

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**



**“MEJORA DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE ÓRDENES DE  
TRABAJO DEL PLAN ANUAL DE MANTENIMIENTO UTILIZANDO LA  
METODOLOGÍA RCM Y EL SOFTWARE ERP J.D. EDWARDS  
ONEWORLD EN PLANTA 3 DE CERÁMICA SAN LORENZO”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**PAULINO MEZONES, CARLOS DANIEL**

**Villa El Salvador**

**2016**

A mis padres, por todo el sacrificio realizado hasta el día de hoy, para darnos lo mejor a mis hermanos y a mí.

A mi familia, por el apoyo brindado durante los años de estudios y la por toda la confianza depositada en mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría, en estas líneas, expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo.

También quiero dar las gracias a la empresa San Lorenzo SAC, por el suministro de datos necesarios para la realización de la parte empírica de este proyecto, además por la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

Por último, hago extensiva mi gratitud a mi asesor, por toda la paciencia y tiempo brindado, para poder desarrollar de la mejor manera este trabajo.

# ÍNDICE

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	IX
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA</b>	
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	10
1.2. Justificación del Problema.....	13
1.3. Delimitación del Proyecto.....	13
1.4. Formulación del Problema.....	14
1.5. Objetivos.....	14
1.5.1. Objetivo General.....	14
1.5.2. Objetivos específicos.....	14
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Antecedentes de Investigación.....	15
2.2. Bases Teóricas.....	19
2.2.1. Gestión de Mantenimiento.....	19
2.2.1.1. Definición de Mantenimiento.....	19
2.2.1.2. Evolución del Mantenimiento.....	20
2.2.1.3. Tipos de Mantenimiento.....	21
2.2.1.4. Organización de Mantenimiento.....	26
2.2.1.5. Control de Gestión del Mantenimiento.....	27
2.2.2. Plan Anual de Mantenimiento.....	33
2.2.2.1. Plan de Mantenimiento.....	33
2.2.2.2. Formas de Elaborar un Plan de Mantenimiento.....	34
2.2.3. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	37
2.2.3.1. Origen y Definición del RCM.....	37
2.2.3.2. Las 7 Preguntas Básicas del RCM.....	39
2.2.3.3. Aplicación del RCM.....	56
2.2.3.4. Beneficios del RCM.....	58
2.2.4. Software ERP J.D. Edwards OneWorld.....	60
2.3. Marco Conceptual.....	62

### **CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE ÓRDENES DE TRABAJO**

3.1.	Análisis del Sistema.....	64
3.2.	Implementación del Sistema.....	65
3.2.1.	Optimización del PAM Utilizando el RCM.....	66
3.2.1.1.	Gantt de Implementación del RCM.....	66
3.2.1.2.	Identificación de Equipos.....	68
3.2.1.3.	Determinación de la Situación Actual.....	70
3.2.1.4.	Elaboración del Análisis de Modo y Efecto de Fallas.....	71
3.2.1.5.	Criticidad de Equipos.....	75
3.2.2.	Estandarización de Términos y Campos para la Generación de OT.....	77
3.2.2.1.	Identificación de Tipos de Actividades, Componentes y Frecuencias...	78
3.2.2.2.	Estandarización de Terminologías.....	80
3.2.2.3.	Designación de Campos Ingresados en las OT's.....	82
3.2.3.	Carga del PAM y Habilitación del Módulo de Generación Automática.....	86
3.2.3.1.	Carga del PAM Optimizado al Software.....	87
3.2.3.2.	Habilitación del Módulo de Generación Automática de OT's.....	88
3.3.	Revisión y Consolidación de Resultados.....	89
3.3.1.	Hojas de Decisiones del RCM.....	90
3.3.2.	OT Modelo para la Generación Automática.....	92
3.3.3.	Corrida Del Programa de Generación Automática de OT's.....	93
3.3.4.	Mejora de Indicadores del área de Mantenimiento.....	95
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	98
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	100
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	101

## LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Funciones de Mantenimiento.....	20
Figura 2: Mantenimiento luego de la falla del motor.....	22
Figura 3: Limpieza del equipo.....	24
Figura 4: Análisis Termográfico.....	25
Figura 5: Puntos clave del KPI.....	30
Figura 6: Pirámide de Bird.....	32
Figura 7: Proceso de Elaboración de Protocolos de Mantenimiento.....	36
Figura 8: Diferentes Contextos Operacionales.....	38
Figura 9: Capacidad Inicial vs Funcionamiento Deseado.....	40
Figura 10: Tiempo de parada de maquina vs tiempo de reparación.....	44
Figura 11: Faja Transportadora.....	46
Figura 12: Funcionamiento vs Edad de Activo.....	48
Figura 13: Probabilidad de Fallas.....	49
Figura 14: Patrones de Resistencia ante un Esfuerzo.....	51
Figura 15: Curva P – F.....	52
Figura 16: Intervalo P – F.....	53
Figura 17: Recorridas por Inspección.....	55
Figura 18: Diagrama de Decisiones.....	56
Figura 19: Representación del Enfoque Amplio del RCM.....	58
Figura 20: Beneficios finales del RCM.....	59
Figura 21: Inicio de Sesión en OneWorld.....	61
Figura 22: Visualizador de Datos del OneWorld.....	61
Figura 23: Criticidad de Equipos.....	76
Figura 24: Campos a Ingresar en General.....	83
Figura 25: Campos a Ingresar en Códigos.....	84
Figura 26: Campos a Ingresar en Clasificación.....	85
Figura 27: Campos a Ingresar en Asignaciones.....	86
Figura 28: Módulo de generación automática de OT's .....	89

Figura 29: OT Modelo.....	92
Figura 30: Ventana Solicitud de Versión.....	93
Figura 31: Data Selección.....	94
Figura 32: OT´s Generadas por el Software.....	95
Figura 33: MTBF de los equipos de Molienda Seca .....	96
Figura 34: MTTR de los equipos de Molienda Seca .....	96
Figura 35: Disponibilidad de Molienda Seca .....	97

## LISTADO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Gantt de Actividades.....	28
Tabla 2: Esbozo de un Plan de Mantenimiento.....	34
Tabla 3: Hoja de Modos de Falla.....	42
Tabla 4: Gantt de Implementación de RCM – 2015.....	67
Tabla 5: Listado de Equipos de Molienda Seca.....	68
Tabla 6: Criterios del AMEF.....	71
Tabla 7: Análisis de Modo y Efectos de Fallas del MRV200.....	72
Tabla 8: Análisis de Fallas del GRC700 Parte I.....	73
Tabla 9: Análisis de Fallas del GRC700 Parte II.....	74
Tabla 10: Factores de Criticidad de Equipos.....	75
Tabla 11: Criticidad de Equipos de Molienda seca.....	77
Tabla 12: Lista de Actividades de Mantenimiento.....	78
Tabla 13: Lista de Componentes.....	79
Tabla 14: Lista de Frecuencias.....	80
Tabla 15: Estandarización de Términos – Actividades.....	80
Tabla 16: Estandarización de Términos – Componentes.....	81
Tabla 17: Estandarización de Términos – Frecuencias.....	82
Tabla 18: Hoja de Decisiones de MRV 200.....	91

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se basa en la mejora del proceso de Generación de órdenes de trabajo en una empresa de cerámicos. A través del estudio se establecen las pautas y mejoras necesarias para que el proceso pueda desarrollarse de manera óptima, estandarizada y automática. Es decir, se Optimiza el Plan Anual de Mantenimiento, se estandariza las órdenes de trabajo y se utiliza una ERP para la generación automática de las mismas.

En el primer capítulo, se formula el problema que conlleva a la realización de este trabajo, que es el proceso en cómo se generan las ordenes de trabajo, de forma manual. El segundo capítulo pretende mostrar toda la información utilizada y requerida para poder desarrollar el trabajo realizado. Por último El tercer capítulo muestra los resultados obtenidos luego de la implementación de la mejora propuesta en trabajo realizado.

Cabe resaltar que debido a la gran información que se maneja al utilizar la metodología del RCM, se ha presentado la información de la implementación en los equipos más importantes de un área de la empresa en el que se desarrolla el trabajo.

Por último, es necesario indicar que el principal alcance del presente trabajo es mejorar el proceso de generación de órdenes de trabajo; de una generación manual, arbitraria y basada en un plan no muy confiable, a una generación automática, estandarizada y basada en un plan optimizado.

## **1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

Hoy en día uno de los problemas que aqueja al sector industrial, es la forma de programar el mantenimiento de los equipos industriales, puesto que, realizar un mantenimiento prematuro implica un gasto en materiales y dispositivos (en caso sea un cambio preventivo) que pueden seguir funcionando sin problemas, mientras que si el mantenimiento tarda en realizarse puede producir un desperfecto en el equipo y hacer que este falle y por ende se pierda producción. Cual sea que fuese el caso la empresa tendría pérdidas económicas, por ende la planificación y programación de actividades de mantenimiento se deben realizar con la mayor precisión posible.

Es cierto que en algunas ocasiones el mantenimiento se debe efectuar de forma inmediata por falla repentina del equipo, a este tipo de mantenimiento se le denomina "Mantenimiento Correctivo", el cual se realiza para corregir el desperfecto o falla que ha surgido en el equipo.

Para evitar estos desperfectos o fallas se debe realizar el “Mantenimiento Preventivo”, el cual consiste realizar cambios, ajustes, limpiezas, mediciones, etc. Para prevenir que el equipo falle.

Por ello es importante tener un Plan Anual de Mantenimiento (PAM) eficiente, que permita realizar los mantenimientos de la forma más exacta posible, para esta optimización del PAM existe un método denominado Reliability Centred Maintenance (RCM) el cual significa *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. Apoyados en esta técnica, es posible optimizar el PAM para poder desarrollarlo de la mejor manera.

Una vez obtenido el PAM de forma eficiente, es necesario generar una Orden de Trabajo (OT) para cada actividad, con el fin que exista una trazabilidad en el sistema de gestión y ayude a la retroalimentación de las actividades a realizar. De aquí surge otro inconveniente; ¿Cómo? y ¿Dónde? hacer las OT's. Las OT's no tienen un formato único, pero deben incluir por lo menos información como: tipo de actividad, su prioridad, duración, recursos humanos, materiales utilizados, entre otros datos que permitan evaluar la eficiencia de la actividad del mantenimiento, así como implicaciones en costos y programación. Estas OT's se pueden realizar en un simple documento (ya sea Word o Excel) o utilizar un sistema como un Enterprise Resource Planning (ERP), que

en español significa *Planificación de Recursos Empresariales* según sea la situación de la empresa.

En el área de mantenimiento en la planta 3 de la empresa Cerámica San Lorenzo SAC. Se desarrollaban las OT's del PAM de forma manual en un ERP denominado *J.D. EDWARDS ONEWORLD*, es decir, se realiza una a una la OT por cada actividad que hay en el PAM, lo cual demandaba gran cantidad de tiempo, debido a que por mes la cantidad de OT's son entre 800 y 1,000 unidades para toda la planta, entre las cuales contienen actividades como: Inspecciones, Mantenimientos Preventivos, Lubricaciones, Análisis Termográficos, Análisis Vibracionales.

Esta situación, como ya se mencionó, demanda una gran cantidad horas de trabajo debido a que al realizar una OT se debe ingresar al sistema diversa información como: código del equipo, descripción del trabajo, fecha de programación, fecha de ejecución, área de ejecución, tipo de actividad, sub equipo, entre otras consideraciones. Además este trabajo es responsabilidad de una persona, el cual designaba, en un inicio, un total del 75% del tiempo, luego de la adaptación a la ERP, un total del 40% del tiempo de trabajo en realizar dicha actividad. Es por ello que surge la necesidad de buscar un medio más sencillo y rápido de realizar la generación de OT's.

## 1.2. Justificación del problema

Debido a que la generación de las OT's para el PAM de mantenimiento son realizadas forma manual y demandan una gran cantidad de tiempo, y a su vez es la responsabilidad de la generación de las OT's es de una sola persona. El proyecto es justificado, ya que, al lograr los objetivos deseados, se obtendrá mayor rapidez de generación de OT's y una mejor planificar los trabajos requeridos por las diferentes áreas de la empresa. De este modo se aprovechará mejor la ERP que se utiliza y se economizará tiempo de recurso humano, el cual se puede aprovechar en la gestión de estas actividades.

## 1.3. Delimitación del proyecto

El siguiente proyecto consiste en la Mejora del proceso de generación de Órdenes de Trabajo del Plan Anual de Mantenimiento basado en la Confiabilidad de equipos del área de mantenimiento en la planta 3 de la empresa San Lorenzo SAC, desarrollado entre Mayo del 2015 y Marzo del 2016, en coordinación con las otras plantas de la empresa (Planta 1 y Planta 2), el área de sistemas de la empresa y el asesoramiento de un representante de la ERP *J.D. EDWARDS ONEWORLD - SONDA*.

#### 1.4. Formulación del problema

¿Cómo se puede optimizar y/o mejorar la generación de Órdenes de Trabajo del Plan Anual de Mantenimiento en la planta 3 de la empresa San Lorenzo SAC, para mejorar la planificación de actividades del área?

#### 1.5. Objetivos

##### 1.5.1. Objetivo general:

- Mejorar el proceso de generación de Órdenes de Trabajo, de generación manual a generación automática, para el Plan Anual de Mantenimiento en la Planta 3 de Cerámica San Lorenzo en la ERP *J.D. EDWARDS*.

##### 1.5.2. Objetivos específicos:

- Optimizar el Plan Anual de Mantenimiento aplicando la metodología RCM.
- Estandarizar la terminología y los campos de información, que deben ser ingresados al software al momento de realizar la generación de las OT's.
- Cargar el Plan Anual de Mantenimiento basado en la Confiabilidad de Equipos y coordinar la implementación del módulo de generación automática de OT's en el software ERP *J.D. EDWARDS ONEWORLD*.
- Realizar la prueba en módulo del sistema de la ERP (Corrida) y corregir los inconvenientes si los hubiese

## 2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de investigación:

David Esteban Vásquez Oyarzún (2008), realizó la tesis *“Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM en motores detroit 16v-149ti en Codelco División Andina”* en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Austral de Chile, para optar por el título de Ingeniero Mecánico. Obteniendo las siguientes principales conclusiones:

- El RCM se puede aplicar a cualquier equipo o conjunto de ellos. Lo fundamental es preparar una persona experta o facilitador en RCM y alimentarlo con el personal técnico, que es el que tiene los conocimientos de los activos, en cuanto a funcionamiento, operación, fallas, mantenciones, etc.
- Al realizar este análisis se generó una base de datos con información actual y detallada de todas las fallas que han sucedido y que posiblemente sucedan al equipo. Cabe destacar que la idea de un análisis RCM es su retroalimentación.

Martin Da Costa Burga (2010), realizó la tesis *“Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción”* en la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, para optar por el título de Ingeniero Mecánico. Obteniendo las siguientes principales conclusiones:

- De acuerdo al AMEF y la clasificación obtenida a través del NPR (Número de Prioridad de Riesgo), de los 124 modos de falla analizados, se obtuvo lo siguiente: 26 fallas inaceptables (21.0%), 43 fallas de reducción deseable (34.7%) y 55 fallas aceptables (44.3%).

Estos trabajos ayudaron en la comprensión de la trazabilidad que se debe realizar al momento de aplicar la metodología del RCM a un determinado equipo, para poder obtener buenos resultados.

Claudia Isabel Losada Rovida (2010), desarrolló la tesis *“Diseño y propuesta del sistema de compras a terceros”* en el Decanato de Estudios Profesionales Coordinación de Ingeniería de Producción y Organización Empresarial de la Universidad Simón Bolívar de Venezuela, para optar por el título de Ingeniero de Producción. Obteniendo las siguientes principales conclusiones:

- Se genera rutas de aprobación estructuradas, de manera que haya un solo encargado de generar las órdenes de compra para luego ser aprobadas por los gerentes correspondientes a las ramas de la compañía que necesiten ese producto o servicio.

Javier Morante Briceño (2012), realizó la tesis *“Desarrollo del equipo de soporte A.P.S. (Advanced Planning Systems) de la empresa grupo ASSA para elevar la calidad del servicio IT en la planificación y distribución de la producción a nivel global”* en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma del Perú, para optar por el título de Ingeniero Industrial. Obteniendo las siguientes principales conclusiones:

- La disminución de la calidad del servicio se manifiesta ante el usuario final por medio del cuadro VIII “APS-TICKETS SIN RESOLVER” que no es más que el reflejo que las tareas sin atender o investigación incompleta, por mes.

El desarrollo, estructura y funcionalidades del software, JD Edwards, a utilizar en este proyecto, son desarrollados en los trabajos citados anteriormente, permitiendo así conocer desde otro enfoque la utilidad del software, lo cual será de mucha ayuda al momento de realizar la generación de órdenes de trabajo en el software.

Kermes Jeremías Mella Castillo (2002), realizó la tesis *“Plan de lubricación con aplicación del software SAP, módulo mantención, en la empresa MASISA planta Puschmann”* en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Austral de Chile, para optar por el título de Ingeniero Mecánico. Obteniendo las siguientes principales conclusiones:

- Con la aplicación del ERP, se pueden ver mejoras sustanciales, comparadas con los métodos tradicionales de planificación; reflejándose en una disminución de las labores administrativas y un aumento en el control y seguridad en los trabajos, lo que se traduce en un menor costo en las operaciones de mantenimiento.

