Anteproyecto, incluyendo toda la ingeniería básica necesaria.
- Proyecto de detalle y diseño de los procesos.
- Ejecución del proyecto de acuerdo a las etapas planificadas.
- Compra de los elementos necesarios y/o eventual manufactura de los mismos e instalación de todos los elementos de acuerdo al proyecto.

- Puesta en marcha, prueba de todas las instalaciones y aceptación de las mismas.
- Operación de las instalaciones, uso ó consumo de los bienes o servicios.
- Evaluación de alternativas de aprovechamiento, incluyendo los posibles reciclajes ó la eventual eliminación de los elementos de la instalación.
- Descarte, reciclaje ó venta de la instalación.

Definiremos también el Costo de Ciclo de Vida, el cual es la sumatoria de todos los costos asignables a los activos (directos e indirectos, variables y fijos) desde los costos iniciales de proyecto y adquisición, hasta los costos de operación, mantenimiento y disposición final<sup>1</sup>. En la figura 2 se detalla los costos asociados al activo a lo largo del ciclo de vida.

**Figura 2.** Costos asociados al ciclo de vida del activo



**Fuente:** Cardona A. Camilo. Curso "Gerencia de Mantenimiento"

<sup>1</sup> CARDONA, Camilo A. RCM Mantenimiento centrado en confiabilidad. Curso "Gerencia de Mantenimiento" Octubre 2007.

La adecuada aplicación de técnicas modernas de Mantenimiento, durante toda la vida del activo, será determinante en la gestión y desempeño del proceso mantenimiento en una organización.

### 1.1.3. Confiabilidad Operacional

Es la capacidad de una instalación (proceso, tecnología gente), para cumplir su función o propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. Es importante, puntualizar que en programa de optimización de la confiabilidad operacional de un sistema, es necesario el análisis de los siguientes cuatros parámetros operacionales: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad y confiabilidad de los equipos<sup>2</sup>.

**Figura 3. Confiabilidad Operacional**



---

<sup>2</sup> CARDONA, Camilo A. RCM Mantenimiento centrado en confiabilidad. Curso "Gerencia de Mantenimiento" Octubre 2007.

En síntesis, el objetivo no será alcanzado sin el trabajo conjunto de los procesos productivos (Producción - Operaciones) y los de soporte a producción (Mantenimiento, Confiabilidad, Ingeniería, etc), donde sumando conocimientos, definiendo planes conjuntos, utilizando las mismas herramientas y enfocados en objetivos grupales, el camino será el mejor y rápido posible.

La primera opción de materializar una mejora inmediata en el desempeño de las plantas de proceso, es utilizar el recurso humano propio y la mejor herramienta es aplicar el Gerenciamiento de la Confiabilidad Operacional y mejores prácticas de Mantenimiento.

#### **1.1.4. Desempeño líder en confiabilidad y mantenimiento**

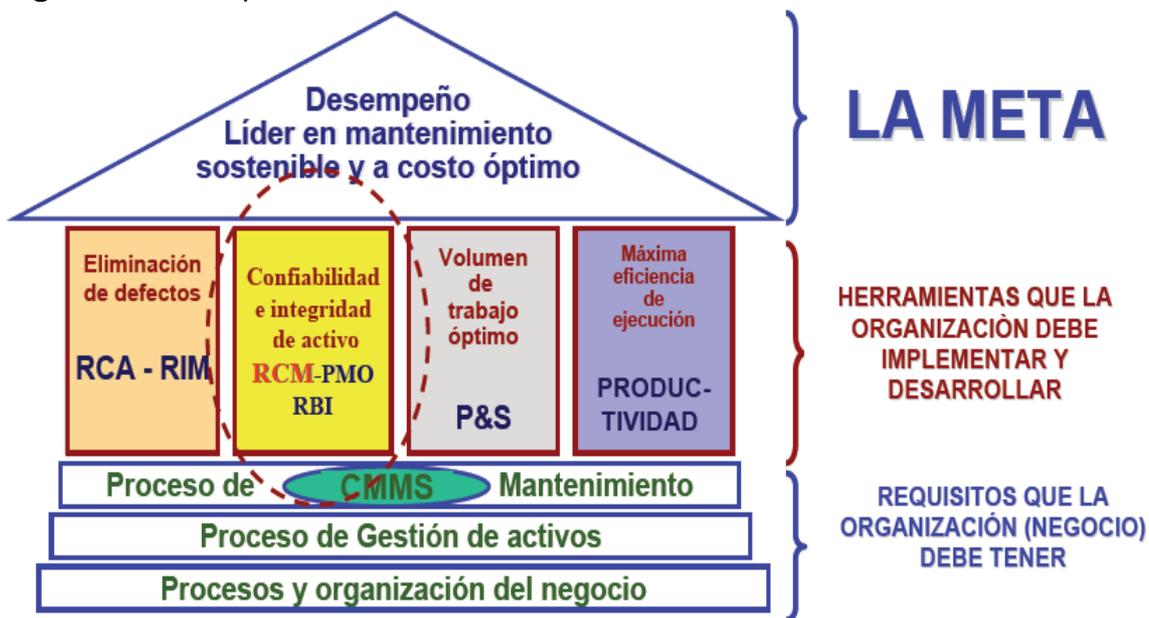
El mantenimiento de clase mundial es un conjunto de ideas-fuerza dirigidas a reorientar la estrategia de mantención hacia un enfoque de mantenimiento proactivo, disciplinado en prácticas estandarizadas, gestión autonómica, competitivo y con índices de desempeño clase mundial.

El desempeño líder en mantenimiento, solo se alcanza, mediante la correcta alineación de las políticas, organización, recursos, técnicas y gestión del mantenimiento, en busca del adecuado manejo del activo. De acuerdo a los conceptos anteriores, en la figura 4 podemos observar cómo encaja la metodología RCM en el desempeño líder en mantenimiento.

Antes de iniciar cualquier esfuerzo de mejora en Confiabilidad y Mantenimiento de activos, se debe asegurar que existan ciertos requisitos en la organización.

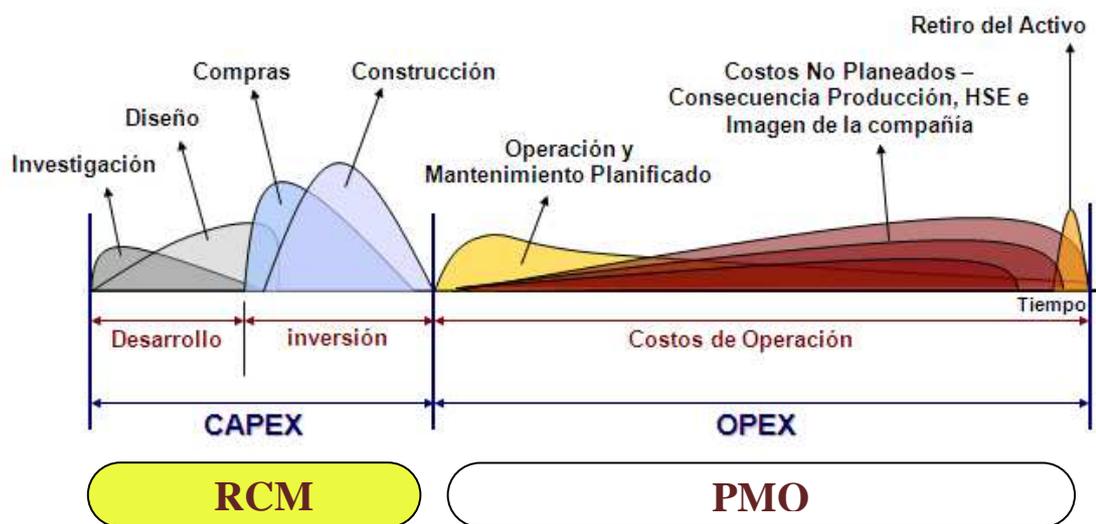
- Equipos de trabajo y enfoque de organización por procesos.
  - ✓ Debe existir un compromiso gerencial, para propiciar el trabajo en equipo.
  - ✓ Existencia de una gestión integral del proceso productivo.
  - ✓
- Política de Gestión de Activos.
  - ✓ Se debe contar con una Política de Gestión de Activos, que proporcione las directrices y estrategias que se deben seguir y utilizar, para cualquier esfuerzo de mejora sobre los activos y el proceso productivo.
- Sistemas de información para el Gerenciamiento de Activos e Infraestructura.
  - ✓ Se debe contar con un sistema de información del mantenimiento de los activos (CMMS).

**Figura 4.** Desempeño líder en mantenimiento



**Fuente:** Cardona A. Camilo. Curso “Gerencia de Mantenimiento”

**Figura 5.** Costas asociados al ciclo de vida de los activos



**Fuente:** Cardona A. Camilo. Curso “Gerencia de Mantenimiento”

El RCM es óptimo para plantas nuevas, donde no exista un plan formal de mantenimiento y/o se hayan generados cambios mayores en los activos que componen el sistema. El PMO (Optimización del Plan de Mantenimiento) es óptimo en la etapa operativa, ya que la mayoría de las empresas cuentan con un plan de mantenimiento.

## **1.2. GESTIÓN DE PROYECTOS DE INGENIERÍA**

La gestión de Proyectos ha existido desde tiempos muy antiguos, históricamente relacionada con proyectos de ingeniería de construcción de obras civiles (como los proyectos de ingeniería hidráulica en Mesopotamia, donde entraban en juego la logística o la creación de equipos de trabajo, con sus categorías profesionales definidas, o la cultura ingenieril desarrollada por el Imperio Romano, donde aparece el control de costes y tiempos y la aplicación de soluciones normalizadas, como por ejemplo en la construcción de una calzada, y en “campañas militares”, donde también entran en juego muchos elementos de gestión (identificación de objetivos, gestión de recursos humanos, logística, identificación de riesgos, financiación, etc.). Pero es a partir de la Segunda Guerra Mundial cuando el avance de estas técnicas desde el punto de vista profesional ha transformado la administración por Proyectos en una disciplina de investigación<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> GRUPO DE GESTIÓN DE LA TECNOLOGÍA. Gestión de Proyectos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. Disponible

Se puede definir PROYECTO como un conjunto de actividades interdependientes orientadas a un fin específico, con una duración predeterminada. Completar con éxito el Proyecto significa cumplir con los objetivos dentro de las especificaciones técnicas, de costo y de plazo de terminación. A un conjunto de Proyectos orientados a un objetivo superior se denomina PROGRAMA, y un conjunto de Programas constituye un PLAN, como corresponde generalmente a los grandes Planes Nacionales<sup>4</sup>.

Desde un punto de vista muy general puede considerarse que todo proyecto tiene tres grandes etapas:

#### **1.2.1. Fase de definición y desarrollo (MOC y evaluación de alternativa)**

Se trata de establecer cómo el equipo de trabajo deberá satisfacer las restricciones de prestaciones, planificación temporal y coste. Una planificación detallada da consistencia al proyecto y evita sorpresas que nunca son bien recibidas. Esta etapa a su vez está compuesta por las siguientes fases:

- **Identificación de oportunidad de negocio.** Formulación de alternativa de oportunidad de negocio para nuevas instalaciones y Gerenciamiento del Cambio (MOC), asociado a proyectos de Gasto y/o modificación de facilidades existentes.
- **Evaluación de alternativas.** Evaluación y selección de alternativa, conceptualización de alternativa seleccionada. LCC

---

<sup>4</sup> AMENDOLA, Luis José. Gestión de Proyectos de activos indus. U. Politécnica de Valencia,

➤ **Definición del proyecto.** Definición y sanción del proyecto

### **1.2.2. Fase de ejecución (Gerenciamiento de proyectos)**

Representa el conjunto de tareas y actividades que suponen la realización propiamente dicha del proyecto, la ejecución de la obra de que se trate. Responde, ante todo, a las características técnicas específicas de cada tipo de proyecto y supone poner en juego y gestionar los recursos en la forma adecuada para desarrollar la obra en cuestión. Cada tipo de proyecto responde en este punto a su tecnología propia, que es generalmente bien conocida por los técnicos en la materia. Actualmente existen métodos y técnicas para el gerenciamiento de proyectos como, los definidos en el PMI

### **1.2.3. Fase de operación**

Como ya se ha dicho, todo proyecto está destinado a finalizarse en un plazo predeterminado, culminando en la entrega de la obra al cliente o la puesta en marcha del sistema desarrollado, comprobando que funciona adecuadamente y responde a las especificaciones en su momento aprobadas. Esta fase es también muy importante no sólo por representar la culminación de la operación sino por las dificultades que suele presentar en la práctica, alargándose excesivamente y provocando retrasos y costes imprevistos.

#### **1.2.4. Responsabilidades en la Estructuración y Ejecución de Proyectos de Inversión**

##### **❖ *Orientación y Criterios***

- Los proyectos deben integrar el concepto de cadena de valor de confiabilidad (diseño, construcción, operación y mantenimiento), para asegurar el logro de los resultados que sustentan las actividades del portafolio
- El impacto y costos del proyecto no sólo implican los recursos directos del mismo, considerando su ejecución hasta la operativización, sino que la gestión de proyectos desde sus primeros estadios define el costo de ciclo de vida del activo, y por tanto el futuro económico, logros y resultados de los activos o sistemas incorporados
- El costo de ciclo de vida implica que no necesariamente la solución técnica más económica en su valor inicial (adquisición o compra) es la mejor, ni la solución más técnica es la más favorable en términos económicos
- Debe evaluarse, para diferentes alternativas, el impacto de la disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad de equipos en el logro de los resultados del proyecto (sensibilidad económica del riesgo técnico-operacional), así como la flexibilidad operacional
- Para la alternativa seleccionada, debe realizarse un estudio detallado de la estrategia y filosofía de operación y mantenimiento, y su impacto en la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas incorporados en el proyecto

- Los proyectos deben ejecutarse dentro de normas y estándares exigidos por la industrial, de tal forma que se garantice la Mantenibilidad y Operatividad de las instalaciones una vez entren en operación

❖ ***Aspectos Generales de Carácter Técnico y Herramientas a Considerar***

- Disponibilidad y Factor de Servicio
- Confiabilidad (Tiempo Medio Entre Fallas, MTBF)
- Mantenibilidad (Tiempo Medio para Reparar, MTTR)
- Diagramas de Bloques de Confiabilidad (RBD) y Simulación (ISO 14224, OREDA)
- Análisis de Modos y Efectos de Fallas y Criticidad (FMECA, Norma MIL-STD 1629A)
- Análisis de Costos de Ciclo de Vida (Norma ISO 15663)
  - Costo Inicial de Compra
  - Costo Instalación
  - Costo de Energía
  - Costo de Operación
  - Costo de Mantenimiento
  - Costo de Paradas
  - Costo Ambiental
  - Costo de Disposición Final
  - Aspectos financieros básicos

- Aseguramiento operacional y seguimiento del proyecto (normas y procedimientos aplicables)

### 1.2.5. Estrategia Propuesta para Incorporar los Elementos de Gestión de Activos a la Gerencia de Proyectos

#### ❖ *Actividades a Desarrollar*

A continuación se ilustran en la Tabla 1, los principales aspectos a considerar; no obstante la profanidad de cada uno de ellos dependerá del tipo de proyecto a emprender.