Omar David Chavesta Villanueva (2008), realizó *“Mejora del proceso de generación de órdenes de trabajo en una empresa de concreto premezclado”*, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, para optar por el título de Ingeniero Industrial. Obteniendo las principales conclusiones:

- El poco conocimiento de la interrelación entre los procesos internos y su implicancia, por parte del personal a nivel gerencial y operativo, no permiten una gestión adecuada del proceso de la generación de órdenes de trabajo.

Los diferentes procesos de generación de órdenes de trabajo permitirán tener un punto de comparación al momento de desarrollar el proyecto.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Gestión de Mantenimiento

#### 2.2.1.1. Definición de Mantenimiento

Se entiende por mantenimiento a la función empresarial a la que se encomienda el control del estado de las instalaciones de todo tipo, tanto las productivas como las auxiliares y de servicios. En este sentido se puede decir que el mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un coste mínimo. [1]

Cuando nos disponemos a mantener algo, ¿Qué es eso que deseamos causar que continúe?, ¿Cuál es el estado existente que deseamos preservar? Las respuestas a estas preguntas a estas preguntas está dada por el hecho de que todo activo físico es puesto en funcionamiento porque alguien quiere que haga algo, en otras palabras, se espera que cumpla una función o ciertas funciones específicas. Por ende al mantener un activo, el estado que debemos preservar es aquel en el que continúe haciendo aquello que los usuarios quieran que haga. [2]

### 2.2.1.2. Evolución del Mantenimiento

El término “mantenimiento” se empezó a utilizar en la industria hacia 1950 en EE.UU. En Francia se fue imponiendo progresivamente el término. El concepto ha ido evolucionando desde la simple función de arreglar y reparar los equipos para hasta la concepción actual del MANTENIMIENTO como un proceso de reparar, preservar, mantener, mejorar y proyectar los equipos a fin de optimizar el coste global. La figura 1 ilustra lo descrito anteriormente.



Figura 1. Funciones de Mantenimiento.

Fuente: <http://es.slideshare.net/jorgehossam/tecnicas-de-gestion-mantenimiento-industrial>

Se puede distinguir 4 generaciones de la evolución del mantenimiento:

1ª Generación: Fue la más larga, desde la revolución industrial hasta después de la 2ª Guerra Mundial. Aunque todavía impera en muchas industrias. El mantenimiento se ocupa sólo de arreglar las averías.

2ª Generación: Ocurrió entre la 2ª Guerra Mundial y finales de los años 70, en donde se descubre la relación entre la edad de los equipos y la probabilidad de fallo. Se empieza a hacer sustituciones previas al fallo.

3ª Generación: Surge a principios de los años 80. Se empieza a realizar estudios CAUSA-EFECTO para averiguar el origen de los problemas, se empieza a hacer partícipe a Producción en las tareas de detección de fallas.

4ª Generación: Aparece en los primeros años de los 90. El Mantenimiento se contempla como una parte del concepto de Calidad Total: “Mediante una adecuada gestión del mantenimiento es posible aumentar la disponibilidad al tiempo que se reducen los costos”. [1]

#### 2.2.1.3. Tipos de Mantenimiento

Dentro de la industria, se consideran estos tres principales tipos de mantenimiento:

Mantenimiento Correctivo: Consiste en realizar las acciones necesarias para dejar la instalación o equipo en el estado que se encontraba antes de la avería.

El responsable del mantenimiento, a la vista del estado en el que haya quedado la situación tras repararse la avería, debe decidir si conviene mejorarlo. Por ejemplo, se produce un corto circuito en un cuadro eléctrico, el técnico lo ha puenteado y situado una protección provisional. Dependiendo del estado del cuadro y de los planes que existan para la instalación, puede convenir; restaurar el cuadro, cambiarlo por otro nuevo o dejarlo puenteado porque se va a modificar o anular el conjunto que forma parte del cuadro. Aquí se entiende la conveniencia (en la mayoría de casos) en separar la resolución de la avería de la completa reparación. La figura 2 grafica el mantenimiento correctivo en el día a día. [3]



Figura 2. Mantenimiento luego de la falla del motor.  
Fuente: <http://www.lasaventurasderuivik.com/2015/03/03/la-ira-de-sauron-nos-lleva-a-ohakune/>

Mantenimiento Preventivo: Consiste en evitar la ocurrencia de fallas en las máquinas o los equipos del proceso. Este mantenimiento se basa un "plan", el cual contiene un programa de actividades previamente establecido con el fin de anticiparse a las anomalías.

En la práctica se considera que el éxito de un mantenimiento preventivo radica en el constante análisis del programa, su reingeniería y el estricto cumplimiento de sus actividades.

Existen varios tipos de mantenimiento preventivo:

- **Mantenimiento periódico**: Este mantenimiento se efectúa luego de un intervalo de tiempo que ronda los 6 y 12 meses. Consiste en efectuar grandes paradas en las que se realizan reparaciones totales (Overhaul). Esto implica una coordinación con el departamento de planeación de la producción, el cual deberá abastecerse de forma suficiente para suplir el mercado durante los tiempos de parada. Así mismo, deberá existir un aparte detallado de repuestos que se requerirán, con el objetivo de evitar sobrecostos derivados de las compras urgentes o desabastecimiento de los mismos.
- **Mantenimiento programado (intervalos fijos)**: Este mantenimiento consiste en operaciones programadas con determinada frecuencia para efectuar cambios en los equipos o máquinas de acuerdo con las especificaciones de

los fabricantes o a los estándares establecidos por ingeniería. Una de sus desventajas radica en que se puedan cambiar partes que se encuentren en buen estado, incurriendo en sobrecostos. Sin embargo, muchas de las compañías con mejores resultados en términos de confiabilidad son fieles al mantenimiento programado, despreciando el estado de las partes.

- Mantenimiento Rutinario: Es un mantenimiento basado en rutinas, usualmente sugeridas por los manuales, por la experiencia de los operadores y del personal de mantenimiento. Además es un mantenimiento que tiene en cuenta el contexto operacional del equipo. [4]

El mantenimiento preventivo más simple de todos, se ilustra en la figura 3.

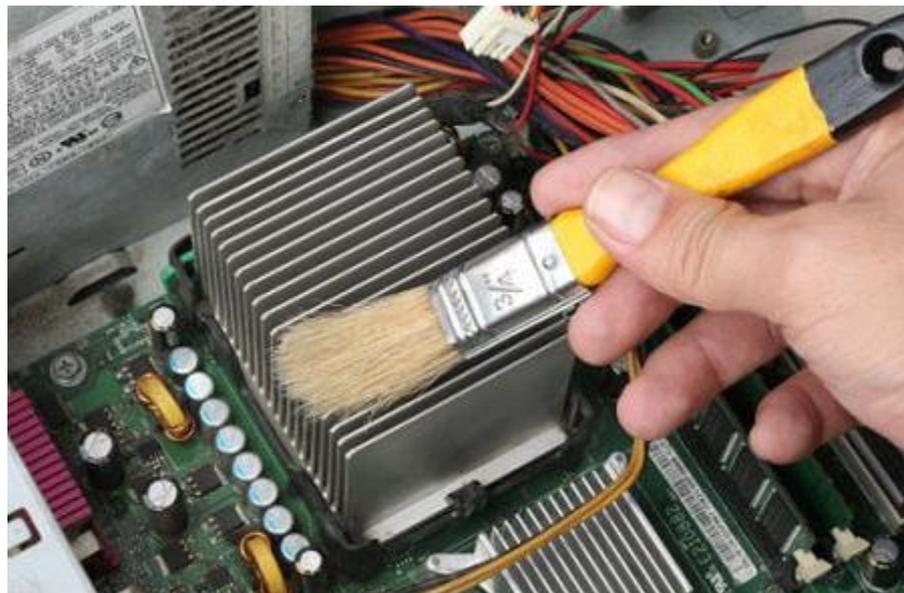


Figura 3. Limpieza del equipo.  
Fuente: [http://www.sistemasbee.com/mantenimientos\\_info](http://www.sistemasbee.com/mantenimientos_info)

Mantenimiento Predictivo: Más que un tipo de mantenimiento, se considera dentro del mantenimiento preventivo como una técnica de detección precoz de síntomas para ordenar la intervención antes de la aparición del fallo. Dentro de este tipo de mantenimiento se encuentra la lubricación, análisis termográficos, análisis vibracionales, entre otros.

Dentro de sus principales ventajas se encuentra la determinación óptima del tiempo de vida para realizar el mantenimiento preventivo, ejecución de la medición sin intervenir con el funcionamiento de los equipos y mejor el conocimiento y control del estado de los equipos.

La figura 4 muestra un ejemplo de cómo se realiza el análisis termográficos, el cual consiste en tomar medidas de la temperatura de las instalaciones de los tableros eléctricos.



Figura 4. Análisis Termográfico.

Fuente: <http://arregaindustrial.com/aplicacion-de-la-termografia-por-infrarrojos-al-mantenimiento-predictivo/>

#### 2.2.1.4. Organización de Mantenimiento

Existen dos aspectos que afectan la estructuración del mantenimiento:

Dependencia Jerárquica: En algunos casos Mantenimiento y Producción dependen de una misma dirección o gerencia, en otros casos Mantenimiento depende de Producción.

Producción y Mantenimiento deben de estar en el mismo nivel jerárquico, para que la política de Mantenimiento sea racional

Centralización / descentralización: Se refiere a la estructura interna de mantenimiento, siendo la centralización jerárquica propicia para optimización de medios, dominio de costos, mejor gestión de personal, entre otros. Mientras que la descentralización jerárquica permite una mejor delegación de actividades, mejor relación con Producción, aumenta la eficacia y rapidez en la ejecución de trabajos correctivos, entre otros.

Es importante centralizar parte de mantenimiento como la gestión del personal, así como descentralizar todo el personal creando pequeños talleres en toda la planta para tener un mejor alcance como área.

#### 2.2.1.5. Control de Gestión del Mantenimiento

Control Presupuesto de Mantenimiento: Previo a realizar este presupuesto, es necesario saber el programa anual de producción debido a que, en general, Mantenimiento obtiene mayor presupuesto en cuanto mayor sea la producción.

Para poder desarrollar el presupuesto, se agrupan los gastos en 2 categorías: Mantenimiento Ordinario, en el cual se contemplan los mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos. Mantenimiento Extraordinario, el cual se enfoca en las grandes reparaciones, mejoras y paradas técnicas. Además se debe agregar: el coste por mano de obra operativa, gastos en general como agua, electricidad, etc.

Control de Gestión de Actividades: Toda actividad de mantenimiento da lugar a una Orden de Trabajo, a la cual se le asigna mano de obra, materiales, etc. Los cuales permiten su valoración. Una vez realizada la actividad, se procede a almacenar la OT en la base de datos de mantenimiento para realizar el análisis de la gestión. Para una buena gestión de varias actividades en simultáneo, se puede realizar un Gantt, el cual se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Gantt de Actividades.

FRECUENCIA 00:30  
HORA INICIO: 07:00

**MANTTO PROGRAMADO PRENSA Y SECADERO - L4**

FECHA : 23/06/2015

TAREA	SUBSISTEMA	TÉCNICO RESPONSABLE	SUPERVISOR RESPONSABLE	ID	INICIO	FIN	DURACION (HORA INICIO:)
<b>PRENSA 4</b>							
1	CAMBIO DE RODAMIENTOS DE CARRO	TECNICO 1	SUP 1	348156	07:00	10:00	03:00
3	LIMPIEZA Y PULVERIZACIÓN DE TRAVERSA	TECNICO 2	SUP 1	348158	07:00	07:30	00:30
4	MANTENIMIENTO DE TABLEROS ELÉCTRICOS	TECNICO 3	SUP 1	348159	07:30	09:00	01:30
5	CAMBIO DE FORMATO A 45X45	TECNICO 1 / TECNICO 2	SUP 1	348160	10:00	13:00	03:00
<b>SECADERO 4</b>							
1	CAMBIO DE CADENA DE TRANSMISIÓN RÁPIDA	TECNICO 4	SUP 2	348161	07:00	10:00	03:00
2	CAMBIO DE POLEAS TIPO RACHE SALIDA PISO 1	TECNICO 5 / TECNICO 6	SUP 2	348162	07:00	12:00	05:00
3	CAMBIO DE POLEAS TIPO RACHE SALIDA PISO 2						
4	CAMBIO DE POLEAS TIPO RACHE SALIDA PISO 3						
5	CAMBIO DE POLEAS TIPO RACHE SALIDA PISO 4						
6	CAMBIO DE POLEAS TIPO RACHE SALIDA PISO 5						
7	LIMPIEZA DE QUEIMADORES						
8	ALINEAMIENTO Y TENSADO DE FAJAS	TECNICO 7	SUP 2	348168	07:00	08:00	01:00
9	ALINEAMIENTO Y TENSADO DE FAJAS	TECNICO 7	SUP 2	348169	08:00	11:00	03:00
10	CAMBIO DE CADENA MOTORREDUCTOR ELEVACIÓN	TECNICO 7	SUP 2	348170	11:00	13:00	02:00

Fuente: Elaboración Propia.

Control de Gestión de equipos: Se debe asegurar el seguimiento de los equipos, obteniendo una base de datos sobre: estado de máquina, horas de uso, resultado de inspecciones, histórico de fallos, de la forma más precisa. El cálculo de MTBF y MTTR permitirá evaluar la disponibilidad.

Control de Gestión de existencias y aprovisionamiento: En coordinación con Almacén se debe gestionar la salida de los repuestos necesarios para las actividades de mantenimiento. En la gestión de existencias se compara el valor actual con el punto de pedido definido para cada repuesto, así de esta manera se emite una propuesta de compra en cuanto la cantidad de repuesto sea inferior al punto de pedido definido. Para determinar el punto de pedido definido se debe considerar el consumo anual, plazo de entrega y stock de seguridad del repuesto a analizar.

Este control nos permite analizar consumo de repuesto por equipo (costos), rotación de repuestos, etc.

Control de Gestión de Recursos Humanos: Se debe tener recogidos todos los datos necesarios para decidir, mejorar y orientar la gestión de la mano de obra. Datos como especialidades, antigüedad, cualificación, horas de capacitación, horas de absentismo, tipos de accidente, etc.

Control de Ratios de Control: También llamados índices o indicadores, son utilizado para el cuadro de mando y están formados por una relación convencional de dos dimensiones cuantificadas, que pueden ser de distinta naturaleza. [1]

En general se utilizan los Key Performance Indicator (KPI) en español significa Indicadores Clave de Desempeño. La figura 5 muestra los puntos clave de los KPI.

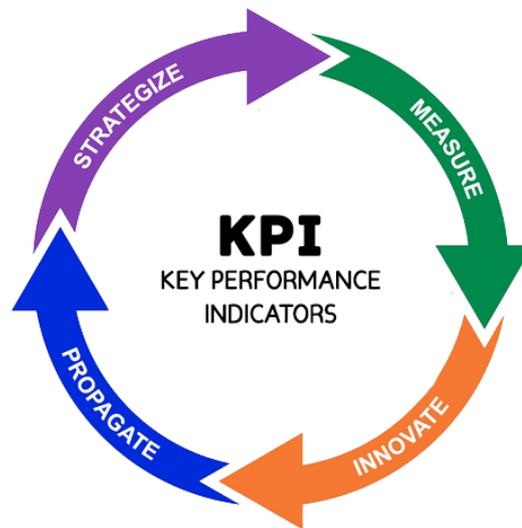


Figura 5. Puntos clave del KPI.  
Fuente: <https://www.40defiebre.com/youtube-trueview-revolucion-kpis/>

Entre las más utilizadas en mantenimiento se encuentran:

MTBF: “Tiempo Medio Entre Fallas”, está ligado a la fiabilidad de buen funcionamiento, expresada por la ecuación 1.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo de funcionamiento}}{\textit{Número de fallas}} \dots \dots \dots (1)$$

El resultado de esta relación representa la cantidad de tiempo que el equipo está disponible (funcionando) antes que ocurra un fallo o avería.

MTTR: “Tiempo Medio Para Reparar”, está ligado a la mantenibilidad en una intervención de mantenimiento, expresada por la ecuación 2.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de fallas}} \dots \dots \dots (2)$$

El resultado de esta relación representa la cantidad de tiempo promedio que se tarda en realizar la reparación de una falla. [5]

DISPONIBILIDAD: se refiere a la capacidad de una maquina en realizar su función durante un determinado tiempo, puede ser expresada por las ecuaciones 3 y 4.

$$DISP = \frac{\text{Tiempo efectivo de trabajo}}{\text{Tiempo planeado de trabajo}} = \frac{\text{Tiempo real de trabajo}}{\text{Tiempo ideal de trabajo}} \dots (3)$$

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \dots \dots \dots (4)$$

El resultado multiplicado por 100, representa el valor de la disponibilidad en porcentaje.

CUMPLIMIENTO: se refiere al cumplimiento de actividades de mantenimiento, está basado en el PAM, expresado por la ecuación 5.

$$CUMPLIMIENTO = \frac{\text{Cantidad de actividades realizadas}}{\text{Cantidad de actividades programadas}} \dots (5)$$

El resultado multiplicado por 100, representa el valor del cumplimiento en porcentaje.