**Tabla 1.** Actividades a desarrollar en la Gestión de Activos

	<b>ASPECTOS ASOCIADOS A LA CONFIABILIDAD</b>	<b>ASPECTOS ASOCIADOS A LA OPERACIÓN</b>	<b>ASPECTOS ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO</b>	<b>ASPECTOS ASOCIADOS AL COSTO DE CICLO DE VIDA</b>
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA INICIATIVA</b>	Definición de estrategia y filosofía de confiabilidad; Verificación de normas aplicables; Consenso en cuanto a Criterios de Diseño	Propuesta del esquema operacional, justificación de flexibilidad operacional y justificación técnico-económica de redundancia	Estimación Inicial de Disponibilidad Exigida	Estimación inicial de costos de mantenimiento, de operación y de energía; evaluación preliminar del costo de no-disponibilidad.  Análisis de sensibilidad sobre el flujo de caja estimado del proyecto
<b>EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS</b>	Comparación de diferentes esquemas operacionales en cuanto a la confiabilidad estimada (datos históricos, código OREDA, Norma IEEE, y RBD)	Validación del esquema operacional, análisis de vulnerabilidad y/o flexibilidad	Análisis Comparativo de Costos de Mantenimiento, Estimación de Disponibilidad de cada alternativa	Análisis de Costo de Ciclo de Vida y Alternativas de Mejoramiento para optimización del flujo de caja
<b>DELIMITACIÓN DEL PROYECTO</b>	Definición Aspectos Críticos Técnicos y Operacionales  Esquema propuesto de	Aseguramiento Esquema Operacional  Desarrollo de	Definición Estrategia de Mantenimiento, Costos de Mantenimiento (Línea Base) y	Aseguramiento y Validación del Costo del Ciclo de Vida  Análisis de sensibilidad

	desempeño (Modelo R&R)	HAZOP	Disponibilidad Esperada Versus Exigida  Desarrollo de FMECA	sobre el flujo de caja del proyecto  Definición Estrategia de Medición y Seguimiento
<b>EJECUCIÓN DEL PROYECTO</b>	Aseguramiento de Aplicación Aspectos Críticos y Criterios Operacionales  Aplicación Estrategia de Manejo del Cambio	Aseguramiento Esquema Operacional (Interventoría Detallada)	Creación de Estrategia de Mantenimiento (Procedimientos y Partes) en el Sistema de Información de Mantenimiento	Implementación de Estrategia de Monitoreo y Seguimiento de Variables que impactan en el Costo de Ciclo de Vida
<b>OPERACIÓN Y CIERRE</b>	Aseguramiento del Comisionamiento	Aseguramiento del Arranque y Puesta en Marcha	Aseguramiento Repuestos para arranque y primer año de operación  Validación Procedimientos de Mantenimiento	Seguimiento permanente a los resultados del proyecto

### 1.3. CONFIABILIDAD DESDE DISEÑO EN PROYECTOS

Recientemente se ha reconocido que uno de los enfoques más importantes para incrementar el valor en una instalación, es mejorando la disponibilidad o la utilización de la misma. El enfoque tradicional comúnmente utilizado para incrementar valor ha sido aumentar el volumen de las ventas, subir la capacidad de manufactura del activo, reducir costes, la apertura a nuevos mercados o la combinación de estos factores. Un incremento en la disponibilidad se puede lograr mejorando los Procedimientos de Operación, Técnicas de Mantenimiento, Confiabilidad Humana y con la Confiabilidad Intrínseca de la Instalación.

A raíz del reconocimiento de este nuevo enfoque, ha surgido el concepto de Utilización de Activo, el cuál toma en consideración las ventas y la disponibilidad. El objetivo primordial de una instalación es maximizar la utilización de activos o maximizar el valor del dinero invertido a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Cuando se realiza “Benchmarking” con otras compañías, se ha encontrado que la pérdida de oportunidad de utilización de activo se debe a problemas que están distribuidos equitativamente entre Operaciones, Mantenimiento y Diseño. Para mejorar la disponibilidad de una instalación, se hace necesario aplicar conceptos, metas y procedimientos de confiabilidad a lo largo de toda la vida del proyecto. Esto es lo que se conoce como Confiabilidad Desde Diseño.

La clave para obtener una instalación que sea coste-efectiva y tener un producto/instalación confiable es a través de la aplicación de los conceptos de confiabilidad desde la etapa más temprana del proyecto o en la etapa de diseño (particularmente en la etapa de Definición y Desarrollo). Es en esta etapa cuando la aplicación de confiabilidad tiene mayor impacto u oportunidad de afectar los resultados, ya que el proyecto es lo suficientemente flexible para ser modificado o rediseñado sin un impacto elevado en los costes. De lo contrario, si las mejoras por confiabilidad se aplican una vez que se haya “congelado” el diseño, cualquier cambio o modificación tendrá un impacto sustancial en los costes.

Al observarse la Figura 6, la curva de oportunidades de reducción de coste/programación en un proyecto, existe un paralelismo entre esta oportunidad y la correspondiente a la aplicación de los conceptos de confiabilidad. Como se

aprecia, hay mucha más oportunidad de influenciar los resultados de coste y tiempo durante las etapas tempranas del proyecto, cuando los desembolsos son relativamente mínimos que en las etapas subsiguientes, cuando se construye y opera la instalación. Lo mismo sucede al aplicar confiabilidad a las instalaciones, si los conceptos son aplicados tempranamente, la influencia que puede tener en el nivel de confiabilidad del producto/instalación será mucho mayor que cuando se aplique en una fase intermedia o tardía del proyecto.

**Figura 6.** Plan de ejecución de proyectos



**Fuente:** AMENDOLA, Luis José. Gestión de Proyectos de activos industriales

La aplicación de confiabilidad en la fase de diseño de un proyecto, requiere de la participación de las experiencias y habilidades multidisciplinarias de diferentes especialistas. Para lograr maximizar valor, se requiere una combinación de prácticas de dirección, finanzas, ingeniería, construcción y otras prácticas aplicadas a activos en búsqueda de un coste económicos del ciclo de vida. Este concepto tiene que ver directamente con Confiabilidad Desde Diseño y mantenibilidad de activos (instalaciones).

Un aspecto a considerar a lo largo del ciclo de vida de un proyecto es lograr un balance adecuado entre productividad y seguridad a un coste óptimo. Esto tiene un efecto directo en la confiabilidad, y por lo tanto debe considerarse como parte de los aspectos de confiabilidad a ser aplicados en el ciclo de vida del proyecto. Se consigue a través de la gestión del riesgo definiendo las estrategias para cada uno de los siguientes aspectos, algunos de los cuáles están estrechamente relacionados:

- Diseño (Diseño robusto vs. Diseño bajo coste).
- Estrategia de mantenimiento y operación.
- Gestión de eventos anormales.
- Desincorporación del activo.
- Manejo de personal y cultura corporativa.
- Responsabilidad en seguridad.
- Gestión de escasez de recursos

### **1.3.1. Confiabilidad en la etapa de definición y desarrollo**

La aplicación de confiabilidad en la fase de diseño de los proyectos debe regirse por los siguientes principios fundamentales:

- La aplicación de confiabilidad en la fase de diseño, no requiere la intervención de un grupo de especialistas adicionales o con conocimientos particulares, ni tampoco cambiar la estructura organizacional (a excepción, si se detectan deficiencias en la misma). Los mismos participantes habituales de los proyectos son los que deben aportar la confiabilidad a través de sus acciones y la generación de documentos.
- Concientizar a los participantes de los proyectos de ingeniería, la importancia y la necesidad de aplicar confiabilidad desde diseño como forma de maximizar la utilización del activo o el valor del dinero invertido a lo largo del ciclo de vida del proyecto.
- La aplicación de los conceptos y procedimientos de ingeniería de control de riesgo son fundamentales para incrementar la confiabilidad de las instalaciones. Existe una estrecha vinculación entre productividad y seguridad y debe establecerse un balance entre ambos, aún cuando lo que se busca es lograr altos niveles de productividad y seguridad. Estos aspectos deben

considerarse desde la fase de diseño y como parte integral de aplicación de confiabilidad.

- Aún cuando los conceptos de confiabilidad puedan ser comprendidos por la dirección media, ingenieros y otros participantes de un proyecto, es muy importante la participación y la comprensión de la alta dirección.

Todo proyecto de Cambio y/o mejora en facilidades industriales, debe ser producto de un estudio de Confiabilidad. Por ejemplo en una vasija: Un Análisis de Causa Raíz (RCA), en compañía de un estudio de integridad (Como Fitnes for Services FFS), puede definir que el deterioro y/o capacidad de un equipo está por fuera de límites de diseño y recomendar su cambio. Esta recomendación, será la entrada al un proyecto de Inversión y/o Gasto.

### **1.3.2. Utilización de técnicas de Confiabilidad para el diseño del Plan Óptimo**

Definir la funcionalidad del proyecto. Una vez seleccionada una opción (en la fase de Conceptualización), se requiere que las definiciones funcionales de todos los equipos y sistemas sean documentadas formalmente en la medida que los diagramas de procesos sean preparados. Para esto, se debe generar un documento que contenga la siguiente información:

- Diseño conceptual del sistema.

- Lista de funciones primarias y activos asociados (relacionar la funcionalidad de los equipos)
- Estudio de disposición de equipos
- Especificación de equipos
- Definición funcional de los sistemas de control
- Filosofía de control
- Descripción de proceso.

Realizar un estudio de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), el resultado de este estudio llevará a una recopilación de los modos de falla que podrán esperarse cuando la instalación esté operando.

Realizar Análisis Cuantitativo de Riesgo a fin de cuantificar el riesgo de un fallo de la instalación basado en la identificación de modos de fallo y el cálculo de sus probabilidades. En los modos de fallo es importante incluir fallos humanos.

Identificar estrategias de mantenimiento (mantenibilidad). Se debe generar una política de mantenimiento adecuado buscando optimizar costes. En este caso, los costes de mantenimiento requerido para alcanzar un cierto nivel de confiabilidad (y por lo tanto seguridad y producción a largo plazo) están balanceados con los costes de los fallos. Esta consideración lleva a incrementar la disponibilidad de la instalación y se logra considerando la accesibilidad, detección y aislamiento rápida de fallo, mantenimiento en línea, facilidad de remoción, reemplazo y reparación con mínimos ajustes. Estas recomendaciones y tareas evitarán que al final de la

ingeniería de detalle, el diseño final sea total o parcialmente sometido a revisión por razones de mantenibilidad, el cuál puede llevar a realizar rediseño antes de la fase de construcción. Este rediseño puede llegar a ser costoso en labor y tiempo.

## **2. INFORMACIÓN DE CALIDAD**

Durante la ejecución de los proyectos y a fin de asegurar la aplicación exitosa de conceptos de confiabilidad en la fase de diseño, es importante cumplir ciertos lineamientos que son comunes en cada fase del proyecto. A continuación, se citan los más importantes.

### **2.1. OBJETIVO**

Asegurar la adecuada Recolección, análisis, estructuración y organización de la información de los activos físicos, bajo el enfoque de los estándares Internacionales de Gestión de la Información de Confiabilidad y Mantenimiento.

### **2.2. ESTRATEGIA**

Utilizar el modelo del Estándar Internacional (ISO 14224), para elaborar mediante mejores prácticas en gestión de documental de información de mantenimiento, los Data-Sheets de las especificaciones técnicas y Hojas de Vida por equipo.

### **2.2.1. Beneficios del RIM**

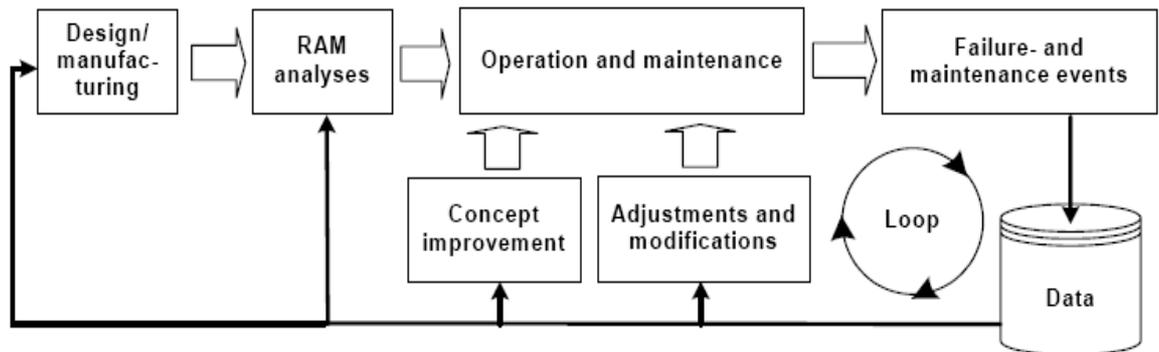
Los beneficios de la confiabilidad en el análisis de datos son de gran alcance, estos incluyen la posibilidad de optimizar el tiempo de reparación e inspección de los equipos, el contenido de los procedimientos de mantenimiento, así como el costo del ciclo de vida de los activos y la actualización de programas que faciliten su operación. Otros beneficios resultantes provenientes de la recolección y análisis de la información de RM incluyen mejoras en la toma de decisiones, reducción en fallas catastróficas e impactos ambientales, hacer más efectivo el benchmarking y las tendencias de rendimiento, e incrementar la producción en las unidades.

Mejorar la confiabilidad de los equipos depende de las experiencias reales durante su uso. La recolección, análisis y retroalimentación de la información del diseño y fabricación de los equipos son muy importantes. También, para la compra de un nuevo equipo, saber la información referente al RM del mismo es un parámetro clave a tener en cuenta.

Con el fin de relacionar información entre diferentes unidades de equipos, plantas, o entre industrias, es necesario clasificar la información realmente útil para reunir e intercambiar y luego verificar que esta se encuentre en un formato compatible.

Un típico circuito de retroalimentación para posibles usos de información es mostrado en la Figura 7:

**Figura 7.** Típica retroalimentación de análisis desde la recolección de información de confiabilidad y mantenimiento



**Fuente:** ISO 14224

Algunos de los beneficios de utilizar la norma ISO 14224 se resumen a continuación:

❖ **Económicos**

- Diseños costo efectivos (Capex)
- Operación costo efectiva (Opex)
- Mejoramiento de la rentabilidad

❖ **Generales**

- Extensión de vida de equipos
- Productos con calidad mejorada
- Compras de equipos más acertadas
- Mejor planeación de recursos

❖ **Seguridad y Medio Ambiente**

- Mejoramiento en la seguridad del personal
- Reducción de fallas catastróficas
- Reducción en el impacto al medio ambiente
- Cumplimiento con requerimientos legales

❖ **Analítica**

- Mayor calidad de la información
- Mayor cantidad de información
- Toma de decisiones más acertada
- Reducción en la incertidumbre de la toma de decisiones

**2.2.2. Obtención de información de calidad**

La confianza en la información de RM recolectados, y de igual manera, cualquier análisis, depende en gran medida de la calidad de la información recogida. La información de alta calidad se caracteriza por:

- Integridad de la información en relación a las especificaciones;
- Cumplimiento con definiciones de los parámetros de confiabilidad, tipos de datos y formatos;
- Puntuales o exactos para la transferencia, manipulación, y almacenamiento de información(manual o electrónico);

- Suficientes muestreos y adecuados periodos de vigilancia para brindar confianza estadística;
- Relevancia en la información que el usuario necesita

### **2.2.3. Proceso de recopilación de información**

La instalación de un CMMIS constituye la fuente principal de datos de RM. La calidad de los datos puede ser extraída de esta fuente, y depende principalmente de la forma en que la información de RM es registrada. Reportar información de RM de acuerdo a este estándar internacional mediante la instalación de un CMMIS es permitido, ya que proporciona una más coherente y solida base para la transferencia de datos de RM.