INDICE DE ACCIDENTABILIDAD: referida a los accidentes ocurridos en el área. Contempla:

- Índice de Frecuencia: referido a la cantidad de accidentes ocurridos por cada millón de horas laboradas, expresada en la ecuación 6.

$$I_F = \frac{\text{Cantidad de accidentes ocurridos}}{\text{Horas trabajadas}} \times 10^6 \dots \dots \dots (6)$$

El estándar internacional es: Índice de frecuencia  $\leq 3$ .

- Índice de Gravedad: referido a la cantidad de días perdidos por cada mil horas laboradas. Expresada en la ecuación 7.

$$I_G = \frac{\text{Cantidad de dias perdidos}}{\text{Horas trabajadas}} \times 10^3 \dots \dots \dots (7)$$

El estándar internacional es: Índice de gravedad  $\leq 0.14$ .

Existe una relación entre los incidentes, daños materiales, lesiones leves y mortales, detallada en la siguiente figura.

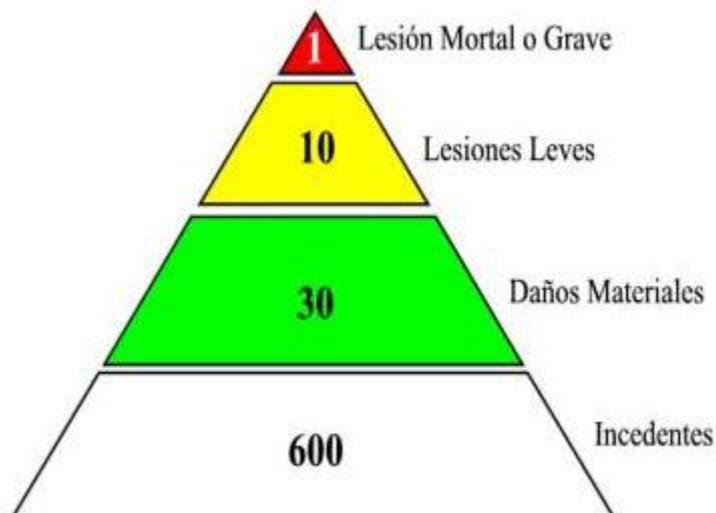


Figura 6. Pirámide de Bird.  
Fuente: <http://detodoconluis.blogspot.pe/>

## 2.2.2. Plan Anual de Mantenimiento

### 2.2.2.1. Plan de Mantenimiento

La planificación de los trabajos consiste en poner al ejecutor en disposición de realizar trabajo dentro del tiempo previsto, con buena eficiencia y según un procedimiento optimizado; también denominado, preparación de los trabajos.

La programación, luego de planificar los trabajos, establece el día y el orden de ejecución de los mismos. [1]

Un plan de mantenimiento es el conjunto de tareas de mantenimiento programado, agrupadas o no, siguiendo algún tipo de criterio, y que incluye a una serie de equipos de la planta, que habitualmente no son todos. Hay un conjunto de equipos que se consideran no mantenibles desde un punto de vista preventivo, y en los cuales es mucho más económico aplicar una política puramente correctiva (en inglés se denomina run to failure, o 'utilizar hasta que falle').

El plan de mantenimiento engloba tres tipos de actividades:

- Las actividades rutinarias que se realizan a diario, como limpieza y regulaciones de partes móviles y pernerías.
- Las actividades programadas que se realizan a lo largo del año, como inspecciones y análisis predictivos.

- Las actividades que se realizan durante las paradas programadas, es decir, actividades solo pueden ser realizadas con la maquina detenida. [6]

La tabla 2 muestra un esbozo de un PAM.

Tabla 2. Esbozo de un Plan de Mantenimiento.

PLAN DE MANTENIMIENTO								<input type="button" value="←"/> <input type="button" value="→"/> <input type="button" value="↶"/> <input type="button" value="↷"/> <input type="button" value="↵"/> <input type="button" value="↶"/> <input type="button" value="↷"/>																		
FECHA DE INICIO :				01-ene-15		61																				
FRECUENCIA :				1																						
UNIDAD DE FRECUENCIA :				DIA(s)																						
SEMANA ACTUAL N° :				345																						
ÁREA	TIPO DE ACTIVIDAD	TAREA	EQUIPO	CÓDIGO OT / ARCHIVO ADJUNT	Dur. z usad Frec (h)	FREC UEN CIA (D)	FRECUENCIA	01-ene-15	02-ene-15	03-ene-15	04-ene-15	05-ene-15	06-ene-15	07-ene-15	08-ene-15	09-ene-15	10-ene-15	11-ene-15	12-ene-15	13-ene-15	14-ene-15	15-ene-15	16-ene-15	17-ene-15	18-ene-15	
								J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	
								1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Mecánica Cinta pesadora (TD)	53023500	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	7	SEMANAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Eléctrica MRV (TD)	53021200	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	7	SEMANAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Eléctrica Quemador MRV (TD)	53021235	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	7	SEMANAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Eléctrica CINTA PESADORA (15D)	53023500	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	14	QUINCENAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Eléctrica COCLEA CT323 (15D)	53021100	<a href="#">CHECK LIST</a>	10.0	14	QUINCENAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Eléctrica FAJA 100 (15D)	53020101	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	14	QUINCENAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Mecánica FAJA 100 (15D)	53020101	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	14	QUINCENAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Eléctrica FILTRO DE PROCESO (15D)	53021300	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	14	QUINCENAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Mecánica GRC700 (15D)	53023700	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	14	QUINCENAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Mecánica MGP6 (15D)	53027300	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	14	QUINCENAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Eléctrica MRV (15D)	53021200	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	14	QUINCENAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Mecánica MRV (15D)	53021200	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	14	QUINCENAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Eléctrica QUEMADOR MRV (15D)	53021235	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	14	QUINCENAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Mecánica Cinta Pesadora (1M)	53023500	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	30	MENSUAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Eléctrica COCLEA CT323 (1M)	53021100	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	30	MENSUAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Mecánica COCLEA CT323 (1M)	53021100	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	30	MENSUAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Eléctrica FAJA 100 (1M)	53020101	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	30	MENSUAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Mecánica FILTRO DE PROCESO (1M)	53021300	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	30	MENSUAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Eléctrica FILTRO DE PROCESO (1M)	53021300	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	30	MENSUAL																			
MOLIENDA	INSPECCIÓN	Inspección Mecánica GRC700 (1M)	53023700	<a href="#">CHECK LIST</a>	1.0	30	MENSUAL																			

Fuente: Elaboración Propia.

### 2.2.2.2. Formas de Elaborar un Plan de Mantenimiento

A la hora de abordar el plan de mantenimiento de una instalación industrial, existen tres metodologías para llevarlo a cabo

Basándose en las recomendaciones de los fabricantes: Esta metodología se realiza con diversas aportaciones de los técnicos de mantenimiento de la planta.

La determinación de las tareas de mantenimiento programado que componen el plan de mantenimiento de una instalación

industrial puede hacerse por cualquiera de esos métodos, aunque la forma más habitual es basarse en las recomendaciones de los diversos fabricantes de los equipos que componen la planta. Esta metodología tiene algunas ventajas, como la sencillez a la hora de determinarlas. Pero también desventajas como el no aprovechamiento la completa vida útil de los repuestos.

Basándose en protocolos de mantenimiento por equipo: Este método de determinación de las tareas que componen el plan parte del concepto de que los diferentes equipos que componen la planta pueden agruparse en tipos genéricos de equipos o equipo tipo, y que a cada equipo le corresponden una serie de tareas preventivas con independencia del quien sea el fabricante y cual sea la configuración exacta del equipo. Así, es posible definir como equipo genérico una bomba centrífuga de gran caudal. Independientemente de quien sea el fabricante y cual sea el modelo exacto, es posible identificar una serie de tareas preventivas a realizar en cualquier bomba de HTF de gran caudal. El conjunto de tareas de mantenimiento que corresponde a un equipo tipo se denomina protocolo de mantenimiento programado.

Si se elaboran los protocolos de mantenimiento de todos los tipos de equipos presentes en una instalación industrial y se confecciona una lista con todos los equipos de que dispone la

central, solo hay que aplicar el protocolo de mantenimiento que le corresponde a cada uno de ellos para tener una lista completa y detallada de todas las tareas de mantenimiento preventivo a realizar en la planta. El posterior tratamiento de esta gran lista de tareas para agruparlas por sistema, frecuencia y especialidad irá formando las diferentes gamas que componen el plan de mantenimiento de la planta.

El proceso completo puede verse en la figura 7.

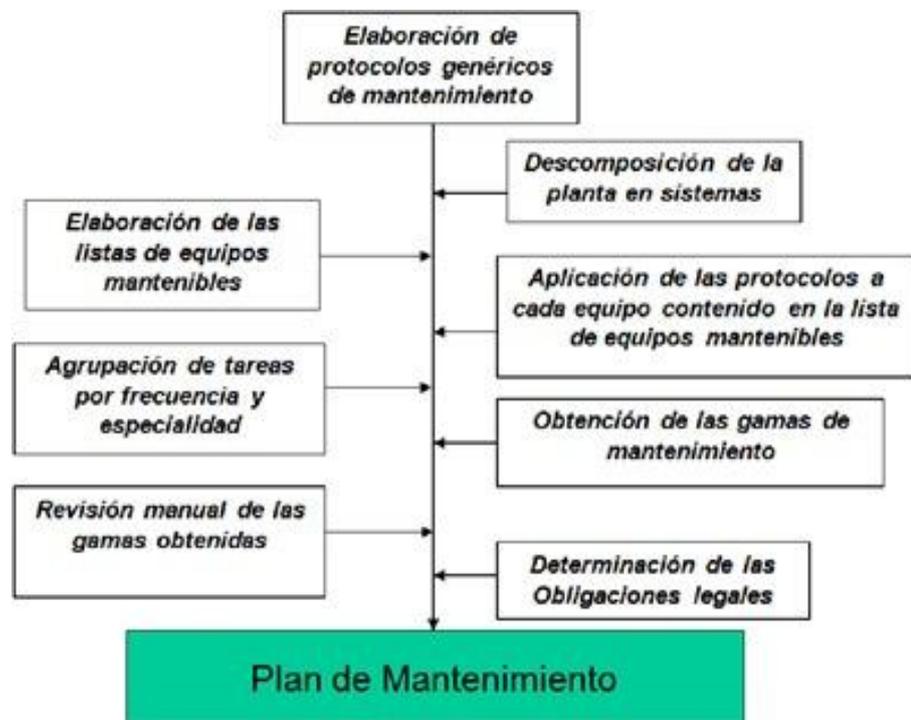


Figura 7. Proceso de Elaboración de Protocolos de Mantenimiento.  
Fuente: <http://www.santiagogarciagarrido.com/index.php/actividades-de-idi/planes-de-mantenimiento>

Por supuesto, la gran dificultad del trabajo consiste en elaborar los diversos protocolos de mantenimiento de cada equipo tipo, de forma rigurosa y eficaz. Para ello, es necesario consultar numerosa documentación y contar con expertos de todo tipo:

mecánicos, eléctricos, instrumentistas, especialistas en determinados equipos, fabricantes, etc.

Basándose en RCM: es decir, en el análisis de fallos potenciales de la instalación y en la determinación de medidas preventivas que eviten estos fallos en el futuro. Este punto será tratado con mayor profundidad en el siguiente apartado. [7]

### **2.2.3. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)**

#### **2.2.3.1. Origen y definición del RCM**

En 1974 el departamento de defensa de los EEUU comisionó a “United Airlines” para preparar un informe sobre los procesos usados por la industria de la aviación civil para elaborar programa de mantenimiento para los aviones. El informe resultante fue titulado “Reliability Centred Maintenance”, traducido al español como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

La aplicación de los criterios de RCM permitió bajar la incidencia en los noventa a razón de dos accidentes graves con fatalidades por cada millón de despegues.

En la década de los ochenta, la técnica RCM comenzó a penetrar en la industria en general. John Moubrey y sus asociados fueron pioneros en elaborar una rigurosa

metodología de aplicación de esta técnica en la industria, comenzaron a trabajar en los sectores de la minería y manufacturas, usaron una versión levemente modificada del diagrama de Nowlan y Heap, dando lugar a RCM2.

El RCM2 ha sido aplicado en más de 1000 plantas en 41 países. El rango de la aplicación va desde el entrenamiento en planta para la concientización de gerentes senior de operaciones y mantenimiento hasta la aplicación sin restricciones a todos los equipos de una planta. Las empresas en los que se ha aplicado cubren todas las actividades importantes del esfuerzo humano organizado. Estos incluyen minería, manufacturas, petroquímicas, servicios (electricidad, gas y agua), transporte masivo, empresas militares y edificios y sus servicios.

*El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.*

La figura 8 explica que el contexto operacional en la industria.



Figura 8. Diferentes Contextos Operacionales.  
Fuente: Moubray, J. (2008). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

### 2.2.3.2. Las 7 preguntas básicas del RCM

El proceso de RCM formula las siguientes siete preguntas acerca del activo del sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Para poder desarrollar y responder las siete preguntas, es necesario abordar los siguientes puntos:

#### **Funciones y Parámetros de Funcionamiento**

Antes de aplicar el proceso a cualquier activo físico (equipo), se debe realizar dos cosas:

- Determinar qué es lo que los usuarios quieren que haga.
- Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Por ello, el primer paso es definir las funciones y los parámetros para el óptimo funcionamiento (estándar de funcionamiento). Lo que se desea que los activos sean capaces de hacer, puede ser dividido en dos categorías:

Funciones primarias, en primera instancia esta función se resume en el porqué de la compra del activo, cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto, servicio al cliente, etc.

Funciones secundarias, se refiere a expectativa de que el activo cubra más de sus expectativas primarias, por ejemplo la seguridad, control, confort, economía, etc.

La figura 9 explica de una mejor manera la diferencia de lo que el activo es capaz de hacer y lo que los usuarios quieren que haga.

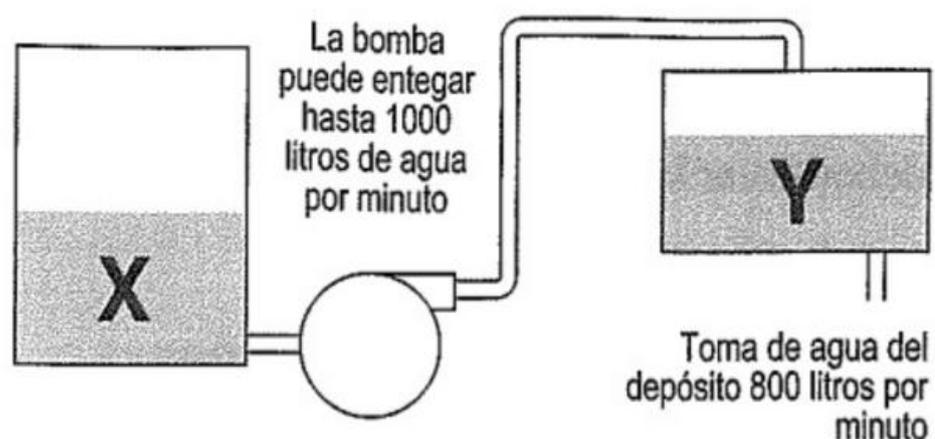


Figura 9. Capacidad Inicial vs Funcionamiento Deseado.  
Fuente: Moubray, J. (2008). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

## **Fallas Funcionales**

Se define “falla” como la incapacidad de un activo de hacer aquello que los usuarios quieren que haga.

La definición citada trata el concepto de falla de la manera que se aplica a un activo como un todo. En la práctica, esta definición es un poco vaga ya que no distingue claramente entre el estado de falla (falla funcional) y los eventos que causan este estado de falla (modo de falla).

Una “*falla funcional*” se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

Por ello el estándar de funcionamiento debe ser utilizado para definir una falla funcional, es decir, es el punto en donde decimos “Hasta aquí y no más”. Esto a su vez define el nivel de mantenimiento proactivo necesario para evitar esa falla (para mantener el nivel de funcionamiento requerido).

## **Modos de Falla**

Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional.

La mejor manera de mostrar la conexión y la diferencia entre los estados de falla (fallas funcionales) y los eventos que

podrían causarlos (modos de falla), es realizando una tabla como la que se presenta a continuación:

Tabla 3. Hoja de Modos de Falla.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN © 1998 ALADON LTD		SISTEMA <i>Sistema de Bombeo de Agua de Refrigeración</i>	
		SUB-SISTEMA	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)
1	Transferir agua desde el tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto	A Incapaz de transferir agua	1 Cojinetes agarrotados 2 Impulsor loco, suelto 3 Impulsor trabado por un cuerpo extraño 4 El cubo de acople falla por fatiga 5 Motor quemado 6 Valvula de ingreso trabado 7 ...etc
		B Transferir menos de 800 litros por minuto	1 Impulsor gastado 2 Lineas de parcialmente bloqueadas 3 ... etc

Fuente: Moubray, J. (2008). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

La mayoría de los gerentes no se sienten cómodos al pensar en el tiempo y esfuerzo involucrado en la identificación de todos los modos de falla, incluso llegan a abandonarlo. Pero no se percatan que el día a día de mantenimiento es manejado a nivel de modo de falla. Por ejemplo: Las órdenes de trabajo, el planeamiento, las discusiones e incluso los registros son manejados por el modo de falla, y esto en esencia es el mantenimiento reactivo.