Otras fuentes de información pueden ser utilizadas para la recolección de datos de RM (computadores, archivos, libros, planos). Ver figura 8.

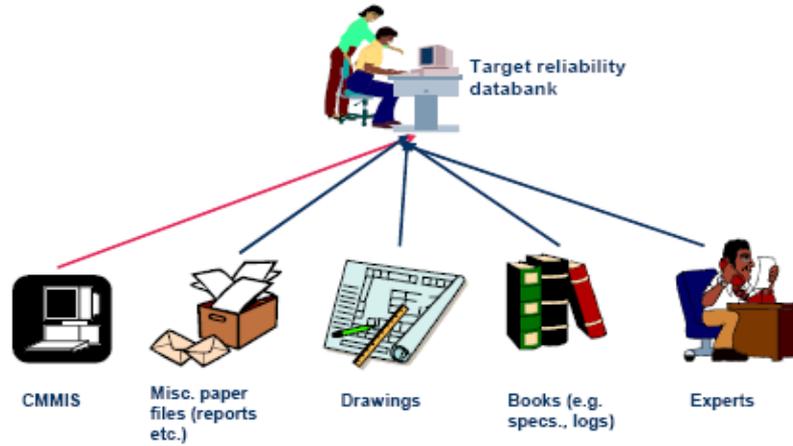
El proceso típico de recopilación de la información consiste en recolectar datos desde diferentes fuentes de información en una base de datos donde el formato y tipo de datos este predefinido. Esto es ilustrado en la Figura 8. Los métodos más comunes son los siguientes:

- a) Direccionar todas las fuentes de información que estén disponibles, y extraer datos relevantes a un almacenamiento intermedio. Si la información

se encuentra en una base de datos computarizada, utilizar cualquier método adecuado para extraer datos relevantes.

- b) Interpretar esta información y transformarla a un formato y tipo deseado para la base de datos destinada. En la mayoría de los casos esto es hecho mediante una interpretación manual.
  
- c) Transferir datos desde una fuente a un banco de información confiable usando un método adecuado. Este método puede ser útil mediante un software que pueda transferir información desde una base de datos a otra con una transformación al lenguaje deseado. Esto puede ser hecho solo si es posible definir un algoritmo de conversión lo suficientemente sólido para hacer una modificación confiable. Este método es únicamente costo-efectivo para datos en grandes cantidades o recolección de información repetitiva de una misma categoría y también puede ser usada en mantenimiento cuando la transferencia de información sea de una CMMIS a otra.
  
- d) Los métodos de recopilación de información son decisivos en la relación costo-beneficio de la recolección de datos y por tanto, debe ser cuidadosamente planeada y probada antes de empezar el proceso principal de recolección de información.

**Figura 8.** Típica fuente de información



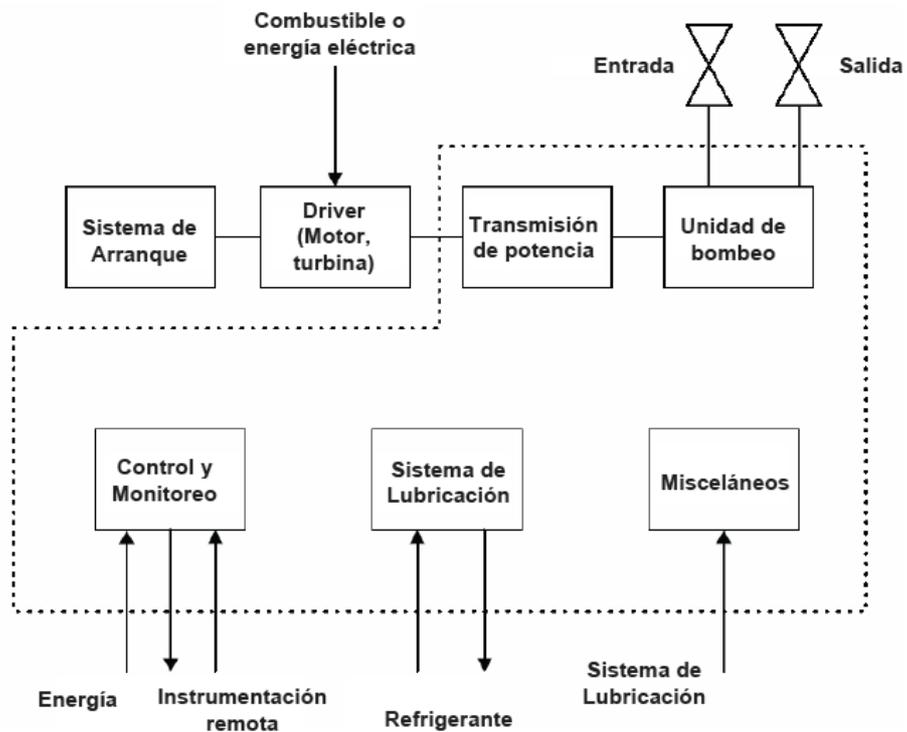
**Fuente:** ISO 14224

#### **2.2.4. Descripción de límites**

Una clara descripción de los límites es fundamental para la recolección, fusión y análisis de la información de RM de diferentes industrias, plantas o fuentes. Esto también facilitara la comunicación entre operadores y fabricantes de equipos.

Para cada categoría de equipo, un límite debe ser definido indicando cual información de RM debe ser recogida. Esto puede ser determinado mediante el uso de una figura, una definición o una combinación de ambos. Un ejemplo de un diagrama de límites es mostrado en la siguiente figura:

**Figura 9.** Ejemplo de diagrama de límites (bombas)

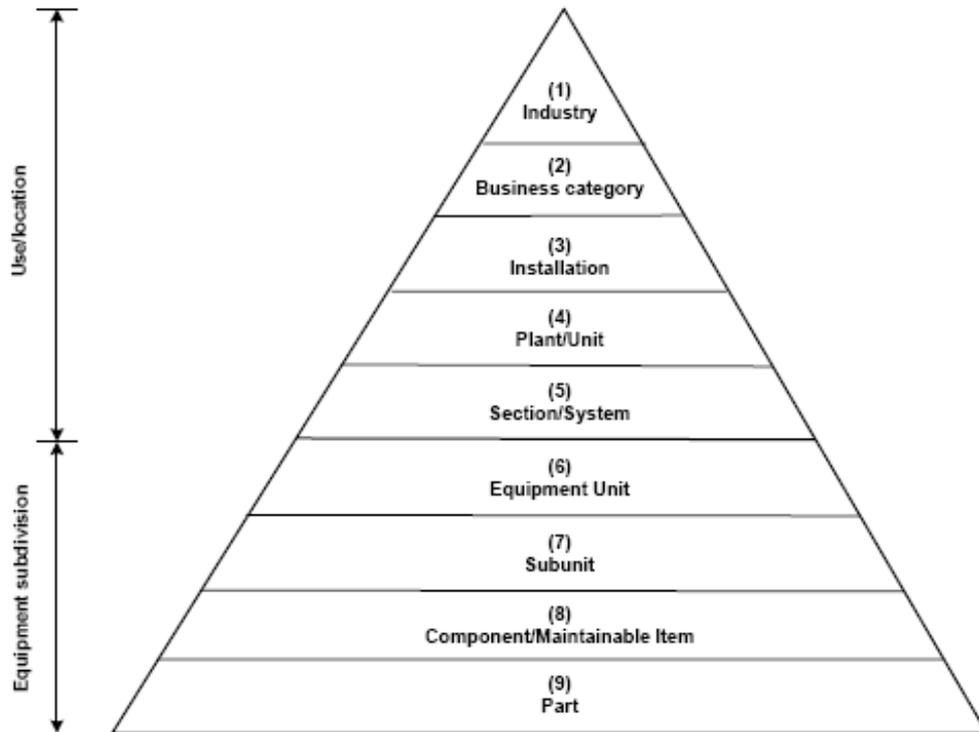


**Fuente:** ISO 14224

### 2.2.5. Taxonomía

La taxonomía es una clasificación sistemática de los activos en grupos genéricos basados en factores comunes para la mayoría de los ítems (ubicación, uso, subdivisiones de equipos, etc.). Una clasificación relevante de la información a ser recogida, según la norma ISO 14224, es representada por una jerarquía y descripciones mostradas en la figura 10.

**Figura 10.** Ejemplo Taxonomía

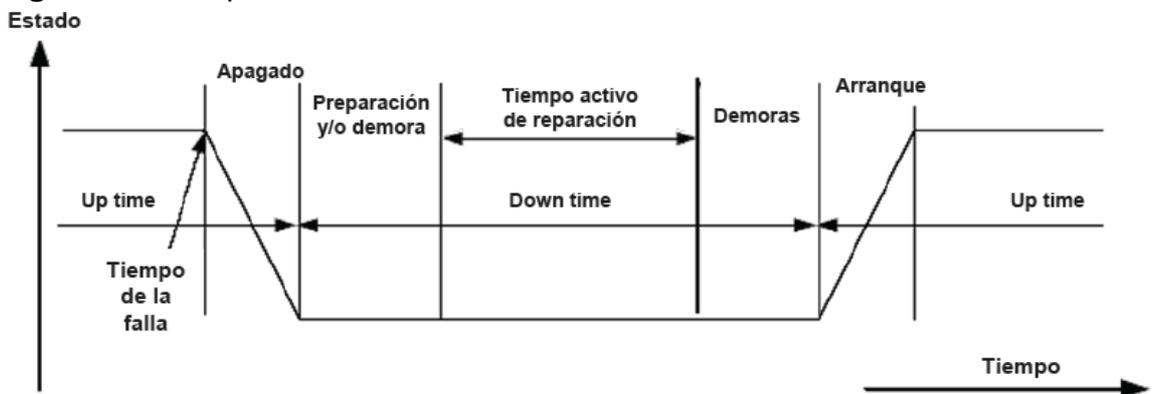


**Fuente:** ISO 14224

### **2.2.6. Tiempos de mantenimiento**

Cada dos veces durante el mantenimiento es recomendable recoger información de RM, además es importante aprender a distinguir el Down time (Tiempo fuera) del Active repair time (Tiempo de reparación). La diferencia entre estas dos es ilustrada en la siguiente figura.

**Figura 11.** Tiempos de Mantenimiento



**Fuente:** ISO 14224

**Down Time** incluye el tiempo desde que el equipo ha sido parado hasta que se prueba después de una reparación y esté listo para funcionar nuevamente.

**Active maintenance** time es el tiempo en el que realmente se llevan a cabo trabajos de mantenimiento sobre el activo.

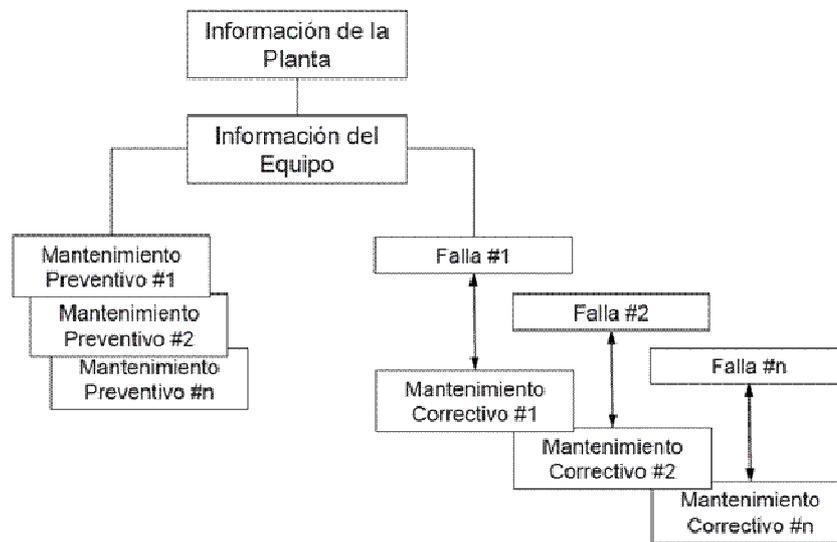
Según estas definiciones, el “*Active repair time*” no puede ser mayor que el “*Down Time*”. Todo el tiempo operacional necesario para apagar y arrancar el equipo antes y después de una reparación no se considera parte del “*Down Time*”

### **2.2.7. Estructura de la información**

La información recolectada debe ser organizada y añadida en una base de datos con el fin de ofrecer actualizaciones, consultas y análisis de forma fácil. Muchas bases de datos comerciales pueden ser usadas como elementos importantes para la construcción o el diseño de una base de datos confiable.

El modelo representa una aplicación orientada a la vista de la base de datos. El ejemplo en la figura 12 muestra una estructura jerárquica con fallas y registros de mantenimiento unidos a la clasificación y descripción del equipo.

**Figura 12.** Estructura lógica de la información



### 2.2.8. Información de falla

Una definición uniforme de fallas y métodos de clasificación de fallas son esenciales cuando la información de diferentes fuentes (plantas y operadores) debe ser combinada y fusionada en una base de datos común de RM.

Un reporte base para todas las clases de equipos debe ser usado para dar informes de datos de las fallas tal como se muestra en la tabla 2. Algunas clases de equipos pueden necesitar adaptaciones menores.

**Tabla 2.** Información de Fallas

INFORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
Registro de falla	Registro único de identificación
Equipo	Código del equipo
Fecha de la falla	Fecha en que se detectó la falla
Modo de la falla	A nivel de equipo
Impacto de la falla	Producción, HSE, Costos
Causa de la falla	Proceso que condujo a la falla
Causa raíz	Causa básica de la falla
Sub-sistema	Nombre del subsistema que falló
Ítem mantenible	Nombre del componente que falló
Método de detección	Cómo se detectó la falla
Condición de operación	Operando, arranque, inactivo, stand by, prueba

### 2.2.9. Clasificación del mantenimiento

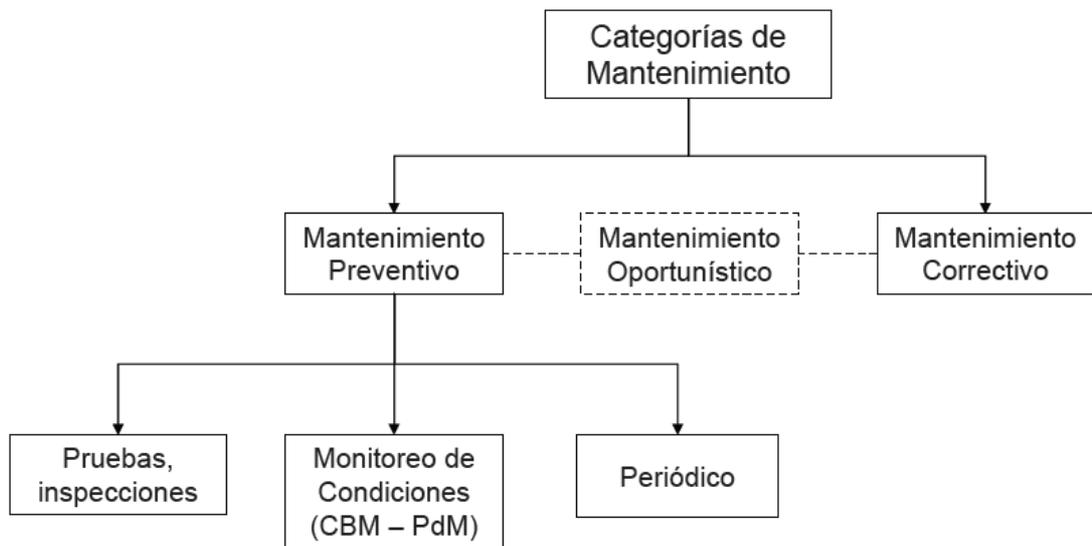
El mantenimiento se clasifica básicamente en 2 tipos:

- a) El que se realiza para corregir un activo después que este fallo(mantenimiento correctivo)
- b) El que se realiza para prevenir el fallo de un activo (mantenimiento preventivo).Una parte de este incluye solo chequeos (inspecciones,

pruebas) para verificar la condición del equipo y decidir si cualquier mantenimiento preventivo es o no requerido.