Por otro lado, el mantenimiento proactivo significa manejar los eventos antes de que ocurra, o por lo menos decidir cómo ser manejados cuando ocurran. Entonces si se desea tener un mantenimiento verdaderamente proactivo a cualquier activo

físico, debemos tratar de identificar todos los modos de falla que puedan afectarlo.

### **Efectos de Falla**

Los efectos de falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla.

Cabe precisar que un “*efecto de falla*” no es lo mismo que una “*consecuencia de falla*”. Un efecto de falla responde a la pregunta de ¿Qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde a ¿Qué importancia tiene?

Se debe realizar un listado de los efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada modo de falla, a fin de obtener la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de falla. Este listado debe constar de lo siguiente:

La evidencia de que ha ocurrido una falla (si la hubiera): Se refiere a que los efectos de la falla deben describirse de tal forma que permitan el análisis RCM, asimismo debe indicar si la falla va precedida por efectos físicos obvios como ruidos, humos, fugas, olores, etc.

Las maneras en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la hubiera): Si bien las industrias modernas han evolucionado de tal forma que solo una pequeña porción suponen una amenaza a la seguridad y

medio ambiente, se debe realizar el listado de efectos como riesgo de incendios o explosiones, escape de productos químicos, electrocución, caída de objetos, etc

Las maneras en las que afecta a la producción o a las operaciones (si las hubiera): Se refiere a que se debe indicar como y durante cuánto tiempo queda afectada la producción. La figura 10 explica los tiempos de parada de un activo.



Figura 10. Tiempo de parada de máquina vs tiempo de reparación.  
Fuente: Moubray, J. (2008). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Los daños físicos causados por la falla (si los hubiera): Se refiere a efectos relacionados con la calidad del producto, velocidad de producción y algún otro daño secundario en el activo.

Que debe hacerse para reparar la falla: Se debe incluir el tiempo muerto de la reparación, por ejemplo: Cambiar cojinetes (4 horas), limpiar el bloqueo y reset del interruptor (30 min), etc.

## Consecuencia de Falla

Se ha visto que un activo tiene más de una función, cuando la mayoría de estas funciones falla, se hace inevitablemente evidente que ha ocurrido una falla. Ahora se consideran dos tipos de fallas para esta este punto; la falla evidente, porque tarde o temprano alguien se dará cuenta que cuando se producen por si solas, y la falla oculta, porque nadie sabe que el elemento se a averiado al menos de que esta falla produzca otra falla. De estos tipos de falla se extraen dos conceptos:

- Una función evidente es aquella cuya falla eventual e inevitablemente se hará evidente por si sola a los operadores en circunstancias normales.
- Una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operadores bajo circunstancias normales, si se produce por si sola.

Es por ello que el RCM separa las funciones ocultas de las evidentes, debido a que las ocultas requieren un manejo especial.

Las **fallas evidentes** se clasifican en tres categorías de importancia:

Consecuencia para la Seguridad y Medio Ambiente: Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias

ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental, tanto corporativo como regional, nacional o internacional.

Consecuencias Operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción (cantidad, calidad, producto, costos operacionales, etc.)

Consecuencias no Operacionales: las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni a la producción, solo implican el costo directo de la reparación.

Por ejemplo, las fallas del siguiente equipo pueden evidenciarse de inmediato, con la rotura de la faja, falla del motor, etc.



Figura 11. Faja Transportadora.

Fuente: <http://www.lyl-ingenieria.com/es/soluciones-logistica/bascula-industrial-hc-fl-2/c5r149/>

Las **fallas ocultas** se manejan forma especial, debido a su naturaleza.

Consecuencias de fallas ocultas: Estas fallas no tienen ningún impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas (la mayoría están asociadas a protección sin seguridad inherente).

Para evitar estas consecuencias es necesario asegurar que la falla se puede reducir o eliminar, esto con la utilización de protección con seguridad inherente.

Esta característica de protección inherente corresponde a los dispositivos de seguridad que se utilizan para evitar las fallas ocultas y las fallas múltiples, de este modo, un dispositivo de seguridad que tiene seguridad inherente es aquel que, a condiciones normales ante un fallo del mismo, sea evidente (el operador puede visualizar de algún modo que el dispositivo de seguridad está fallando), mientras que uno sin seguridad inherente no tendría una falla evidente (el operador no puede visualizar si está fallando), produciendo así la falla múltiple, ya que si falla el sistema que supuestamente protege, este no podría realizar su función pues está fallando.

### **Tarea Proactivas**

Estas tareas se emprenden antes que ocurra una falla, para prevenir que el activo llegue al estado de falla. Abarca lo que

tradicionalmente se conoce como mantenimiento “preventivo” y/o “predictivo”.

Desde el punto de vista técnico existen dos temas a tener en cuenta para la selección de tareas proactivas:

- La relación entre la edad del componente que se está analizando y la probabilidad que falle.
- Que sucede una vez que ha empezado a ocurrir la falla.

### Tareas Preventivas,

Estas tareas están enfocadas a fallas relacionadas con la edad del activo y el mantenimiento preventivo.

Respecto al primer punto, se basa en las siguientes presunciones: el deterioro es directamente proporcional al esfuerzo aplicado y el esfuerzo es aplicado consistente mente.

La figura 12 grafica lo descrito anteriormente.

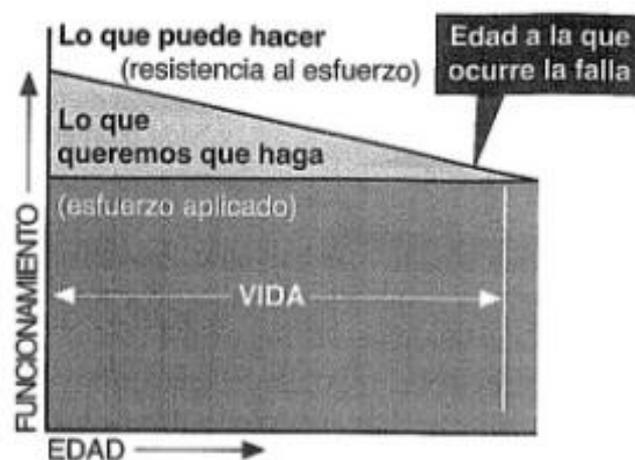


Figura 12. Funcionamiento vs Edad de Activo.  
Fuente: Moubray, J. (2008). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Debido a que cada activo presenta una diferente resistencia ante un esfuerzo expuesto a lo largo de sus vidas, es difícil determinar a partir de qué “edad” empiezan a fallar. No obstante es posible determinar la edad a la cual fallan activos idénticos trabajando aparentemente bajo las mismas condiciones, aunque algunas partes duran más que otras, se obtendría una vida promedio como la figura 13.1. Esto en términos de vida útil define la edad en la que hay un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla, tal como muestra la figura 13.2. Ahora, si se analizan de este modo una gran cantidad de modos de falla aparentemente idénticos relacionados con la edad, es fácil, encontrar que algunos se ocurren prematuramente, tales fallas se pueden observar en la curva de la figura 13.3.

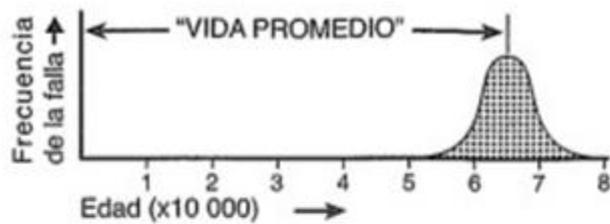


Fig. 13.1

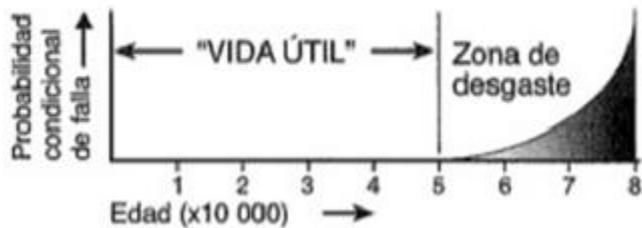


Fig. 13.2

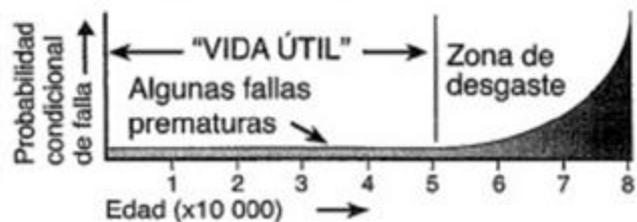


Fig. 13.3

Figura 13. Probabilidad de Fallas.

Fuente: Moubray, J. (2008). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Estos patrones de fallas relacionados con la edad se aplican a equipos muy simples o muy complejos que sufren un modo de falla dominante. En la práctica las características de desgaste ocurren mayormente cuando los equipos entran en contacto directo con el producto. Las fallas relacionadas con la edad también tienden a estar asociadas a la fatiga, oxidación, corrosión y evaporación.

Bajo ciertas circunstancias se dispone dos acciones preventivas para reducir la incidencia de este tipo de fallas, estas son las tareas de reacondicionamiento cíclico y sustitución cíclica.

- Reacondicionamiento Cíclico, consiste en **reacondicionar la capacidad** de un elemento o un componente antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento.
- Sustitución Cíclica, consiste en **sustituir** un elemento o un componente antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento.

La frecuencia de tareas de reacondicionamiento y/o sustitución cíclica, está determinado por la vida útil del elemento. Como muestra la figura 8.2 en la página anterior.

¿Qué sucede si las fallas no están relacionadas con la edad del equipo?

Se ha descubierto que la mayoría de modos de fallas no están ligados a la edad del activo. Esto se debe a la variación del esfuerzo aplicado y a la resistencia que presenta el activo. A estas fallas que no posible predecir sus fallas, se les describen como “al azar”.

Esta combinación entre el esfuerzo y la resistencia que presenta el activo, se ajustan a los patrones de la figura 14. En donde el patrón D muestra una baja probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo o recién salido de fábrica y luego un veloz incremento a un nivel constante. El patrón E muestra un probabilidad condicional de falla constante a todas las edades por igual (falla al azar). El patrón F comienza con una alta probabilidad de fallo que finalmente cae a una probabilidad constante o que asciende muy lentamente.

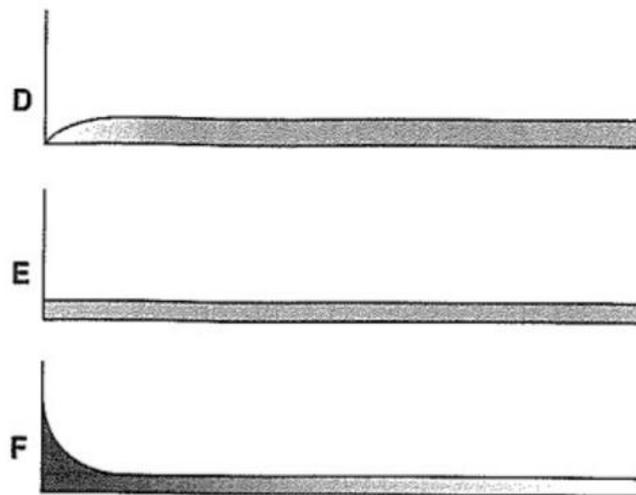


Figura 14. Patrones de Resistencia ante un Esfuerzo.  
Fuente: Moubray, J. (2008). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

## Tareas Predictivas,

Estas tareas están enfocadas a fallas potenciales y el mantenimiento a condición (predictivo).

La mayoría de modos de falla dan advertencia de están en el proceso de ocurrir, o que están por ocurrir. Si es posible dar evidencia de que algo está en últimas instancias, podría ser posible actuar y prevenir la falla.

La figura 15 ilustra lo que generalmente sucede.

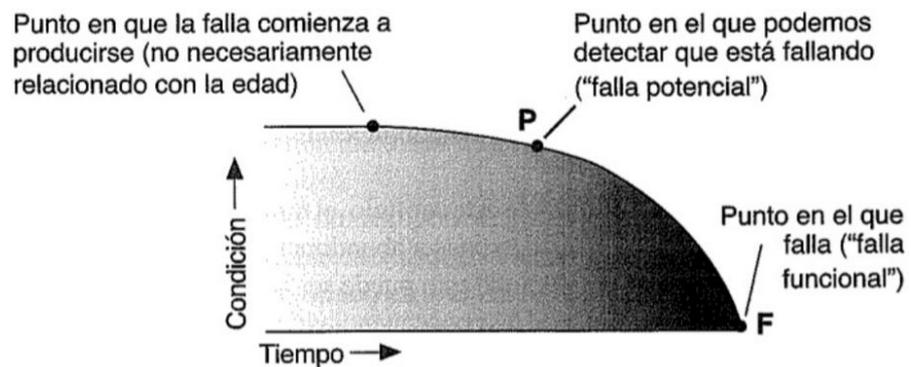


Figura 15. Curva P – F.

Fuente: Moubrey, J. (2008). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Una “falla potencial” es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir. En la práctica, hay diversas formas de determinar si las fallas están en proceso de ocurrir. Las tareas designadas para detectar las fallas se denominan “tareas a condición”. Las tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales, para que se pueda prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de esta. Las tareas a condición se denominan de esta forma



## **Acciones a Falta de Tareas Proactivas**

Tratan directamente con el estado de la falla, y son seleccionadas cuando no es posible identificar una tarea proactiva. Las acciones incluyen búsqueda de falla, rediseño y mantenimiento a rotura.

Búsqueda de falla: Consiste en revisar periódicamente funciones cultas, para determinar si han fallado (mientras que las tareas a condición implican revisar si algo va a fallar). [26]

Rediseño: Implica hacer cambios una sola vez a las capacidades iniciales del sistema, incluye modificaciones al equipo, cambios a los procedimientos, etc.

Ningún Mantenimiento Programado: En este caso, se deja que la falla simplemente ocurra para luego ser reparada, también llamada mantenimiento a rotura.

Recorridas por inspección: Sirven para dos propósitos, para detectar daños accidentales y detectar excepciones imprevistas en el comportamiento de las fallas. Estas inspecciones también pueden detectar problemas debido a ignorancia o negligencia, tales como derrames, materiales peligrosos, objetos extraños, etc. Un ejemplo de este tipo de actividad se muestra en la figura 17.



Figura 17. Recorridos por Inspección.  
Fuente: <http://norma-ohsas18001.blogspot.pe/2012/07/inspecciones-de-seguridad.html>

### **Diagrama de Toma de Decisiones**

Luego de realizar el Análisis de Modos y Efectos de Fallas, se procede a realizar las hojas de decisiones tomadas para evitar que las causas de fallas identificadas en el AMEF se pongan en manifiesto. Para ello es necesario utilizar el diagrama de decisiones que se utiliza en el RCM, el cual se plantean una serie de preguntas para poder, de acuerdo a las diferentes situaciones, determinar la tarea más conveniente (Tarea proactiva o predictiva) . En la figura 28 se presenta el diagrama de decisiones, mientras que la hoja de decisiones se desarrollará en el capítulo 3.

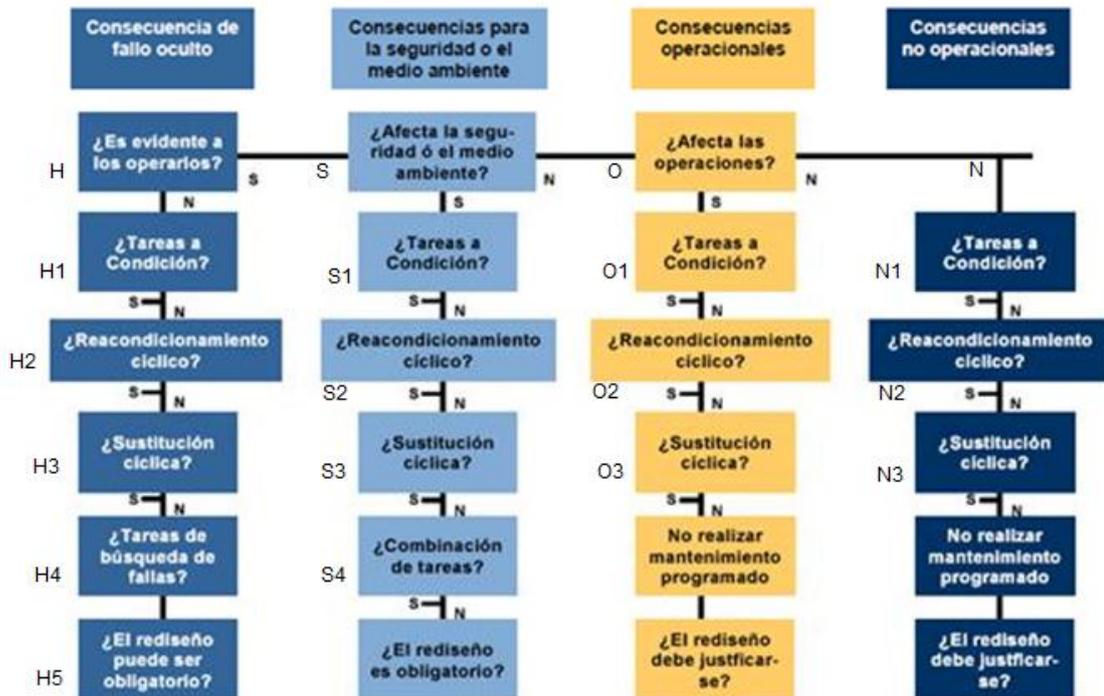


Figura 18. Diagrama de Decisiones.