La siguiente figura muestra las principales categorías con más detalles.

**Figura 13.** Clasificación de Mantenimiento



**Fuente:** ISO 14224

### 2.2.10. Información del mantenimiento

Un informe base para todas las clases de equipos debe ser usado para dar reportes de información de mantenimiento tal como se muestra en la tabla 3.

Algunas clases de equipos pueden necesitar adaptaciones menores.

**Tabla 3.** Información de Mantenimiento

INFORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
Registro de Mantenimiento	Registro único de identificación
Equipo	Código del equipo
Registro de falla	No aplica para mantenimiento preventivo
Fecha del mantenimiento	Fecha cuando se realiza la acción de mtto
Categoría de Mantenimiento	Preventivo, Correctivo, Oportunístico
Prioridad del mantenimiento	Alta, Media o Baja
Intervalo	Intervalo calendario u operativo (aplica PM)
Actividad de Mantenimiento	Descripción de la actividad de mantenimiento
Impacto del mantenimiento	Producción, Costos
Sub-sistema	Nombre del subsistema mantenido
Ítem mantenible	Nombre del componente mantenido
Recursos de mantenimiento	Horas hombre y equipos
Tiempo activo de mtto	Duración de la actividad de mantenimiento
Down time	Tiempo en que el equipo ha estado parado

### 2.3. ALCANCE

- Elaboración Mediante un formato por tipo y clase, las Especificaciones Técnicas de cada equipo (ver Anexo A).
- Diseño de Plantillas de Hoja de vida por equipo / Especialidad: Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Civil.

### **3. DISEÑO DEL PLAN ÓPTIMO DE MANTENIMIENTO – RCM**

#### **3.1. OBJETIVO**

Elaborar el Plan Óptimo de Mantenimiento bajo los conceptos del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), asegurando un Plan enfocado en las tareas proactivas (Preventivas y Predictivas) de acuerdo a la criticidad del activo dentro de las dimensiones de los procesos productivos, salud de las personas, imagen de la compañía, ambiente y seguridad de los activos.

#### **3.2. ESTRATEGIA**

En esta etapa se desarrollan los talleres RCM, los cuales se despliegan bajo el enfoque del estándar SAE1101, y se asegurará la adecuada ejecución de las actividades de un Análisis primario de mantenimiento: Análisis funcional. Análisis de falla funcional, Análisis de criticidad, Análisis de modos de fallas, Análisis de efectos de fallas, Análisis de consecuencias de fallas, Tareas proactivas, Planes de contingencia, Definición de tipos de mantenimiento a aplicar por cada equipo.

Utilizando herramientas de moldeamientos de confiabilidad tales como el Software RCMCost, quién utiliza la información resultante del mismo ejercicio de RCM, se determinara mediante la simulación y pronósticos, los efectos del envejecimiento, costos de personal y los costos de repuestos y paradas respecto a diferentes intervalos de inspección y mantenimiento.

Mediante la Metodología de Gestión de Activos, se elabora el Plan Estratégico de Mantenimiento, a Largo Plazo (Trianual) y Corto Plazo (Anual), que incluirán las rutinas de mantenimiento Preventivo y Predictivo por Especialidad y Sistemas.

### **3.2.1. Generalidades**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM es una metodología de análisis racional, sistemático y estructurado, que define las tareas óptimas de Mantenimiento, necesarias para eliminar los riesgos asociados a la materialización de los modos de falla presentes en los equipos y sistemas de las industrias y sus consecuencias.

En pocas palabras, el RCM se utiliza para determinar las tareas óptimas (en una relación costo – beneficio), que aseguran que cualquier activo físico continúe realizando su función, en el contexto operacional presente.

Las consecuencias de la materialización de los modos de falla sobre los equipos, son valoradas y priorizadas de acuerdo con su impacto en el ambiente, seguridad, salud, operación y costo – (Enfoque en riesgo).

La idea central del RCM, es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los equipos de manera segura, más que los equipos mismos - (Enfoque en la producción).

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, se denomina así porque asegura que un equipo o función continúen obteniendo la capacidad definida por su confiabilidad inherente. - (Enfoque en Confiabilidad).

El estándar SAE JA-1011 presenta los criterios que pueden ser usados para evaluar procesos de desarrollo de programas de mantenimiento y determinar si son procesos de RCM.

❖ ***Las siete preguntas del RCM***

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares deseados de desempeño del equipo en su contexto operativo? (Funciones).
2. ¿En qué forma puede fallar para cumplir con sus funciones? (Falla Funcional).
3. ¿Qué causa cada Falla Funcional? (Modos de Falla).
4. ¿Qué pasa cuando cada falla ocurre? (Efectos de la Falla).
5. ¿Cuál es el impacto de la falla? (Consecuencias de la Falla).

6. ¿Que debiera hacerse para predecir o prevenir cada falla? (Tareas Proactivas).
7. ¿Que debiera hacerse si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada? (Acciones por Omisión).

#### ❖ ***Evolución del Mantenimiento***

- *Hasta 1950 ( Primera Generación )*: Cuando se rompe, se arregla
- *1950 - 1980 ( Segunda Generación )*: Mayor Disponibilidad de Planta, Mayor Duración de Equipos, Menores Costos
- *1980 - Presente (Tercera Generación)*: Gestión del Riesgo y la Confiabilidad, Mayor Énfasis en Consecuencias HSE. Mayor Confiabilidad y Disponibilidad de Planta, Trabajo en Equipo, Efectividad en los Costos

#### ❖ ***Que es Mantenimiento?***

- Mantenimiento es una combinación de acciones técnicas destinadas a reparar o restaurar un equipo a un estado en el que pueda desempeñar su función.
- Es un proceso que atraviesa límites departamentales y requiere trabajar en equipo.

#### ❖ ***RCM entrega***

- Un plan de Mantenimiento Proactivo basado en la Criticidad.

- Plan optimizado entre costos y beneficios:
  - Enfoque en la preservación de los requisitos funcionales.
  - Selección de tareas basada en jerarquía de recursos.
  - Tareas basadas en condición antes que las basadas en tiempo.
  - Análisis de características de falla.
  - Información clave y priorizada, sobre los activos críticos.

❖ ***Beneficios del RCM***

- Reducción de costos de mantenimiento (del 5% al 40%)
- Mejora en la confiabilidad; menos paradas no planeadas
- Mejora en la disponibilidad de planta
- Mejor comprensión de los eventos con efecto en la confiabilidad
- Mejor comprensión de las consecuencias
- Cambio cultural
  - Mantenimiento es un Proceso, no una función
  - Mantenimiento concierne a todos
  - Trabajo y colaboración multifuncional

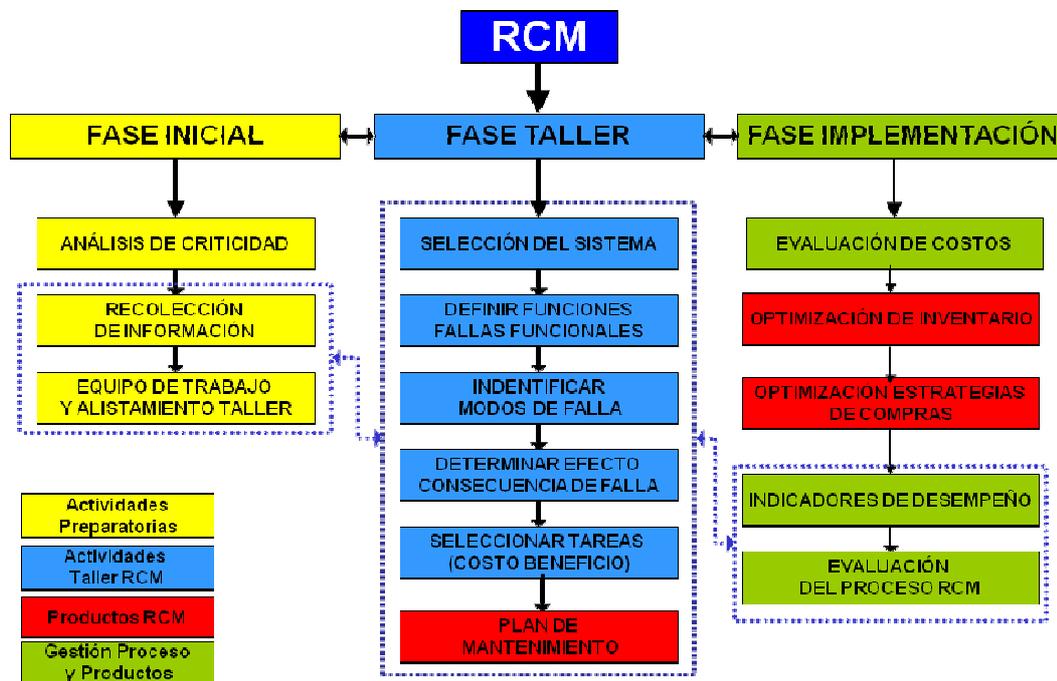
❖ ***Equipos donde aplica el RCM***

- RCM
  - Equipos Estáticos: Performance (internos, ensuciamiento)
  - Equipos Rotativos: MP (monitoreo, lubricación)
  - Instrumentación: (pruebas, calibración, limpieza)
  - Equipos Eléctricos: (pruebas, inspección, limpieza)
- RBI (Inspección Basada en Riesgo API-580/581)
  - Equipos Estáticos: Integridad (inspección)

### **3.2.2. Modelo general del RCM**

El desarrollo de la metodología RCM está comprendido por tres fases, fase inicial, fase taller y fase implementación. La figura 14 presenta cada una de las etapas comprendida en cada fase y en la secciones siguientes se detallan cada una de ellas.

**Figura 14.** Fases de la Implementación del RCM



**Fuente:** Cardona A. Camilo. Curso “Gerencia de Mantenimiento”

### 3.2.3. Fase Inicial

- El objetivo principal de esta fase es preparar la información de los activos relevante al taller RCM de acuerdo al estándar ISO 14224.
- La clave del éxito es la estandarización de la información.

#### 3.2.3.1. Análisis de criticidad

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos).

El objetivo de realizar un análisis de criticidad antes de realizar un esfuerzo RCM, es el de hacer una priorización de los activos y determinar a cuales de estos se justifica realizar la evaluación.

❖ ***Propósito General***

- Priorización de órdenes de trabajo.
- Otras aplicaciones:
  - Selección de equipos para realizar PMO.
  - Evaluación de repuestos (Optimización de Inventarios).
  - Evaluación de requerimientos de Inspecciones (¿Dónde realizar inspecciones?).
  - Determinar el impacto en el negocio orientando ejecución de proyectos y el direccionamiento de presupuesto hacia áreas de mayor rentabilidad.

❖ ***¿Cómo se realiza un análisis de criticidad?***

- Definiendo un alcance y propósito para el análisis.
- Estableciendo criterios de importancia.
- Seleccionando un método de evaluación para jerarquizar los sistemas seleccionados.

❖ ***Criterios Comúnmente Utilizados***

- Seguridad.

- Ambiente.
- Producción.
- Costos (Operaciones y Mantenimiento).
- Frecuencia de fallas.
- Tiempo promedio para reparar.

**Tabla 4.** Matriz de Riesgo de Mantenimiento

Matriz de Riesgo de Mantenimiento			Probabilidad de Ocurrencia			
			< 2 mes	Entre 2 y 12 meses	Entre 12 y 24 meses	> 24 meses
			<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>C r i t i c i d a d</b>	Muy Alto	<b>1</b>	AC	AC	C	M
	Alto	<b>2</b>	C	C	M	M
	Medio	<b>3</b>	C	M	M	B
	Bajo	<b>4</b>	M	B	B	B

**Tabla 5. Clase de consecuencia**

Clases de Consecuencias Tiempos de Parada de Producción por Proceso (TPP)										
Clase	(H) Salud Ocupacional, Medio Ambiente y Seguridad Industrial	(P) Tiempos de Parada de Producción por Proceso								(Q) Gestión / Calidad
		Trituración Materia Prima	Molienda de Crudo	Homogenización	Clinkerización	Preparación de aditivos	Molienda de Cemento	Alimentación de combustible	Preparación combustible cemento	
Muy Alto (1)	Fatalidad / Lesiones o incapacidades permanentes	>18	>6	>0,5	>74	>7	>11	>8.5	>3	<=10% material no conforme
	Exposiciones abruptas y/o daños mayores que generan enfermedades profesionales									
	Severa alteración de propiedades del agua y aire. (Supera el nivel máximo de contaminación establecido)									
	Severa modificación de régimen natural de caudales									
	Severa afectación propiedades del suelo Severa afectación de la flora y fauna Severa generación de molestias a la población									
Alto (2)	Lesiones con incapacidades no permanentes mayores a 30 días (abiertas, fracturas, entre otros).	Entre 18 y 12	Entre 2 y 6	0	Entre 74 y 48	Entre 7 y 4	Entre 11 y 6	Entre 2	Entre 3 y 2	<=7% material no conforme
	Efectos crónicos con exposiciones repetidas o prolongadas									
	Severa alteración de propiedades del agua y aire. (Nivel máximo de contaminación establecido)									
	Alteración de propiedades del agua y/o contaminación en los cuerpos del agua									
	Afectación propiedades del suelo y/o cambios a la población									
Medio (3)	Lesiones con incapacidades no permanentes mayores a 15 días	Entre 12 y 4	<2	0	entre 48 y 12	Entre 4 y 2	Entre 2 y 6	<2	<2	<=3% material no conforme
	Accidentes de trabajo con posible herida a menos que se tomen medidas prontas y se de un tratamiento radical despues de la exposición.									
	Posible nivel bajo de contaminación y/o afectación rango bajo permisible (Agua, Aire, suelo).									
	Generación de Residuos no peligrosos en mantos									
Bajo (4)	Lesiones con heridas leves, contusiones golpes y/o pequeños daños menores.	<4	Sin Impacto	Sin Impacto	<12	<2	<2	Sin Impacto	Sin Impacto	<=2% material no conforme
	Irritación o heridas potenciales reversibles menores									
	No genera ningun daño al medio ambiente									

**3.2.3.2. Recolección de la información**

Aprovechar los esfuerzos en preparar información para el taller, permite obtener sub-productos como el de la organización de la información de confiabilidad y

mantenimiento, tanto para el taller, como para otras herramientas y/o necesidades de gestión.