Fuente: <http://www.ingtecn.com/blog/rcm-ingenieria-de-fiabilidad-de-andar-por-casa/>

### 2.2.3.3. Aplicación del RCM

Hablando en general el enfoque del RCM puede aplicarse en una de estas tres maneras:

#### El Enfoque de la Fuerza de las Tareas

En las organizaciones que sufren problemas recurrentes con consecuencias serias adoptan este enfoque para aplicar el RCM. Esto implica entrenar un pequeño grupo (La fuerza de las tareas) para llevar a cabo el análisis RCM del sistema afectado. La principal ventaja es que es más rápida la implementación debido a que solo está involucrado un pequeño número de

personas, mientras que la desventaja es que no asegura el compromiso del resto del personal, de tal forma es difícil lograr resultados a largo plazo.

### **El Enfoque Selectivo**

Este enfoque utiliza el RCM para ser aplicado en el área donde están los peores problemas, una vez tratados estos activos, se decide si el RCM será usado para analizar otros activos con problemas menos serios, y así sucesivamente. La principal ventaja es que en este enfoque la inversión se realiza solo cuando se produce retornos rápidos y medibles, mientras que la desventaja es que pone mucho énfasis en el desempeño técnico y operativo.

### **El Enfoque Amplio**

Este último enfoque implementa el RCM en todos los activos de la planta, ya sea de forma corta e intensa o realizarlo en etapas, habilitando diferentes equipos para diferentes áreas. La principal ventaja es que asegura un sentido amplio de pertenencia de los problemas de mantenimiento y sus soluciones a largo plazo, mientras que su principal desventaja es que el proceso de implementación es más lento debido a que muchas más personas deben familiarizarse con la metodología. La figura 19 ilustra lo que este enfoque implica.



Figura 19. Representación del Enfoque Amplio del RCM.  
Fuente: <http://www.ingenieriamantenimiento.org/tpm-en-industria-de-productos-lacteos/>

#### 2.2.3.4. Beneficios del RCM

Con la aplicación del RCM se logran tres resultados tangibles:

- Programas de mantenimientos a ser realizados por el departamento de mantenimiento.
- Procedimientos de operación revisados para los operadores de los activos.
- Una lista de áreas en donde cambios de solo una vez deben ser realizados, tanto en el diseño del activo como en cómo debe ser operado.

Además permite obtener una mayor efectividad y eficiencia al momento de realizar el mantenimiento.

## Efectividad de mantenimiento

Esto se verá reflejado en:

- La continuidad de los equipos, que puede ser medida de varias maneras diferentes.
- Los usuarios tienen diferentes expectativas de diferentes funciones.
- Los activos pueden tener más de una función.

## Eficiencia de mantenimiento

Esto puede ser medido en:

- Los costos de mantenimiento.
- La mano de obra.
- Repuestos y materiales.
- Planificación y control. [2]

La figura 20 ilustra los beneficios del RCM.



Figura 20. Beneficios finales del RCM.

Fuente: <http://www.slideshare.net/oscarreyesnova/modulo-2-rcm-1-a>

#### 2.2.4. **Software ERP J.D. Edwards OneWorld**

J.D. Edwards es una compañía que crea software. Fue fundada en Marzo de 1977 en Denver. Colorado. Elaborado por Jack Thompson, Dan Gregory y Ed McVaney. La compañía fue añadiendo funciones a medida que transcurría el tiempo. En junio del 2003, el consejo de administración de la empresa accedió a la oferta de adquisición de PeopleSoft. Completándose la adquisición en Julio. OneWorld, primer producto de J.D. Edwards, se añadió a la línea de productos de PeopleSoft. Posteriormente a finales del 2004, PeopleSoft fue adquirida por ORACLE. [8]

Su software de confiabilidad se convirtió en una Planificadora de Recursos Empresariales – ERP (Enterprise Resource Planning). ERP son paquetes de software que están compuestos por módulos entre ellos: recursos humanos, finanzas, ventas y producción. Además pueden ser personalizados para atender distintas áreas. [9]

Ofrece a las empresas un entorno confiable, rico en funciones y ambiente web para la administración de alta calidad plantas, inventarios, equipos, finanzas y personas como un todo integrado y sincronizado, que están estrechamente incorporados en una sola base de datos reduciendo los costos y la complejidad de implementación, además tiene varios idiomas y versiones. [8]

En las figuras 21 y 22 se muestran las principales interfaces del J.D. Edwards OneWorld.



Figura 21. Inicio de Sesión en OneWorld.

Fuente: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb727865.aspx>

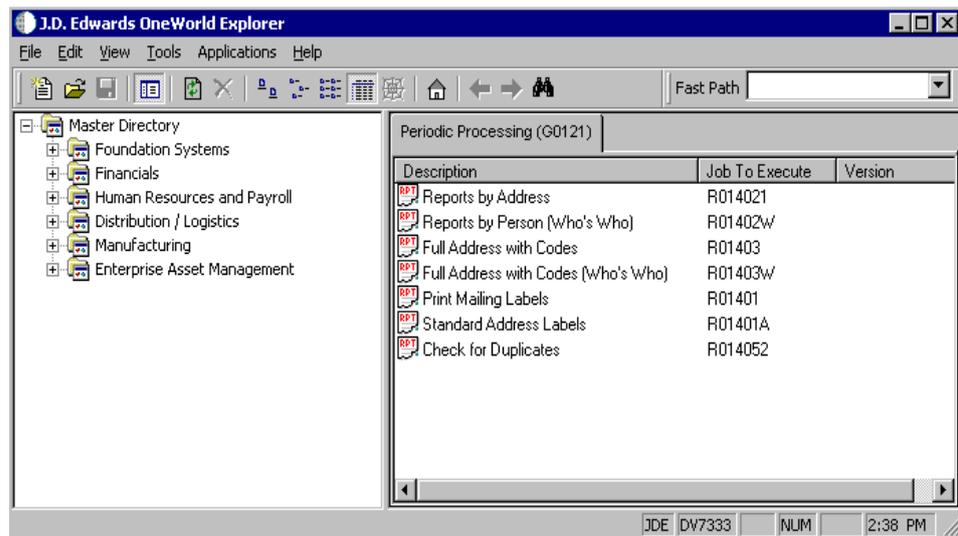


Figura 22. Visualizador de Datos del OneWorld.

Fuente: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb727865.aspx>

### 2.3. Marco conceptual:

**OT:** Orden de Trabajo, documento que autoriza realizar una actividad en el área de mantenimiento.

**PAM:** Plan Anual de Mantenimiento, conjunto de tareas de mantenimiento programado, agrupadas o no, siguiendo algún tipo de criterio.

**RCM:** Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, del inglés Reliability Centred Maintenance, metodología utilizada en la aviación civil para elaborar programa de mantenimiento para los aviones.

**RCM2:** Implementación del RCM en el rubro de la industria, iniciando en los sectores de la minería y manufacturas.

**ERP:** Sistema de Planificación de Recursos Empresariales, del inglés Enterprise Resource Planning. La cual permite la integración de ciertas operaciones de una empresa.

**Gantt:** Es una herramienta que se emplea para planificar y programar tareas a lo largo de un período determinado de tiempo, permite realizar el seguimiento y control del progreso de cada una de las etapas de un proyecto.

**Protocolo de Mantenimiento:** Un protocolo de mantenimiento es un listado de tareas a realizar en un tipo concreto de equipo.

**Trazabilidad:** Serie de procedimientos que permiten seguir el proceso de evolución de un producto en cada una de sus etapas.

**AMEF:** Siglas de Análisis de Modos y Efecto de Fallos, conjunto de directrices, un método y una forma de identificar problemas potenciales (errores) y sus posibles efectos en un sistema.

**Activo:** En este contexto, un Activo se refiere a un equipo industrial que realiza una determinada función.

**Confiabilidad:** Probabilidad de que un activo pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas.

**Disponibilidad:** capacidad de un activo para realizar una función requerida bajo condiciones estándar y en un intervalo de tiempo determinado.

**Mantenibilidad:** Capacidad de un activo de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados

### **3. CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE ÓRDENES DE TRABAJO**

#### **3.1. Análisis del sistema**

La generación de órdenes de trabajo de forma manual, demanda una gran cantidad de tiempo, además de desaprovechar el potencial del software que se utiliza en la empresa. Es por ello que se plantea la mejora del proceso de generación de órdenes de trabajo, con el fin de optimizar los tiempos para poder utilizarlo en la planificación y programación de las actividades de la mejor manera.

Este proyecto inicia con la optimización del Plan Anual de Mantenimiento, utilizando la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad). Esto permitirá determinar de una mejor manera las frecuencias y las actividades que deben ser realizadas según cada área y equipo. Posterior a la optimización del PAM, se debe realizar la estandarización de términos y campos que deben ser llenados en las órdenes de trabajo, a fin de mantener una misma semántica y un mismo

formato de órdenes de trabajo, que a su vez permitirá al área de mantenimiento poder simplificar la tarea al momento de obtener los indicadores del área. Por último, en coordinación con la empresa que brinda el servicio de asesoramiento y programación del software, se debe coordinar la carga del PAM optimizado con el RCM y la habilitación del módulo, en el software, que permitirá realizar las órdenes de trabajo de forma automática, según la frecuencia determinada en el PAM.

Una vez realizado la habilitación del módulo de generación automática de OT's, se realiza la primera ejecución del mismo, para corregir (si lo hubiera) los defectos y/o errores que pueda tener el modulo, a este evento se le denomina "Corrida del Programa".

### **3.2. Implementación del sistema**

Para realizar la implementación del sistema de generación automática de órdenes de trabajo, se realiza tres procesos independientes, primero se realiza la optimización del PAM de mantenimiento, luego se realiza la estandarización de términos usados en el área de mantenimiento y los campos a ser ingresados para la generación de la OT, por último se coordina con el proveedor para que habiliten el módulo de generación automática de OT en el software J.D. Edwards OneWorld. Estos procedimientos se detallan en los siguientes puntos.

### 3.2.1. Optimización del PAM utilizando el RCM

Para este proceso se inicia realizando un Gantt de implementación en toda la planta, para que se pueda trabajar de una forma adecuada siguiendo el sentido del proceso de la planta industrial (Molienda Seca, Prensa y Secadero, Línea y Molino Esmalte, Hornos y Clasificados). Luego se empieza a trabajar en cada área, según Gantt, realizando la identificación de equipos en que hay en el área. Luego a ello se realiza el análisis de la situación actual del PAM del área analizada, para analizar en situación se encuentra el mantenimiento de los equipos identificados. Posterior a ello se realiza el Análisis Modo y Efecto de Falla de cada equipo. Al final se realiza la criticidad de equipos existentes en el área analizada. Estos pasos se explican detalladamente en los siguientes puntos.

#### 3.2.1.1. Gantt de Implementación del RCM

Una de las mejoras del proceso de generación de órdenes de trabajo, es la optimización del PAM, el cual se realiza utilizando la metodología del RCM.

Debido a que la planta está dividida en áreas, por el proceso que se realiza en cada una de ellas, se ha realizado un Gantt de implementación del RCM por cada una de ellas, Molienda Seca, Prensa y Secadero, Línea y Molino Esmalte, Horno y Clasificados y SS.GG. La tabla 4 muestra el Gantt de la implementación.

Tabla 4. Gantt de Implementación de RCM – 2015.

<b>IMPLEMENTACIÓN DE RCM - PLANTA III</b>																							
<b>ÁREA</b>	<b>MOLIENDA SECA</b>				<b>PRENSA Y SECADERO</b>				<b>LINEA Y MOLINO ESMALTE</b>				<b>HORNOS Y CLASIFICADOS</b>										
	MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE								
MES	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
SEMANA	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
<b>ACTIVIDAD</b>																							
IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS DEL ÁREA	X																						
ANÁLISIS DE LA SITUACION ACTUAL		X																					
ANÁLISIS DE FALLAS			X	X																			
ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS					X																		
TOMA DE DESICIONES									X														
ACTUALIZACIÓN DEL PAM DEL ÁREA																					X		

Fuente: Elaboración Propia.

Parte de este proyecto consiste en la implementación del RCM en toda la planta 3 de la empresa, pero el enfoque está centrado en la mejora del proceso de generación de la OT's, y debido a que la implementación del RCM es un proceso que demanda mucho tiempo, se describe a continuación solo la implementación del área de Molienda Seca, como ejemplo de aplicación del RCM.

### 3.2.1.2. Identificación de Equipos

Para empezar, se procede a identificar todos los equipos que son mantenibles por el área de mantenimiento, en este caso, del área de Molienda Seca. La tabla 5 presenta todos los equipos identificados.

Tabla 5. Listado de Equipos de Molienda Seca.

Código	Nombre del Equipo
53023500	CINTA PESADORA NPC1000
53021200	MOLINO MRV200
53021100	COCLEA DE ALIMENTACION CT323
53020101	FAJA TRANSPORTADORA M100
53021300	FILTRO DEL PROCESO
53023700	GRANULADOR GRC700
53027300	MOLINO MGP6
53021219	SISTEMA ELECTRICO SEPARADOR DINÁMICO MRV200
53027100	TAMIZ ROTATIVO #4
53021304	SISTEMA ELECTRICO
53022100	VIBROTAMIZ LB1200 #1
53022200	VIBROTAMIZ LB1200 #2
53022300	VIBROTAMIZ LB1200 #3
53022400	VIBROTAMIZ LB1200 #4
53022500	VIBROTAMIZ LB1200 #5
53020500	ELEVADOR DE CANGUILONES ALIMENTACION MRV200
53020100	TOLVA DE RECEPCION
53021225	CENTRALITA DE LUBRICACION DE MUELAS 2
53022900	DESFERRIZADOR NEUMATICO

53027600	DEFERRIZADOR TIPO II 0830/9/2/01/13
53020800	ROTOVALVULA
53023400	ROTOVALVULA D500X1000 #2
52023503	FAJA TRANSPORTADORA
53023701	CONJUNTO HUMECTADOR
53023720	BOMBA DE AGUA PRINCIPAL CENTRAL DE AGUA
53023708	SISTEMA DE HUMECTACION
53026804	CESTO ROTATIVO
53026400	FAJA #1 DE ALIMENTACION A PRENSAS
53026700	FAJA #4 DE ALIMENTACION A PRENSAS
53027301	MOTORIZACION
53026202	MALLAS
53020600	FILTRO DE AMBIENTE
53021504	EJE HELICOIDAL
53022700	COCLEA CCU219
53021700	ROTOVALVULA DE ALIMENTACION DE VIBROTAMIZ #1
53021800	ROTOVALVULA DE ALIMENTACION DE VIBROTAMIZ #2
53021900	ROTOVALVULA DE ALIMENTACION DE VIBROTAMIZ #3
53022000	ROTOVALVULA DE ALIMENTACION DE VIBROTAMIZ #4
53023200	ROTOVALVULA D500X1000 #1
53021213	CONJUNTO MUELAS
53021206	CONJUNTO MOLEDOR
53021212	CORAZAS
53021237	RAMPA DE GAS QUEMADOR MRV200
53021209	PISTAS DE MOLINO
53021217	TRANSMISION MECANICA SEPARADOR DINÁMICO MRV200
53021208	PISTON DE LEVANTE DE MUELA
53023706	BOTE
53026500	FAJA #2 DE ALIMENTACION A PRENSAS
53020103	REDUCTOR
53021215	SEPARADOR DINAMICO MRV200
53021235	QUEMADOR MRV200
53020200	FAJA DE ALIMENTACION MOLINO MGP2
53021202	MOTOR PRINCIPAL
53021400	COCLEA DE RECOLECCION
53021500	COCLEA CCU350 #1
53023000	SILO DE ALIMENTACION GRC700
53021600	COCLEA CCU350 #2
53022600	COCLEA CCU350 #3
53022800	ELEVADOR DE CANGUILONES ET400 ALIMENTACION GRC700
53023600	COCLEA DE ALIMENTACION GRC
53023702	MOTOR
53023800	FAJA #1 DE ALIMENTACION A SILOS
53023900	FAJA #2 DE ALIMENTACION A SILOS
53024000	FAJA #3 DE ALIMENTACION A SILOS
53024100	FAJA #4 DE ALIMENTACION A SILOS
53024200	FAJA #5 DE ALIMENTACION A SILOS
53024300	FAJA #6 DE ALIMENTACION A SILOS

53024400	FAJA #7 DE ALIMENTACION A SILOS
53025800	FAJA DE ALIMENTACION ZARANDA #1
53025900	FAJA DE ALIMENTACION ZARANDA #2
53026000	ELEVADOR DE CANGUILONES ET400 ALIMENTACION ZARANDA #1
53026100	ELEVADOR DE CANGUILONES ET400 ALIMENTACION ZARANDA #2
53026600	FAJA #3 DE ALIMENTACION A PRENSAS
53026800	TAMIZ ROTATIVO #1
53026900	TAMIZ ROTATIVO #2
53027000	TAMIZ ROTATIVO #3
53020602	TRANSMISION MECANICA
53021216	MOTOR SEPARADOR DINÁMICO MRV200
53030100	SIST.ASP.POLVO PRENSA PLANTA 3
53027200	ELECTROIMÁN

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.1.3. Determinación de la Situación Actual

En el área de Molienda Seca, se tiene un PAM basado en la recomendación de los proveedores para realizar el cambio de repuestos de los equipos industriales presentes en el área y algunas inspecciones de los equipos que presentan desgaste moderado, entre los más importantes equipos están: MRV 200 (Molino) Y GRC 700 (Humectador y Granulador). Los demás equipos están conformados básicamente por motores para los elevadores de cangilones y fajas de transporte materia prima.

Dentro del PAM del área se tiene inspecciones de los sistemas eléctricos y medios de transportes. Cambios de fajas de transporte, rodamientos de motores, aceite de reductores, entre otros.

### 3.2.1.4. Elaboración del Análisis de Modo y Efecto de Fallas

Una vez realizado el listado de equipos y analizado la situación en la que se encuentra el PAM del área de Molienda Seca, se procede a elaborar el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) de los equipos de mayor importancia del área. Previo a la realización del AMEF, se establece los criterios de análisis para la obtención del Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Estos criterios se detallan en la tabla 6.

Tabla 6. Criterios del AMEF.

<b>GRAVEDAD</b>	
DESCRIPCION	PUNTAJE
Ínfima, imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

<b>OCURRENCIAS</b>	
DESCRIPCION	PUNTAJE
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

<b>DETECCIÓN (Dificultad de detección)</b>	
DESCRIPCION	PUNTAJE
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Fuente:[http://campus.icda.uccor.edu.ar/archivos/\\_51/2%20FMEA%20versi%C3%B3n%20final.pdf](http://campus.icda.uccor.edu.ar/archivos/_51/2%20FMEA%20versi%C3%B3n%20final.pdf)

El NPR resulta de la ecuación número 8.

$$NPR = Gravedad \times Ocurrencias \times Detección \dots \dots (8)$$

Las características de análisis del NPR son:

- NPR > 200 es Inaceptable (I),
- 200 > NPR > 125 es Reducción Deseable (R)
- 125 > NPR es Aceptable (A).

En la tabla 7 se presentan la Hoja de Información, con el AMEF del Molino MRV 200 de Molienda Seca.

Tabla 7. Análisis de Modo y Efectos de Fallas del MRV200.

HOJA DE INFORMACION DE RCM		NOMBRE DEL EQUIPO:	MOLINO MRV 200	Fecha:	Equipo: CSL			AMEF N°
		AREA:	MOLIENDA SECA	20/05/2015	Criterios			1
ITEM MANTENIBLE	FUNCION	MODOS DE FALLAS	CAUSAS DE FALLAS	EFFECTOS DE FALLAS	G	O	D	NPR
FAJA DE TRANSPORTE	ABASTECER DE MATERIA PRIMA AL MOLINO MRV 200	FALLA GENERANDO UNA ROTURA	FATIGA CICLICA / ENVEJECIMIENTO	DESABASTECIMIENTO DE MATERIA PRIMA AL MOLINO MRV 200	6	9	1	54
			DESAJUSTE MECANICO		2	9	3	54
			DESGASTE DE LA POLEA		2	9	4	72
		FALLA NO FUNCIONANDO COMO SE REQUIERE	FALLA O DESGASTE DE LA CORREA		2	9	2	36
			DESAJUSTE MECANICO		2	9	3	54
			DESGASTE DE LA POLEA		2	9	4	72
		FALLA NO MANTENIENDO SU FUNCION	PERNOS FLOJOS		2	9	3	54
ACUMULACION DE SUCIEDAD	1		9	1	9			
MOLINO ELECTRICO	GENERAR EL MOVIMIENTO EN EL MOLINO MRV 200	FALLA EN ROTOR GENERANDO UN DESGASTE EXCESIVO EN LOS COMPONENTES	AGARROTAMIENTO DEL RODAMIENTO	MOTOR NO ENCIENDE O NO FUNCIONA CORRECTAMENTE	10	2	8	160
			PERDIDA DE LA LUBRICACION		10	2	8	160
		FALLA EN ROTOR NO FUNCIONANDO COMO SE REQUIERE	FATIGA CICLICA / ENVEJECIMIENTO		10	2	8	160
			PERNOS FLOJOS		10	2	7	140
		FALLA NO FUNCIONANDO (INCLUYE UNA OPERACION DEGRADADA)	DESALINEAMIENTO		8	2	8	128
			AGARROTAMIENTO DEL RODAMIENTO		10	2	8	160
			ACUMULACION DE SUCIEDAD		4	2	8	64
			BAJA AISLACION		10	2	9	180
			PARTES SUELTAS		10	2	7	140
			QUEMADO DE MOTOR		10	2	8	160
			SOBRECARGA		10	2	8	160
		FALLA NO ARRANCANDO BAJO DEMANDA	CORTOCIRCUITO		10	2	8	160
			DESALINEAMIENTO		8	2	8	128
			AGARROTAMIENTO DEL RODAMIENTO		10	2	8	160
			ACUMULACION DE SUCIEDAD		10	2	8	160
			BAJA AISLACION		10	2	9	180
			QUEMADO DE MOTOR		10	2	8	160
			HUMEDAD		10	2	8	160
		MOLINO NO PULVERIZA LA MATERIA PRIMA	SOBRECARGA		10	2	8	160
			CORTOCIRCUITO		10	2	8	160
RETRASO DE PRODUCCION POR FALTA DE POLVO	10		2	8	160			
CONEXIONES DEFECTUOSAS	10		2	7	140			

Fuente: Elaboración Propia.

En las tablas 8 y 9 se presentan las Hojas de Información, con el AMEF del Granulador GRC 700 de Molienda Seca.

Tabla 8. Análisis de Fallas del GRC700 Parte I.

HOJA DE INFORMACION DE RCM	NOMBRE DEL EQUIPO: ÁREA:	GRANULADOR GRC 700 MOLIENDA SECA	Fecha: 27/05/2015	Equipo : CSL			AMEF N° 2
				Criterios			
ÍTEM MANTENIBLE	FUNCIÓN	MODOS DE FALLAS	CAUSAS DE FALLAS	G	O	D	NPR
FAJA DE TRANSPORTE	ABASTECER DE MATERIA PRIMA EL GRC 700	FALLA GENERANDO UNA ROTURA	FATIGA CICLICA/ ENVEJECIMIENTO	6	9	1	54
			DESAJUSTE MECANICO	2	9	3	54
		FALLA NO FUNCIONANDO COMO SE REQUIERE	DESABASTECIMIENTO DE MATERIA PRIMA O DEGASTE DE LA CORREA	2	9	4	72
HUMECTADOR	HUMEDECER EL POLVO PARA PODER GRANULARLO	FALLA NO FUNCIONANDO COMO SE REQUIERE	DESABASTECIMIENTO DE MATERIA PRIMA O DEGASTE DE LA CORREA	2	9	2	36
			DESAJUSTE MECANICO	2	9	3	54
			DESGASTE DE LA POLEA	2	9	4	72
			ACUMULACION DE SUCIEDAD	2	9	3	54
BOMBA CENTRIFUGA	PERMITE EL GIRO DE LOS ASPERSORES DE AGUA	FALLA NO FUNCIONANDO (INCLUYE UNA OPERACION DEGRADADA)	EL POLVO NO ES HUMEDECIDO NI GRANULADO	5	3	7	105
		FALLA GENERANDO UNA OBSTRUCCION	AGARROTAMIENTO DEL RODAMIENTO	2	4	5	40
		FALLA GENERANDO UN DESGASTE EXCESIVO EN LOS COMPONENTES	ACUMULACION DE SUCIEDAD	8	2	6	96
		FALLA NO FUNCIONANDO COMO SE REQUIERE	DESGASTE	5	2	7	70
			AGARROTAMIENTO DEL RODAMIENTO	8	3	6	144
			DESGASTE	7	2	7	98
			PARTES SUELTAS	8	3	8	192
			FUGA POR SELLO	6	2	6	72
			CONEXIONES DEFECTUOSAS	10	2	2	0
			AGARROTAMIENTO DEL RODAMIENTO	3	3	6	54
BOMBA CENTRIFUGA	PERMITE EL GIRO DE LOS ASPERSORES DE AGUA	FALLA NO FUNCIONANDO COMO SE REQUIERE	EL EQUIPO HUMECTA DE FORMA IRREGULAR	9	3	7	189
		FALLA NO FUNCIONANDO (INCLUYE UNA OPERACION DEGRADADA)	DESGASTE DEL IMPULSOR	8	3	8	192
		FALLA NO ARRANCANDO BAJO DEMANDA	FALLA DE UN SUBCOMPONENTE	2	5	7	70
		FALLA GENERANDO UNA OBSTRUCCION	ACUMULACION DE SUCIEDAD	9	3	7	189
	FALLA NO OPERANDO A LA DEBIDA EFICIENCIA	DESGASTE DEL IMPULSOR					

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9. Análisis de Fallas del GRC700 Parte II.

HOJA DE INFORMACION DE RCM		NOMBRE DEL EQUIPO:		Fecha:		Equipo :		AME	
ÁREA:		GRANULADOR GRC 700		27/05/2015		CSL		F N°	
ITEM MANTENIBLE	FUNCION	MODOS DE FALLAS		EFFECTOS DE FALLAS		G	O	D	NPR
MOTOR ELECTRICO (ARBOL CENTRAL)	GENER EL MOVIMIENTO DEL CONTENEDOR DEL POLVO MIENTRAS SE HUMECTA	FALLA GENERANDO UN MOTOR QUEMADO		DESALINEAMIENTO	8	3	7	168	EL EQUIPO NO GRANULA NI TRANSPORTA EL POLVO
				AGARROTAMIENTO DEL RODAMIENTO	10	2	8	160	
				BAJA AISLACION	8	3	9	216	
				SOBRECARGA	10	2	8	160	
				CORTOCIRCUITO	10	2	8	160	
				AGARROTAMIENTO DEL RODAMIENTO	10	2	8	160	
				ACUMULACION DE SUCIEDAD	2	4	6	48	
				CONEXIONES DEFECTUOSAS	3	3	7	63	
				QUEMADO DE MOTOR	10	2	8	160	
				SOBRECARGA	10	2	8	160	
SENSOR DE PROXIMIDAD	MIDE LA CAPACIDAD MAXIMA PERMITIDA EN CONTENEDOR	FALLA NO ARRANCANDO BAJO DEMANDA		DESALINEAMIENTO	8	3	7	168	EL EQUIPO HUMECTA DE FORMA IRREGULAR
				AGARROTAMIENTO DEL RODAMIENTO	10	2	8	160	
				ACUMULACION DE SUCIEDAD	2	4	8	64	
				PARTES SUELTAS	4	2	7	56	
				QUEMADO DE MOTOR	10	2	8	160	
				HUMEDAD	4	2	8	64	
				SOBRECARGA	10	2	8	160	
				CORTOCIRCUITO	10	1	8	80	
				ACUMULACION DE SUCIEDAD	2	4	2	16	
				DESAJUSTE MECANICO	4	2	2	16	
		CONEXIONES DEFECTUOSAS	3	2	3	18			

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.1.5. Criticidad de Equipos

Luego de elaborar el análisis de fallas de los equipos del área de Molienda Seca, se procede a determinar la criticidad de equipos. Los factores que determinan la criticidad son: Frecuencia de fallas, Impacto operacional, Flexibilidad operacional, Coste de mantenimiento, Impacto en seguridad, ambiente e higiene. En la tabla 10 se detallan estos criterios.

Tabla 10. Factores de Criticidad de Equipos.

<b>FRECUENCIA DE FALLA</b>	
Elevado mayor a 40 fallas/año	4
Promedio 20-40 fallas/año	3
Buena 10-20 fallas/año	2
Excelente menos de 10 fallas/año	1

<b>IMPACTO OPERACIONAL</b>	
Parada total del equipo	10
Parada parcial del equipo y repercute a otro equipo o subsistema	7-9
Impacta a niveles de producción o calidad	5-6
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1

<b>FLEXIBILIDAD OPERACIONAL</b>	
No existe opción igual o equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1

<b>COSTO DE MANTENIMIENTO</b>	
Mayor o igual a US\$ 400 (incluye repuestos)	2
Inferior a US\$ 400 (incluye repuestos)	1

<b>IMPACTO EN SEGURIDAD, AMBIENTE E HIGIENE</b>	
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor e incidente menor	4-5
Cuasiaccidente o incidente menor	2-3
Prácticamente no hay ningún lesionados	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Fuente: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5311/fichero/5-+Analisis+de+criticidad.pdf>

Una vez identificado los factores se aplica la ecuación 8 para obtener la Criticidad Total (CT) de los equipos.

$$CT = \text{Frecuencia de fallas} \times \text{Consecuencia} \dots \dots \dots (9)$$

En donde Consecuencia (C) esta expresada por la ecuación 9.

$$C = (IO \times FO) + CM + IASH \dots \dots \dots (10)$$

IO: Impacto Operacional.

FO: Flexibilidad Operacional

CM: Costo de Mantenimiento

ISAH: Impacto en Seguridad, Ambiente e Higiene

Luego de aplicar las ecuaciones, se identifica la criticidad según la figura 23.

FRECUENCIA	4	SC	SC	C	C	C
	3	SC	SC	SC	C	C
	2	NC	NC	SC	SC	C
	1	NC	NC	NC	SC	C
		[ 0 ; 10 >	[10;20>	[ 20 ; 30 >	[ 30 ; 40 >	[ 40 ; 50 ]
CONSECUENCIAS						

NC	NO CRITICO	SC	SEMI CRITICO	C	CRITICO
----	------------	----	--------------	---	---------

Figura 23. Criticidad de Equipos.  
Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 11 se tiene la lista de criticidad de equipos de los AMEF realizados anteriormente en las tablas 7, 8 y 9.

Tabla 11. Criticidad de Equipos de Molienda seca.

EQUIPO	SUBSITEMA	FF	IO	FO	CM	ISAH	CONSEC	CT	CRITICIDAD
MOLINO MRV 200	Faja de Transporte	3	4	3	1	1	14	42	SEMI CRITICO
	Motor Eléctrico	1	10	4	2	1	43	43	CRITICO
GRANULADOR GRC 700	Faja de Transporte	3	4	3	1	1	14	42	SEMI CRITICO
	Humectador	1	8	3	2	1	27	27	NO CRITICO
	Bomba Centrifuga	1	8	3	2	1	27	27	NO CRITICO
	Motor Eléctrico (Árbol central)	1	10	3	2	1	33	33	SEMI CRITICO
	Sensor de Proximidad	2	6	1	2	1	9	18	NO CRITICO

Fuente: Elaboración Propia

Se determina que el Motor Eléctrico del Molino MRV es el equipo de mayor criticidad del área de Molienda Seca, esta criticidad se corrobora con los antecedentes del equipo, el cual según su historial ya había detenido la producción del área un año atrás. Además existen tres equipos semi críticos, los cuales deben ser tomados en cuenta al realizar la toma de decisiones.

### 3.2.2. Estandarización de Términos y Campos para la Generación de OT

Para poder manejar la base de datos, generadas por el sistema luego del ingreso de las OT's, y obtener los indicadores necesarios para la gestión de la misma, es importante estandarizar los términos y campos que se deben llenar al generar la OT en cualquier área de la planta.

### 3.2.2.1. Identificación de Tipos de Actividades, Componentes y Frecuencias

Primero se debe de identificar todos los tipos de actividades que se realizan en el área de mantenimiento y los términos que se utilizan al realizar dichas actividades.

La tabla 12 detalla todas las actividades que se realizan en el área de mantenimiento.

Tabla 12. Lista de Actividades de Mantenimiento.

N°	Actividades
1	ALINEACION
2	ANALISIS VIBRACIONAL
3	ANALISIS TERMOGRAFICO
4	BALANCEO
5	CAMBIO
6	DESMONTAJE
7	FILTRADO
8	INSPECCION ELECTRICA
9	INSPECCION MECANICA
10	INSPECCION SEGURIDAD
11	INSTALACION
12	LIMPIEZA
13	LUBRICACION
14	MANTENIMIENTO PREVENTIVO
15	MANTENIMIENTO GENERAL
16	MEDICION
17	MONTAJE
18	PARCHADO
19	PULVERIZACION
20	PRUEBA
21	REBOBINADO
22	REFILTRADO
23	REGULACION
24	REVISION
25	TENSADO

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 13 detalla todos los componentes que se utilizan en el área de mantenimiento.

Tabla 13. Lista de Componentes.