❖ **Actividades claves**

- Recolección de la información estandarizada
- Capacitación al equipo de trabajo en la Norma ISO 14224
- Procedimiento de recolección de la información relevante para el taller RCM bajo estándar ISO 14224
- Listas de Información de activos depurada y organizada para el taller RCM

❖ **Equipo de trabajo RCM**

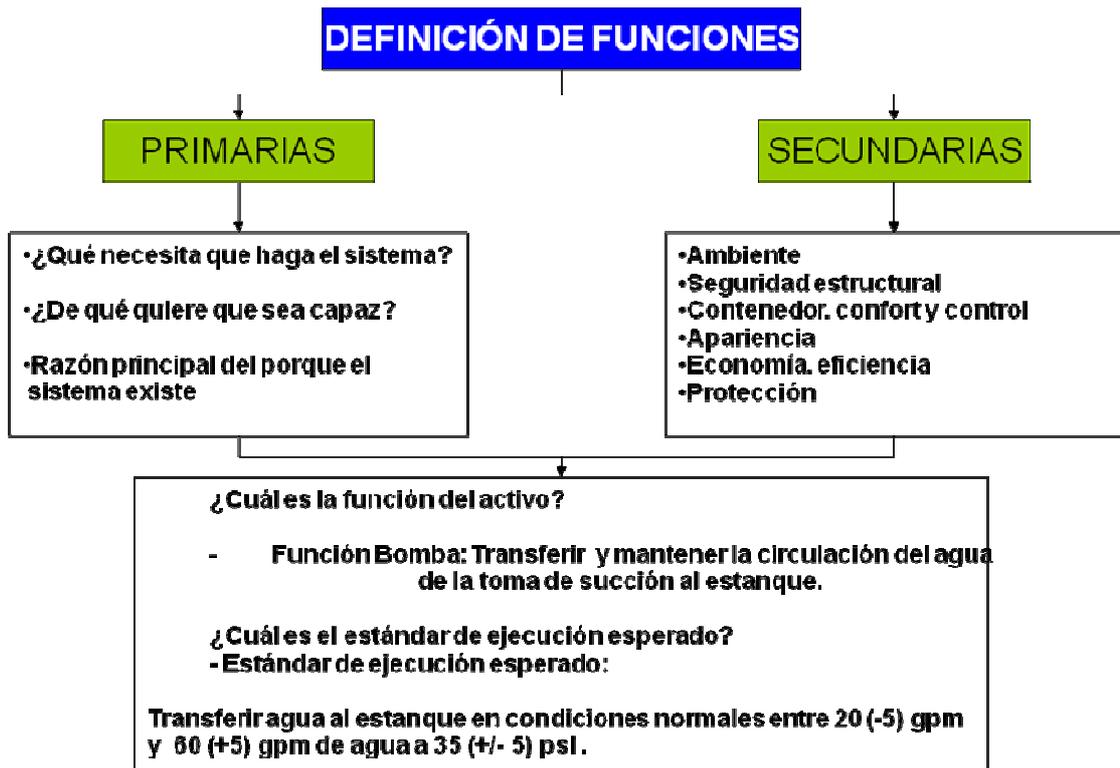
El éxito de la fase de implantación e implementación dependerá básicamente del trabajo de un equipo RCM

- Operador
- Ingeniero de mantenimiento
- Técnicos (especialidad) / inspectores
- Tecnólogo de procesos
- Facilitador

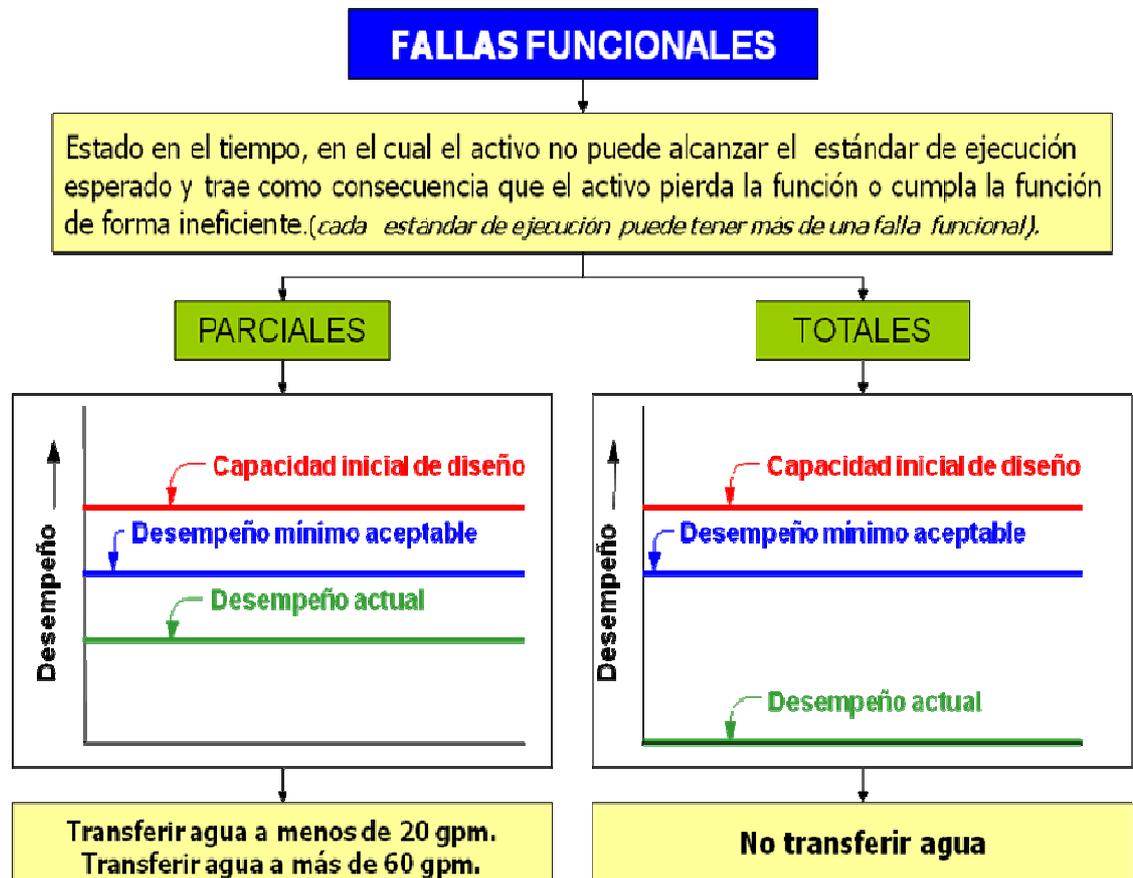
### 3.2.4. Fase Taller

- Ejecutar el taller de RCM, para determinar las tareas óptimas (costo – efectivas) de Mantenimiento.
- La clave del éxito es la disciplina del equipo en la metodología utilizada y retar el desempeño del grupo, con profesionalismo, buscando la mejor alternativa (costo – beneficio / incluye riesgos HSE).

#### ❖ *Funciones*



❖ **Fallas Funcionales**



❖ **Fallas de equipos**

Con el fin de proteger los sistemas de la ocurrencia de fallas funcionales, las tareas de mantenimiento deben ser enfocadas para evitar la ocurrencia de los modos de falla conocidos del equipo que soporta la operación de la función.



### ❖ **Análisis Funcional RCM**

Para cada equipo a ser analizado:

- Identificar los modos de falla dominantes a analizar y sus características.
- Identificar los efectos de la falla.
- Identificar la categoría de falla (No revelada, Revelada, Mandatorio).
- Evaluar la criticidad.

### ❖ **Selección de las tareas de mantenimiento**

Al seleccionar las tareas de MP se debe utilizar la siguiente jerarquía de mantenimiento:

- Predictivo (como el monitoreo de condición).
- No-invasivo (como un cambio de aceite).
- Invasivo Preventivo (como el desarmado para verificar desgaste).
- Renovación (como el reemplazo de un rodamiento).

#### **3.2.5. Fase Implementación**

Esta es la Fase más importante, debido que en ella se advierte la efectividad y eficacia del RCM. El propósito de esta fase es Implementar resultados en el CMMS, Diseñar e implementar sistema de gestión de la efectividad del RCM en la

operación diaria e Impactar positivamente los procesos de Bodega y Compras, de acuerdo con los resultados de RCM.

Tener como producto principal, la implementación de los resultados en el CMMS. En muchos casos quedan en escritorios y computadores...como un muy buen ejercicio de ingeniería, que nunca generó valor a la compañía.

Utilizar los sub-productos del RCM, como:

- Criticidad de equipos.
- Información de los modos de falla (TM BF, efectos, etc), para impactar la optimización de Inventarios y estrategia de compras.
- Información de confiabilidad estandarizada.

### **3.3. ALCANCE**

- Desarrollo del Análisis primario de mantenimiento (ver Anexo B).
- Elaboración del plan de mantenimiento de la planta (ver Anexo C)
- Definición de tipos de mantenimiento o estrategia de mantenimiento a aplicar por cada activo o equipo: Preventivos
  - Predictivo
  - Inspección

- Monitoreo en línea
  - Mantenimiento por condición
  - Ciclo de vida del activo
  - Otros.
- Elaboración de instructivos y rutinas de mantenimiento por equipo y especialidad (Ver Anexo D).
- Mecánicas
  - Eléctricas
  - Electrónicas
  - Civiles
  - Operación
- Diseño de ruta de inspección por especialidad para buscar optimización de recursos: por especialidad

## **4. PROCEDIMIENTOS DETALLADOS DE MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD**

### **4.1. OBJETIVO**

Elaborar procedimientos detallados de análisis de riesgos y las tareas de mantenimiento preventivas y predictivas, diseñadas en el plan de mantenimiento.

### **4.2. ESTRATEGIA**

elaborar con personal técnico y experimentado por especialidad y de manera detallada los procedimientos de Mantenimiento de las tareas Preventivas y Predictivas que se emitan del diseño del Plan de Mantenimiento y los Análisis de riesgos operacionales de cada trabajo evaluado como crítico, mediante la utilización de normas, estándares y políticas en manejos de gestión documental y riesgos.

#### **4.2.1. JSA – Job Safety Analysis**

Un análisis de trabajo seguro (JSA) identifica los peligros de cada deber que se cumple en un trabajo. Descubre los peligros que pudieron haber sido ignorados durante la planeación de la planta, o en el diseño de la máquina o herramienta y

los bancos de trabajo y procesos. También busca los peligros que se hayan desarrollado después de que la producción empezó o que fueron resultado de un cambio en las normas.

#### **4.2.2. Beneficios del JSA**

- Da dirección al capacitar nuevos empleados sobre los procedimientos seguros en el trabajo.
- Describe las pautas de seguridad que se deben de seguir.
- Identifica la herramienta necesaria protectora para llevar a cabo una responsabilidad.
- Elimina los peligros conocidos de un trabajo cuando.

#### **❖ *Reporte de análisis de peligro del trabajo***

El JSA es la primera opción en el prevenir de accidentes, por identificar los peligros y eliminarlos antes de comenzar un trabajo. Se debe usar:

- Como herramienta de entrenamiento para los nuevos empleados.
- Como herramienta de entrenamiento para los empleados en trabajos que se realizan entre largos periodos de tiempo.
- Para investigaciones de accidentes.
- Para proveer una lista de elementos o herramientas protectoras requeridas.

Es muy importante fijar prioridades cuando se haga un análisis. Los análisis se deben cumplir primeramente en los trabajos donde más accidentes han sucedido. Trabajos que tienen la tendencia a causar lesiones graves o inclusive la muerte.

❖ ***Involucrar los empleados***

Una vez se ha escogido el trabajo a analizar, hay que platicar sobre la actividad con el empleado que realizara el trabajo. Explique que el propósito del análisis no es chequear la productividad del empleado, sino estudiar el trabajo mismo. Involucre el empleado en todos aspectos del JSA, desde el repaso de los pasos del trabajo hasta la recomendación de soluciones para los peligros potenciales que representan cada paso. También, debe involucrar a los empleados que han hecho el mismo trabajo anteriormente.

❖ ***Hacer una lista de los pasos del trabajo***

El primer punto para hacer un JSA es analizar los pasos, uno por uno. Cada paso debe lograr una tarea muy importante. Algunos pasos no requieren ser nombrados cada vez que se haga la tarea, pero si se desea se pueden involucrar. Asegúrese que anote información suficiente para describir cada paso del trabajo sin tener demasiados detalles.

### ❖ **Identificar los peligros**

El siguiente punto consiste en examinar cada paso para determinar los peligros que puede haber o pueden desarrollarse. La manera más fácil de hacerlo es preguntarse "¿qué podría ir mal?" en este paso, los peligros potenciales identificados en el anverso de la forma proporcionan una referencia excelente, aunque no se pueden considerar como una "lista completa."

### ❖ **Recomendar procedimientos seguros y protección**

Después de haber hecho una lista de los riesgos o peligros potenciales, y haberlos repasado con el empleado que realizara el trabajo, determine si el trabajo se podría llevar a cabo en una forma diferente para eliminar más peligros. Por ejemplo, algunos riesgos se podrían reducir al combinar o cambiar el orden de los pasos, o al proveer herramientas seguras y tomar precauciones adicionales.

Si precauciones y pasos mejores se pueden usar, entonces anote cada uno de estas mejoras. Anote exactamente lo que el empleado necesita saber para llevar a cabo el trabajo, siguiendo el nuevo método. Sea lo más específico posible en sus recomendaciones. El JSA es una herramienta excelente para el entrenamiento de nuevos empleados.

Si no hay forma de reducir los riesgos mediante la modificación del procedimiento, determine si los peligros que se detectaron en un principio se pueden reducir o eliminar mediante cambios físicos en el equipo, cambiando herramientas, o

poniendo protecciones sobre la máquina. Si los peligros están presentes todavía, haga lo posible en evitarlos durante la realización del trabajo. Repase las recomendaciones con el empleado. Pregunte por sugerencias para eliminar o reducir los peligros del trabajo. Por último, asegúrese que los empleados entiendan la razón por la cual los procedimientos son necesarios y la importancia de seguirlos.

❖ ***Repase y revise el análisis de peligro en el trabajo***

Un JSA es muy eficaz en reducir accidentes y lesiones, pero solamente si es repasado y revisado. Aunque no se hayan hecho cambios en el trabajo, los peligros que no existían antes pueden ser más obvios con el tiempo.

Si ocurren accidentes o lesiones en un trabajo específico, el JSA debe recibir una nueva evaluación. Si son necesarios cambios, actualice el JSA con la nueva información. Una vez que se hace el cambio, entrene al empleado nuevamente.

**Figura 16.** Plantilla elaboración análisis de trabajo seguro

**ANÁLISIS DE SEGURIDAD DEL TRABAJO (AST)**

EMPRESA CONTRATISTA		ELABORADO POR	
TRABAJO		APROBADO POR	

N°	PASOS LÓGICOS DEL TRABAJO	RIESGOS	RECOMENDACIONES
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

**4.3. ALCANCE**

- Elaboración de Análisis de riesgos operacionales teniendo en cuenta aspectos de: Salud ocupacional, Protección medio ambiente, Seguridad y Control de calidad (Ver Anexo E).
- Elaboración de procedimientos e intervenciones de mantenimiento por especialización.
- Elaboración de kits para cada tipo de intervención.
  - Recursos
  - Herramientas
  - Equipos.

## **5. ESTRATEGIA ÓPTIMA EN SUMINISTRO, BODEGA E INVENTARIOS**

### **5.1. OBJETIVO**

Definir los parámetros óptimos de compra y suministro de bienes y servicios para la bodega e Inventarios, para asegurar la efectividad y eficiencia de la estrategia de Mantenimiento de acuerdo con los resultados de diseño el Plan Óptimo de Mantenimiento.

### **5.2. ESTRATEGIA**

- Utilizar la mejor práctica en optimización de Bodega e Inventarios, para determinar los números mínimos (óptimos) de stock, incluyendo Números de re-orden.
- Optimizar los factores que influyen los niveles de inventario de la compañía, reduciendo significativamente la inversión en inventarios sin comprometer los riesgos o disponibilidad de sus activos

### 5.2.1. Implementación del Plan y Gestión

Al aumentar (o en algunos casos disminuir) frecuencia y/o tareas de Mantenimientos programados o cambios por condición, es obvio que las necesidades en cantidad de inventario y estándar de reposición se modifican. Entonces, se puede concluir, que la información evaluada y sus productos (Frecuencias, tareas, etc) en el estudio RCM, permiten impactar positivamente estos valores y permite la optimización de inventarios y estrategia de compras.

### 5.2.2. Optimización de inventario

**Tabla 6.** Impacto del RCM en la optimización de inventarios

IMPACTO DEL ESTUDIO RCM EN LA OPTIMIZACIÓN DE INVENTARIOS.		
VARIABLE OPTIMIZACIÓN DE INVENTARIO	RCM	COMENTARIO
El Costo de No tener.	SI	Este valor lo entrega la valoración de criticidad (efectos y consecuencias de las fallas funcionales). Cuanto cuesta la indisponibilidad de los equipos (equipo críticos) y sus riesgos en HSE.
Costo de tener.	NO	Manejo de costos operativos y regulatorios por manejo de almacén.
Tiempo de Aprovisionamiento.	SI	Los dos valores están supeditados al comportamiento del modo de falla valorado para los activos en el Estudio RCM. En el caso de equipos críticos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• El tiempo de aprovisionamiento, debe ser inferior al Tiempo Medio entre Falla para el activo - (Para un Modo de Falla pertinente al repuesto en gestión).</li> <li>• El pronóstico de la demanda será el ejercicio de integrar los tiempos esperados para el desgaste del equipo, lo cual es analizado dentro del estudio.</li> <li>• Teniendo en cuenta que existen gran cantidad de repuestos comunes a varios equipos (rodamientos, partes, etc), esta estrategia permite una valoración integral de las demandas</li> </ul>
Demanda	SI	

### **5.2.3. Impacto en la estrategia de compras**

- Establecido el programa de ejecución del plan óptimo de mantenimiento y conocidos sus efectos, determinada en un valor confiable la demanda de repuestos y partes, realizado el ejercicio de optimización y revisión de los códigos de inventario y reposición, solo queda buscar la optimización de costos, en la estrategia de compras.
- En la mayoría de los casos, los sobre-costos en la compra de partes y repuestos (en especial de los equipos críticos y de alto costo, como Sellos mecánicos, etc), se genera por la falta de previsión de la adquisición y emergencia (necesidad).
- La utilización de la información descrita en el primer punto, permite hacer un paquete de necesidades, que puede ser puesto a licitación entre varios, proveedores, permitiendo la competencia y por ende la disminución de precios, ofrecimiento de servicios post-venta, etc.

### **5.3. ALCANCE**

- Elaboración de listados de repuestos por equipos, donde se identifican:
  - Repuestos críticos.
  - Repuestos estratégicos.

- Repuestos de consumo por operación.
  - Repuestos por condición.
- Desarrollo de una propuesta de inventarios mínimos y números de re-orden para stock en almacén para un año de operación, con base en el plan de mantenimiento diseñado.

## **6. ESTRATEGIAS, POLÍTICAS Y METAS DEL MANTENIMIENTO MODERNO**

### **6.1. OBJETIVO**

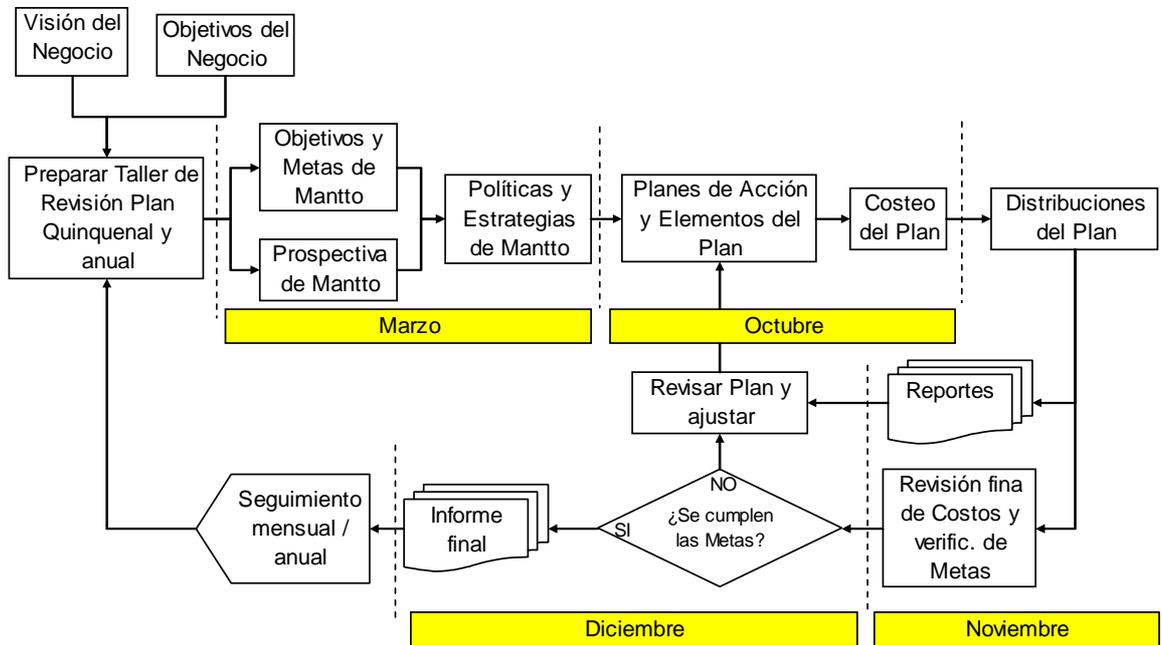
Definir estratégicamente mediante conceptos del Mantenimiento moderno, las metas, objetivos y políticas requeridas, para asegurar la disponibilidad de los activos al costo óptimo.

### **6.2. ESTRATEGIA**

Bajo todos los resultados obtenidos de los análisis de confiabilidad y estructuración de los datos, se determina la planta mínima (Óptima) de personal y el presupuesto anual para asegurar el cumplimiento del plan de mantenimiento basado en confiabilidad.

Elaborar mediante la Metodología de Gestión de Activos, El Plan Estratégico de Mantenimiento con pronósticos de costos: a Largo Plazo y Corto Plazo (Anual).

Figura 17. Metodología para elaborar los planes anuales de mantenimiento



### 6.3. ALCANCE

- Elaboración de Análisis de ciclo de vida de equipos y componentes críticos.
- Desarrollo de una propuesta de índices de rendimiento, disponibilidad y confiabilidad a nivel de sistemas y equipos críticos (y sus componentes críticos).
- Determinación de la estructura mínima de personal de mantenimiento planta, que asegure el cumplimiento del Plan de Mantenimiento diseñado.

## 7. ENTREGABLES DEL PROYECTO

A continuación se describen los entregables del Proyecto de Optimización de la Gestión de Mantenimiento aplicados a proyectos de ingeniería. En la sección de anexos se especifican varios ejemplos aplicativos como resultado obtenido de un plan de mantenimiento en la fase de diseño en una empresa cementera

- Dossier con especificaciones técnicas de cada equipo analizado, en el cual se detallan los datos técnicos requerido según la clasificación de los activos en clase y tipo (ver Anexo A).
- Plantilla de hojas de vida de los equipos.
  - Mecánicas.
  - Eléctricas.
  - Electrónicas.
  - Civiles.
- Memorias de los talleres de RCM, donde se diseñen los Planes detallados de Mantenimiento (ver anexo A y B). Se incluyen dentro de este punto:
  - Análisis funcional
  - Análisis de falla funcional

- Análisis de criticidad. Se desarrolla el Listado de Equipos priorizados por Nivel de Criticidad.
  - Análisis de modos de fallas
  - Análisis de efectos de fallas
  - Análisis de consecuencias de fallas
  - Tareas proactivas
  - Planes de contingencia
- Plan Óptimo de Mantenimiento (ver Anexo C), de acuerdo al siguiente detalle:
- Plan de mantenimiento detallado a aplicar a cada activo o equipo, de acuerdo a las siguientes tipos:
    1. Preventivos
    2. Predictivo
    3. Inspección
    4. Monitoreo en línea
    5. Mantenimiento por condición
    6. Correr a Falla.
  - Instructivos y rutinas de Mantenimiento por equipo y sistemas, en las especialidades de: Mecánicas, Metal-Mecánicas, Eléctricas, Electrónicas, Civiles, Operación (Ver Anexo D).

- Rutinas de Inspección optimizadas por equipo y especialidad, en las especialidades de: Mecánicas, Metal-Mecánicas, Eléctricas, Electrónicas, Civiles, Operación
- Análisis de Riesgos Operacionales, de los procedimientos que lo ameriten con base en los lineamientos de HSE (ver Anexo E).
- Procedimientos de Mantenimiento de las tareas Preventivas y Predictivas que se emitan del diseño del Plan de Mantenimiento, con el siguiente detalle
  1. Lista de Kits (recursos, herramientas y equipos) de para cada tipo de intervención.
  2. Lista de Repuestos por equipo y especialidad, con el siguiente detalle:
  3. Lista de Repuestos críticos.
  4. Lista de Repuestos Estratégicos.
  5. Lista de Repuestos de consumo por operación.
  6. Lista de Repuestos Soporte de estrategia de Mantenimiento por condición.
- Propuesta de inventarios mínimos y número de re-orden para stock en almacén para un año de operación.
- Análisis de ciclo de vida de equipos y componentes críticos.

- Propuesta de índices de rendimiento, disponibilidad y confiabilidad a nivel de sistemas y equipos críticos.
  - Planteamiento de estructura mínima de personal de mantenimiento planta.
  - Plan de entrenamiento del personal Técnico-Profesional del área de Mantenimiento.
- Pronóstico y Presupuesto de repuestos (cantidad) y mano de obra (horas/hombre) por especialidad, de acuerdo al plan de mantenimiento diseñado, para los primeros tres años de operación de la planta.

## **8. NORMAS Y ESTÁNDARES A UTILIZAR**

Para ejecutar satisfactoriamente el diseño de un plan óptimo de mantenimiento y obtener resultados cuantitativos que ayuden a tomar decisiones, se necesita de ciertos lineamientos o normas que faciliten el trabajo. Gracias al uso de estas normas se pueden planear, organizar y controlar mejor las actividades de mantenimiento.

Algunos de estos estándares internacionales se explican a continuación.

### **8.1. SAE JA-1011 STANDARD**

*Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.* Este Estándar fue publicado en Agosto de 1999. Es un breve documento para establecer los criterios que debe satisfacer cualquier proceso de aplicación de RCM a un activo o sistema particular. De acuerdo con esta norma, un programa de RCM debe asegurar que las siete preguntas básicas sean contestadas satisfactoriamente en la secuencia mostrada:

1. ¿Cuáles son las funciones asociadas al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera puede no satisfacer sus funciones (fallas funcionales)?

3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional (modos de fallo)?
4. ¿Qué sucede cuando ocurren las diferentes fallas (efectos de las fallas)?
5. ¿De qué manera afecta cada tipo de fallas (consecuencias de las fallas)?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir / predecir cada falla (tareas probables e intervalos de las tareas)?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada (acciones preestablecidas)?

## **8.2. ESTÁNDAR NORSOK Z-008**

Análisis de Criticidad para Propósitos de Mantenimiento. El propósito de esta norma es proporcionar las directrices y requisitos para la construcción de una base para preparar y optimizar un programa de mantenimiento de nuevas instalaciones teniendo en cuenta los riesgos relacionados con:

1. Personal
2. Medio ambiente
3. Pérdidas de producción
4. Costo económico directo (todas las demás excepto las pérdidas por producción)

### **8.3. NORMA ISO 14424**

Recolección e Intercambio de Información de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos. Esta norma internacional presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos en formato normalizado para las áreas de perforación, producción, refinación, transporte de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias. Los principales objetivos de la aplicación de esta norma son:

1. Especificar los datos que serán recolectados para el análisis de:
  - ✓ Diseño y configuración del sistema.
  - ✓ Seguridad, confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y las plantas.
  - ✓ Costo del ciclo de vida
  - ✓ Planeamiento, optimización y ejecución del mantenimiento
2. Especificar datos en un formato normalizado, a fin de:
  - ✓ Permitir el intercambio de datos sobre confiabilidad y mantenimiento entre plantas, propietarios, fabricantes y contratistas.
  - ✓ Asegurar que los datos de confiabilidad y mantenimiento son de calidad suficiente, según el análisis que se pretenda realizar.

#### **8.4. ESTÁNDAR PAS 55**

Especificación para la Gestión Optimizada de Activos de Infraestructura Física. Esta norma tiene por objeto asegurar que los activos de una organización sean gestionados efectivamente a través del tiempo. Proporcionando la orientación y la estructura a través de una auditoría independiente y un proceso de reconocimiento externo que permita a las empresas garantizar la buena administración de su infraestructura física. De una manera amplia este estándar define la gerencia de activos como:

*“Actividades sistemáticas y coordinadas con las cuales una organización maneja óptimamente sus activos físicos, su desempeño asociado, riesgos y gastos sobre sus ciclos de vida con el propósito de lograr su plan estratégico organizacional”*

PAS 55 puede beneficiar empresas no solo desde el punto de vista regulador, sino que también puede ayudar a obtener una ventaja competitiva velando por que la gestión de activos se realice con la mayor eficacia posible y potencialmente mejor que sus competidores.

## 9. SOFTWARE DE ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

El siguiente es un listado de algunas de las herramientas de análisis de confiabilidad que se pondrían usar para la gestión de un mantenimiento económico y de fácil implementación. Gracias al uso de estas herramientas se pueden planear, organizar y controlar mejor las actividades de mantenimiento

- **RCMCost – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad**

RCMCost suministra un ambiente visual en el cual se pueden identificar las acciones de mantenimiento a través de estudios FMECA. Una funcionalidad de simulación puede calcular los efectos del envejecimiento, costos de personal y los costos de repuestos y paradas respecto a diferentes intervalos de inspección y mantenimiento.

- **AvSim+ – Modelamiento de Confiabilidad, Análisis de Ciclo de Vida y Disponibilidad de Plantas.**

AvSim+ es un sofisticado paquete de simulación Monte Carlo para el análisis de problemas de disponibilidad y confiabilidad de sistemas utilizando árboles de falla o diagramas de bloques de confiabilidad. El simulador permite a AvSim+ modelar redundancias complejas, fallas comunes, envejecimiento y dependencias de componentes que no pueden ser modeladas usando técnicas analíticas estándar y determinar el costo de ciclo de vida de sistemas, equipos y/o componentes.