N°	Componentes	N°	Componentes
1	ACEITE	29	MOTOR
2	ACOPLE	30	MOTORREDUCTOR
3	ALABE	31	PANEL
4	ARANDELA	32	PERNO
5	BARRA	33	PIÑÓN
6	BOCINA	34	POLEA
7	BOMBA	35	POLIN
8	BRAZO	36	PUNTO MUERTO
9	CABEZAL	37	QUEMADOR
10	CADENA	38	RASQUETAS
11	CANGUILON	39	REDUCTOR
12	CAPACHO	40	REFLECTOR
13	CHUMACERA	41	RODAMIENTO
14	COMPRESOR	42	ROTOVALVULA
15	CPU	43	RUEDAS
16	DUCTO	44	SECADOR
17	EJE	45	SENSOR
18	ELECTROVALVULA	46	SISTEMA
19	ELEVADOR	47	SOPORTE
20	EQUIPO	48	TABLERO
21	FAJA	49	TANQUE
22	FILTRO	50	TARJETA
23	FLEJE	51	TOCHO
24	GUARNICION	52	TUBO
25	GUIA	53	TUERCA
26	KIT	54	UPS
27	LUMINARIA	55	VALVULA
28	MANGA	56	VENTILADOR

Fuente: Elaboración Propia

En tabla 14 se detalla las frecuencias utilizadas en la realización de las actividades en el área de mantenimiento.

Tabla 14. Lista de Frecuencias.

N°	Frecuencias
1	SEMANAL
2	QUINCENAL
3	MENSUAL
4	BIMENSUAL
5	TRIMENSUAL
6	SEMESTRAL
7	ANUAL
8	BIANUAL

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.2.2. Estandarización de terminologías

Una vez identificadas todas las actividades, componentes y frecuencias, se procede a estandarizar los caracteres que se ingresaran en al sistema al momento de generar la OT para cada actividad.

En la tabla 15 se presenta la estandarización de los términos de las actividades descritas en la tabla 12.

Tabla 15. Estandarización de Términos - Actividades.

TERMINO	ESTANDAR	TERMINO	ESTANDAR
ALINEACION	ALIN	LUBRICACION	LUB
ANALISIS	ANA	MANTENIMIENTO	MTTO
VIBRACIONAL	VIBR	GENERAL	GEN
TERMOGRAFICO	TERM	PREVENTIVO	PREV
BALANCEO	BALA	MEDICION	MED
CAMBIO	CAMB	MONTAJE	MONT
DESMONTAJE	DESM	PARCHADO	PACH
FILTRADO	FILTR	PULVERIZACION	PULV
INSPECCION	INSP	PRUEBA	PRUB
ELECTRICA	ELEC	REBOBINADO	REBO
MECANICA	MEC	REFILTRADO	REFIL
SEGURIDAD	SEGU	REGULACION	REGU
INSTALACION	INST	REVISION	REV
LIMPIEZA	LIMP	TENSADO	TENS

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 16 presenta la estandarización de los términos de las componentes descritos en la tabla 13.

Tabla 16. Estandarización de Términos - Componentes.

TERMINO	ESTANDAR	TERMINO	ESTANDAR
ACEITE	ACEI	MOTOR	MOTO
ACOPLE	ACOP	MOTORREDUCTOR	MOTRE
ALABE	ALAB	PANEL	PANE
ARANDELA	ARAN	PERNO	PERN
BARRA	BARR	PIÑON	PIÑ
BOCINA	BOCI	POLEA	POLE
BOMBA	BOMB	POLIN	POLI
BRAZO	BRAZ	PUNTO MUERTO	PTOMU
CABEZAL	CABE	QUEMADOR	QUEM
CADENA	CADE	RASQUETA	RASQ
CANGUILON	CANG	REDUCTOR	REDU
CAPACHO	CAPA	REFLECTOR	REFLE
CHUMACERA	CHUM	RODAMIENTO	RODA
COMPRESOR	COMP	ROTOVALVULA	ROTVA
CPU	CPU	RUEDAS	RUED
DUCTO	DUCT	SECADOR	SECA
EJE	EJE	SENSOR	SENS
ELECTROVALVULA	ELEVAL	SISTEMA	SIST
ELEVADOR	ELEV	SOPORTE	SOPO
EQUIPO	EQUI	TABLERO	TABL
FAJA	FAJA	TANQUE	TANQ
FILTRO	FILT	TARJETA	TARJ
FLEJE	FLEJ	TOCHO	TOCH
GUARNICION	GUAR	TUBO	TUB
GUIA	GUIA	TUERCA	TUER
KIT	KIT	UPS	UPS
LUMINARIA	LUM	VALVULA	VALV
MANGA	MANG	VENTILADOR	VENT

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 17 presenta la estandarización de las frecuencias de descritas en la tabla 14.

Tabla 17. Estandarización de Términos - Frecuencias.

TERMINO	ESTANDAR
SEMANAL	1S
QUINCENAL	1Q
MENSUAL	1M
BIMENSUAL	2M
TRIMENSUAL	3M
SEMESTRAL	6M
ANUAL	A
BIANUAL	2A

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.2.3. Designación de Campos ingresados en las OT's

Por último se realiza un conceso entre la Jefatura y el Departamento de Planificación de mantenimiento, y se designa los rubros que se deben llenar al momento de generar una OT, con el fin de poder tener los datos necesarios para obtener los indicadores de gestión y poder tomar decisiones respecto las áreas analizadas. Estos rubros son:

**Ficha General:** En este rubro se ingresa información referente al equipo y a la actividad.

- Descripción: Referida a la especificación de la actividad a realizar
- Equipment Number: Corresponde al Código del Equipo registrado en el Sistema.
- Fecha de inicio: Fecha de inicio del trabajo.
- Solicitada: Fecha de término del trabajo.
- Suc/planta: Bodega de existencias de los repuestos.

La figura 24 ilustra los campos mencionados.

Figura 24. Campos a Ingresar en General.  
Fuente: Elaboración Propia.

**Ficha Códigos:** En este rubro se ingresa información referente al tipo de actividad y a la prioridad que se debe tener al desarrollarla.

- Tipo: referida al tipo de OT, ya sea por inspección, lubricación, etc.
- Prioridad: Corresponde a la prioridad con la que se debe realizar el trabajo.

La figura 25 muestra los campos mencionados.

The screenshot shows a software window titled 'Registro de OT Mantenimiento Correctivo - [Detalles de órdenes de trabajo]'. The 'Códigos' tab is selected. The form contains the following fields and values:

Númerotipo de OT	<input type="text"/>	<input type="text" value="3"/>	OT Mant. Urgencia
Descripción	<input type="text"/>		
Tipo	<input type="text" value="3"/>		OT Mant. Urgencia
Estado	<input type="text"/>		
Prioridad	<input type="text" value="3"/>		Normal
Código inactivo de L/M auxiliar	<input type="text"/>		
Tipo de aprobación	<input type="text"/>		
Tipo de lista de materiales	<input type="text" value="M"/>		Cuenta de manufactura estándar
Tipo de ruta de fabricación	<input type="text" value="M"/>		Ruta Estándar

Figura 25. Campos a Ingresar en Códigos.  
Fuente: Elaboración Propia.

**Ficha Clasificación:** En este rubro se ingresa información respecto a la especialidad de actividad y el contexto en el cual se desarrolla.

- Fase: Corresponde a la especialidad de la actividad (Mecánica o Eléctrica).
- Tipo de Habilidad: Corresponde al Turno en el cual se realizará el trabajo (1T, 2T o 3T).

La figura 26 resalta los campos mencionados.

The screenshot shows a web-based application window titled 'Registro de OT Mantenimiento Correctivo - [Detalles de órdenes de trabajo]'. The interface includes a menu bar with options like 'Archivo (E)', 'Verificar', 'Preferencias', 'Pantalla (M)', 'Ventana (W)', and 'Ayuda (H)'. Below the menu is a toolbar with icons for 'OK', 'Can...', 'Mos...', 'Acer...', 'Vinculos', 'Revisi...', 'Anteri...', 'Sigui...', 'Objet...', and 'Internet'. The main form area has two input fields at the top: 'Número/tipo de OT' and 'Descripción'. Below these is a tabbed interface with tabs for 'General', 'Códigos', 'Importes', 'Clasificación', 'Asignaciones', and 'Anexos'. The 'Clasificación' tab is selected, displaying a list of fields for classification. The fields are: 'Fase', 'Categoría 02', 'Categoría 03', 'Categoría 04', 'Categoría 05', 'Estado', 'Tipo de servicio', 'Tipo de habilidad', 'Nivel de experiencia', and 'Categoría 10'. Each field has a corresponding text input box. The 'Fase' and 'Tipo de habilidad' fields are highlighted with red rectangular boxes.

Figura 26. Campos a Ingresar en Clasificación.  
Fuente: Elaboración Propia.

**Ficha Asignaciones:** En este rubro se ingresa información referente al personal encargado de la supervisión y ejecución del trabajo.

- Emisor: Quien genera la orden. Este campo no necesita ser llenado ya que el sistema ingresará acá el número de dirección correspondiente al usuario que crea la orden (en este caso el sistema). En la impresión de la orden de trabajo el Emisor aparecerá como Planificador.
- Asignado a: Responsable de realizar el trabajo., se ingresa el número de DNI del técnico.

- Supervisor: Se ingresa el número de DNI del supervisor responsable del área en donde se desarrollará el mantenimiento.

Las figura 27 detalla los campos mencionados.

The screenshot displays the 'Registro de OT Mantenimiento Correctivo - [Detalles de órdenes de trabajo]' window. The 'Asignaciones' tab is selected, showing the following fields and their values:

Field	Value
Número/tipo de OT	[Empty]
Descripción	[Empty]
Mensaje indicador de OT	[Empty]
Emisor	[Empty]
Administrador	[Empty]
Supervisor	[Empty]
Asignado a	[Empty]
Cliente	260010
Descuento estándar	[Empty]
Buscar referencia X	[Empty]

Figura 27. Campos a Ingresar en Asignaciones.  
Fuente: Propio.

### 3.2.3. Carga del PAM y Habilitación del Módulo de Generación

#### Automática

Una vez optimizado el PAM con la metodología RCM y estandarizado el formato de la OT, se procede a cargar el PAM e implementar el módulo de generación automática de OT's en el software J.D. Edwards OneWorld.

### 3.2.3.1. Carga del PAM optimizado al software

Primero se lleva toda la información del PAM al formato que se requiere para poder cargarlo al software J.D. Edwards OneWorld. Previo a la aplicación del RCM, el PAM de mantenimiento contaba con un total de 1070 actividades. Ahora el PAM, basado en la confiabilidad de equipos, cuenta con 2205 actividades en toda la planta.

El formato utilizado para la carga del PAM, presenta información de:

- Código del Equipos.
- Descripción del Tipo de servicio.
- Fecha Programada.
- Ultima Fecha de Realización.
- Frecuencia.
- Centro de Costos.
- Código de Almacén.
- Código de Área.
- Código de Área Solicitante.
- Código del Supervisor.
- Código del Emisor.
- Tipo de OT.
- Turno.

Algunos de estos campos solicitados se estandarizaron en las tablas 15, 16 y 17 Mientras que los demás campos llevan información exacta y que a su vez requeridos por el software para poder realizar la actualización del plan y poder realizar la generación automática de OT que corresponden.

Luego, se realiza la coordinación entre el área de Mantenimiento de las tres plantas, el área de sistemas y el representante de la empresa proveedora del software para tener listo los tres Planes de Mantenimiento en el formato adecuado y poder cargarlos al software J.D. Edwards OneWorld.

#### 3.2.3.2. Habilitación del Módulo de Generación Automática de OT's

Debido a que el contrato, entre la empresa y el proveedor del software, establece que cualquier implementación y/o modificación del software debe ser realizado por el proveedor, se realiza las coordinaciones respectivas con el área de Sistemas y el proveedor para que realicen la habilitación de los módulos de generación automática de OT's para cada planta de la empresa. El módulo implementado se muestra en la figura 28.



Figura 28. Módulo de generación automática de OT's.  
Fuente: Propio.

Posterior a esta habilitación, se procede a realizar la capacitación al personal, de las áreas de la empresa involucradas, en cómo funciona el modulo, actualizaciones del PAM, entre otras utilidades.

### 3.3. Revisión y consolidación de resultados

En este apartado de detallan los resultados obtenidos al realizar la implementación del sistema de generación automática de órdenes de trabajo, esto es: para la implementación del RCM, se tiene como resultado las Hojas de Decisiones; para la estandarización de términos y campos a llenar las OT's, se tiene como resultado una OT modelo; y por ultimo para la habilitación del módulo de en software, se tiene el procedimiento de como actualizar el PAM cargado en el software, el cual permitirá generar las OT's de forma automática.

### 3.3.1. Hojas de Decisiones del RCM

La hoja de decisión está dividida en 16 columnas. Los encabezamientos de diez primeras columnas se refieren a las preguntas del árbol de decisiones (ver figura 28), de manera que:

- Las columnas tituladas H, S, E, O y N son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de los modos de falla, colocando S o N (Sí o No según aplique)
- Las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, que tipo de tarea.
- Si se hace necesario responder a cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas H4, H5 y S4 son las que permiten registrar esas respuestas, colocando S o N (Sí o No según aplique)
- La columna de tarea propuesta también se utiliza para colocar actividades de “rediseño”, o si se decidió que el modo de fallo sea tratado Run-to fail.

En la tabla 18 se muestra la hoja de decisiones del Molino MRV 200, del área de Molienda Seca.

Tabla 18. Hoja de Decisiones de MRV 200.

HOJA DE DECISIONES DE RCM	NOMBRE DEL EQUIPO: MOLINO MRV 200		Fecha: 10/06/2015		Equipo: CSL		HOJA N° 1					
	ÁREA:	MOLIENDA SECA	EVALUACION DE CONSECUENCIAS		ACCIONES A TOMAR		FRECUENCIA	ESPECIALIDAD				
ÍTEM MANTENIBLE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN	H1	H2	H3	S1	S2	S3					
	MODOS DE FALLAS	O1	O2	O3	H4	H5	S4					
FAJA DE TRANSPORTE	FALLA GENERANDO UNA ROTURA	S	N	S	N	N	S	N	N	INSPECCIONAR ESTADO Y TENSADO DE CORREAS, DESCARTAR GRIETAS, ROTURAS Y RAJADURAS	1M	MECANICO
		S	N	S	N	N	S	N	N	INSPECCIONAR ALINEAMIENTO DE POLEAS	3M	MECANICO
		N	N	S	N	N	S	N	N	INSPECCIONAR DESGASTE DEL CANAL DE LA POLEA Y AJUSTE A EJE	3M	MECANICO
		S	N	S	N	N	S	N	N	VERIFICAR SOLTURA DE PERNOS DE CHUMACERAS.	1S	MECANICO
MOLINO ELECTRICO	FALLA NO FUNCIONANDO COMO SE REQUIERE	S	S	N	S	N	S	N	N	REALIZAR LIMPIEZA DE GUARDAS Y VERIFICAR CORRECTA FIJACION	1S	MECANICO
	FALLA NO MANTENIMIENTO SU FUNCION	S	S	N	N	S	N	N	N	VERIFICAR SOLTURA DE PERNOS DE CHUMACERAS. REAJUSTAR SI SE REQUIERE	1S	MECANICO
	FALLA EN ROTOR GENERANDO UN DESGASTE EXCESIVO EN LOS COMPONENTES	S	S	N	N	S	N	N	N	TAREA DE ARRIBA SUFICIENTE		
	FALLA EN ROTOR NO FUNCIONANDO COMO SE REQUIERE	N	N	S	N	N	S	N	N	TAREA DE ARRIBA SUFICIENTE		
MOLINO ELECTRICO	FALLA GENERANDO UN DESGASTE EXCESIVO EN LOS COMPONENTES	N	N	S	N	N	S	N	N	MONITOREAR VIBRACIONES Y ANALIZAR TENDENCIA	2S	PREDICTIVO
		N	N	S	N	N	S	N	N	REALIZAR LUBRICACION DE CHUMACERAS Y MEDIR TEMPERATURA	1M	LUBRICADOR
		N	N	S	N	N	S	N	N	REVISAR ESTADO DE CORAZAS Y/O CAMBIO SI SE REQUIERA	1M	MECANICO
		N	N	S	N	N	S	N	N	REVISAR ESTADO DE ROTOR (DESGASTE DEFORMACIONES)	1M	ELLECTRICO
		N	N	S	N	N	S	N	N	REALIZAR LUBRICACION DE LOS RODAMIENTOS Y MEDIR TEMPERATURA	2M	LUBRICADOR
		N	N	S	N	N	S	N	N	MONITOREAR VIBRACIONES Y ANALIZAR TENDENCIA	1Q	PREDICTIVO
		N	N	S	N	N	S	N	N	VERIFICAR TEMPERATURA DEL MOTOR	1Q	PREDICTIVO
		N	N	S	N	N	S	N	N	VERIFICAR RUIDO Y VIBRACION ANORMAL	1D	PREDICTIVO
		N	N	S	N	N	S	N	N	REALIZAR LIMPIEZA DE LAS ALETAS DE REFRIGERACION DEL MOTOR	1M	MECANICO
		N	N	S	N	N	S	N	N	MEDIR Y REGISTRAR LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	6M	ELLECTRICO
		N	N	S	N	N	S	N	N	INSPECCIONAR Y/O AJUSTAR LA CONEXION A TIERRA	6M	ELLECTRICO
		N	N	S	N	N	S	N	N	TAREA DE ARRIBA SUFICIENTE		
MOLINO ELECTRICO	FALLA NO ARRANCANDO BAJO DEMANDA	N	N	S	N	N	S	N	N	REALIZAR PRUEBAS ESTATICAS A MOTOR	1A	PREDICTIVO
		N	N	S	N	N	S	N	N	TAREA DE ARRIBA SUFICIENTE		
		S	S	N	N	S	N	N	N	VERIFICAR ESTADO, AJUSTE E IDENTIFICACION DE LOS CABLES	6M	ELECTRICO
		N	N	S	N	N	S	N	N	TAREA DE ARRIBA SUFICIENTE		
MOLINO ELECTRICO	FALLA NO ARRANCANDO BAJO DEMANDA	N	N	S	N	N	S	N	N	MEDIR Y REGISTRAR LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	6M	ELECTRICO
		N	N	S	N	N	S	N	N	MEDIR Y REGISTRAR TENSION Y CORRIENTE	1M	ELECTRICO
		N	N	S	N	N	S	N	N	VERIFICAR HERMETICIDAD EN LA CAJA DE BORNES	6M	ELECTRICO
		S	N	S	N	N	S	N	N			

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.3.2. OT Modelo para la Generación Automática

La estandarización de todos los términos utilizados para las actividades, frecuencias y componentes en el Plan Anual de Mantenimiento y los rubros a ser llenados en las fichas al momento de generar una OT, permiten obtener un modelo de OT, la cual será generada de forma automática por el software J.D. Edwards OneWorld. En la figura 29 se muestra una OT modelo, con los parámetros mencionados en las tablas 15, 16 y 17.