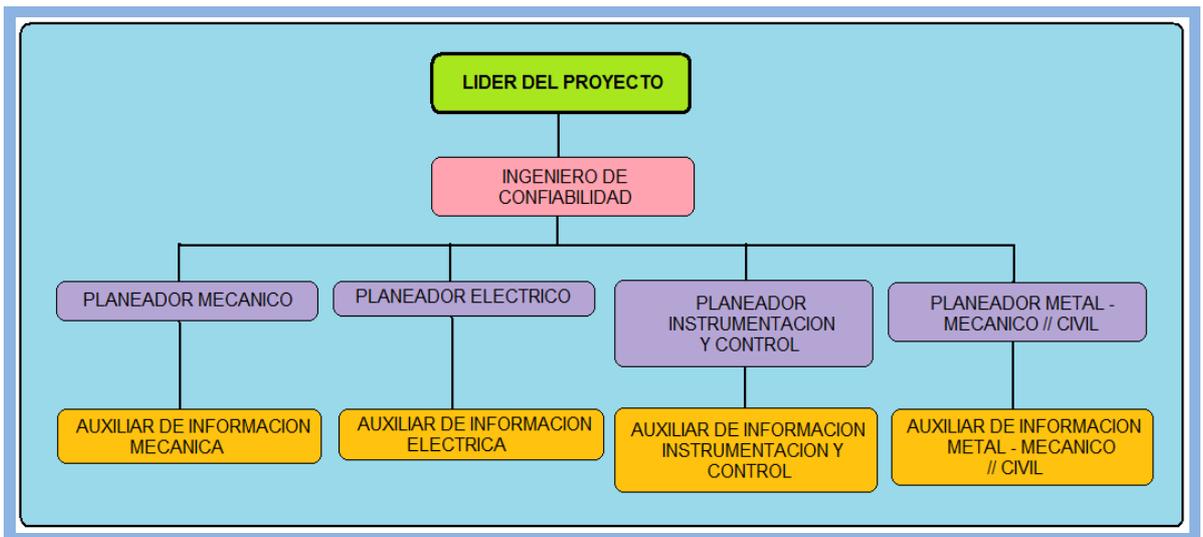
- **Software de Análisis de Optimización de inventario.** Bajo metodología Inventory Cash Release™ que permite optimizar los factores que influyen los niveles de inventario de su compañía, reduciendo significativamente su inversión en inventarios sin comprometer sus riesgos o disponibilidad de sus activos.

## 10. RECURSOS DE PERSONAL

### 10.1. ORGANIGRAMA BASE DE UN EQUIPO DE TRABAJO

A continuación se presenta una organización base para desarrollar los trabajos relacionados con la implementación del diseño de un plan óptimo de mantenimiento.

**Figura 18.** Organigrama base de un equipo de trabajo



### 10.2. PERFILES DE UN EQUIPO DE TRABAJO

Un perfil es una caracterización genérica de un tipo de actividad ligado a las necesidades de una organización. No todos los perfiles son necesarios durante

todo el proyecto ni en todos los proyectos. En función del ciclo de vida empleado y de las actividades a realizar, se pueden determinar a priori los perfiles requeridos.

En la definición de un perfil, intervienen los siguientes aspectos:

- Conocimientos generales requeridos
- Conocimientos técnicos especializados requeridos
- Habilidades de comunicación requeridas
- Actitudes requeridas en el trabajo
- Relación con otros perfiles
- Recursos materiales asociados al perfil
- Características temporales

A partir de esa información es posible conocer las personas requeridas y asignar responsabilidades individuales a cada una de ellas. No obstante, no debe confundirse esta definición con las actitudes deseadas en una determinada persona. Recuérdese que no siempre hay una relación biunívoca.

A continuación se describen la dedicación y las responsabilidades principales de la personal base para conformar el equipo de trabajo:

### **10.3. LÍDER DEL PROYECTO**

#### **❖ Responsabilidades**

Coordinador y diseñador de las siguientes actividades y entregable:

- Coordinación y soporte especializado de todas las actividades involucradas en el desarrollo del Proyecto.
- Asegurar la calidad y oportunidad de los entregables del proyecto en confiabilidad y mantenibilidad.
- Definir los indicadores de Mantenimiento y Confiabilidad.
- Definir las estrategias de personal, presupuesto y confiabilidad operacional.
- Líder y facilitador de las técnicas:
- Facilitador en el Análisis de criticidad bajo Norma Norzok 008.
- Facilitador en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

### **10.4. INGENIERO DE CONFIABILIDAD Y MANTENIMIENTO**

#### **❖ Responsabilidades**

Líder y facilitador de las técnicas:

- Integrador del diseño del plan de Mantenimiento.
- Facilitador en el Análisis de criticidad bajo Norma Norzok 008.

- Facilitador en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), bajo software RCMCost.
- Facilitador en el Modelamiento de Confiabilidad (RAM), bajo software Avsim.
- Facilitador en el Análisis de Costo de Ciclo de Vida (LCC).

## **10.5. TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO**

- Mecánica
- Electricidad
- Instrumentación y Control
- Metalmecánica y Civil

### **❖ *Responsabilidades***

Recopilar y organizar la información técnica de equipos por especialidad y sistema:

- Elaborar dossier técnicos por equipos por especialidad.
- Elaborar las hojas de vida de los equipos por especialidad.

Analizar y elaborar las tareas proactivas (Preventivas y predictivas) del plan de mantenimiento:

- Participar como especialista en el análisis de criticidad de equipos.
- Participar como especialista de los talleres de Mantenimiento Centrado en confiabilidad (RCM).
- Elaborar los procedimientos de las tareas del plan de mantenimiento.
- Participar en la elaboración de los JSA (Job Safety Analysis).

## **10.6. OPERADOR**

### **❖ Responsabilidades**

Participar como especialista de operaciones:

- Participar como especialista en el análisis de criticidad de equipos.
- Participar como especialista de los talleres de Mantenimiento Centrado en confiabilidad (RCM).
- Elaborar los procedimientos de las tareas de mantenimiento por el operador (Monitoreo de Condiciones y mantenimiento básico de equipos BEC por operador).
- Elaborar los JSA (Job Safety Analysis).

## **10.7. AUXILIAR DE INFORMACIÓN**

- Mecánica
- Electricidad

➤ Instrumentación y Control

➤ Metalmecánica y Civil

❖ ***Responsabilidades***

Soportar a los especialistas técnicos, en el adecuado registro final de los documentos, bajo estándares internacionales de calidad

## CONCLUSIONES

- Desarrollar un plan óptimo de mantenimiento en la etapa de diseño de un proyecto, ofrecerá un manejo óptimo de los activos, y este a su vez se verá representado en ahorro de dinero a largo o mediano plazo.
- La técnica del diseño del plan óptimo de mantenimiento explicada en esta monografía, puede ser perfeccionada con el tiempo solo si la experiencia adquirida en su aplicación es cada vez mayor. Propongo a las empresas que estudien esta metodología y que se sometan a un proceso de mejora continua con el fin de alcanzar o implementar las **“Mejoras Prácticas”** de confiabilidad ajustadas a cada realidad y a la manera de hacer las cosas, y así lograr que las instalaciones sean clasificadas como **“Clase Mundial”**.
- Las bases para el diseño del plan óptimo de mantenimiento descritas en esta monografía deberán estar siempre enfocadas al alcance del proyecto de una forma eficaz, ya que por medio de estas podríamos identificar alcances innecesarios que solo nos llevarían a una pérdida de tiempo y dinero, pero por otro lado nos brindarían un mejor entendimiento de los requerimientos del mantenimiento de las instalaciones lo que muy seguramente predice una

reducción de costos y una mejor aplicación de las actividades de mantenimiento donde sea requerido.

Si queremos garantizar el éxito en el diseño de un plan de mantenimiento, debemos asegurar que el personal contratado se comprometa a realizar los trabajos programados con empeño y honestidad, de esta misma forma deberán ejecutar la elaboración de informes y esta a su vez estará en la obligación de ajustarse lo más exactamente posible a las labores desarrolladas.

## BIBLIOGRAFÍA

- SAE JA-1011 Standard "Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes
- Estándar Norsok Z-008 – Análisis de Criticidad para Propósitos de Mantenimiento.
- Norma ISO 14424 – Recolección e Intercambio de Información de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos.
- Estándar PAS 55 – Especificación para la Gestión Optimizada de Activos de Infraestructura Física.
- Metodología IDEF0 – Integración de Definiciones para Moldeamiento de Procesos.
- AMENDOLA, Luis José. Gestión de Proyectos de activos industriales. Universidad Politécnica de Valencia, Editorial.
- MONTAÑA Leonardo.; ROSAS Elkin. Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla.
- BERNARDO José. Haciendo que el RCM trabaje para su empresa
- MENDOZA, R. H. En Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Disponible en URL

[www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com)

- MOUBRAY John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Edición en español.2004.
- MORROW L.C. Manual de mantenimiento industrial. Editorial CECSA. Sexta edición. México 1982.
- SOTUYO BLANCO, Santiago. Claves para el éxito de un proyecto de implementación RCM. Reliability World Latin America Junio 2006.
- WOODHOUSE, John.; BERNARDO, José. Combinando las nuevas tecnologías con las nuevas formas de trabajar para crear un mejoramiento continuo en la Gerencia de Activos. The Woodhouse Partnership Ltd 2003.
- THE TEXAS DEPARTMENT OF INSURANCE, Análisis de la seguridad del trabajo.
- CARDONA, Camilo A. Recolección y análisis de información de confiabilidad y mantenimiento RIM. Curso “Gerencia de Mantenimiento” Noviembre 2007.
- CARDONA, Camilo A. RCM Mantenimiento centrado en confiabilidad. Curso “Gerencia de Mantenimiento” Octubre 2007.
- CARDONA, Camilo A. Planeación, Programación y Ejecución de Mantenimiento “P&S”. Curso “Gerencia de Mantenimiento” Noviembre 2007.
- GRUPO DE GESTIÓN DE LA TECNOLOGÍA. Gestion de Proyectos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en URL: <http://www.getec.etsit.upm.es/docencia/gproyectos/gproyectos.htm>

## **ANEXOS**

## ANEXO A: Plantilla de especificaciones técnicas

ESPECIFICACIONES TECNICAS [461.BL585]					
PLANTA	CEMENTOS				
AREA	CLINKERIZACIÓN				
SISTEMA	HORNO CLINKER				
CODIGO EQUIPO	461.BL585				
DESCRIPCION EQUIPO	SOPLADOR				
CATALOGO	60042231				
CLASE EQUIPO	SOPLADOR				
CATEGORIA EQUIPO	SOP01				
MARCA	A11				
MODELO	GM150S-22				
POTENCIA (KW)	149,2				
TIPO	LOBULOS				
CAUDAL (M3/S)	3270 ICFM				
PRESION TRABAJO (PSI)	38				
FLUIDO	AIRE				
VELOCIDAD (RPM)	1180				
LUBRICACION	POR SALPICADO CAMARA 22LTS MOVIL SHC 627				
PESO (KG)	5745				
CONDICIONES DE OPERACIÓN					
	UNIDAD	PARAMETRO		UNIDAD	PARAMETRO
FLUIDO	-	AIRE			
CAPACIDAD DE SUCCION	ICFM				
CAPACIDAD DE SUCCION DISEÑO	ICFM	3270			
TEMPERATURA DE SUCCION	°F	90			
TEMPERATURA DE DESCARGA	°F	192			
PRESION DE SUCCION	PSI	14.65	P ATM		
DIFERENCIAL DE PRESION	PSI	22,8			
NIVEL DE SONORO	DB	80			
INFORMACION MECANICA					
ELEMENTO DE COMPRESION	2 THREE-LOBE ROTORS				
TRANSMISION	6 CORREAS				
LUBRICACION	POR SALPICADO CAMARA 22LTS MOVIL SHC 627				
SELLO	TIPO LABERINTO				
RODAMIENTOS	ANTIFRICCION				
CONEXIÓN SUCCION	FILTRO				
CONEXIÓN DESCARGA	12" DIN 300 FLEXIBLE				
INFORMACION ELECTRICA					
	UNIDAD	PARAMETRO		UNIDAD	PARAMETRO
MARCA MOTOR		SIEMENS			
TIPO		RGZESD			
VOLTAJE		460 3PH			
FRAME		447T			
RPM		1800			
ODE BALL BEARING SIZE		6316			
DE ROLLER BEARING SIZE		NU320			
P		200HP			
NOTAS GENERALES					
Fecha de Elaboración:	Fecha de Actualización:	Elaborado por:	Proyecto Julio 2008		

## ANEXO B: Análisis funcional del proceso de clinkerización de una planta cementera

PROCESO	FUNCIÓN DEL PROCESO	SISTEMA	FUNCIÓN DEL SISTEMA	SUBSISTEMA	FUNCIÓN DEL SUBSISTEMA
CLINKERIZACION	Producir el clinker necesario para el proceso de molienda de cemento.(entrada: crudo preparado y homogenizado; salida: clinker)	HORNO CLINKER	Convertir el crudo en clinker a temperaturas que alcanzan los 1600°C	ALIMENTACIÓN	Llevar el crudo preparado o harina homogenizada por transporte mecánico a la torre de intercambio de ciclones , donde bajan a contracorriente los gases provenientes del horno hasta alcanzar una temperatura de aproximadamente 600°C a la entrada del horno,
				PRECALENTAMIENTO	Aumentar la temperatura del material homogenizado hasta aproximadamente 600C. Básicamente la harina homogenizada es precalentada desde lo alto de una torre precalentadora antes de ser repartida entre el calcinador y el ducto ascendente o 'riser', allí e
				CLINKERIZACION	Producir las reacciones químicas que convierten el crudo en clinker a temperaturas que alcanzan los 1600°C.
				ENFRIAMIENTO	Disminuir la temperatura del clinker proveniente del horno a un valor aproximado de 65C más temperatura ambiente. Este proceso debe ser rápido con el fin de que no se reviertan las reacciones que tienen lugar en el horno
				DESEMPOLVAMIENTO	Colectar el polvillo de clinker generado por el desempolvamiento de los gases exhaustores que salen del enfriador de clinker usando un par de ciclones de alta eficiencia y colectando dicho polvillo a través de válvulas de compuertas que desca
		ALMACENAMIENTO	Depositar el clinker listo para ser procesado junto a los aditivos necesarios en el molino vertical de cemento.	TRANSPORTE	Conducir el clinker mediante bandejas transportadoras a los silos de clinker para ser almacenado.
				DEPOSITO	Almacenar el clinker en 3 silos, dos silos de 37.000 MT (toneladas métricas) y uno de 1050 MT (silo de incocidos o inquemados) el cual almacena clinker no conforme de acuerdo a las especificaciones técnicas que debe cumplir. Este clinker almacenado es do
				DESEMPOLVAMIENTO	Colectar el el polvillo generado durante la turbulencia por lo cual se cuenta con filtros de mangas ubicados en la parte superior de estos, cuyo fin será tomar dicho polvillo para retornarlo y evitar polución y contaminación al ambiente.

## ANEXO C: Plan Optimo de Mantenimiento para una planta cementera

EQUIPO	TAG EQUIPO	MODO DE FALLA	DESCRIPCION DE LA TAREA	CRITICIDAD	EJECUTOR	TIPO INTERVENCION	SITUACION	FRECUENCIA	UNIDAD	ESPECIALIDAD	TIEMPO PARADA	No PERSONAS	HORAS-HOMBRE
SOPLADORES	461.BL585	FALLA DE INTERNOS	INSPECCIÓN GRAL PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO	H	PRO	I	M	1	D	PRO	0	1	0.15
SOPLADORES	461.BL585	FALLA DE INTERNOS	MONITOREO Y ANALISIS DE VIBRACIÓN	H	MEC	H	M	1	M	MEC	0	1	0.15
SOPLADORES	461.BL585	FALLA DE INTERNOS	ANALISIS CONDICION DE ACEITE	H	LUB	H	P	3	M	LUB	0,5	1	0.15
SOPLADORES	461.BL585	FALLA SISTEMA TRANSMISION	INSPECCIÓN SISTEMA TRANSMISION	H	MEC	H	P	6	M	MEC	1	2	2
SOPLADORES	461.BL585	FALLA SISTEMA SEGURIDAD	ENSAYO FUNCIONAL VALVULA DE SEGURIDAD	H	PD	P	P	12	M	PD	2	1	2
SOPLADORES	461.BL585	FALLA SIST CONTROL Y PROTECCION	INSPECCION Y LIMPIEZA GENERAL DE SIST ELEC	H	ELC	P	P	6	M	ELC	1	1	1
SOPLADORES	461.BL585	FALLA FILTRO DE SUCCION	CAMBIO DE FILTRO E INSPECCION INTERNA	H	MEC	P	P	12	M	MEC	1	1	1
SOPLADORES	461.BL585	FALLA DE INTERNOS	CAMBIO DE ACEITE	H	LUB	P	P	12	M	LUB	1	1	1
SOPLADORES	461.BL585	FALLA DE INTERNOS	INSPECCION INTERNA	H	MEC	P	P	60	M	MEC	3	1	2
TORNILLO SIN FIN	331.SC020	FALLA RODAMIENTOS DEL TORNILLO	MONITOREO OPERACIONAL	H	PRO	I	M	1	D	PRO-I	0	1	0,2
TORNILLO SIN FIN	331.SC020	FALLA DEL TORNILLO	INSPECCION LAS CARGAS EN EL TORNILLO SIN FIN Y LAS OBSTRUCCIONES	H	PRO	I	M	1	D	PRO-I	0	1	0,1
TORNILLO SIN FIN	331.SC020	FALLA RODAMIENTOS DEL TORNILLO	INSPECCION MECANICA	H	MEC	H	P	1	M	MEC-H	0,6	1	0,5
TORNILLO SIN FIN	331.SC020	FALLA POR TAPONAMIENTO	REVISAR INCLINACION DEL TUBO DE TRANSPORTE Y DEFLEXION DEL EJE	H	MEC	P	P	3	M	MEC-P	0,6	2	1
TORNILLO SIN FIN	331.SC020	FALLA SISTEMA DE TRANSMISION	INSPECCIONAR ESTADO DE LAS CORREAS	H	MEC	P	P	3	M	MEC-P	0,5	2	0,8
TORNILLO SIN FIN	331.SC020	FALLA POR FUGAS	INSPECCIONAR, NIVEL DE ACEITE Y RETENEDORES	H	PRO	I	M	7	M	PRO-I	0	1	0,1
TORNILLO SIN FIN	331.SC020	FALLA REDUCTOR	CAMBIO DE ACEITE 10000 HORAS	H	LUB	PG	P	14	M	LUB-PG	0,6	1	0,5
TORNILLO SIN FIN	331.SC020	FALLA REDUCTOR	ANALISIS DE CONDICION DE ACEITE	H	LUB	H	P	12	M	UB-H	0,6	1	0,5
ENFRIADOR	441.CC100	FALLA INTEGRIDAD	INSPECCION DE CONDICION OPER	H	PRO	I	M	30	D	41PRO	0	1	0,3
ENFRIADOR	441.CC100	FALLA BARRA CRUZADAS	MONITOREO CONDICION INTEGRIDAD	H	MEC	I	P	360	D	41MECI	24	2	12
ENFRIADOR	441.CC100	FALLA CILINDROS HIDRAULICO	MONITOREO CONDICION INTEGRIDAD	H	MEC	I	P	360	D	41MECI	24	2	12
ENFRIADOR	441.CC100	FALLA MODULO FIJO DE ENTRADA	MONITOREO CONDICION INTEGRIDAD	H	MEC	I	P	360	D	41MECI	24	2	12
ENFRIADOR	441.CC100	FALLA PARRILLAS DE DIVISION	MONITOREO CONDICION INTEGRIDAD	H	MEC	I	P	360	D	41MECI	24	2	12
ENFRIADOR	441.CC100	FALLA PERFILES U - C	MONITOREO CONDICION INTEGRIDAD	H	MEC	I	P	360	D	41MECI	24	2	12
ENFRIADOR	441.CC100	FALLA PLACAS CONDUCTORAS	MONITOREO CONDICION INTEGRIDAD	H	MEC	I	P	360	D	41MECI	24	2	12
ENFRIADOR	441.CC100	FALLA PLACAS DE DISTRIBUCION DE AIRE	MONITOREO CONDICION INTEGRIDAD	H	MEC	I	P	360	D	41MECI	24	2	12
ENFRIADOR	441.CC100	FALLA RODILLO DE SOPORTE	MONITOREO CONDICION INTEGRIDAD	H	MEC	I	P	360	D	41MECI	24	2	12
ENFRIADOR	441.CC100	FALLA SELLOS ENTRADA/SALIDA	MONITOREO CONDICION INTEGRIDAD	H	MEC	I	P	360	D	41MECI	24	2	12
ENFRIADOR	441.CC100	FALLA RODILLO DE SOPORTE	CAMBIO DE ACEITE	H	LUB	P	P	360	D	41LUBI	24	2	12
ENFRIADOR	441.CC101	FALLA CAJA DE ENGRANAJE TRITURADORA	CAMBIO DE ACEITE	H	LUB	P	P	180	D	41LUBI	1	1	1
ENFRIADOR	441.CC102	FALLA CAJA DE ENGRANAJE TRITURADORA	CAMBIO DE ACEITE	H	LUB	P	P	1000	H	41LUBI	1	1	1
ENFRIADOR	441.CC103	FALLA BRINDAJE TRITURADORA	MONITOREO DE CONDICION (DESGASTE, GRIETA)	H	MEC	H	P	180	D	41MECI	6	1	3
ENFRIADOR	441.CC104	FALLA LUBRICANTE DE GRAFITO TRITURADORA	MONITOREO DE CONDICION (DESGASTE, GRIETA)	H	MEC	I	P	180	D	41MECI	6	1	3
ENFRIADOR	441.CC105	FALLA SEGMENTOS	MONITOREO DE CONDICION (DESGASTE, GRIETA)	H	MEC	H	P	180	D	41MECI	6	1	3
ENFRIADOR	441.CC106	FALLA CAJA DE ENGRANAJE TRITURADORA	INSPECCION DE CONDICION OPER	H	PRO	I	M	15	D	41PRO	0	1	0,25
ENFRIADOR	441.CC107	FALLA LUBRICANTE DE GRAFITO TRITURADORA	INSPECCION DE CONDICION OPER	H	PRO	I	M	15	D	41PRO	0	1	0,25
ENFRIADOR	441.CC108	FALLA RODAMIENTO TRITURADORA	INSPECCION DE CONDICION OPER	H	PRO	I	M	15	D	41PRO	0	1	0,25

## ANEXO D: Instructivo y rutina de mantenimiento de una Planta cementera

<b>INSTRUCTIVO Y RUTINA DE MANTENIMIENTO</b>			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ESPECIALIDAD	SITUACIÓN
<b>G41M0104</b>	<b>P 6M SOPLADOR</b>	<b>MECÁNICO</b>	<b>PARO</b>
<b>EJECUTAR POR: MECÁNICO</b>			
<p><b>SEGURIDAD INDUSTRIAL</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seguir procedimiento para bloqueo eléctrico.</li> <li>2. Utilizar los elementos de protección personal. (Casco, gafas, auditivos, mascarilla, guantes tipo ingeniero, botas con puntera).</li> <li>3. Se debe de tener precaución, por temperaturas elevadas, en el equipo a reparar o sus alrededores.</li> <li>4. Utilizar camisión y polainas de cuero para los brazos.</li> <li>5. Analizar los posibles riesgos con los equipos aledaños que estén en movimiento.</li> <li>6. Utilizar la herramienta adecuada y correctamente.</li> <li>7. No levantar piezas mayores a 25 kg. Si la pieza sobrepasa este peso se debe de efectuar el movimiento en conjunto con dos o más personas según se requiera. Utilizar la herramienta adecuada.</li> <li>8. En el desarme se deben de ubicar, en forma ordenada, los accesorios que se retiren del equipo para evitar accidentes y pérdida de componentes que puedan afectar el buen funcionamiento.</li> <li>9. En caso de conato de incendio avisar al personal de la brigada</li> </ol> <p><u>PERMISO ESPECIAL</u></p> <p>Diligenciar el Formato: AUTORIZACIÓN PARA TRABAJOS ESPECIALES</p> <p>Seleccionar que el trabajo a realizar es:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Trabajos en Caliente</li> <li>2. Trabajos Energía cero</li> </ol> <p><b>SEGURIDAD AMBIENTAL</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Si se presenta derrames de materiales, aceites, grasas, sólidos, líquidos informar al operario y sala de control.</li> <li>2. Determinar la causa del derrame; eliminar o informar al inspector de campo y al Operario</li> <li>3. Si se presenta fuga de material emitido por el equipo u otros cercanos, informar o generar OT.</li> <li>4. Recolectar los desechos generados durante el mantenimiento del equipo y depositarlos en los sitios adecuados.</li> <li>5. Dejar el área limpia y ordenada.</li> </ol>			

**ANEXO D (continuación):** Instructivo y rutina de mantenimiento de una  
Planta cementera

INSTRUCTIVO Y RUTINA DE MANTENIMIENTO			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ESPECIALIDAD	SITUACIÓN
<b>G41M0104</b>	<b>P 6M SOPLADOR</b>	<b>MECÁNICO</b>	<b>PARO</b>
<p><b>HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS</b></p> <p>1. Herramienta personal Llaves mixtas de 1/4" a 1" Juego de llaves Allen</p> <p>2. Calibrador galgas</p> <p>3. Calibrador Pie de Rey</p> <p>8. Medidor de espesores</p> <p><b>OPERACIONES TÉCNICAS</b></p> <p><u>SOPLADOR</u></p> <p>1. Verifique el buen funcionamiento de las correas (tensión, desgaste, grietas...) Retire la guarda de seguridad de las correas para verificar.</p> <p>2. Verifique el buen funcionamiento de las poleas (alineación, desgaste, bujes, sujeción a los ejes, grietas, carcasa)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilice una regla recta,</li> <li>• Ubíquela sobre la superficie frontal de ambas poleas</li> <li>• Verifique que la regla haga contacto con los cuatro extremos de las poleas.</li> </ul> <p>3. Verifique que el grado de resistencia del filtro sea inferior a -45mbar, si es superior limpie Para limpiar el filtro:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Remueva la(s) rosca(s) que asegura la tapa del depósito del filtro</li> <li>• Remueva la tapa del depósito del filtro</li> <li>• Remueva el filtro</li> <li>• Limpie el filtro</li> <li>• Instale el filtro limpio</li> <li>• Coloque la tapa del depósito</li> <li>• Coloque la rosca para asegurar la tapa</li> </ul> <p>4. Limpie el equipo</p>			
<b>NOTAS GENERALES</b>			

## ANEXO E: Análisis de riesgos operacionales

PASOS LÓGICOS DEL TRABAJO	RIESGOS	RECOMENDACIONES
1. Dirigirse a los enfriadores	1.1. Traumas y contusiones por caídas a igual nivel.	1.1.1. Utilice botas antideslizantes.
	1.2. Lesiones respiratorias por inhalación de material particulado.	1.2.1. Utilice mascarilla con filtro para material particulado.
	1.3. Pérdida auditiva por exposición a ruido.	1.3.1. Utilice protección auditiva.
2. Parar y bloquear el equipo	2.1. Traumas múltiples por golpes con herramientas	2.1.1. Utilice guantes de carnaza.
		2.1.2. Utilice botas antideslizantes
	2.2. Quemaduras y muerte por contacto directo con energía eléctrica (electrocución).	2.2.1. Espere la autorización del encargado del área.
		2.2.2. Verifique que el sistema este bloqueado contra energías peligrosas.
	2.2.3. Utilice equipo de protección personal dieléctrico.	
	2.3. Afecciones respiratorias por inhalación de material particulado	2.3.1. Utilice mascarilla con filtro para material particulado.
3. Destapar cámaras del enfriador	3.1. Traumas múltiples por golpes con herramientas	3.1.1. Utilice guantes de carnaza.
		3.1.2. Utilice botas antideslizantes
		3.1.3. Utilice casco de seguridad.
		3.1.4. Verifique que la herramienta se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento.
	3.2. Hernias y lumbagos por sobreesfuerzos con herramientas y cargas.	3.2.1. Levante o descargue objetos de peso máximo de 25 Kg.; en caso de que el peso sea mayor busque ayuda de un compañero.
		3.2.2. Al manipular las llaves ubíquese de frente y en posición firme
4. Inspección del Enfriador	4.1. Traumas múltiples por caídas a igual nivel.	4.1.1. Utilice botas con puntera de acero.
	4.2. Afecciones respiratorias por inhalación de material particulado	4.2.1. Utilice mascarilla con filtro para material particulado.
	4.3. Traumas múltiples por golpes con las estructuras	4.3.1. Utilice guantes de carnaza.
		4.3.2. Utilice botas antideslizantes

**ANEXO E (continuación):** Análisis de riesgos operacionales

PASOS LÓGICOS DEL TRABAJO	RIESGOS	RECOMENDACIONES
5. Mantenimiento mecánico y civil del enfriador	5.1. Contusiones y heridas por golpes con herramientas manuales.	5.1.1. Utilice guantes de carnaza y portaherramientas.
		5.1.2. Verifique que la herramienta se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento.
		5.1.3. Utilice las herramientas necesarias y adecuadas a la labor que va a realizar.
	5.2. Fracturas, heridas y muerte por caídas a diferente nivel.	5.2.1. Instalar sistema de anclaje.
		5.2.2. Utilice arnés de cuerpo completo.
		5.2.3. Asegure la eslinga a una parte fija de la estructura y/o línea de vida.
	5.3. Quemaduras, shock y muerte por electrocución con equipo de soldadura.	5.3.1. Verifique que las instalaciones y conexiones eléctricas sean adecuadas.
5.4. Cataratas por exposición a radiación UV	5.3.2. Mantenga lejos de fuentes de calor los cilindros de soldadura.	
5.6. Afecciones oculares por proyección de partículas.	5.4.1. Utilice careta para soldador.	
5.7. Afecciones respiratorias por inhalación de material particulado.	5.6.1. Utilice gafas de seguridad.	
6. Tapar cámaras del enfriador	6.1. Traumas múltiples por golpes con herramientas	5.7.1. Utilice mascarilla con filtro para material particulado.
		6.1.1. Utilice guantes de carnaza.
		6.1.2. Utilice botas antideslizantes
		6.1.3. Utilice casco de seguridad.
	6.2. Hernias y lumbagos por sobreesfuerzos con herramientas y cargas.	6.1.4. Verifique que la herramienta se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento.
6.2.1. Levante o descargue objetos de peso máximo de 25 Kg.; en caso de que el peso sea mayor busque ayuda de un compañero. 6.2.2. Al manipular las llaves ubíquese de frente y en posición firme		