R5648005B R1.0.1/13-11-15 Ceramica San Lorenzo S.A.C. Page - 1  
09/08/2016 16:43:03 **ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

**ORDEN DE TRABAJO** 

N° DE OT:	365016	WM	BODEGA:	360010	ALMACÉN MAT Y REPUESTOS(PTA.3)
DESCRIPCION:	Cambio de rasquetas		INICIO:	16/09/2015	FIN: 16/09/2015
EQUIPO PADRE:	53020800 ROTOVALVULA M121.1N*1		SUPERVISOR:		
EQUIPO HIJO:	53020800	ROTOVALVULA M121.1N*1	TALLER:	1	ASIGNADO A:
ESTADO DE LA OT:	MJ	OT Terminada con Bloqueo Mat.	TURNO:		CENTRO DE TRABAJO: MEC MECÁNICOS
AREA DE TRABAJO:	Area de trabajo		PRIORIDAD:	3	TIPO DE OT: 1 OT Mantenimiento Preventivo

---

**TAREAS**

N°Oper	Operación	Tiempo Planificado
1,00	Cambio de rasquetas	3,00
2,00	Cambio de rasquetas	3,00

---

**REPUESTOS**

Item	Descripción	Cantidad	UM	Operación	Bodega	Ubicación
------	-------------	----------	----	-----------	--------	-----------

---

**ANEXOS**

---

_____ NOMBRE Y FIRMA TECNICO	_____ NOMBRE Y FIRMA SUPERVISOR	_____ NOMBRE Y FIRMA PLANIFICADOR
------------------------------------	---------------------------------------	---

Figura 29. OT Modelo.  
Fuente: Elaboración Propia.

### 3.3.3. Corrida del Programa de Generación Automática de OT's

Finalmente, una vez cargado el PAM optimizado con la metodología RCM y habilitado el módulo de generación automática de OT's en el software J.D. Edwards OneWorld, se procede a realizar la prueba del módulo (Corrida), para ello se realizó un procedimiento, el cual se detalla a continuación.

1. Dar doble clic sobre el punto  Actualizar estado de programa MP
2. En la ventana **Trabajo con versiones en batch - Versiones disponibles** ingresar SP0013 en la columna **Versión** y presionar enter.
3. Dar doble clic en la primera fila de la grilla.
4. En la ventana **Solicitud de versión** activar la casilla **Selección de datos**

Como muestra la figura 30.



Figura 30. Ventana Solicitud de Versión.  
Fuente: Elaboración Propia

5. Presionar 
6. En la ventana **Data Selection** presionar el botón 

Tal como muestra la figura 31.

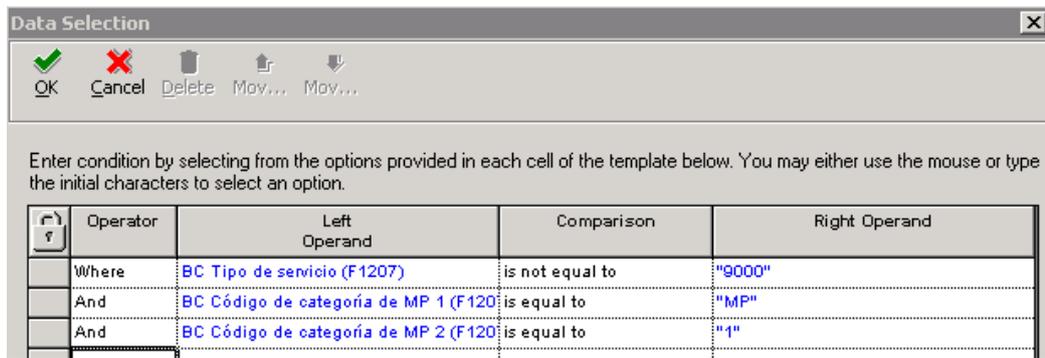


Figura 31. Data Selección.  
Fuente: Elaboración Propia.

Con esto se procesarán todos los tipos de mantenimiento, correspondientes a las actividades presentes en el Plan Anual de Mantenimiento y serán generadas de forma automática si corresponden a la fecha en el que se actualiza el programa.

Luego de realizar todo el procedimiento, el software muestra un archivo con extensión .pdf el cual contiene todas las OT's generadas de forma automática, hasta el día que se lo solicite, En la figura 32 se muestra una imagen del archivo mencionado.

R12807

Ceramica San Lorenzo S.A.C.  
Actualización del estado del  
programa de MP

<u>Item Number</u>	<u>Descripc</u>	<u>Serv</u> <u>Tipo</u>		<u>%</u> <u>Ven</u>	<u>OC</u>	<u>O</u> <u>Asign</u>	
2035	AREA MOLIENDA PASTA MP	1.01.200	To	999	01	225275	Current
							Last Mnt
			From	620	01		Current
							Last Mnt
2099	MOLINO PASTA N°1-PLANTA 1	1.01.000	To	990	50	253433	Current
							Last Mnt
			From		01		Current
							Last Mnt
2147	MOLINO PASTA N°2-PLANTA1	1.01.000	To	990	50	253434	Current
							Last Mnt
			From		01		Current
							Last Mnt
2195	MOLINO PASTA N°3-PLANTA1	1.01.000	To	990	50	253435	Current
							Last Mnt
			From		01		Current
							Last Mnt
2243	MOLINO PASTA N°4 -PLANTA 1	1.01.000	To	990	50	253436	Current
							Last Mnt
			From		01		Current
							Last Mnt
2681	ALIMENTADOR DE PRENSAS ALPH	1.06.001	To	997	50	253437	Current
							Last Mnt
			From	66	01		Current
							Last Mnt

Figura 32. OT's Generadas por el Software.  
Fuente: Elaboración Propia.

### 3.3.4. Mejora de Indicadores del área de Mantenimiento

A continuación se presenta la evolución de los indicadores del área de mantenimiento a lo largo de la implementación de la mejora realizada. Estos indicadores son: MTBF, MTTR y Disponibilidad.

Se presentan en las figuras 33 y 34, el desarrollo de los indicadores MTBF (Tiempo Medio Entre Falla) y MTTR (Tiempo Medio Para Reparar) de los equipos de molienda seca. Se observa una mejora en cuanto al tiempo entre fallas y al tiempo medio que se requieren para repararlas.

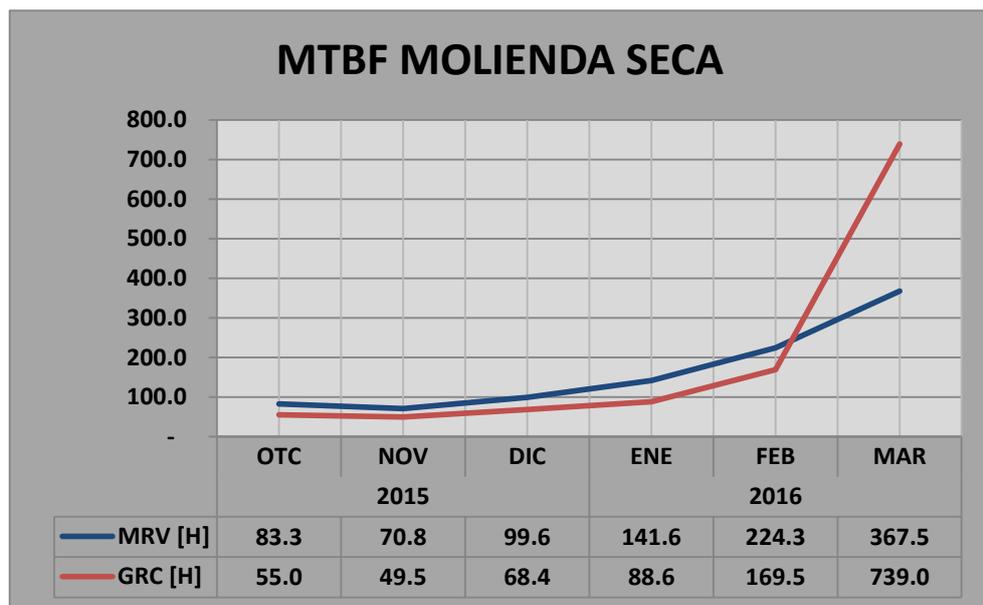


Figura 33. MTBF de los equipos de Molienda Seca.  
Fuente: Elaboración Propia.

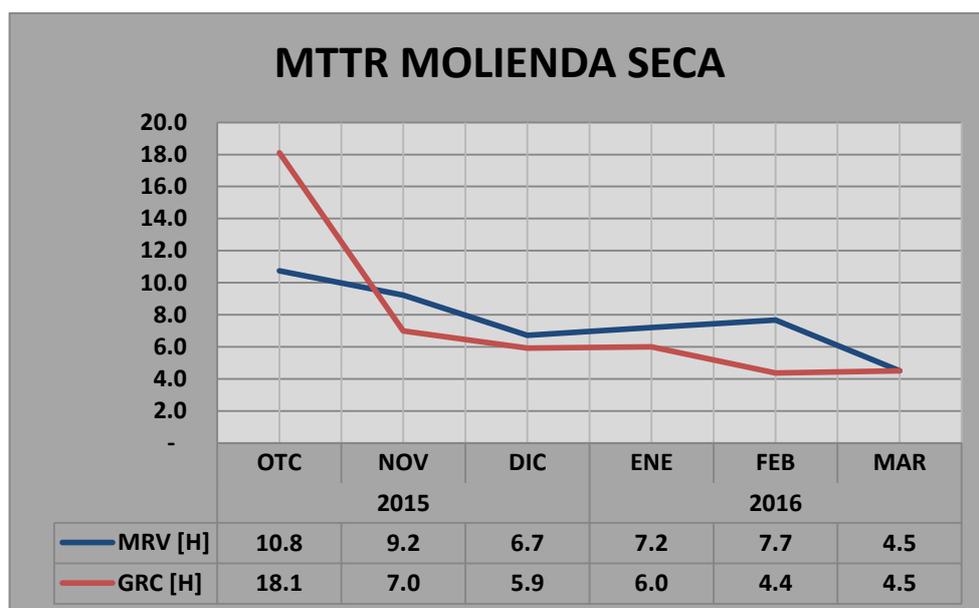


Figura 34. MTTR de los equipos de Molienda Seca.  
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 35. Se muestra la gráfica de las disponibilidades del área de Molienda Seca durante los seis últimos meses de la implementación de la mejora. Se aprecia un incremento considerable de la disponibilidad del Molino MRV 200, mientras que la disponibilidad del GRC 700 aumentó ligeramente.

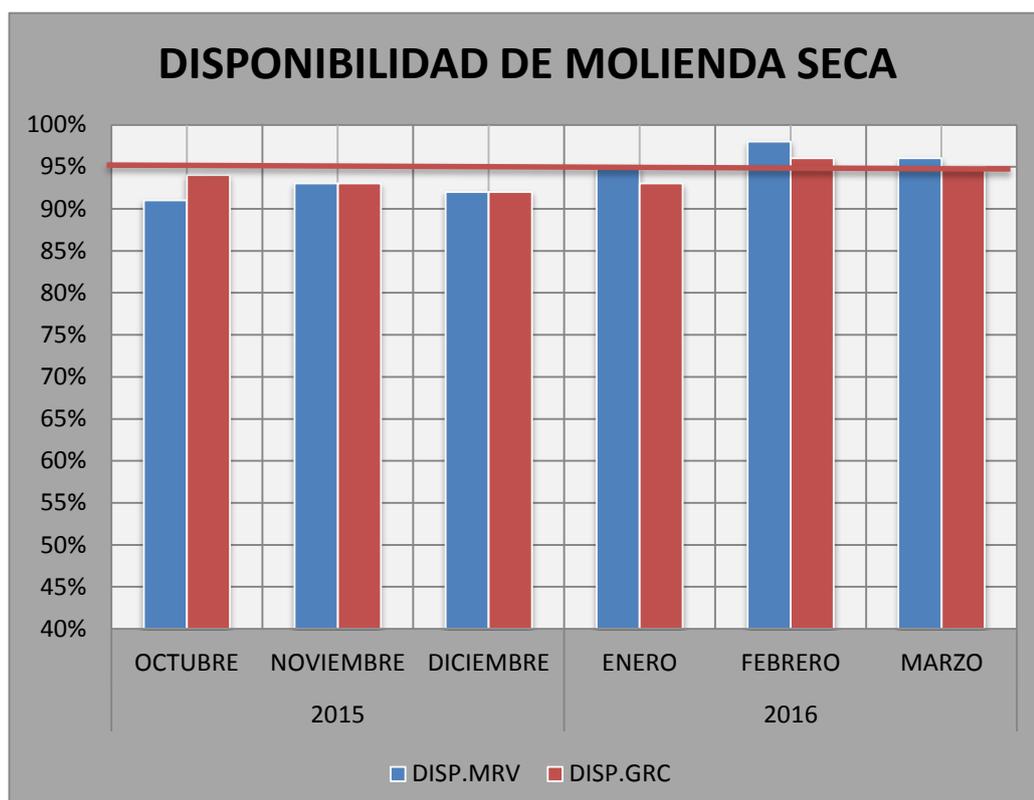


Figura 35. Disponibilidad de Molienda Seca.  
Fuente: Elaboración Propia.

## CONCLUSIONES

- La mejora del proceso de generación de OT fue factible por la disgregación de actividades, implementación del RCM, establecimiento de OT modelo e implementación de módulo de generación automática. Que al desarrollarse de forma correcta permitieron lograr en conjunto el objetivo de generar las OT's de forma automática.
- El RCM se puede aplicar a cualquier equipo o conjunto de ellos, optimizando el Plan Anual de Mantenimiento y aumentando la confiabilidad de los equipos a ejecutarse las actividades establecidas. Esta optimización se ve reflejada en el incremento de actividades en el PAM de mantenimiento de 1070 a 2205
- Para poder obtener una trazabilidad de la información de las OT's se estandariza la terminología y los campos de información de a OT, logrando así tener información entendible para la gestión de indicadores del área de mantenimiento.
- La carga de información del PAM optimizado debe de realizarse de forma minuciosa, puesto que un error en la información ingresada al software significaría una mala generación de órdenes de trabajo.

- La implementación y/o modificación de un módulo en el software J.D. Edwards OneWorld es realizado solo por el proveedor del (Debido al contrato), lo cual limita a la empresa al realizar este tipo de mejoras en el cual se involucra el software mencionado.
- Se debe realizar la actualización del programa (corrida), siguiendo los procedimientos explicados, para evitar cualquier error en la ejecución del programa y en la generación de órdenes de trabajo.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el AMEF con la mayor precisión posible, debido que de no considerar algún modo de falla, no tendrá actividad proactiva que prevenga dicha falla y termine perjudicando el equipo.
- Al realizar la hoja de decisiones se debe tener la participación tanto del supervisor como el técnico más experimentado del área que se está analizando, debido a que ellos pueden aportar mejores tareas proactivas, puesto que son los que directamente trabajan con el equipo.
- Es importante considerar la actualización del PAM en el software, es decir, que sea posible actualizar el PAM, ya que el futuro puede que algunos equipos de la planta sean quitados y otros agregados.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gómez, F. (2004), *Tecnología del Mantenimiento Industrial*.
- [2] Moubray, J. (2004), *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*.
- [3] De Bona, J. (1999), *Gestión del Mantenimiento*.
- [4] Mantenimiento industrial.  
<http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/mantenimiento/>
- [5] Tiempo Medio Entre Fallas y Tiempo Medio Para Reparar.  
<http://world-class-manufacturing.com/es/KPI/mtbf.html>
- [6] ¿Qué es el Plan de Mantenimiento?  
<http://www.elplandemantenimiento.com/index.php/que-es-un-plan-de-mantenimiento>
- [7] Elaboración de planes de mantenimiento basados en protocolos de mantenimiento por tipo de equipo.  
<http://www.santiagogarcia Garrido.com/index.php/actividades-de-idi/planes-de-mantenimiento>
- [8] Kilge, S. (2008), *Supply Chain Management and Advance Planning*.
- [9] Esteves, J. Pastor, J. (2001), *Enterprise Resource Planning Systems*.